



Escola Politècnica Superior
d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL: Disseny i implementació d'un vehicle de dues rodes paral·leles basat en el sistema d'un SEGWAY

AUTORS: CIBIACH MERCADÉ, ARNAU; CORTACANS FARRÀS, BRU;
RODRÍGUEZ NAVARRO, VÍCTOR; SÁNCHEZ SOLER,
ADRIÁN; VAQUERIZO CID, DANIEL

DATA: Dimarts 2 de juliol de 2015

COGNOMS: CIBIACH MERCADÉ

NOM: ARNAU

TITULACIÓ: GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA

PLA: Any 2009

DIRECTOR: MARTÍ COLOM, PAU

DEPARTAMENT: ENGINYERIA DE SISTEMES, AUTOMÀTICA I INFORMÀTICA INDUSTRIAL

COGNOMS: CORTACANS FARRÀS

NOM: BRU

TITULACIÓ: GRAU EN ENGINYERIA DE DISSENY INDUSTRIAL I DESENVOLUPAMENT DEL PRODUCTE

PLA: ANY 2009

DIRECTOR: MARTÍ COLOM, PAU

DEPARTAMENT: ENGINYERIA DE SISTEMES, AUTOMÀTICA I INFORMÀTICA INDUSTRIAL

COGNOMS: RODRÍGUEZ NAVARRO

NOM: VÍCTOR

TITULACIÓ: GRAU EN ENGINYERIA DE DISSENY INDUSTRIAL I DESENVOLUPAMENT DEL PRODUCTE

PLA: ANY 2009

DIRECTOR: MARTÍ COLOM, PAU

DEPARTAMENT: ENGINYERIA DE SISTEMES, AUTOMÀTICA I INFORMÀTICA INDUSTRIAL

COGNOMS: SÁNCHEZ SOLER

NOM: ADRIÁN

TITULACIÓ: GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA

PLA: Any 2009

DIRECTOR: MARTÍ COLOM, PAU

DEPARTAMENT: ENGINYERIA DE SISTEMES, AUTOMÀTICA I INFORMÀTICA INDUSTRIAL

COGNOMS: VAQUERIZO CID

NOM: DANIEL

TITULACIÓ: GRAU EN ENGINYERIA ELECTRÒNICA INDUSTRIAL I AUTOMÀTICA

PLA: Any 2009

DIRECTOR: MARTÍ COLOM, PAU

DEPARTAMENT: ENGINYERIA DE SISTEMES, AUTOMÀTICA I INFORMÀTICA INDUSTRIAL

QUALIFICACIÓ DEL PFC

TRIBUNAL

RAYA GINER, CRISTOBAL

MUÑOZ MORGADO, LUIS MIGUEL

VILÀ MARTÍ, FREDERIC

PRESIDENT

SECRETARI

VOCAL

DATA DE LECTURA: Dilluns 6 de juliol de 2015

Aquest Projecte té en compte aspectes mediambientals: Sí No

TREBALL FINAL DE GRAU

RESUM

El present projecte tracta sobre el disseny i la implementació d'un vehicle de dues rodes paral·leles basat en el sistema d'un *Segway*, els objectius principals del qual es basen en el modelat del sistema i el disseny d'un controlador que el permeti estabilitzar. A més, es realitza la implementació d'aquest controlador en un prototip funcional. D'altra banda, referent al disseny, els objectius són focalitzar una necessitat i desenvolupar un vehicle que utilitzi la tecnologia d'auto-balanceig per resoldre dita necessitat.

Per a la consecució dels objectius d'implementació fixats, inicialment, s'han trobat les equacions del model físic basades en un pèndul invertit que són linealitzades i que posteriorment han servit per crear un espai d'estats a *MATLAB*. Un cop creat el model en espai d'estats, es pot dissenyar un controlador. Després, sabent quins pols es volen en llaç tancat, es discretitza el model, i tenint en compte que els motors tenen un retard d'actuació, s'amplia el sistema original i es dissenya un nou controlador que tingui en compte aquest retard en el món real. Per assegurar que el controlador és bo, s'ha realitzat una aplicació de *LabView* on es mostra un panell on es poden realitzar diferents configuracions i es veu com es controla mitjançant una animació 3D. A més, s'ha realitzat una aplicació d'*Android* per veure les variables del sistema en temps real i poder controlar el moviment d'aquest a distància. Finalment, amb l'ajuda d'un microcontrolador *Arduino* s'ha realitzat la implementació al prototip construït. Seguidament, es procedeix a modificar el controlador dissenyat per adaptar-lo al prototip final, i s'inicien les proves on es comprova que a causa de la limitació de potència dels motors algunes de les funcionalitats no es poden dur a terme.

L'inici del disseny ha consistit en un extens estudi de mercat. Amb aquest, s'ha pogut conceptualitzar la idea i amb l'ajut de *Mindmaps*, *Moodboards* i estudi de referents traçar un *briefing*. A partir d'aquí, comença el procés de disseny global i de detall de cada peça del vehicle conceptual, passant per un extens estudi de dimensionat i un llarg procés d'*sketching*. Es modelen en 3D totes les peces que conformen el conjunt i s'assemblen amb el programa CAD: *SolidWorks*. Amb el vehicle modelat es passa a desenvolupar els aspectes estètics: el *branding* de la marca *Àgil*, els colors i acabats del producte i la posada en escena d'aquest.

En aquest projecte, s'ha fet ús de les metodologies àgils, que faciliten la distribució i organització de les tasques.

Paraules clau:

Arduino	MATLAB	SEGWAY	Android
Espai d'estats	Control	Amortiguació	Freeride
Tot terreny	Suspensió basculant		

FINAL GRADE PROJECT

ABSTRACT

The present project consists on the design and implementation of a two parallel wheels' vehicle based on a Segway system, which main objectives are the system's modelling and the design of a controller which will stabilize it. What is more, the controller's implementation is carried out in a functional prototype; and on the design side, it is pretended to focus a new need and develop a vehicle that could use self-balancing technology to solve the mentioned need.

To achieve the goals set, first, the equations for the physic model based on an inverted pendulum are found, which are later linearized and serve to create a state-space in MATLAB. Once the model in state-space is created, a controller can be designed. Afterwards, knowing the desired poles in closed loop, the model is discretised, and taking into account that the motors had an action delay, the original system has to be amplified and a new controller is designed which considers this delay in the real world. To make sure the controller is good, a LabView application is done where a panel is shown and different configurations can be carried out, as well as seeing how it is controlled through a 3D animation. Moreover, an Android application has been made to see the variables of the system in real time and be able to control its movement remotely. Finally, with the help of an Arduino microcontroller the implementation on the prototype is done, modifying the controller to adapt it to the final sample and starting the tests, when it has been realised that some of the functions cannot be achieved because of the limited motors' performance.

The start of the vehicle design consists on a wide market research, with which the idea can be conceptualised and with the help of Mind-maps, moodboards and references study a briefing is defined. From this point, the global design and each piece details process is started, going through a wide dimensional study and a long sketching process. All the parts forming the set have been modelled in 3D and have been assembled with the CAD programme Solidworks. With the modelled vehicle, the aesthetics aspects are the next step, the branding of the bran Àgil, the colours and finishing of the product, and the contextualisation.

In this project, the methodology Agile has been used, which enhances the distribution and organization of the tasks.

Keywords:

Arduino	MATLAB	SEGWAY	Android
State-space	Control	Damping	Freeride
Off-road	Tilting suspension		

TREBALL EN EQUIP

APORTACIÓ INDIVIDUAL AL GRUP

ARNAU CIBIACH MERCADÉ

En aquest Treball de Final de Grau, la majoria de projecte s'ha realitzat mitjançant treball en equip, ja que es va decidir treballar d'una forma conjunta per tal de tenir una mateixa implicació en obtenir nous coneixements i aplicar tots els conceptes apresos durant el Grau per part de tots els membres de l'equip electrònic. Tot i això, quan el projecte anava avançant i es tenien establertes les bases d'aquest, cadascun dels membres del grup es va responsabilitzar de diferents tasques, encara que els temes més complexos de disseny i implementació a més de resolució de diversos problemes i entrebancs que han anat sorgint, també s'han dut a terme conjuntament.

La meua aportació individual al grup ha consistit, principalment, en el procés d'implementació del controlador a Arduino i la configuració del hardware utilitzat en el projecte. Per a la realització d'aquest he consultat informació referent al protocol de comunicació SPI i al bus CAN, aquesta l'he trobat en apunts d'assignatures cursades durant la carrera, mentre que d'altra informació més concreta s'ha trobat buscant a pàgines web. A més en els casos de la comunicació he hagut de buscar llibreries per a Arduino per a poder realitzar aquesta comunicació sense problemes.

Un cop recopilada la informació necessària per a realitzar les comunicacions pertinents vaig començar a configurar tot el hardware dins del codi d'Arduino utilitzant les llibreries esmentades anteriorment. Quan tota la part de hardware va estar configurada, vaig iniciar la implementació del codi necessari per al control.

Inicialment, va ser necessari adquirir les variables d'estat (angle, posició, velocitat i velocitat angular) que van suposar un gran escull en la implementació. Finalment, un cop disposava ja d'aquestes variables d'estat, el següent pas va ser tenir les limitacions dels motors i les corbes de força-intensitat per a enviar la consigna als motors. A continuació, he hagut d'implementar l'enviament de les trames corresponents a la consigna en cada motor i afegir el fre en cas de canvi de sentit de gir. Per acabar amb la implementació, vaig programar una espera per tenir en compte el període de mostreig per assegurar així un bon funcionament del controlador. Finalitzada, la part d'implementació van començar les proves per a millor el control i la estabilitat del sistema.

D'altra banda, també he ajudat en el muntatge i el disseny del prototip funcional, així com la selecció dels components que conformen la placa electrònica i la creació de la pròpia placa electrònica. A més, també he ajudat a desenvolupar la part de software d'Android i la millora i reparació dels motors *HUB*.

Per últim, he dedicat molt temps a donar format a la memòria i a corregir expressions gramaticals incorrectes i faltes d'ortografia de la part d'electrònica, a més de ser l'encarregat d'unir tot el treball.

BRU CORTACANS FARRÀS

La feina que he fet ha començat per la plena concentració en la construcció del prototip funcional que servís com a banc de proves per l'equip electrònic. Esbossos, modelats 3D, tria de components, més esbossos de mecanismes, etc.

Mentre el prototip funcional anava avançant jo i el Víctor, de l'equip de disseny, vam començar a cercar el màxim d'informació sobre productes existents. Vam repartir-nos al 50% la recerca bibliogràfica per conèixer tots els vehicles personals que vam trobar al mercat.

Tot l'equip ens vam reunir per fer el *Mindmap* i es van treure unes conclusions claus pel desenvolupament del projecte.

De manera conjunta jo i el Víctor vam fer el mindmap focal desenvolupant el concepte de *Segway Extrem*, i després vam passar un llarg període de temps recollint imatges inspiradores pel desenvolupament del producte, i coneixent vehicles referents que ens servissin per el disseny del prototip conceptual.

Junts vam fer una extensa feina per desenvolupar el tipus de sistema d'amortició que incorporaria el vehicle, passant per una maqueta ràpida, un extens estudi de possibilitats dimensionals feta amb *SolidWorks* i acabant amb el disseny d'una maqueta que vaig modelar en 3D, vaig fer-ne els plànols i es va dur a una màquina de tall làser per aconseguir les parts de fusta que la conformen.

Quan, a l'equip de disseny vam començar a dissenyar les peces, de manera conjunta vam realitzar molts esbossos. Jo em vaig especialitzar en el disseny, desenvolupament i modelatge 3D del quadrilater articulat, així com del Subconjunt de carroceries, el llum frontal i posterior i el parafang. També vaig modelar el motor *HUB* una peça de proveïdor. Tot i especialitzar-nos per una lògica optimització temporal, s'han invertit moltes i moltes hores en prendre decisions en comú per avançar sempre en la mateixa direcció.

Pel que fa a la presentació del vehicle he fet alguns muntatges d'integració amb *Photoshop* per mostrar el producte en context i les seves característiques.

Per últim, he dedicat molt temps a donar format a la memòria i a corregir expressions gramaticals incorrectes i faltes d'ortografia de la part de disseny, a més he estat l'encarregat de redactar l'article i el resum de disseny, així com la major part de conceptualització. També m'he encarregat de realitzar la recopilació de comentaris d'usuaris. Les parts no esmentades han estat repartides per igual.

VÍCTOR RODRÍGUEZ NAVARRO

El projecte es va iniciar amb la construcció del prototip funcional. En aquest procés es van realitzar esbossos, modelats 3D i elecció de materials, per acabar fabricant el prototip que serviria com a banc de proves per a l'equip electrònic. En aquest recorregut ens hem involucrat tant el Bru com jo, a més de rebre aportacions i ajuda dels electrònics.

En la fase d'anàlisi de mercat, realitzada mentre es construïa el prototip, la vam realitzar conjuntament, intentant abastar els màxims productes possibles per igual. El meu company, però, es va encarregar de fer la taula comparativa.

La construcció del *Mindmap* general va estar realitzada per una fase prèvia de *brainstorming*, que són sessions molt dinàmiques que requereixen de la màxima col·laboració. Per això el Bru i jo vam realitzar primer la pluja d'idees, per després poder-nos ajuntar tot l'equip per fer el *Mindmap*.

De manera conjunta el Bru i jo vam desenvolupar el *Mindmap* focal, per passar posteriorment a la construcció del *moodboards*, realitzats entre els dos. Durant aquest període també es va fer recerca de referents, novament repartits per igual.

Jo vaig ser l'encarregat de realitzar l'estudi antropomètric i ergonòmic fet que ens serviria posteriorment per al dimensionat.

Junts vam fer la feina de desenvolupament dels quadrilàters i dimensionant, en la que el bru va assumir una major part de la feina. Va ser l'encarregat de definir majoritàriament el quadrilàter articulad. L'estudi va desembocar en la realització de dues maquetes, una meva i una altre del Bru. La definitiva va ser la del Bru ja que la va construir a escala.

En el disseny de les peces, jo em vaig especialitzar en el subconjunt del xassís, en el subconjunt del tronc i els seus components, i en el desenvolupament de les llantes i pneumàtics. Tot i especialitzar-nos per una lògica optimització temporal, s'han invertit moltes i moltes hores en prendre decisions en comú per avançar sempre en la mateixa direcció.

Jo he pres el rol de renderitzat del producte, bàsicament per disposar del hardware més potent. En l'apartat gràfic de presentació hem realitzat imatges tots dos.

En quan al redactat, jo m'he encarregat de l'antropometria, i d'algunes parts de conceptualització. He realitzat els plànols i la recopilació de datasheets. Les parts no esmentades han estat repartides per igual.

ADRIÁN SÁNCHEZ SOLER

En aquest Treball de Final de Grau, la majoria de projecte s'ha realitzat mitjançant treball en equip, ja que es va decidir treballar d'una forma conjunta per tal de tenir una mateixa implicació en obtenir nous coneixements i aplicar tots els conceptes apresos durant el Grau per part de tots els membres de l'equip electrònic. Tot i això, quan el projecte anava avançant i es tenien establertes les bases d'aquest i estaven clars els objectius, cadascun dels membres del grup es va responsabilitzar de diferents tasques, encara que els temes més complexos de disseny i implementació a més de resolució de diversos problemes i entrebancs que han anat sorgint, també s'han dut a terme conjuntament.

En quant a la meua aportació, al sorgir la necessitat de provar els diferents controladors calculats mitjançant *MATLAB* però sense tenir encara el prototip acabat, es va pensar en la implementació d'un aplicatiu *LabView* que permetés veure amb certa claredat la qualitat del control. Per la meua part, he desenvolupat aquest aplicatiu basant-me en els coneixements adquirits a la assignatura Sistemes d'Instrumentació i de diferents exemples de l'ajuda de *LabView* per tal de realitzar el control d'una imatge *3D* creada. Es va utilitzar la mateixa estratègia de control emprada als muntatges de *Simulink*, permetent variacions en l'angle i la posició.

Per altra banda, m'he encarregat de realitzar el desenvolupament de l'aplicació per a dispositius *Android*. Per a la realització de l'aplicació he hagut de consultar diferents fòrums i documentació per tal de realitzar un plantejament lògic de les funcionalitats de les quals es volia dotar l'aplicació i de com establir comunicació entre el dispositiu mòbil i l'*Arduino*. Un cop recopilada la informació necessària per tal de realitzar la comunicació i la gestió dels diferents sensors que eren interessants per l'aplicació.

Inicialment, es va programar la pantalla del menú inicial que permetia navegar entre dues pantalles mes, a continuació es va realitzar la programació de la part de la obtenció de dades via *Bluetooth* i un cop aquesta era totalment funcional, es va iniciar la programació de la pantalla que permetia controlar el vehicle primerament mitjançant botons i mes endavant agregant l'ús del acceleròmetre i giroscopi del telèfon per tal de realitzar aquest control de direcció del prototip funcional.

Un cop que es tenien aquestes dues funcions implementades es va dotar de més funcions a la pantalla principal, a més de la selecció dels diferents modes de funcionament se li va incorporar musica i un boto que redirigís al bloc *Agile*. Per finalitzar, la part del desenvolupament de l'aplicació s'han realitzat proves del funcionament amb resultats satisfactoris.

Per últim, també he ajudat al desenvolupament dels scripts de *MATLAB* i diagrames de blocs de *Simulink* i en la millora del control inicial calculat mitjançant reubicació de pols per tal d'obtenir una millor resposta i robustesa en el controlador final i en la implementació d'aquest en el codi programat al *Arduino*. A més, he col·laborat en el muntatge i disseny del prototip funcional, així com el de la placa electrònica i en la millora i reparació dels motors *HUB*.

DANIEL VAQUERIZO CID

En aquest Treball de Final de Grau, la majoria de projecte s'ha realitzat mitjançant treball en equip, ja que es va decidir treballar d'una forma conjunta per tal de tenir una mateixa implicació en obtenir nous coneixements i aplicar tots els conceptes apresos durant el Grau per part de tots els membres de l'equip electrònic. Tot i això, quan el projecte anava avançant i es tenien establertes les bases d'aquest i estaven clars els objectius, cadascun dels membres del grup es va responsabilitzar de diferents tasques, encara que els temes més complexos de disseny i implementació a més de resolució de diversos problemes i entrebancs que han anat sorgint, també s'han dut a terme conjuntament.

La meua aportació personal consisteix principalment en el desenvolupament dels *scripts* i esquemes de blocs a *MATLAB*. Per tal de poder fer tot el disseny del model del sistema i els respectius controladors he hagut de consultar informació referent als espais d'estats i teoria de control de assignatures donades i assignatures que no es trobaven dintre del pla d'estudis de la carrera. Aquesta tasca de lectura d'informació m'ha permès saber com es linealitzava un sistema d'equacions diferencials així com la forma de poder obtenir un espai d'estats a partir d'elles.

Un cop obtingudes les equacions del model, donat que tota la part de control s'ha fet des de zero, he hagut de realitzar primerament la linealització de les equacions no lineals del model del pèndul invertit i posterior creació del espai d'estats fent un anàlisi dels punts d'equilibri del model escollit. A continuació, he hagut de desenvolupar un primer controlador pel model fent servir l'assignació de pols, que és el mateix mètode fet servir durant tot el disseny de controladors. Posteriorment recordant com es discretitzava un model en espai d'estats, vaig calcular un nou controlador tenint en compte que el període de mostreig venia donat pels pols més ràpids en llaç tancat.

Tenint aquest sistema discret he pogut ampliar el sistema per tenir en compte el retard produït per l'acció de control fins als motors, per aquesta part m'ha fet falta revisar els apunts de enginyeria de control. Un cop acabada la part de disseny de controladors vaig realitzar un model no lineal per provar tots ells amb l'eina *Simulink*, cosa que no estava dins de les competències assolides a la carrera, ja que forma part de l'assignatura *Advanced Control Systems*. Després de provar totes les simulacions he hagut de redissenyar el control per augmentar el temps de mostreig de cara a millorar la mesura de velocitat dels motores, cosa que finalment va resultar inútil.

He hagut de realitzar varies simulacions extra per veure quina era la robustesa del model i controlador. Finalment, per a tancar la part de modelat i control, he hagut de fer unes proves per veure quins pols eren més adients per al prototip final.

D'altra banda, també he ajudat en el muntatge i disseny del prototip funcional, així com la placa electrònica feta servir i la selecció de components d'aquesta. A més també he ajudat a desenvolupar la part del software a *Arduino* i *Android*, i la millora i reparació dels motors *HUB*.

ÍNDEX

Capítol 1	INTRODUCCIÓ	1
1.1	<i>Antecedents i motivació</i>	2
1.2	<i>Objectius.....</i>	3
1.3	<i>Metodologia</i>	5
1.4	<i>Estructura</i>	8
Capítol 2	ESTAT DE L'ART	10
2.1	<i>Recorregut històric</i>	11
2.2	<i>Tipus de vehicle</i>	12
2.3	<i>Normativa</i>	13
Capítol 3	MODELAT, ANÀLISI I CONTROL DEL SISTEMA.....	14
3.1	<i>Identificació del model físic i equacions dinàmiques.....</i>	15
3.2	<i>Selecció variables d'estat</i>	15
3.3	<i>Obtenció de les equacions diferencials.....</i>	16
3.4	<i>Equacions diferencials del sistema no-lineal a MATLAB:</i>	19
3.5	<i>Linealització de les equacions</i>	19
3.5.1	<i>Punts d'equilibri naturals</i>	19
3.5.2	<i>Punts d'equilibri forçats</i>	20
3.5.3	<i>Obtenció de la matriu A</i>	20
3.5.4	<i>Obtenció de la matriu B</i>	21
3.5.5	<i>Obtenció de la matriu C</i>	21
3.5.6	<i>Matrius del sistema</i>	22
3.6	<i>Creació del model no simbòlic.....</i>	22
3.7	<i>Simulació del model sense llaç de control.....</i>	23
3.7.1	<i>Creació de l'espai d'estats.....</i>	23
3.7.2	<i>Anàlisi del sistema en espai d'estats en temps continu.</i>	24
3.7.3	<i>Obtenció d'un controlador per realimentació d'estats amb el mètode d'assignació de pols.....</i>	27
3.7.4	<i>Càlcul del guany per assignació de pols</i>	28
3.8	<i>Anàlisi del sistema lineal en llaç tancat.....</i>	28
3.9	<i>Model del sistema no-lineal amb Simulink.....</i>	33
3.9.1	<i>Creació del model del sistema no-lineal</i>	33
3.9.2	<i>Simulació del sistema no-lineal</i>	34

3.10	<i>Discretització del sistema lineal</i>	37
3.10.1	Selecció del període de mostreig	37
3.10.2	Càlcul del model discret lineal.....	38
3.11	<i>Anàlisi del sistema lineal discret en llaç tancat</i>	39
3.11.1	Simulació del sistema discret lineal en llaç tancat amb MATLAB	39
3.11.2	Simulació del sistema discret no lineal en llaç tancat amb Simulink	42
3.12	<i>Model ampliat amb retard d'actuació al model</i>	44
3.12.1	Obtenció del sistema ampliat en EE per introduir el retard d'actuació.....	44
3.12.2	Obtenció del controlador pel sistema discret amb retard	46
3.12.3	Anàlisi del sistema ampliat discret amb retard	46
3.13	<i>Model ampliat amb control integral</i>	48
3.13.1	Control integral al sistema sense retard	48
3.13.2	Control integral al sistema amb retard	51
Capítol 4	SIMULACIÓ A LABVIEW	54
4.1	<i>Diagrama de blocs</i>	55
4.2	<i>Panell frontal</i>	59
Capítol 5	ARQUITECTURA ELECTRÒNICA	60
5.1	<i>Microcontrolador</i>	61
5.2	<i>Acceleròmetre i giroscopi</i>	62
5.3	<i>Motors</i>	62
5.4	<i>Driver</i>	64
5.5	<i>Bateries</i>	65
5.6	<i>Bluetooth</i>	65
Capítol 6	PROTOTIP FUNCIONAL	66
6.1	<i>Construcció prototip funcional</i>	67
6.2	<i>Muntatge part electrònica</i>	72
6.2.1	Motors.....	72
6.2.2	Placa electrònica	74
6.2.3	Potenciòmetre per obtenir el gir.....	77
6.2.4	Botó de parada i posada en marxa.....	77
Capítol 7	APLICACIÓ ANDROID	78
7.1	<i>Introducció</i>	79
7.2	<i>Aplicació</i>	80
7.2.1	Menú inicial	80

7.2.2	Pantalla control	82
7.2.3	Pantalla visor	91
Capítol 8	CONFIGURACIÓ I IMPLEMENTACIÓ ARDUINO	93
8.1	<i>Configuració hardware</i>	94
8.1.1	Motors.....	94
8.1.2	MPU (acceleròmetre i giroscopi).....	96
8.1.3	Bluetooth.....	97
8.2	<i>Implementació software</i>	98
8.2.1	Obtenció variables d'estat	98
8.2.2	Període de mostreig.....	113
8.2.3	Conversió força-intensitat.....	113
8.2.4	Limitació motors.....	114
8.2.5	Fre en cas de canvi de senyal de control.....	115
8.2.6	Implementació control.....	115
8.2.7	Fluxframes	118
Capítol 9	PROVES.....	121
9.1	<i>Proves del controlador al prototip</i>	122
9.1.1	Primeres proves de control.....	122
9.1.2	Control òptim	125
9.1.3	Cerca dels millors pols per al controlador.....	131
9.1.4	Robustesa del controlador	138
9.1.5	Proves del controlador final	144
9.1.6	Control integral	145
9.1.7	Control de posició	148
9.2	<i>Proves de l'aplicació Android amb el prototip</i>	151
9.2.1	Visor.....	151
9.2.2	Control.....	152
Capítol 10	ESTUDI DE MERCAT	155
10.1	<i>Benchmarking</i>	156
10.2	<i>Conclusions</i>	160
Capítol 11	CONCEPTUALITZACIÓ	162
11.1	<i>Introducció</i>	163
11.2	<i>Fase 1</i>	164
11.3	<i>Fase 2</i>	165

11.4	<i>Fase 3</i>	167
11.5	<i>Briefing</i>	169
Capítol 12	DIMENSIONAT	171
12.1	<i>Estudi antropomètric</i>	172
12.1.1	Introducció	172
12.1.2	Seqüència d'ús del vehicle	172
12.1.3	Mesures antropomètriques considerades	174
12.1.4	Mostres utilitzades	175
12.1.5	Dades obtingudes.....	175
12.1.6	Percentils.....	176
12.1.7	Selecció final.....	178
12.2	<i>Ergonomia</i>	179
12.2.1	Introducció	179
12.2.2	Manillar	179
12.2.3	Plataformes	181
12.3	<i>Realització de la primer maqueta</i>	184
12.4	<i>Dimensionat del quadrilàter articulat</i>	186
12.5	<i>Realització de la segona maqueta</i>	192
Capítol 13	DISSENY I MODELAT 3D	193
13.1	<i>Introducció</i>	194
13.2	<i>Subconjunt xassís</i>	197
13.2.1	Xassís	198
13.2.2	Protector de les bateries	210
13.3	<i>Subconjunt quadrilàter articulat</i>	214
13.3.1	Ideació	214
13.3.2	Barra lateral.....	218
13.3.3	Barra superior.....	229
13.3.4	Barra inferior	239
13.3.5	Amortidor	245
13.4	<i>Subconjunt carrosseria</i>	247
13.4.1	Ideació	247
13.4.2	Característiques del subconjunt.....	253
13.4.3	Carrosseria electrònica.....	255
13.4.4	Carrosseria de la bateria	259

13.4.5	Caixa	262
13.4.6	Bateries.....	265
13.4.7	Caixa electrònica	266
13.4.8	Llum posterior	267
13.5	<i>Subconjunt plataformes</i>	270
13.5.1	Plataformes	271
13.5.2	Suport plataformes	278
13.6	<i>Subconjunt tronc</i>	291
13.6.1	Ideació	291
13.6.2	Part fixa del tronc (Tronc fix).....	298
13.6.3	Mordassa.....	300
13.6.4	Manillar/Part mòbil (Tronc Mòbil)	303
13.6.5	Tensor.....	305
13.6.6	Punys	306
13.6.7	Panell d'informació	307
13.7	<i>Subconjunt roda</i>	313
13.7.1	Parafang	314
13.7.2	Llanta	321
13.7.3	Neumàtic.....	325
13.7.4	Motor HUB	326
13.8	<i>Subconjunt llum frontal</i>	328
13.8.1	Ideació	328
13.8.2	Característiques funcionals del subconjunt	330
Capítol 14	MATERIALS I PROCESSOS DE FABRICACIÓ.....	332
Capítol 15	ESTÈTICA.....	337
15.1	<i>Manual d'identitat</i>	338
15.1.1	Logotip.....	338
15.1.2	Colorimetria.....	338
15.1.3	Tipografia.....	339
15.1.4	Marges de seguretat	339
15.1.5	Usos correctes del logotip.....	339
15.1.6	Usos Incorrectes del logotip.....	340
15.1.7	Imatges emprades.....	340
15.2	<i>Color & Trim</i>	342

15.3	<i>Presentació del producte</i>	346
Capítol 16	RETROSPECTIVA	370
16.1	<i>DAFO</i>	371
16.1.1	Conclusions del DAFO.....	372
16.2	<i>Feedback de potencials usuaris</i>	373
16.2.1	Altres opinions de diversos entrevistats	374
Capítol 17	PRESSUPOST	377
Capítol 18	CONCLUSIONS	380
18.1	<i>Millores</i>	383
Capítol 19	AGRAÏMENTS	386
Capítol 20	BIBLIOGRAFIA	388
Capítol 21	ANNEXOS	i
21.1	<i>ANNEX A – PROGRAMES EMPRATS</i>	<i>ii</i>
21.2	<i>ANNEX B – BENCHMARKING ELECTRÒNIC</i>	<i>xx</i>
21.3	<i>ANNEX C – BENCHMARKING DE DISSENY</i>	<i>xxv</i>
21.4	<i>ANNEX D – CONCEPTUALITZACIÓ</i>	<i>lix</i>
21.5	<i>ANNEX E – ESTÈTICA</i>	<i>lxxxvi</i>
21.6	<i>ANNEX F – VISITA A SEGWAY</i>	<i>xcii</i>
21.7	<i>ANNEX G – INFORMACIÓ MOTORS</i>	<i>xcv</i>
21.8	<i>ANNEX H – CODIS DEL PROJECTE</i>	<i>xcvi</i>
21.9	<i>ANNEX I – PLÀNOLS</i>	<i>cxxii</i>
21.10	<i>ANNEX J – DATASHEETS</i>	<i>cxxv</i>

ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1 Esquema metodologia Scrum	5
Figura 2 Taulell Kanban a Trello	6
Figura 3: IBOT alçat	11
Figura 4: Tipus de vehicle auto-basculants.....	12
Figura 5 Pèndul Invertit	15
Figura 6 Resultat de la funció Step sobre el sistema linealitzat en espai d'estats.....	25
Figura 7 Resultat de la funció Impulse sobre el sistema linealitzat en espai d'estats	25
Figura 8 Resultat de la funció Initial amb $x_3=3,12\text{rad}$ sobre el sistema linealitzat en espai d'estats	26
Figura 9 Pla complex, verd=zona d'estabilitat i vermell=zona d'inestabilitat	27
Figura 10 Esquema de control per a realimentació d'estats mesurats	28
Figura 11 Resultat de la funció Impulse sobre el sistema en llaç tancat	29
Figura 12 Resultat de la funció Initial sobre el sistema en llaç tancat.....	30
Figura 13 Resultat de la funció Initial sobre el sistema en llaç tancat, diferents condicions inicials a esquerra i dreta	31
Figura 14 Esquema de control per realimentació d'estats a Simulink.....	32
Figura 15 Valors dels blocs emprats a la simulació del sistema en llaç tancat linealitzat.....	32
Figura 16 Resultat simulació sistema sense retard lineal en continu amb Simulink	33
Figura 17 Esquema de blocs resultant corresponent al sistema no lineal a Simulink.....	34
Figura 18 Bloc del subsistema creat per al model no lineal a Simulink	34
Figura 19 Esquema de control per realimentació d'estats fent servir el bloc del sistema no lineal	35
Figura 20 Resultat de la simulació aplicant una condició inicial de $x_3=3.12$ sobre el sistema en llaç tancat no lineal.....	36
Figura 21 Valors de configuració dels blocs emprats al sistema en llaç tancat no lineal	36
Figura 22 Pla discret i zones d'estabilitat de pols discrets.....	39
Figura 23 Resultat de la simulació aplicant un graó sobre el sistema en llaç tancat linealitzat discret	40
Figura 24 Resultat de la simulació aplicant diferents condicions inicials sobre el sistema en llaç tancat linealitzat discret	41
Figura 25 Esquema de control per realimentació d'estats del sistema no lineal discret.....	42
Figura 26 Valors de simulació a Simulink corresponent al sistema no lineal discret.....	43
Figura 27 Resultat de la simulació aplicant un graó sobre el sistema en llaç tancat no lineal discret	43
Figura 28 Esquema per realimentació d'estats del sistema no lineal discret amb retard d'actuació a Simulink	46
Figura 29 Valors dels blocs pel sistema en llaç tancat no lineal discret	47
Figura 30 Resultat de la simulació aplicant una condició inicial $x_3=3,12\text{rad}$ sobre el sistema en llaç tancat no lineal discret amb retard	47

Figura 31 Esquema per realimentació d'estats amb control integral en llaç tancat sobre el sistema no lineal discret	49
Figura 32 Valors dels blocs pel control integral sobre el sistema no lineal discret	50
Figura 33 Valors del bloc transfer function per a aconseguir un integrador discret	50
Figura 34 Resultat de simulació amb condició inicial 3,12rad i consigna 1m sobre el sistema no lineal discret amb control integral	51
Figura 35 Esquema per realimentació d'estats amb control integral en llaç tancat sobre el sistema no lineal discret amb retard	52
Figura 36 Valors dels blocs de simulació del sistema no lineal amb control integral i retard d'actuació... 53	53
Figura 37 Resultat de simulació amb condició inicial 3,12rad i consigna 1m sobre el sistema no lineal discret amb control integral i retard	53
Figura 38 Esquema de control del sistema lineal a Matlab sense retard	55
Figura 39 Esquema de control i programació de la simulació a LabView	56
Figura 40 Esquema blocs representació 3D.....	58
Figura 41 Panel frontal del programa de simulació del prototip.....	59
Figura 42 Microcontrolador ATMega2560	61
Figura 43 Placa Arduino MEGA	61
Figura 44 GY-521 MPU-6050.....	62
Figura 45 Protocol I2C	62
Figura 46 Motors HUB.....	63
Figura 47 Gràfica F/I Motors	63
Figura 48 Driver Motors HUB	64
Figura 49 Mòdul Bluetooth HC-05	65
Figura 50: Motor hub i forquilla rebudes de la FIB	67
Figura 51: Estructura amb lamina d'acer	68
Figura 52: Perfil d'acer quadrat.....	68
Figura 53:Imatge model per a l'estètica de la plataforma	69
Figura 54: Sketch i modelat de la proposta	69
Figura 55 Estructura	69
Figura 56 Estat inicial del cablejat dels motors	72
Figura 57 Motor amb cables canviats i cables per als sensor hall.....	72
Figura 58 Detall d'un dels motors amb el cablejat protegit	73
Figura 59 Fixació roda, costat cable	73
Figura 60 Fixació roda, costat rosca mètrica.....	73
Figura 61 Prototip amb rodes.....	73
Figura 62 Detall terminals Faston	74
Figura 63 Connexió entre CAN motors i CAN-bus Shield	74
Figura 64 Placa electrònica inicial	75

<i>Figura 65 Esquema de connexió final</i>	75
<i>Figura 66 Placa electrònica final (1)</i>	76
<i>Figura 67 Placa electrònica final (2)</i>	76
<i>Figura 68 Model amb la placa electrònica fixada</i>	76
<i>Figura 69 Detall del manillar girat</i>	77
<i>Figura 70 Detall potenciòmetre (1)</i>	77
<i>Figura 71 Detall potenciòmetre (2)</i>	77
<i>Figura 72 Detall botó</i>	77
<i>Figura 73 Detall posició botó</i>	77
<i>Figura 74 Gràfic del us de iOS vs Android vs Windows Phone a Espanya als últims anys</i>	79
<i>Figura 75 MIT APP INVENTOR i Android com a plataforma Open Source</i>	79
<i>Figura 76 Menú Inicial de la App</i>	80
<i>Figura 77 Gestió dels botons Control, Dades, Tancar i botó Enrere del telèfon</i>	81
<i>Figura 78 Gestió de musica de fons</i>	81
<i>Figura 79 Programació de la redirecció al Bloc Agile</i>	82
<i>Figura 80 Pantalla control</i>	82
<i>Figura 81 Desactivació dels modes de control i notificació al iniciar la pantalla</i>	83
<i>Figura 82 Programació de la tornada al Menú Inicial</i>	83
<i>Figura 83 Connexió mitjançant Bluetooth i habilitació del control per fletxes</i>	84
<i>Figura 84 Desconnexió del Bluetooth i inhabilitació del control</i>	84
<i>Figura 85 Caràcter a enviar segons direcció desitjada</i>	85
<i>Figura 86 Creació de les funcions de direcció, gestió de les imatges dels botons i enviament de caràcter</i>	87
<i>Figura 87 Gestió de les fletxes i crida a les funcions respectives</i>	88
<i>Figura 88 Activació/Desactivació de l'acceleròmetre</i>	89
<i>Figura 89 Gestió de l'acceleròmetre segons orientació del mòbil i crida a les funcions determinades</i>	90
<i>Figura 90 Pantalla visor</i>	91
<i>Figura 91 Programació de la tornada al Menú Inicial</i>	91
<i>Figura 92 Activació/Desactivació del Bluetooth</i>	92
<i>Figura 93 Recepció de dades mitjançant Bluetooth</i>	92
<i>Figura 94 Esquema lògic</i>	99
<i>Figura 95 Temps de mostreig vs. temps d'actuació</i>	101
<i>Figura 96 Resposta del sistema lineal en llaç tancat amb pols calculats davant el graó i l'impuls</i>	102
<i>Figura 97 Resultat de simulació a entrada graó i impuls sobre el sistema en llaç tancat discretitzat amb 50ms</i>	104
<i>Figura 98 Esquema de realimentació d'estats del sistema en llaç tancat amb temps de mostreig 50ms i retard d'actuació</i>	105
<i>Figura 99 Resultat de simulació a Simulink de la condició inicial sobre el sistema no lineal discret de 50ms i retard</i>	106

Figura 100 Esquema de realimentació d'estats del sistema en llaç tancat amb temps de mostreig 50ms i control integral.....	107
Figura 101 Resposta del sistema no lineal discret amb temps de mostreig 50ms a una consigna de 1m i condició inicial $x_3=3,12rad$	107
Figura 102 Esquema de realimentació d'estats del sistema en llaç tancat amb temps de mostreig 50ms, control integral i retard.....	108
Figura 103 Resposta del sistema en llaç tancat de 50ms amb retard i control integral sota una consigna de 1m i condició inicial $x_3=3,12rad$	109
Figura 104 Taula resum trames enviades pels motors.....	110
Figura 105 Diagrama de flux del programa d'Arduino.....	118
Figura 106 Diagrama de flux comprovació.....	119
Figura 107 Diagrama de flux obtenció de dades.....	120
Figura 108 Esquema de control discret amb retard.....	122
Figura 109 Resultat simulació esquema de control discret amb retard sota condició inicial $x_3=3,12rad$	123
Figura 110 Esquema de control discret amb retard i amb saturador.....	124
Figura 111 Resposta del sistema amb el saturador sota la condició inicial $x_3=3,12rad$	125
Figura 112 Esquema de proves del control òptim.....	127
Figura 113 Resposta del control òptim sota condició inicial 3,12rad a l'angle phi (1).....	127
Figura 114 Resposta del control òptim sota condició inicial 3,12rad a l'angle phi (2).....	128
Figura 115 Resposta control òptim discret sota condició inicial 3,12rad.....	130
Figura 116 Resultats control òptim amb control integral, consigna 1m i condició inicial 3,12rad sense saturador.....	130
Figura 117 Resultats control òptim amb control integral, consigna 1m i condició inicial 3,12rad amb saturador.....	131
Figura 118 Esquema de proves per escombrat pols sense saturador i amb saturador.....	132
Figura 119 Resultat escombrat de pols (1).....	132
Figura 120 Resultat escombrat de pols (2).....	133
Figura 121 Resultat escombrat de pols (3).....	134
Figura 122 Resultat escombrat de pols (4).....	134
Figura 123 Resultat escombrat de pols (5).....	135
Figura 124 Resultat escombrat de pols (6).....	135
Figura 125 Escombrat de pols final sense saturador.....	137
Figura 126 Escombrat de pols final amb saturador.....	137
Figura 127 Escombrat paràmetres, paràmetre l.....	139
Figura 128 Escombrat paràmetres, paràmetre l amb saturador.....	139
Figura 129 Escombrat paràmetres, paràmetre m.....	140
Figura 130 Escombrat paràmetres, paràmetre m amb saturador.....	141
Figura 131 Escombrat paràmetres, paràmetre M.....	142

<i>Figura 132</i>	<i>Escombrat paràmetres, paràmetre M amb saturador</i>	<i>142</i>
<i>Figura 133</i>	<i>Escombrat paràmetres de la planta</i>	<i>143</i>
<i>Figura 134</i>	<i>Escombrat paràmetres de la planta amb saturador</i>	<i>144</i>
<i>Figura 135</i>	<i>Esquema de control final amb retard i control integral</i>	<i>145</i>
<i>Figura 136</i>	<i>Resposta del sistema final amb control integral i retard</i>	<i>146</i>
<i>Figura 137</i>	<i>Esquema de control final amb retard, control integral i saturador</i>	<i>146</i>
<i>Figura 138</i>	<i>Resposta del sistema final amb control integral, retard i saturador</i>	<i>147</i>
<i>Figura 139</i>	<i>Resultat simulació amb retard, control integral i saturació amb pols més lents</i>	<i>148</i>
<i>Figura 140</i>	<i>Esquema de control amb retard i control de posició</i>	<i>149</i>
<i>Figura 141</i>	<i>Resultat de la simulació del sistema amb control de posició i retard</i>	<i>149</i>
<i>Figura 142</i>	<i>Esquema de control amb retard, control de posició i saturador</i>	<i>150</i>
<i>Figura 143</i>	<i>Resultat de la simulació del sistema amb control de posició, retard i saturador</i>	<i>150</i>
<i>Figura 144</i>	<i>Recepció de dades a la Pantalla visor amb el vehicle estàtic</i>	<i>151</i>
<i>Figura 145</i>	<i>Recepció de dades a la pantalla visor amb el vehicle orientat endavant i endarrere</i>	<i>152</i>
<i>Figura 146</i>	<i>Comprovació del funcionament dels botons direccionals i la recepció del valor correcte per port sèrie</i>	<i>153</i>
<i>Figura 147</i>	<i>Comprovació de funcionament del bitó STOP i recepció del valor correcte per port sèrie</i>	<i>154</i>
<i>Figura 148</i>	<i>Comprovació del correcte funcionament de l'acceleròmetre i recepció del valor correcte per port sèrie</i>	<i>154</i>
<i>Figura 149</i>	<i>Segway PT, primer model</i>	<i>156</i>
<i>Figura 150</i>	<i>Taulell moodboard de la plana web Pinterest</i>	<i>167</i>
<i>Figura 151</i>	<i>Piaggio MP3</i>	<i>168</i>
<i>Figura 152</i>	<i>Seqüència d'ús al pujar al vehicle</i>	<i>172</i>
<i>Figura 153</i>	<i>Obtenció de la distancia del manillar al cos</i>	<i>173</i>
<i>Figura 154</i>	<i>Mesures antropomètriques considerades</i>	<i>174</i>
<i>Figura 155</i>	<i>Distribució de mostres preses entre homes i dones per edat</i>	<i>175</i>
<i>Figura 156</i>	<i>Angles de la posició de confort de l'esquelet</i>	<i>179</i>
<i>Figura 157</i>	<i>Angle del manillar respecte la base</i>	<i>179</i>
<i>Figura 158</i>	<i>Dimensions del manillar regulable</i>	<i>180</i>
<i>Figura 159</i>	<i>Amplada del manillar</i>	<i>180</i>
<i>Figura 160</i>	<i>Àrea de treball de les mans amb el braços encogits</i>	<i>180</i>
<i>Figura 161</i>	<i>Afectació dels nervis segons la posició del canell</i>	<i>181</i>
<i>Figura 162</i>	<i>Inclinació (vista en planta) del manillar</i>	<i>181</i>
<i>Figura 163</i>	<i>Inclinació (vista en alçat) del manillar</i>	<i>181</i>
<i>Figura 164</i>	<i>Alçada òptima per la comoditat de l'usuari i el bon funcionament del vehicle</i>	<i>182</i>
<i>Figura 165</i>	<i>Dimensionat de la plataforma</i>	<i>182</i>
<i>Figura 166</i>	<i>Inclinació de la part posterior de la plataforma</i>	<i>183</i>
<i>Figura 167</i>	<i>Texturitzat de la plataforma per una bona adherència</i>	<i>183</i>

<i>Figura 168: Formes de la plataforma que eviten que el peu se surti</i>	183
<i>Figura 169: Esbós del quadrilàter articulad</i>	184
<i>Figura 170 Explicació de l'esquema per a la simulació</i>	186
<i>Figura 171: Restriccions principals</i>	186
<i>Figura 172: Primera simulació amb models d'un i dos quadrilàters</i>	188
<i>Figura 173: Dimensionat final del quadrilàter i d'altres peces que el condicionen</i>	189
<i>Figura 174: Dimensions del quadrilàter i altres peces que el condicionen</i>	190
<i>Figura 175: Angle màxim d'inclinació</i>	190
<i>Figura 176: Distància mínima entre el vehicle i el terra en la posició més inclinada</i>	191
<i>Figura 177: Motorista més plegat que la Piaggio MP3</i>	191
<i>Figura 178: Esbós 1 del xassís</i>	198
<i>Figura 179: Esbós 2 del xassís</i>	199
<i>Figura 180: Esbós 3 del xassís</i>	200
<i>Figura 181: Esbós 4 del xassís</i>	200
<i>Figura 182: Esbós 5 del xassís monocasc</i>	201
<i>Figura 183: Esbós 6 del xassís monocasc</i>	201
<i>Figura 184: Esbossos de la forma del xassís</i>	202
<i>Figura 185: Refinament del xassís final</i>	203
<i>Figura 186: Meitat interior del bastidor</i>	204
<i>Figura 187: Bastidor inicial</i>	204
<i>Figura 188: Distribució de forces i restriccions</i>	205
<i>Figura 189: Mallat del bastidor</i>	205
<i>Figura 190: Representació de les deformacions del bastidor</i>	205
<i>Figura 191: Representació de les tensions del bastidor</i>	206
<i>Figura 192: Meitat interior del bastidor nervat</i>	206
<i>Figura 193: Deformacions del bastidor nervat</i>	207
<i>Figura 194: Meitat interior del bastidor amb el nervat millorat</i>	207
<i>Figura 195: Deformacions del bastidor nervat millorat</i>	208
<i>Figura 196: Protector del càrter d'una moto d'enduro</i>	210
<i>Figura 197: Esbossos del protector inferior</i>	211
<i>Figura 198: Direcció de la llum en la secció del protector de les bateries</i>	212
<i>Figura 199: Sketching del quadrilàter articulad nº1</i>	214
<i>Figura 200: Sketching del quadrilàter articulad nº3</i>	215
<i>Figura 201: Sketching del quadrilàter articulad nº4</i>	216
<i>Figura 202: Sketching del quadrilàter articulad nº5</i>	216
<i>Figura 203: Sketching del quadrilàter articulad nº2</i>	217
<i>Figura 204: Primers esbossos de la barra lateral</i>	218
<i>Figura 205: Plantejament de la forma de la barra</i>	219

<i>Figura 206: Barra lateral triangular i nervada</i>	219
<i>Figura 207: La barra lateral apropant-se a la solució definitiva</i>	220
<i>Figura 208: Definició de la peça</i>	220
<i>Figura 209: Plantejament d'altres opcions de barra</i>	221
<i>Figura 210: Primer estudi, es mostren les dues cares de la peça</i>	222
<i>Figura 211: Ampliació del nervi on es concentren les tensions</i>	222
<i>Figura 212: El final del nervi segueix concentrant tensió</i>	222
<i>Figura 213: Parts que pateixen més tensió</i>	223
<i>Figura 214: Nou estat de tensions després d'afegir nous nervis</i>	223
<i>Figura 215: Deformacions de la última versió de la peça</i>	224
<i>Figura 216: Tensions a les dues cares de la peça en el nou estudi</i>	224
<i>Figura 217: Deformacions en el nou estudi</i>	225
<i>Figura 218: Tensions de la peça en aplicar moment torsor</i>	226
<i>Figura 219: Primeres opcions de distribuir les barres</i>	229
<i>Figura 220: Altres opcions de barres superiors</i>	229
<i>Figura 221: Opcions de fixació del rodament</i>	230
<i>Figura 222: Disseny de les barres per allotjar ròtules als extrems</i>	230
<i>Figura 223: Doble barra superior</i>	231
<i>Figura 224: Últim disseny en paper de la barra superior</i>	231
<i>Figura 225: Estructura nervada del basculant de la KTM Duke</i>	232
<i>Figura 226: Primer estudi de tensions de la barra</i>	233
<i>Figura 227: Detall del punt de concentració de tensions</i>	234
<i>Figura 228: Zona de tensions després de la modificació dels nervis</i>	234
<i>Figura 229: Deformacions després de la primera modificació</i>	235
<i>Figura 230: Tensions després del canvi de nervat i gruix de la peça</i>	235
<i>Figura 231: Desplaçaments de la peça del disseny final</i>	236
<i>Figura 232: primeres opcions de barra inferior</i>	239
<i>Figura 233: Es plantegen perfils i recorreguts de la barra</i>	240
<i>Figura 234: Altres dissenys de la barra inferior</i>	240
<i>Figura 235: Últim disseny de la barra i estudis de la seva secció</i>	241
<i>Figura 236: Detall de les tensions concentrades</i>	242
<i>Figura 237: Estudi de tensions de la peça</i>	242
<i>Figura 238: Estat de tensions després donar més gruix a la barra</i>	243
<i>Figura 239: Amortidor del vehicle</i>	245
<i>Figura 240: Primers esbossos on es contemplava la carrosseria, sèrie 1</i>	247
<i>Figura 241: Primers esbossos on es contemplava la carrosseria, sèrie 2</i>	248
<i>Figura 242: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie nº1</i>	249
<i>Figura 243: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie nº3</i>	250

<i>Figura 244: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie n°2</i>	250
<i>Figura 245: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie n°4</i>	251
<i>Figura 246: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie n°5</i>	251
<i>Figura 247: Procés de llimar</i>	252
<i>Figura 248: Resultat de les sessions de maquetatge</i>	252
<i>Figura 249: En procés</i>	252
<i>Figura 250: Conjunt de carrosseries plàstiques explosionades</i>	253
<i>Figura 251: Zoom de la junta entre la Caixa i la Carrosseria de la bateria</i>	254
<i>Figura 252: Deformacions del primer estudi</i>	255
<i>Figura 253: Deformacions del segon estudi</i>	256
<i>Figura 254: Primer estudi de deformacions</i>	259
<i>Figura 255: Sèrie d'sketching de la Llum posterior</i>	267
<i>Figura 256: Esbós 1 plataformes</i>	271
<i>Figura 257: Esbós 2 plataforma</i>	272
<i>Figura 258: Esbós 3 plataforma</i>	272
<i>Figura 259: Esbós 4 plataforma</i>	273
<i>Figura 260: Esbossos 5 plataforma</i>	273
<i>Figura 261: Esbossos 6 plataforma</i>	274
<i>Figura 262: Esbossos del patró de textura de la plataforma</i>	275
<i>Figura 263: Estat de deformacions de la plataforma de Polipropilè (PP)</i>	276
<i>Figura 264: Esbós 1 del suport de les plataformes</i>	278
<i>Figura 265: Esbós 2 del suport de les plataformes</i>	279
<i>Figura 266: Esbós 3 del suport de les plataformes</i>	279
<i>Figura 267: Esbós 4 del suport de les plataformes</i>	280
<i>Figura 268: Esbós 5 del suport de les plataformes</i>	280
<i>Figura 269 Suport de les plataformes definitiu</i>	281
<i>Figura 270: Punts de fixació</i>	282
<i>Figura 271: Sol·licitacions exteriors</i>	282
<i>Figura 272 Propietats del material</i>	283
<i>Figura 273: D'esquerra a dreta, tensions i deformacions de la peça</i>	284
<i>Figura 274: D'esquerra a dreta, tensions i deformacions de la peça</i>	285
<i>Figura 275: D'esquerra a dreta, tensions i deformacions de la peça</i>	288
<i>Figura 276: Primera sessió d'sketching del Subconjunt tronc</i>	292
<i>Figura 277: Segona sessió d'sketching del Subconjunt tronc</i>	293
<i>Figura 278: Tercera sessió d'sketching del Subconjunt tronc</i>	294
<i>Figura 279: Quarta sessió d'sketching del Subconjunt tronc</i>	294
<i>Figura 280: Primer modelat del concepte</i>	295
<i>Figura 281: Cinquena sessió d'sketching del Subconjunt tronc</i>	295

<i>Figura 282: Evolució del model de tubs separats a tubs units</i>	296
<i>Figura 283: Esbossos per a la subjecció del manillar</i>	297
<i>Figura 284: Muntatge de la barra al xassís</i>	298
<i>Figura 285: Zones on s'aplica cordó de soldadura</i>	298
<i>Figura 286: Inserts que possibiliten la fixació del llum frontal</i>	299
<i>Figura 287: Ranures de la part fixe del tronc</i>	299
<i>Figura 288: Mordassa de bicicleta</i>	300
<i>Figura 289: Esbossos de la mordassa</i>	300
<i>Figura 290: Potències de bicicleta</i>	301
<i>Figura 291: Disseny final de la mordassa</i>	301
<i>Figura 292: Detall de pestanyes de la potència (encerclades)</i>	302
<i>Figura 293: Separador de les barres del manillar</i>	303
<i>Figura 294: Tensor</i>	303
<i>Figura 295: Posició mínima i màxima del manillar</i>	304
<i>Figura 296: Estudi formal del manillar</i>	304
<i>Figura 297: Explosionat del tensor</i>	305
<i>Figura 298: Punys</i>	306
<i>Figura 299: Primers sessió d'esbossos del panell d'informació</i>	307
<i>Figura 300: Segona sessió d'esbossos del panell d'informació</i>	308
<i>Figura 301: Disseny definitiu esbossat del panell d'informació</i>	309
<i>Figura 302: Gràfica d'avís</i>	310
<i>Figura 303: Gràfica de velocitat</i>	311
<i>Figura 304: Gràfica d'informació de la bateria</i>	311
<i>Figura 305: Gràfica d'informació de la inclinació</i>	311
<i>Figura 306: El parafang recull part de la terra que llença la roda</i>	314
<i>Figura 307: El parafang cobreix un 50 % de la roda</i>	314
<i>Figura 308: Diversos esbossos de la primera fase d'ideació</i>	315
<i>Figura 309: Esbossos del parafang, centrats en les possibilitats estètiques</i>	316
<i>Figura 310: Deformació del parafang al primer estudi</i>	317
<i>Figura 311: Deformacions després de nerval l'estructura</i>	318
<i>Figura 312: Tensions del Parafangs nerval</i>	318
<i>Figura 313: Sessió d'esbossos de llantes en mode pluja d'idees</i>	321
<i>Figura 314: Diverses llantes muntades al pneumàtic modelat en 3D</i>	322
<i>Figura 315: Sketching de possibilitats de llantes tipus tot terreny</i>	323
<i>Figura 316: Variacions formals de la llanta</i>	324
<i>Figura 318: Neumàtic 2 del vehicle</i>	325
<i>Figura 318: Neumàtic 1 del vehicle</i>	325
<i>Figura 319: A l'eix se li fan dos mecanitzats</i>	326

<i>Figura 320: Sèrie d'esbossos en perfil i perspectiva de possibles models</i>	328
<i>Figura 321: Sèrie d'sketching de llums frontals i carrosseries</i>	328
<i>Figura 322: Sessió d'esbossos de les possibilitats formals dels LED's</i>	329
<i>Figura 323: Imatges referents per al color & trim</i>	342
<i>Figura 324 Finestra principal de MATLAB</i>	ii
<i>Figura 325 Finestra principal de MATLAB amb editor de Scripts obert</i>	iii
<i>Figura 326 Finestra principal de MATLAB per obrir Simulink</i>	v
<i>Figura 327 Finestra de navegador de llibreries de Simulink</i>	vi
<i>Figura 328 Finestra principal de Simulink sense cap esquema</i>	vi
<i>Figura 329 Finestra principal de Simulink amb un esquema obert</i>	vii
<i>Figura 330 Finestra de paràmetres d'un bloc, en aquest cas un Transport Delay</i>	vii
<i>Figura 331 Finestra de gràfiques de Simulink, dades enregistrades per un Scope</i>	viii
<i>Figura 332 Finestra de gràfiques de MATLAB, dades enregistrades al workspace i mostrades amb la funció plot()</i>	viii
<i>Figura 333 Panell frontal (Esquerra) i Diagrama de blocs (Dreta)</i>	ix
<i>Figura 334 Paletes del Panell frontal</i>	x
<i>Figura 335 Paletes de Diagrama de blocs</i>	xi
<i>Figura 336 Botó Run</i>	xi
<i>Figura 337 Botó Run continuously</i>	xi
<i>Figura 338 Botó Abort Execution</i>	xi
<i>Figura 339 Botó Highlight Execution</i>	xi
<i>Figura 340 Pantalla principal MIT App Inventor 2</i>	xii
<i>Figura 341 Pantalla Designer al iniciar o obrir un projecte</i>	xiii
<i>Figura 342 Paletes bàsiques per a la inclusió de components</i>	xiii
<i>Figura 343 Visor on col·locar els components i que simula la pantalla del telèfon</i>	xiv
<i>Figura 344 Menú on apareixen tots els components inclosos en la App</i>	xv
<i>Figura 345 Menú de propietats d'un botó</i>	xvi
<i>Figura 346 Pantalla Blocks amb blocs del botó Control per incloure-hi</i>	xvii
<i>Figura 347 Diferents blocs de control</i>	xvii
<i>Figura 348 Finestra principal de l'IDE d'Arduino</i>	xviii
<i>Figura 349: D'esquerra a dreta, Segway i2 i x2</i>	xxv
<i>Figura 350: Vehicle Genny</i>	xxvii
<i>Figura 351: Genny en ús</i>	xxvii
<i>Figura 352: D'esquerra a dreta, Freeyoyo usat en un camp de golf i pel carrer</i>	xxix
<i>Figura 353: Detalls del seient i el manillar del vehicle</i>	xxx
<i>Figura 354: Els tres models de l'empresa: City, Big Wheel i Mini</i>	xxxi
<i>Figura 355: Ninebot E</i>	xxxv
<i>Figura 356: Ninebot C</i>	xxxv

<i>Figura 357: Ninebot One</i>	xxxvii
<i>Figura 358: Els tres models de Toyota, el Winglet S, M i L</i>	xxxviii
<i>Figura 359: Winglet L en ús</i>	xxxix
<i>Figura 360: Vehicle Hovertrax</i>	xli
<i>Figura 361: IBOT alçat i baixant escales</i>	xlili
<i>Figura 362: Shredder des de dos punts de vista</i>	xliv
<i>Figura 363: El vehicle, en versió prototip, al costat del que s'ha ideat</i>	xlvii
<i>Figura 364: Mecanisme per bascular el pes</i>	xlviii
<i>Figura 365: Vehicle Ryno</i>	xliv
<i>Figura 366: Un dels primers prototips</i>	xliv
<i>Figura 367: OneWheel en ús</i>	li
<i>Figura 368: Vehicle Solowheel</i>	liii
<i>Figura 369: Solowheel en ús</i>	liii
<i>Figura 370: Segway Centaur</i>	lv
<i>Figura 371: Opcions de conducció</i>	lv
<i>Figura 372: Yike Bike en ús</i>	lvii
<i>Figura 373: Model V, C i C plegat</i>	lvii
<i>Figura 374: Segway Vespa</i>	xcii
<i>Figura 375: Segway X2 en funcionament</i>	xcii
<i>Figura 376: Visita al taller amb el cap tècnic</i>	xciii
<i>Figura 377: A l'esquerra el motor elèctric. A la dreta tota l'electrònica del vehicle</i>	xciii
<i>Figura 378: Provant la cadira de rodes Genny</i>	xciv

ÍNDEX DE TAULES

<i>Taula 1 - Descripció de mesures antropomètriques</i>	<i>174</i>
<i>Taula 2 - Mesures obtingudes</i>	<i>176</i>
<i>Taula 3 - Tria de percentil.....</i>	<i>177</i>
<i>Taula 4 - Valors finals utilitzats</i>	<i>178</i>
<i>Taula 5: Resum de resultats</i>	<i>208</i>
<i>Taula 6: Resultats obtinguts als estudis de la plataforma.....</i>	<i>276</i>
<i>Taula 7: Resultats del primer estudi</i>	<i>284</i>
<i>Taula 8: Resultats del segon estudi</i>	<i>286</i>
<i>Taula 9: Resultats del tercer estudi</i>	<i>286</i>
<i>Taula 10: Resultats del quart estudi</i>	<i>288</i>
<i>Taula 11: Emissions al caminar contrastades amb desplaçament amb Ninebot</i>	<i>xxxiv</i>

Capítol 1

INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents i motivació

La motivació per realitzar un treball basat en el nou paradigma de moviment personal *Segway* era, pel que fa als enginyers electrònics fer el primer projecte tangible i on s'integressin tots els coneixements apresos a la carrera alhora d'estudiar, simular i implementar la tecnologia d'auto-balanceig basada en un pèndul invertit; pel que fa als enginyers de disseny industrial, primerament interessava molt fer una extensa indagació per conèixer totes les possibilitats i funcionalitats dels vehicles que utilitzen la tecnologia d'auto-balanceig, fins abans de començar el treball només es coneixia el que havia arribat al públic massiu a través del ressò mediàtic.

Es volia entendre el perquè d'un nou paradigma en mobilitat, era conegut que el vehicle incorporava una tecnologia molt potent i innovadora però que no havia tingut l'acceptació del públic massiu.

Es coneixia, per sobre, que el vehicle auto-basculant tenia limitades aplicacions, i l'objectiu ambiciós que motivava va ser el de trobar una nova "finestra de disseny" o reaprofitar la seva tecnologia per una finalitat social o de més utilitat.

Un cop focalitzades les possibilitats de disseny es volia realitzar, de manera molt ambiciosa, un vehicle de forma holística en que es contemplessin tots i cada un dels detalls que el conformarien.

1.2 Objectius

Per a la realització d'aquest projecte de disseny i control d'un vehicle de rodes paral·leles basat en el sistema d'un Segway es van plantejar uns objectius principals, en la línia que indica el seu mateix títol.

Per arribar a la implementació del vehicle que es vol dissenyar calia marcar uns objectius previs enfocats al disseny electrònic i la programació d'aquest. A més calia enfocar-ne d'altres a la part pròpiament física del sistema i l'estudi de com es vol realitzar el controlador.

Els objectius per ordre de prioritat van ser:

1) Modelat del sistema

- a) Elecció d'un model físic / Plantejament de les equacions
- b) Obtenció de les equacions diferencials
- c) Obtenció model de la planta en espai d'estats

2) Disseny del controlador

- a) Simulació del model trobat
- b) Càlcul del controlador
- c) Simulació en llaç tancat amb controlador

3) Realització de benchmarking

- a) Anàlisi de vehicles comercials
- b) Anàlisi de vehicles *DIY (Do It Yourself)*

4) Implementació del control al prototip construït.

- a) Elecció de components i hardware
- b) Construcció d'un prototip funcional
- c) Disseny de "arquitectura electrònica" / placa electrònica
- d) Programació de control i components necessaris a *Arduino*

Els objectius a realitzar per la part de disseny són:

5) Realització d'un prototip funcional per a la implementació

- a) Esbossos del prototip
- b) Modelat 3D del prototip
- c) Selecció de materials per la construcció

6) Benchmarking dels models existents

- a) Conèixer els productes existents
- b) Comparar per concloure

7) Conceptualització

- a) Definir el tipus de producte que es dissenyarà
- b) Conèixer referents pel disseny

8) Realització d'una maqueta conceptual del vehicle

9) *Sketching* i modelatge en 3D

- a) Esbossos del que es conceptualitzi
- b) Modelat 3D de les peces dissenyades

10) Estudi i selecció de materials i processos de fabricació

11) *Branding* del producte

12) Presentar els resultats estèticament

1.3 Metodologia

El següent projecte és un projecte en grup multidisciplinari ja que embarca diferents àmbits de la enginyeria, principalment aspectes de disseny i electrònica.

Per tal d'organitzar la feina i les tasques encomanades a cadascun dels membres i una millor comunicació entre els integrats era important seguir una metodologia comú que facilités aquests aspectes.

Per això es va decidir seguir les pautes i directrius marcades per les metodologies Àgils per tal d'agilitzar i optimitzar la organització i millorar la qualitat final del producte. Més concretament, s'ha seguit el procés que estableix la metodologia SCRUM.

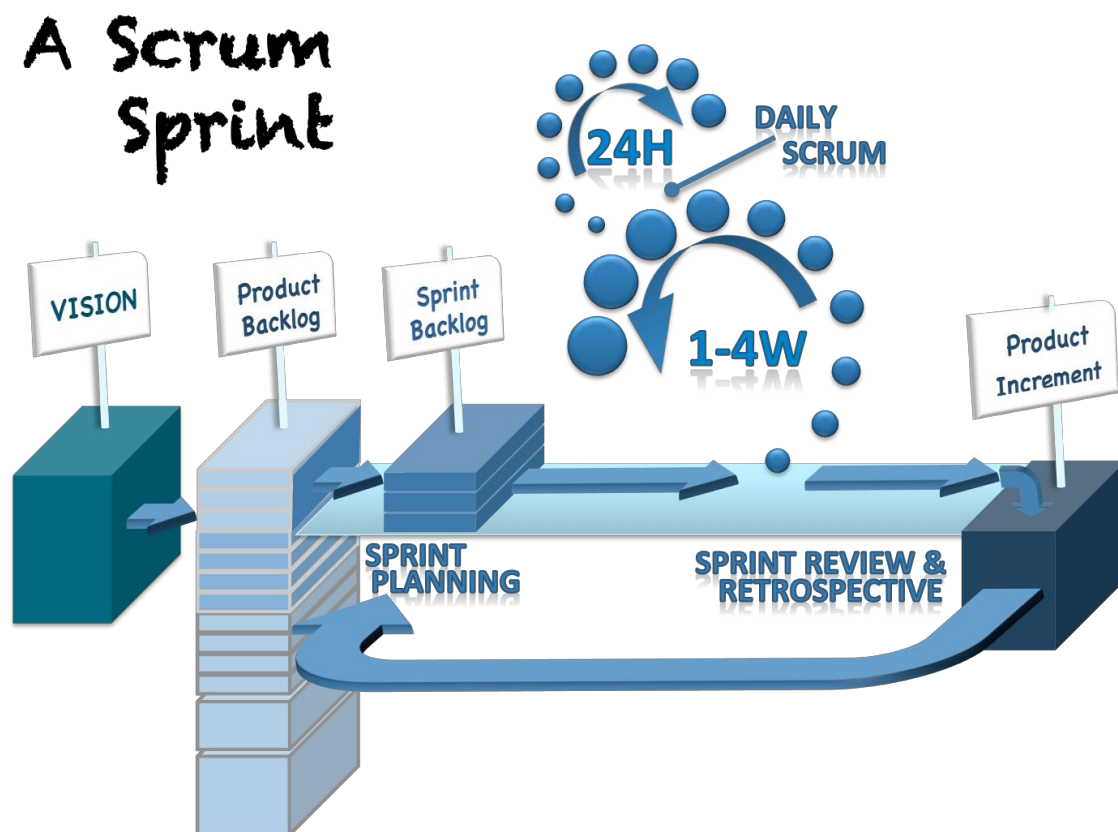


Figura 1 Esquema metodologia Scrum

Aquesta metodologia està basada en cicles, primerament es defineixen i ordenen segons prioritats i dificultat, els *backlogs*. Els *backlogs* són les tasques a realitzar, que s'han de poder mostrar a la resta de l'equip per valorar el treball realitzat i analitzar, en cas de no ser l'esperat, perquè no compleix amb els objectius assignats de la tasca.

Aquest conjunt de tasques amb els seus objectius formaran part d'un *Sprint*, els quals han estat d'un mes, això ha fet poder avançar de forma simultània i ordenada segons prioritats en diferents aspectes i no de manera seqüencial amb el gran avantatge, en quant al temps, que això comporta.

Per tal de millorar la comunicació i tenir sempre accessible tant els *backlogs* com l'estat de les tasques assignades i les finalitzades o realitzades en cadascun dels *Sprints*, s'ha utilitzat *Trello*, una eina online que permet tenir un taulell *Kanban* a més d'avisar mitjançant notificacions al moment dels canvis realitzats en aquest.

En aquest taulell *Kanban*, trobem els *backlogs*, així com les tasques del *Sprint* actual segons el seu estat organitzades en *to do*, *doing* i *done*.

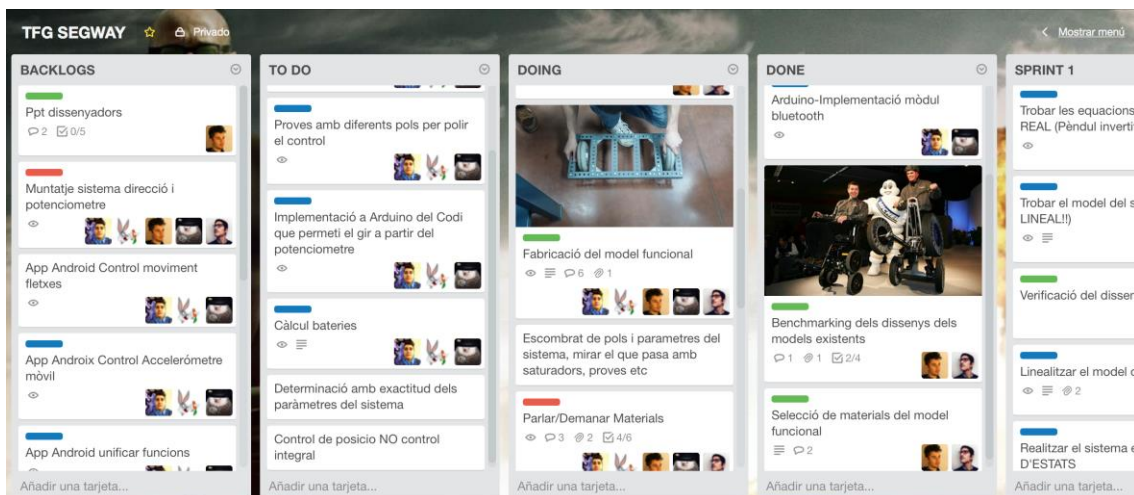


Figura 2 Taulell Kanban a Trello

Per altra banda, aquest mètode, com s'ha comentat anteriorment, és cíclic, durant aquest projecte s'han realitzat *daily's* setmanalment per tal d'interactuar entre els membres del grup i saber en quin punt es troba cadascun dels *backlogs* i analitzar el bon camí d'aquests per tal de conèixer si s'ha de reconduir o canviar la perspectiva donada inicialment i/o problemes que hagin pogut sorgir durant la setmana.

A més, s'ha organitzat mensualment, coincidint amb el final dels *Sprints*, una *Demo* amb tot l'equip que pertany d'una o altra forma al projecte per tal de rebre *feedback* sobre la feina feta i idees o suggeriments que puguin aportar valor afegit al projecte així com idees per evitar noves problemàtiques. A partir del tretzè a la *Demo*, es realitza una retrospectiva on s'analitzen els aspectes positius fins al moment en els quals es vol seguir treballant, i els negatius que no es volen continuar.

D'aquesta manera, amb aquesta metodologia, no es possible desviar-se del camí fins als objectius marcats ja que hi ha un continu anàlisi sobre la feina feta i els resultats obtinguts que en cas de no ser els desitjats faran fer un canvi de rumb i no seguir per un camí equivocat.

A més d'aquest procés explicat, s'han publicat entrades en un bloc exposant els diferents avenços que anava tenint el projecte per, de la mateixa manera que a la *Demo*, rebre feedback sobre el nostre projecte de persones de perfils molt diferents i arribar a més quantitat d'usuaris que valoressin el producte.

Com a valor afegit d'aquest mètode, comentar que s'ha intentat minimitzar l'impacte mediambiental en la mesura del possible amb la fabricació de maquetes amb materials reciclats i amb l'ús del Trello amb el qual s'ha aconseguit un estalvi notable de paper. Així com l'estalvi de fulls i tinta al no realitzar més impressions de les estrictament necessàries.

1.4 Estructura

El present projecte esta estructurat en capítols i els seus respectius subapartats.

A l'Estat de l'Art, s'ha realitzat una contextualització sobre el projecte i un petit anàlisi dels vehicles auto-balancejats que es poden trobar el mercat en l'actualitat i la normativa que els regula.

En el Modelat, Anàlisi i Control del Sistema s'exposa la determinació del model físic, així com el plantejament de les equacions i obtenció del model de la planta en espai d'estats per posteriorment, poder realitzar les diferents simulacions i càlculs dels diferents controladors, amb els diferents codis i esquemes de blocs realitzats a *MATLAB*.

La Simulació a LabView conté la explicació de l'aplicatiu realitzat amb *LABVIEW*, que permet simular el controlador calculat i apreciar la qualitat d'aquest mitjançant un model en tres dimensions.

A l'Arquitectura Electrònica es troba l'arquitectura electrònica, els components i la justificació de la elecció d'aquests.

Al Prototip Funcional, es parla sobre la construcció del prototip funcional i la creació d'una placa electrònica.

A l'Aplicació Android, s'explica el desenvolupament de l'aplicació per a dispositius *Android*, així com les seves funcionalitats.

A la Configuració i Implementació Arduino s'exposa la configuració del hardware utilitzat així com la implementació del controlador a *Arduino*.

El capítol Proves conté un recull de diferents proves realitzades durant la implementació del controlador i el desenvolupament de l'aplicació *Android*.

L'Estudi de Mercat comença per un estudi de models existents al mercat que incorporen tecnologies d'auto-balanceig i altres paradigmes de transport personal innovador, a més, es classifiquen a mode de síntesi tots els models estudiats en una taula comparativa i es finalitza amb conclusions que permeten a l'equip començar a conceptualitzar.

A la Conceptualització, amb la informació sintetitzada a l'estudi de mercat, es realitzen dos *Mindmap*, el primer general i el segon focal; es generen taulells *Moodboards* d'inspiració i s'estudien els referents de disseny segons les conclusions del *Mindmap* focal. El capítol es culmina amb un briefing que recull les pautes de disseny a seguir.

Al capítol Dimensionat s'estableixen les mesures concretes per a poder començar a dissenyar les peces que conformen el vehicle. Dites mesures s'extreuen de l'estudi antropomètric, ergonòmic i maquetes del model.

En el capítol Disseny i Modelat 3D es detalla el procés d'ideació, creació i refinament de les peces dissenyades per l'equip que componen el vehicle així com les seves característiques funcionals.

Al capítol Materials i Processos de Fabricació es fa una breu proposta sobre els materials i processos de fabricació de cada peça. A més, es mostren els requisits de fabricació que s'han tingut en compte en les peces que cal desemmotllar.

L'Estètica conté el manual d'imatge de la marca, on es descriuen les restriccions d'ús, es defineix el color i els acabats del vehicle i es presenta el producte gràficament.

A la Retrospectiva es recullen elements que ajuden a fer autocrítica i concloure el treball com el *DAFO* (anàlisi de debilitats, amenaces, fortaleces i oportunitats) i la opinió crítica de potencials usuaris.

El Pressupost conté un resum dels costos derivats del desenvolupament del projecte en material i cost humà.

Al capítol Conclusions s'hi troben les conclusions finals del projecte.

Capítol 2

ESTAT DE L'ART

2.1 Recorregut històric



Figura 3: IBOT alçat

Els vehicles auto-basculants amb dues rodes en paral·lel (coneguts més fàcilment com a *Segway*) són un **paradigma del segle XXI sense precedents**. Són un exemple de superació tecnològica en una carrera que sap liderar molt bé els Estats Units. L'origen d'aquest tipus de vehicle és l'IBOT (pàg. xliii), inventat per Dean Kamen, una cadira de rodes que permetia als seus usuaris baixar escales de forma autònoma i alçar-se sobre dues rodes com s'aprecia a la Figura 3. Sense èxit comercial pels costos que suposava la seva producció es va llançar al mercat un vehicle per al públic general: el famós Segway, que es va presentar el a finals del 2001.

La repercussió mediàtica que va tenir el llançament d'un vehicle amb dos rodes que no queia" va ser un gran *boom*, i des de llavors moltes empreses han lluitat per fer-se un lloc al mercat. Però en això s'ha quedat, en un simple boom: el mercat dels vehicles tipus Segway mai ha arribat a tenir una quota de mercat com es va esperar en un principi. Cal admetre que la perspectiva era ambiciosa: "canviarem el paradigma de la mobilitat amb el nostre producte!", però alhora pretensiosa.

Des que va treure el seu producte al mercat, l'empresa Segway no ha parat de canviar d'amo, cada cop intentat gestionar més bé, però sense reeixir. Al final l'Abril del 2015 l'empresa xinesa Ninebot, que ja havia desenvolupat una gamma de productes basats en el vehicle nord-americà, va adquirir l'empresa Segway.

Aquesta sèrie de successos diu molt de l'estat actual del mercat. Els vehicles d'auto-balanceig (o auto-basculants) es van crear amb un esperit tecnològicament revolucionari però res més, no es van crear a partir de la necessitat real de resoldre un problema identificat. A partir d'aquí, les empreses productores de vehicles d'aquest tipus no han parat de buscar maneres de penetrar al mercat i buscar nínxols en sectors d'oci i professionals.

2.2 Tipus de vehicle

Els tipus de vehicle que existeixen actualment són els següents:

Dues rodes i control amb les mans: Han estat els primers en comercialitzar-se. Donen seguretat



Figura 4: Tipus de vehicle auto-basculants

als usuaris inexperts i des del primer model original de Segway, moltes marques han copiat o imitat el tipus de vehicle. Un dels seus majors inconvenients és la seva manca de portabilitat.

Dues rodes i control amb les cames: És un tipus híbrid que es queda a mig camí entre el primer i els d'una roda. Són més difícils de conduir però són més portables i lleugers.

Una roda i control amb els peus: Una de les adaptacions del sistema d'auto-balanceig més exitoses comercialment. La seva portabilitat és el gran punt fort que tenen, a canvi, són de tots els tipus, els més difícils de conduir pel fet de ser inestables.

Dues rodes i control amb els peus: És una dels tipus més recents del mercat. El tipus de conducció pot generar poca confiança però queda compensat pel fet de ser un vehicle lent. L'aposta d'aquest producte és sens dubte la de combinar l'estabilitat del primer tipus amb la portabilitat dels monocicles.

Altres projectes conceptuals: A partir de la tecnologia "Segway", sobretot la mateixa empresa nord-americana s'ha empleat a dissenyar alternatives de mobilitat sostenible de tot tipus.

Tots els vehicles existents que apliquen les tecnologies de l'auto-balanceig es poden trobar classificats a la pàgina 156 i estudiats en detall a l'ANNEX C – BENCHMARKING DE DISSENY.

2.3 Normativa

Una de les traves més importants per l'ús massiu d'aquests tipus de vehicles és la manca de categorització, és un paradigma de vehicle completament nou, i a cada població del món s'han fet regulacions específiques. En el cas de Barcelona no es permet cap tipus de circulació amb Segway a no ser que es tingui llicència. A continuació es detalla la normativa:

“Reglamento General de Vehículos, RD 2822/1998, de 23 de diciembre”, on aquests tipus de vehicles no consten, per tant careixen de autorització administrativa per circular per les vies públiques.

Destacar que aquest aparell pot assolir els 20 km/h, segons el reglament general de circulació podria circular per les voreres o pels carrers residencials degudament senyalitzades a pas de persona com estableix l'article 121 del *“Reglamento General de Circulación”*.

Per últim la D.G.T va resoldre el 26 de setembre de 2001 el següent:

“Els patinets amb motor no es troben recollits en la classificació i categories dels vehicles a l'efecte d'homologació i d'emplenament de les targetes d'inspecció tècnica o de la documentació necessària per a la matriculació recollides en l'annex II del R. G. de Vehículos, aprovat per RD 2822/98, de 23 de desembre, i no es poden considerar vehicles de motor a l'efecte de la Llei de Seguretat Vial. En quan a la possible assimilació d'aquests patinets amb motor als ciclomotors, formulada consulta sobre aquest tema a la Sotsdirecció General de Qualitat i Seguretat Industrial, aquesta informa que els patinets autopropulsats no tenen la condició de vehicles, tret que estiguin degudament homologats, per a això haurien de complir amb la Directiva 92/61 CEE, relativa a la recepció de vehicles de dues o tres rodes, la qual cosa els permetria la seva matriculació com si d'un ciclomotor es tractés. Tampoc es tracta de bicicletes ni de bicicletes amb pedaleig assistit com es pot deduir de les definicions que d'aquests vehicles es contenen en el citat annex II.

Per l'exposat, segons el parer de la D.G.T. aquests patinets amb motor no són vehicles en sentit estricte i hauran de ser utilitzats fora de les vies públiques, amb finalitats recreatives. Pel que dit això, assenyalar que els aparells denominats Segway, no poden circular per la calçada, així mateix pel que fa a la circulació per les voreres dependrà de la normativa municipal, concretament amb el que s'estableixi en l'ordenança municipal corresponent, i en tot cas podrien circular a pas de persona.”

Per tant aquest escrit determina l'àmbit legal d'utilització del Segway, i es que aquest vehicles no poden circular per les calçades, i la seva circulació per les voreres i zones peatonals dependrà de la normativa municipal, que per exemple en el cas de Barcelona no esta permès la circulació en aquests aparells o del contrari pot ser motiu de sanció.

Capítol 3

MODELAT, ANÀLISI I CONTROL DEL SISTEMA

3.1 Identificació del model físic i equacions dinàmiques

Primer de tot s'ha d'identificar el model físic que representa aquest sistema. En el cas del Segway, clarament el model físic que imita aquest vehicle és el del pèndul invertit.

El pèndul invertit és un pèndul on el seu centre de masses es troba per sobre del seu punt de rotació. A la figura que es troba a la dreta es mostra un exemple simple del pèndul invertit on el cos M es desplaça per mantenir el cos m en equilibri ($\theta = 0$).

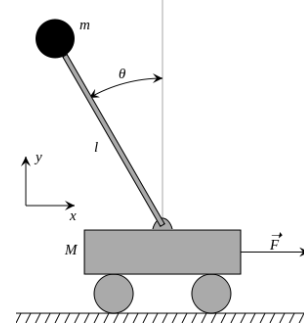


Figura 5 Pèndul Invertit

En un estudi dinàmic del pèndul invertit¹ s'han trobat aquestes dues equacions, (1) i (2), que relacionen les masses del carro i del pèndul, el moment d'inèrcia, la força a aplicar al carro per mantenir estable el sistema, la posició, la velocitat, l'angle i la velocitat angular.

$$(M + m)\ddot{x} + \mu_x \dot{x} + ml\ddot{\theta} \cos \theta - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta = F \quad (1)$$

$$(J + ml^2)\ddot{\theta} + mlg \sin \theta + ml\ddot{x} \cos \theta = 0 \quad (2)$$

3.2 Selecció variables d'estat

Ja identificat el model físic i trobades les equacions dinàmiques del sistema, s'ha de passar a la selecció de quines seran les variables d'estat d'aquest. Ja que l'objectiu és controlar la estabilitat del model, una de les variables obligatòries és l'angle del cos respecte al terra, conseqüentment la velocitat angular també serà escollida al ser una la derivada de l'altra. Finalment, les dues últimes variables de control mantenen relació amb el desplaçament lineal. Una d'elles és la posició lineal actual del cos respecte a l'inici, mentre que de la mateixa manera que amb l'angle, l'última variable d'estat és la derivada d'aquesta posició, la velocitat lineal.

Per a realitzar el càlcul de les equacions diferencials es necessita passar les variables d'estat a la seva corresponent senyal d'entrada del sistema.

$$x_1 = x ; x_2 = v = \dot{x} ; x_3 = \theta ; x_4 = \alpha = \dot{\theta}$$

$$\dot{x}_1 = \dot{x} = x_2 ; \dot{x}_2 = \dot{v} = \ddot{x} ; \dot{x}_3 = \dot{\theta} = x_4 ; \dot{x}_4 = \dot{\alpha} = \ddot{\theta}$$

¹ <http://www.engr.usask.ca/classes/EE/480/Inverted%20Pendulum.pdf>

3.3 Obtenció de les equacions diferencials

Un cop realitzada aquesta transformació, s'obtenen les equacions (3) i (4) amb les quals es treballarà per obtenir les variables d'estat aïllades:

$$(M + m)\dot{x}_2 + \mu_x x_2 + ml\dot{x}_4 \cos x_3 - mlx_4^2 \sin x_3 = F \quad (3)$$

$$(J + ml^2)\dot{x}_4 + mlg \sin x_3 + ml\dot{x}_2 \cos x_3 = 0 \quad (4)$$

Aïllant les dues variables d'estat encara desconegudes a (3) i (4) s'obtenen les equacions (5) i (6) que tenen una dependència lineal l'una de l'altra:

$$\dot{x}_2 = \frac{ml(x_4^2 \sin x_3 - \dot{x}_4 \cos x_3) - \mu_x x_2 + F}{M + m} \quad (5)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{ml(-g \sin x_3 - \dot{x}_2 \cos x_3)}{J + ml^2} \quad (6)$$

Mitjançant la substitució de (5) a (6) es troba una equació (7) de \dot{x}_4 que no depengui de \dot{x}_2 , l'altra variable d'estat.

$$\dot{x}_4 = \frac{ml \left(-g \sin x_3 - \frac{ml(x_4^2 \sin x_3 - \dot{x}_4 \cos x_3) - \mu_x x_2 + F}{M + m} \cos x_3 \right)}{J + ml^2} \quad (7)$$

A continuació, s'aïlla aquesta variable a (7) per a obtenir l'equació que s'utilitzarà per al càlcul del controlador (8).

$$\dot{x}_4 = \frac{ml \left(\frac{(M + m)(-g \sin x_3) - ml(x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 - \dot{x}_4 \cos^2 x_3) + \mu_x x_2 \cos x_3 - F \cos x_3}{M + m} \right)}{J + ml^2} \quad (7)$$

$$\dot{x}_4(J + ml^2)(M + m) = (M + m)ml(-g \sin x_3) - m^2 l^2 x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + m^2 l^2 \dot{x}_4 \cos^2 x_3 + ml\mu_x x_2 \cos x_3 - mlF \cos x_3 \quad (7)$$

$$\dot{x}_4(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \dot{x}_4 \cos^2 x_3 = (M + m)ml(-g \sin x_3) - m^2 l^2 x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + ml\mu_x x_2 \cos x_3 - mlF \cos x_3 \quad (7)$$

$$\dot{x}_4((J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 x_3) = (M + m)ml(-g \sin x_3) - m^2 l^2 x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + ml\mu_x x_2 \cos x_3 - mlF \cos x_3 \quad (7)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{(M + m)ml(-g \sin x_3) - m^2 l^2 x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + ml\mu_x x_2 \cos x_3 - mlF \cos x_3}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 x_3} \quad (7)$$

$$\dot{x}_4 = \frac{(M + m)ml(-g \sin x_3) - m^2 l^2 x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + ml \cos x_3 (\mu_x x_2 - F)}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 x_3} \quad (8)$$

Un cop trobada la primera variable d'estat desconeguda, es procedeix a buscar l'altra de la mateixa manera que l'anterior.

En aquest cas, s'aconsegueix mitjançant la substitució de (6) a (5) per trobar una equació (9) de \dot{x}_2 que no depengui de \dot{x}_4 , l'altra variable d'estat.

$$\dot{x}_2 = \frac{ml \left(x_4^2 \sin x_3 - \frac{ml(-g \sin x_3 - \dot{x}_2 \cos x_3)}{J + ml^2} \cos x_3 \right) - \mu_x x_2 + F}{M + m} \quad (9)$$

Tal com s'ha fet a la anterior variable, s'aïlla l'última variable desconeguda a (9) per a obtenir l'equació que s'utilitzarà per al càlcul del controlador (10).

$$\dot{x}_2 = \frac{ml \left(\frac{x_4^2 \sin x_3 (J + ml^2) - ml \cos x_3 (-g \sin x_3 - \dot{x}_2 \cos x_3)}{J + ml^2} \right) - \mu_x x_2 + F}{M + m} \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{\left(\frac{mlx_4^2 \sin x_3 (J + ml^2) - m^2 l^2 \cos x_3 (-g \sin x_3 - \dot{x}_2 \cos x_3) + (J + ml^2)(-\mu_x x_2 + F)}{J + ml^2} \right)}{M + m} \quad (9)$$

$$\dot{x}_2(M + m)(J + ml^2) = mlx_4^2 \sin x_3 (J + ml^2) - m^2 l^2 \cos x_3 (-g \sin x_3 - \dot{x}_2 \cos x_3) + (J + ml^2)(-\mu_x x_2 + F) \quad (9)$$

$$\dot{x}_2(M + m)(J + ml^2) = mlx_4^2 \sin x_3 (J + ml^2) + m^2 l^2 g \cos x_3 \sin x_3 + m^2 l^2 \dot{x}_2 \cos^2 x_3 + (J + ml^2)(-\mu_x x_2 + F) \quad (9)$$

$$\dot{x}_2(M + m)(J + ml^2) - m^2 l^2 \dot{x}_2 \cos^2 x_3 = mlx_4^2 \sin x_3 (J + ml^2) + m^2 l^2 g \cos x_3 \sin x_3 + (J + ml^2)(-\mu_x x_2 + F) \quad (9)$$

$$\dot{x}_2((M + m)(J + ml^2) - m^2 l^2 \cos^2 x_3) = (J + ml^2)(F - \mu_x x_2 + mlx_4^2 \sin x_3) + m^2 l^2 g \cos x_3 \sin x_3 \quad (9)$$

$$\dot{x}_2 = \frac{(J + ml^2)(F - \mu_x x_2 + mlx_4^2 \sin x_3) + m^2 l^2 g \cos x_3 \sin x_3}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 x_3} \quad (10)$$

Un cop realitzats aquests càlculs, s'han obtingut les quatre equacions de les variables d'estat que s'utilitzaran al càlcul del controlador. Aquestes equacions són les mostrades a continuació:

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = \frac{(J + ml^2)(F - \mu_x x_2 + mlx_4^2 \sin x_3) + m^2 l^2 g \cos x_3 \sin x_3}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 x_3}$$

$$\dot{x}_3 = x_4$$

$$\dot{x}_4 = \frac{(M + m)ml(-g \sin x_3) - m^2 l^2 x_4^2 \sin x_3 \cos x_3 + ml \cos x_3 (\mu_x x_2 - F)}{(J + ml^2)(M + m) - m^2 l^2 \cos^2 x_3}$$

3.4 Equacions diferencials del sistema no-lineal a *MATLAB*:

Una vegada s'han obtingut les equacions diferencials que defineixen el sistema, es pot passar a modelar amb *MATLAB*. A continuació, es mostra el codi de *MATLAB* on s'han introduït les equacions diferencials i les variables simbòliques necessàries.

```
%Equacions del sistema no lineals

clear all; close all; %Neteja el workspace de MATLAB i tanca
totes les finestres obertes de MATLAB
%Defineix com a variables simbòliques
x1,x2,x3,x4,U,M,m,g,l,fric,J,x1_punto,x2_punto,x3_punto i
x4_punto
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
%Variables escollides:
% x1=POSICIÓ
% x2=VELOCITAT LINEAL
% x3=ANGLE PÈNDUL
% x4=VELOCITAT ANGULAR PÈNDUL
%Defineix les equacions no lineals del sistema
x1_punto=x2;
x2_punto=[ ((U*fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3)) * (J+m*l*l)) + (m*m*l*l*cos(x3)*sin(x3)*g)] / [ ((J+(m*l*l)) * (M+m)) -
(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)) ];
x3_punto=x4;
x4_punto=[ (M+m) * (m*l*g*sin(x3)) (m*m*l*l*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))
+ (m*l*cos(x3) * (fric*x2)U) ] / [ ((J+(m*l*l)) * (M+m)) (m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)) ];
```

3.5 Linealització de les equacions

Obtingudes les equacions diferencials del sistema compost per les quatre variables d'estat es pot procedir a linealitzar el model per tal d'eliminar les combinacions no lineals de les variables d'estat com les funcions trigonomètriques que provoquen la no linealitat del sistema. Per assolir aquest objectiu cal obtenir els punts d'equilibri del sistema.

3.5.1 Punts d'equilibri naturals

Els punts d'equilibri naturals de qualsevol sistema es troben quan totes les variables són 0, és a dir, el sistema està en repòs. D'aquesta forma es pot observar que el sistema té uns punts d'equilibri a:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0$$
$$u = 0$$

Ja que per a linealitzar el sistema no interessa que les variables estiguin a zero, la linealització es farà amb els punts d'equilibri forçats.

3.5.2 Punts d'equilibri forçats

Per tal de trobar aquests punts d'equilibri forçats s'analitza el sistema observant que en el moment en el qual l'angle que forma el pèndul amb la vertical es trobi en qualsevol múltiple de π , el sistema es mantindrà en repòs. Així doncs els punts d'equilibri forçats del sistema són:

$$x_1 = x_2 = x_4 = 0$$

$$x_3 = \pi$$

$$u = 0$$

De forma que, quan la variable x_3 , corresponent a l'angle del pèndul, es troba en π o múltiples d'aquest, el sistema es manté en repòs sempre i quan la velocitat angular del pèndul, x_4 , sigui 0 i el carro no estigui en moviment, x_1 i x_2 igual a zero.

Ja que per a balancejar el sistema s'han de tenir en compte els punts d'equilibri forçats, es procedeix a linealitzar les equacions del pèndul invertit.

Per tal de fer aquesta linealització s'ha utilitzat l'eina matemàtica *MATLAB* i les seves funcions *Jacobian()* i *Subs()*.

La funció *Jacobian()*, on els paràmetres d'aquesta seran les matrius a linealitzar i les variables sobre les quals es volen obtenir les derivades parcials, retorna la matriu Jacobiana, que conté les derivades parcials de les equacions respecte cadascuna de les variables. D'aquesta forma, només cal substituir els punts d'equilibri forçats amb la funció *Subs()*, la qual requereix la variable on s'ha de substituir el valor i els valor que es vol substituir, obtenint així l'equació linealitzada en aquest punt.

3.5.3 Obtenció de la matriu A

Per a l'obtenció de la matriu A de l'espai d'estats cal obtenir el jacobià en funció de les variables $x_1, x_2, x_3, i x_4$. Un cop obtinguda aquesta matriu s'han de substituir els valors dels punts d'equilibri forçats esmentats anteriorment, $x_1=x_2=x_4=0$ i $x_3=\pi$.

A continuació, es mostra el codi de *MATLAB* que obté la matriu A:

```
% Linealització de les equacions en PI

J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3
x4]) %Retorna la matriu jacobiana derivant x1_punto, x2_punto,
x3_punto i x4_punto en funció de x1,x2,x3 i x4

%Es substitueixen els valors de x1,x2,x3 i x4 pels dels punts
d'equilibri forçats desitjats, d'aquesta forma s'obté la matriu A
lineal del sistema
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
```

3.5.4 Obtenció de la matriu B

Un cop obtinguda la matriu A, només cal obtenir analíticament la matriu B, en aquest cas s'han d'avaluar les equacions del sistema per tal d'obtenir el jacobí en el punt d'equilibri corresponent a l'entrada del sistema, u . Obtinguda la matriu jacobiana de l'entrada del sistema cal que s'avaluï en el punt d'equilibri forçat, en aquest cas, $u=0$.

El procés d'obtenció a l'entorn matemàtic es mostra a continuació:

```
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
%Retorna la matriu jacobiana derivant x1_punto, x2_punto, x3_punto i
x4_punto en funció de U

%Es substitueixen els valors de x1,x2,x3 i x4 i U pels punts
d'equilibri forçats desitjats, d'aquesta forma s'obté la matriu B
lineal del sistema
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0);
J_B = subs(J_B, 'U', 0)
```

3.5.5 Obtenció de la matriu C

Un cop coneguts els sensors dels quals es disposa al sistema es pot modelar la matriu C com a matriu de sortida del sistema, escollint la posició i angle del pèndul com a sortides. L'elecció d'aquestes dues ve donada per l'ús de l'acceleròmetre i giroscopi, que retornen l'angle, i pels motors, que retornen la posició.

$$C_{PI} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

3.5.6 Matrius del sistema

A continuació, es mostren els resultats retornats obtinguts en la linealització. La matriu A simbòlica resultant dels càlculs és la següent:

$$J_A_PI = \begin{bmatrix} 0 & \frac{1}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & \frac{0}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & 0 \\ 0 & \frac{0}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & \frac{g * l^2 * m^2}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & 0 \\ 0 & \frac{0}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & \frac{0}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & 1 \\ 0 & \frac{fric * l * m}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & \frac{g * l * m * (M + m)}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} & 0 \end{bmatrix}$$

D'altra banda, la matriu B simbòlica linealitzada és:

$$J_B = \begin{bmatrix} \frac{0}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} \\ \frac{m * l^2 + J}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} \\ \frac{0}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} \\ \frac{l * m}{(M + m) * (m * l^2 + J) - l^2 * m^2} \end{bmatrix}$$

3.6 Creació del model no simbòlic

Obtingudes les matrius A i B simbòliques, es pot extreure el model del nostre sistema, per aconseguir-ho cal substituir els valors que es corresponen als del prototip. Per tal d'obtenir aquestes matrius s'ha considerat que el moment d'inèrcia del pèndul (usuari que transporta) és equivalent al de un cilindre rígid articulat a l'extrem de la seva part inferior.

Per a l'obtenció de les matrius numèriques es fa servir la funció *eval()* que substitueix totes les variables simbòliques sempre que hagin estat declarades anteriorment. El paràmetre de la funció és la matriu simbòlica linealitzada de A i la matriu simbòlica linealitzada corresponent a B. El codi que realitza el descrit anteriorment és el següent:

```
%Declaració de variables del sistema a controlar, tenint en compte un pes mitjà d'una persona de 75kg i el seu centre de masses a mitja alçada

U=0;
M = 7; %massa carro
m = 75; %massa pèndul (persona)
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*1*m); %Moment d'inèrcia
g = 9.81; %Gravetat
l = 0.7;%Alçada del centre de masses de la persona
fric=0.1;
%Substitució dels valors per obtenir les matrius numèriques
J1_PI=eval(J_A_PI);%Substitució dels valors numèrics a la matriu A
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);%Substitució dels valors numèrics a la matriu A
B_PI=J_B_PI
```

Els resultats obtinguts a partir del codi anterior són les matrius A i B lineals en continu. Aquestes matrius es mostren a continuació:

$$A_{PI} = \begin{bmatrix} 0 & 1.0000 & 0 & 0 \\ 0 & -0.0028 & 12.5558 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & -0.0019 & 19.6109 & 0 \end{bmatrix}$$

$$B_{PI} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0278 \\ 0 \\ 0.0244 \end{bmatrix}$$

3.7 Simulació del model sense llaç de control

3.7.1 Creació de l'espai d'estats

Posteriorment a la linealització de les equacions i l'obtenció de les matrius A, B i C, cal procedir amb el model en espai d'estats lineal i en temps continu. L'obtenció de l'espai d'estats es realitza mitjançant la funció `ss()`, on els paràmetres de la funció són les matrius A, B i C.

```
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);%crea un espai d'estats a partir de les matrius A_PI,B_PI i C_PI
%defineix com a entrada del sistema "espai_obert" u
inputs = {'u'};
set(espai_obert,'InputName',inputs)
%defineix com a sortides del sistema "espai_obert" x i phi
outputs = {'x'; 'phi'};
set(espai_obert,'OutputName',outputs)
```

3.7.2 Anàlisi del sistema en espai d'estats en temps continu.

3.7.2.1 Estabilitat del sistema en espai d'estats en llaç obert:

Per analitzar l'estabilitat del sistema es fa servir la funció *eig()*, la qual precisa de l'espai d'estats com a paràmetre. Aquesta funció retorna els pols del sistema. El codi emprat es mostra a continuació:

```
%%Estabilitat en llaç obert  
Pols_obert=eig(espai_obert) %Troba els pols d'un Sistema
```

Tenint en compte que, en continu, qualsevol pol de part real positiva inestabilitza el sistema, es pot observar, a través del resultat obtingut amb *MATLAB*, que el sistema en llaç obert és inestable ja que conté un pol inestable i el pol 0.

$$\text{Pols_obert} = \begin{matrix} 0 \\ -0.0012 \\ -4.4292 \\ 4.4292 \end{matrix}$$

3.7.2.2 Proves d'estabilitat

Tot i que s'ha vist que el sistema hauria de ser inestable per culpa dels pols de la planta, es decideix realitzar més proves al sistema per corroborar-ho.

Primer de tot, s'aplica una entrada graó a la planta per veure quina és la seva resposta mitjançant la funció *Step()* de *MATLAB*, a la qual cal passar l'espai d'estats en llaç obert i un vector de temps com a paràmetres. El codi de *MATLAB* és el següent:

```
%Step  
t=0:0.01:1; %vector de temps 1 segon en salts de 0.01  
step(espai_obert,t);%resposta a entrada graó  
title('Open Loop response to STEP') %Posa el títol a la gràfica
```

El resultat del *step* retorna les sortides del sistema tendint a infinit, fet que corrobora el que s'havia deduït a partir dels pols del sistema. El resultat d'aquesta simulació es mostra a continuació:

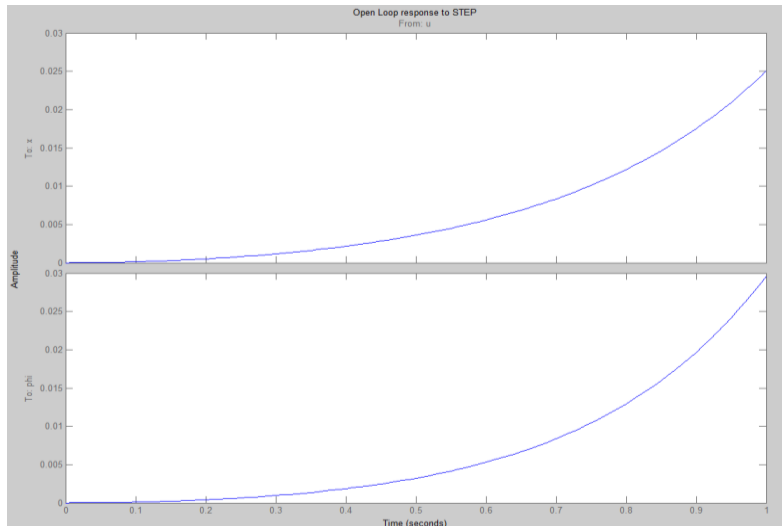


Figura 6 Resultat de la funció Step sobre el sistema linealitzat en espai d'estats

Tot i així, es realitzen més proves de estabilitat com són aplicar un impuls al sistema i unes condicions inicials concretes per veure quina és la resposta.

L'impuls es pot aplicar a l'espai d'estats mitjançant la funció *impulse()*, la qual dona com resultat uns valors molt similars al graó. Igual que en l'anterior cas, no és estable tal i com es pot observar a la Figura 7.

```
%Impulse  
impulse(espai_obert,t); %Simula una entrada impuls al sistema  
title('Open Loop response to IMPULSE') %Posa el títol a la gràfica
```

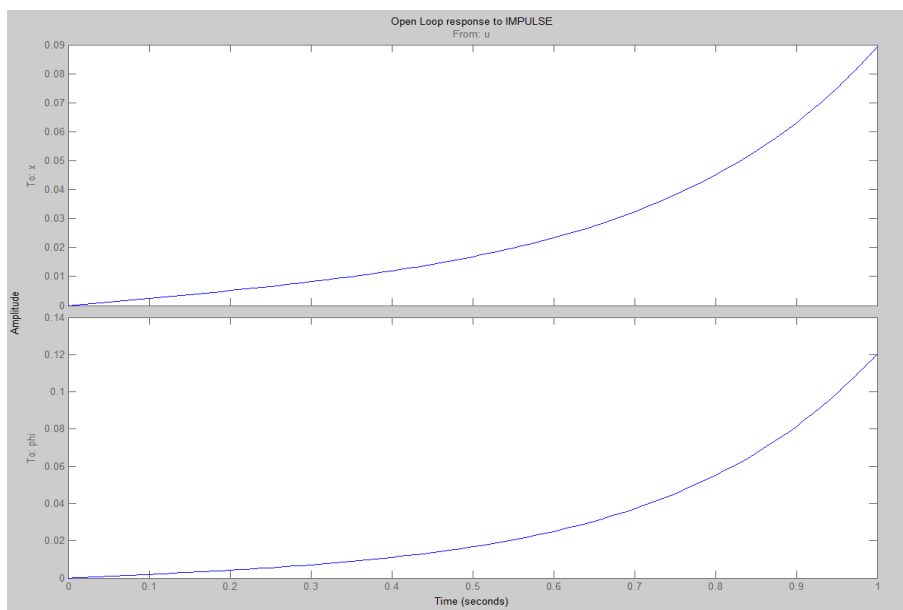


Figura 7 Resultat de la funció Impulse sobre el sistema linealitzat en espai d'estats

Finalment, s'apliquen les condicions inicials, $[0, 0, 3.12, 0]$, amb la funció *initial()*, que precisa el sistema en espai d'estats a més de la matriu composta per les condicions inicials. Per simular aquestes, es fa servir el codi mostrat a continuació:

```
%Initial conditions
x0=[0;0;3.12;0];%matriu condicions inicials on x3=3,12
initial(espai_obert,x0,2)%Simula les condicions inicials al sistema
title('Open Loop response to Initial -> phi=3.12rad') %Posa el títol
a la gràfica
```

En aquest cas, els resultats també són similars a les altres simulacions ja que el sistema és inestable com es pot veure a la següent figura.

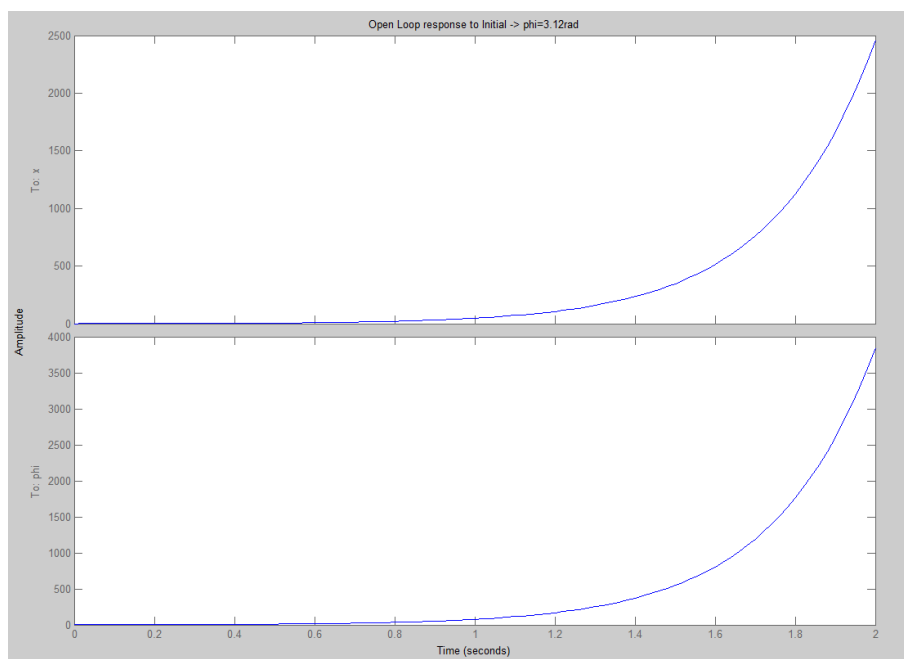


Figura 8 Resultat de la funció Initial amb $x_3=3,12\text{rad}$ sobre el sistema linealitzat en espai d'estats

Veient que el sistema en llaç obert es comporta de forma inestable, tal i com era d'esperar, cal dissenyar un controlador que permeti mantenir l'estabilitat desitjada.

3.7.2.3 Controlabilitat del sistema en espai d'estats:

Per tal de veure si el sistema serà o no controlable, s'ha d'obtenir la matriu de controlabilitat, *MATLAB* disposa de la funció *ctrb()* per a obtenir-la, el paràmetre a introduir és l'espai d'estats creat prèviament. Un cop obtinguda la matriu de controlabilitat es pot saber si el sistema serà controlable, sempre que la matriu de controlabilitat sigui de rang màxim. Per comprovar-ho es fa servir la funció *rank()* que retorna el rang d'una matriu passada com a paràmetre. El codi de emprat és el següent:

```
%Controlabilitat del sistema  
WC=ctrb(espai_obert)%matriu de controlabilitat  
rank(WC)%rang de la matriu WC
```

Els resultats que retorna l'execució d'aquest codi són els següents:

$$WC = \begin{bmatrix} 0 & 0.0278 & -0.0001 & 0.3061 \\ 0.0278 & -0.0001 & 0.3061 & -0.0017 \\ 0 & 0.0244 & -0.0001 & 0.4781 \\ 0.0244 & -0.0001 & 0.4781 & -0.0021 \end{bmatrix}$$

$$\text{Rank}(WC) = 4$$

Ja que el rang de la matriu de controlabilitat és màxim, es pot afirmar que el sistema serà controlable i es procedeix al disseny del controlador.

3.7.3 Obtenció d'un controlador per realimentació d'estats amb el mètode d'assignació de pols

Per tal de fer el sistema estable en llaç tancat cal escollir uns pols que compleixin el criteri d'estabilitat. Aquest criteri diu que els pols del sistema han de ser de part real negativa, de forma intuïtiva es pot veure el criteri d'estabilitat a la Figura 9.

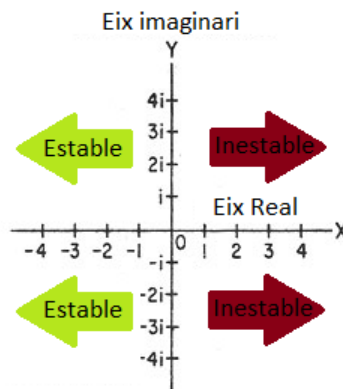


Figura 9 Pla complex, verd=zona d'estabilitat i vermell=zona d'inestabilitat

A més s'ha de tenir en compte que, quant més a prop de l'eix imaginari s'ubiquen els pols, més dominants seran, mentre que si s'ubiquen lluny d'aquest, faran que el sistema sigui més ràpid.

Els pols escollits inicialment per realitzar les proves són:

$$\text{pols_cont} = \begin{bmatrix} -15 \\ -15 \\ -2.5 - 2.5i \\ -2.5 + 2.5i \end{bmatrix}$$

3.7.4 Càlcul del guany per assignació de pols

Sabent el criteri de disseny, cal trobar el guany de les variables del sistema que permeti obtenir els pols en llaç tancat desitjats un cop es tanqui el llaç de control. Per tal de fer el disseny del guany cal fer servir la funció *acker()* de *MATLAB* a la qual s'han d'introduir les matriu *A* i *B* del sistema i els pols continus desitjats en llaç tancat en forma de matriu. Un cop executada la funció retorna la matriu de guanys de realimentació d'estats *K*. El codi de disseny del guany és el següent:

```
%Càlcul controlador assignació de pols  
pols_cont=[-15;-15;-2.5+2.5i;-2.5-2.5i];%Pols desitjats en continu  
K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont) %Retorna la matriu de guanys K
```

S'ha de tenir en compte que el guany de realimentació d'estats és una matriu, caldrà doncs, saber que, per tal de controlar el sistema, s'ha de multiplicar aquest guany canviat de signe per les variables de sortida del sistema i així obtenir la senyal de control. D'aquesta forma la senyal de control s'obté fent $u=-K \cdot x$ tal i com es mostra a l'esquema de control següent:

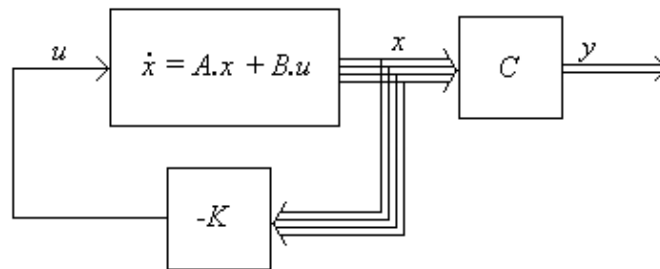


Figura 10 Esquema de control per a realimentació d'estats mesurats

3.8 Anàlisi del sistema lineal en llaç tancat

Un cop calculat el guany en continu cal provar el controlador, per tal de fer-ho es realitzen proves amb *MATLAB*. Primerament, es realitzen les proves amb un graó, un impuls i diferents condicions inicials.

Per tal de realitzar aquestes proves cal crear l'espai d'estats en llaç tancat, que s'obté amb la funció `ss()` introduint com a paràmetres les matrius A - B - K com a primera matriu i les matriu B i C lineals. El codi de *MATLAB* es mostra a continuació:

```
%Espai d'estats en llaç tancat  
  
espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0)%Espai d'estats en llaç tancat  
set(espai_lt,'InputName',inputs)%Definició d'entrades per a simulació  
set(espai_lt,'OutputName',outputs)%Definició de sortides per a  
simulació
```

Obtingut el sistema en llaç tancat es procedeix a realitzar diferents proves, inicialment s'aplica un impuls al sistema, per fer-ho es fa servir la funció `impulse()` fent servir com a paràmetre de la funció el espai d'estats creat anteriorment i el vector de temps.

```
%Impulse  
  
t=0:0.01:2;%Vector de temps 2 segons en valors de 0.01 en 0.01  
impulse(espai_lt,t);%Simulació de l'impuls  
title('Closed Loop response to IMPULSE')
```

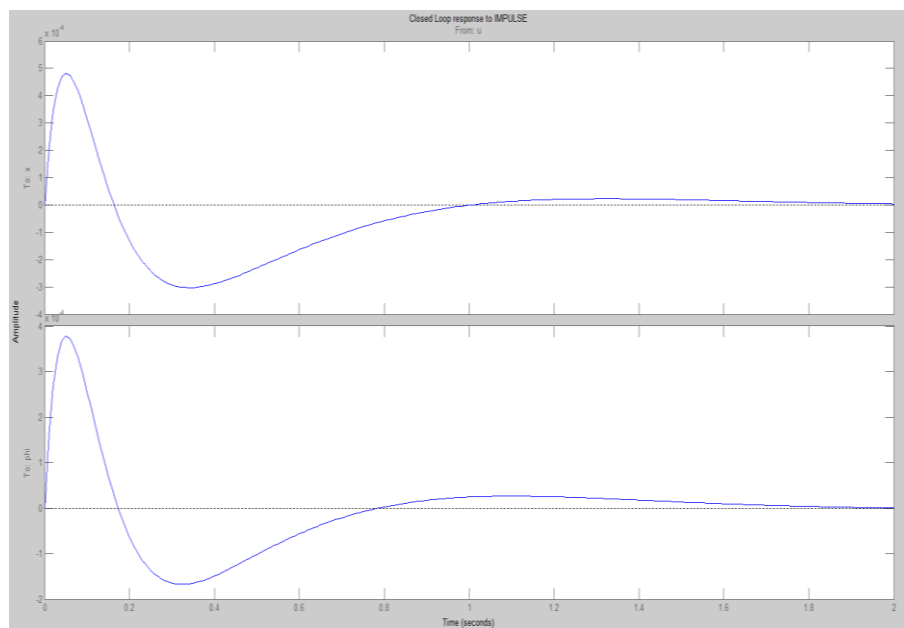


Figura 11 Resultat de la funció `Impulse` sobre el sistema en llaç tancat

Aquesta prova retorna uns resultats satisfactoris, on es pot veure com el controlador porta totes les variables a 0.

A continuació, es fa una prova de resposta al graó amb la funció `Initial()`, paràmetres de la qual són el sistema en espai d'estats en llaç tancat, la condició inicial a simular i el temps de simulació.

```
%Initial
x0=[0;0;3.12;0];%matriu condicions inicials on x3=3,12
initial(espai_lt,x0,2)%Simula les condicions inicials al sistema
title('Closed Loop R. to initial conditions defined continous poles')
```

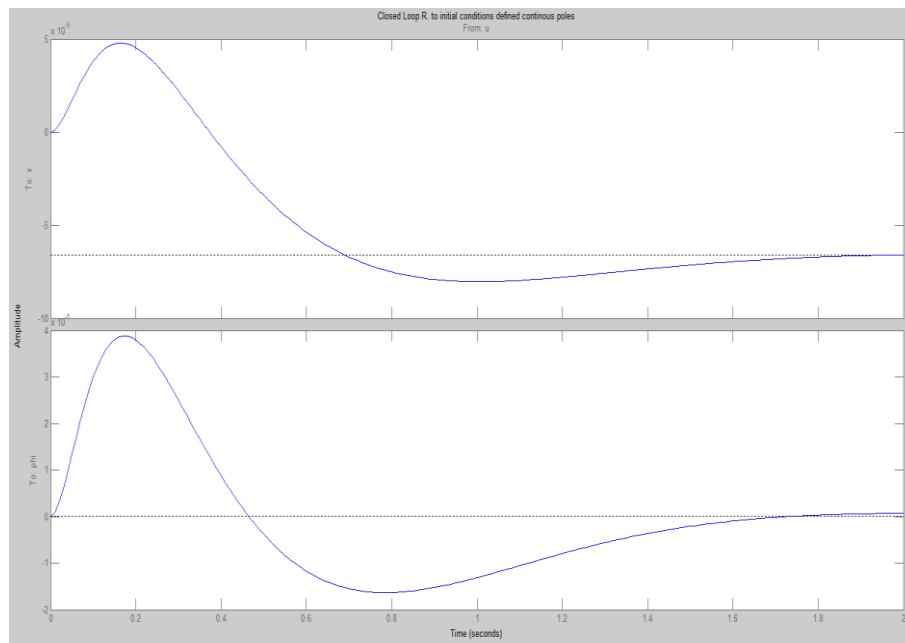


Figura 12 Resultat de la funció Initial sobre el sistema en llaç tancat

El resultat obtingut és similar a l'anterior, on es pot veure que el sistema no s'inestabilitza i les sortides van a zero.

Finalment, es realitzen proves amb diferents condicions inicials amb la funció *initial()*, paràmetres de la qual són l'espai d'estats en llaç tancat, una matriu x_0 on s'introdueixen en el mateix ordre que les variables els valors de la condició inicial i el temps de simulació. Es realitzen d'aquesta forma diferents proves amb varies condicions inicials per veure com respon el sistema. El codi dissenyat per a tal fi es mostra a continuació:

```
%Initial Conditions phi diff 0
subplot(1,2,1)%Crea una figura de 2 simulacions i selecciona la
primera posició
x0=[0;0;3.12;0];%Condicions inicials del sistema on x3=3.12rad
initial(espai_lt,x0,t)%Simulació de les condicions inicials
title('Closed Loop response to Initial ->phi=3,12 rad')%Inserta títol
a la simulació
%Initial Conditions position diff 0 vel diff 0
subplot(1,2,2)%A la figura de 2 simulacions selecciona la segona
posició
x0=[1;0.5;0.0;0];%Condicions inicials del sistema on x1=1m x2=0.5m/s
initial(espai_lt,x0)%Simulació de les condicions inicials
title('Closed Loop response to Initial-> x=1m v=0.5m/s')%Inserta títol
a la simulació
```

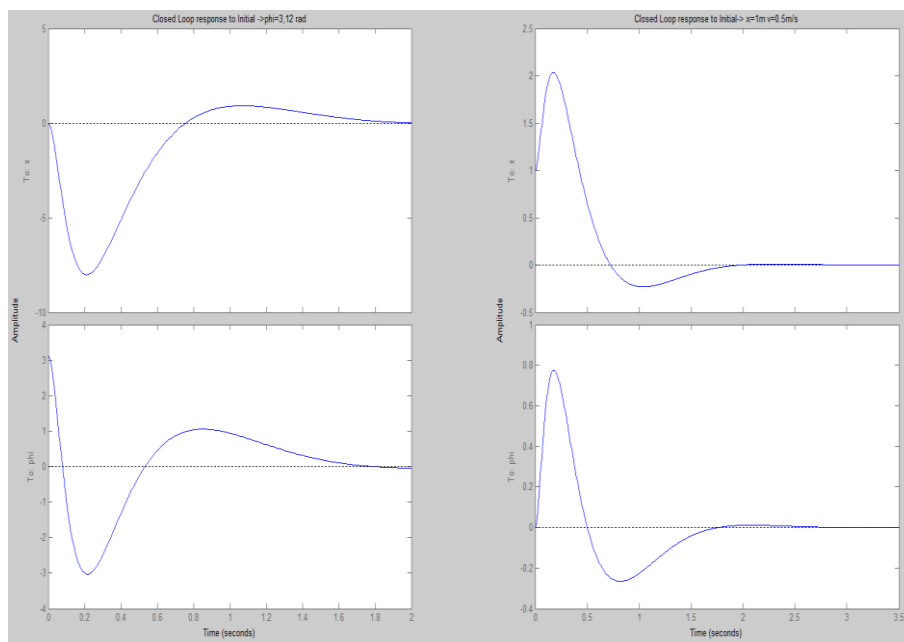


Figura 13 Resultat de la funció Initial sobre el sistema en llaç tancat, diferents condicions inicials a esquerra i dreta

El resultat tal i com es pot preveure és bastant similar a les anteriors proves realitzades amb el graó i l'impuls, al cap de uns instants les sortides tornen al repòs.

Un cop simulat el sistema lineal en llaç tancat cal provar si el controlador és capaç d'estabilitzar el sistema *real*, abans però cal veure que l'esquema de control del sistema lineal funciona a *Simulink*.

Per simular a *Simulink* cal fer servir dos blocs *Gain*, on es defineix com a paràmetres el guany del controlador K i la matriu de sortida C , i el bloc *state-space* on s'introdueixen les matrius del sistema lineal i les condicions inicials del sistema.

L'esquema ha de complir que la senyal de control és $u=-K \cdot x$, on x són les variables del sistema, així doncs, cal realimentar el sistema fent coincidir la sortida amb el guany $-K$ i la sortida d'aquest unir-la amb l'entrada de l'espai d'estats. Ja que totes les variables del nostre sistema són observables introduïm la matriu C per veure només la posició i l'angle, a més, per tal de separar les dues sortides es fa servir un bloc *Demux*. L'esquema de blocs i la configuració dels mateixos es mostren a la Figura 14 i Figura 15.

CONTROL LINEAL SENSE RETARD CONTINU

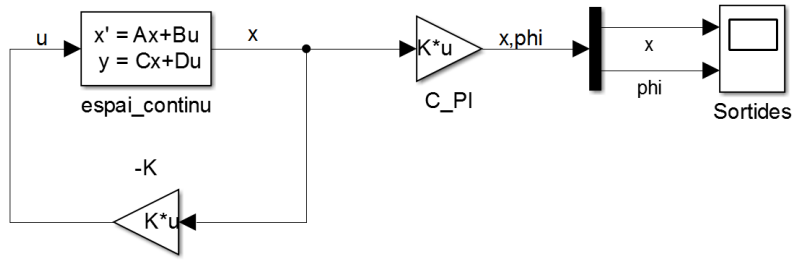


Figura 14 Esquema de control per realimentació d'estats a Simulink

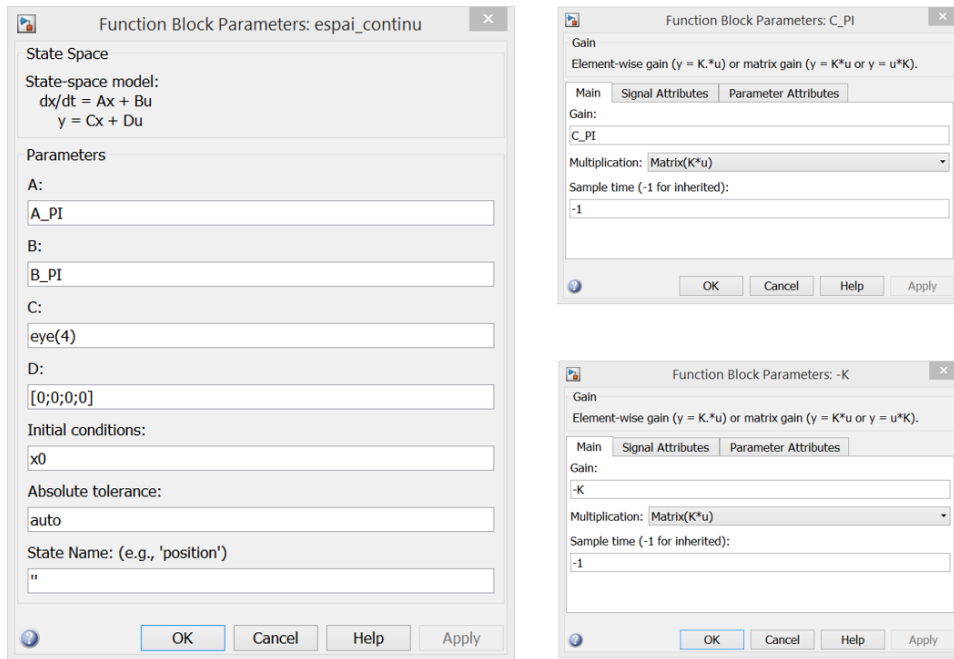


Figura 15 Valors dels blocs emprats a la simulació del sistema en llaç tancat linealitzat

Simulant el sistema, les proves realitzades mostren que si és sotmès a unes condicions inicials qualsevol és estable. La Figura 16 mostra la resposta a les condicions inicials configurades anteriorment en una simulació de 10 segons (les condicions inicials x_0 són $x=1$ m i $\phi=3.12$ rad, tal i com es pot veure el sistema és estable.

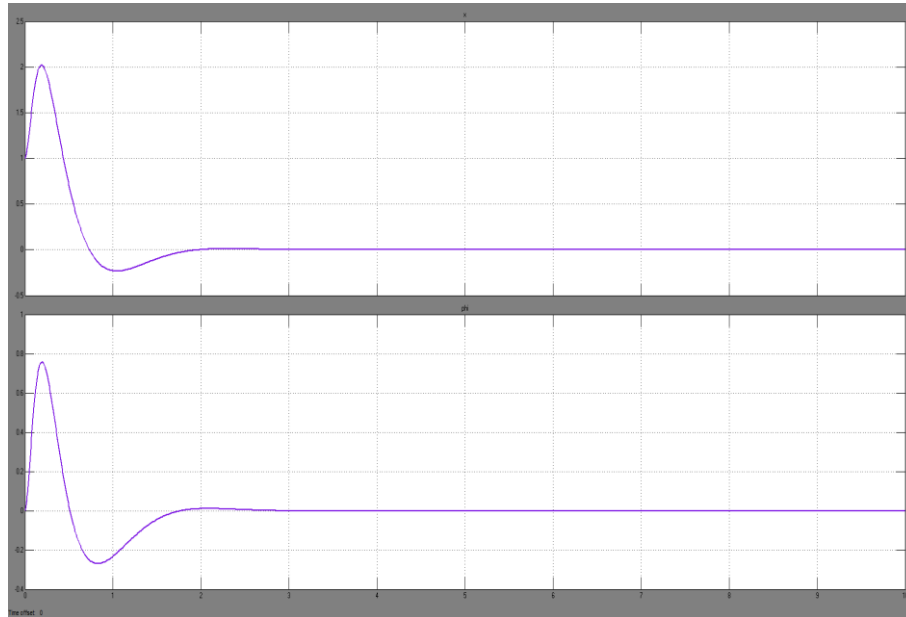


Figura 16 Resultat simulació sistema sense retard lineal en continu amb Simulink

A continuació, per tal de provar si el controlador és capaç de portar a 0 els estats del sistema *real* cal crear el model no lineal amb *Simulink*.

3.9 Model del sistema no-lineal amb *Simulink*

3.9.1 Creació del model del sistema no-lineal

Primerament, cal observar les equacions diferencials no-lineals del sistema, a partir d'elles, es pot crear un model no-lineal per tal de simular el controlador. Per a la creació del model cal fixar-se en les variables d'estat del sistema que són x_1 , x_2 , x_3 i x_4 i incloure tants integradors com variables d'estat té el model, en aquest cas 4 variables.

Un cop introduïts els integradors a *Simulink*, cal unir la seva sortida amb les operacions matemàtiques pertinents, sabent que a l'entrada de l'integrador cal que hi hagi \dot{x}_1 , \dot{x}_2 , \dot{x}_3 i \dot{x}_4 i la seva sortida serà la variable sense punt corresponent a aquesta mateixa, és a dir, x_1 , x_2 , x_3 i x_4 . Un cop creat el sistema, cal definir quines són les variables d'entrada i quines són les de sortida, en aquest cas l'entrada serà U i les sortides seran x_1 , x_2 , x_3 i x_4 , que corresponen a la posició, velocitat, angle i velocitat angular del sistema no-lineal. A continuació, es pot veure l'esquema resultant a *Simulink*:

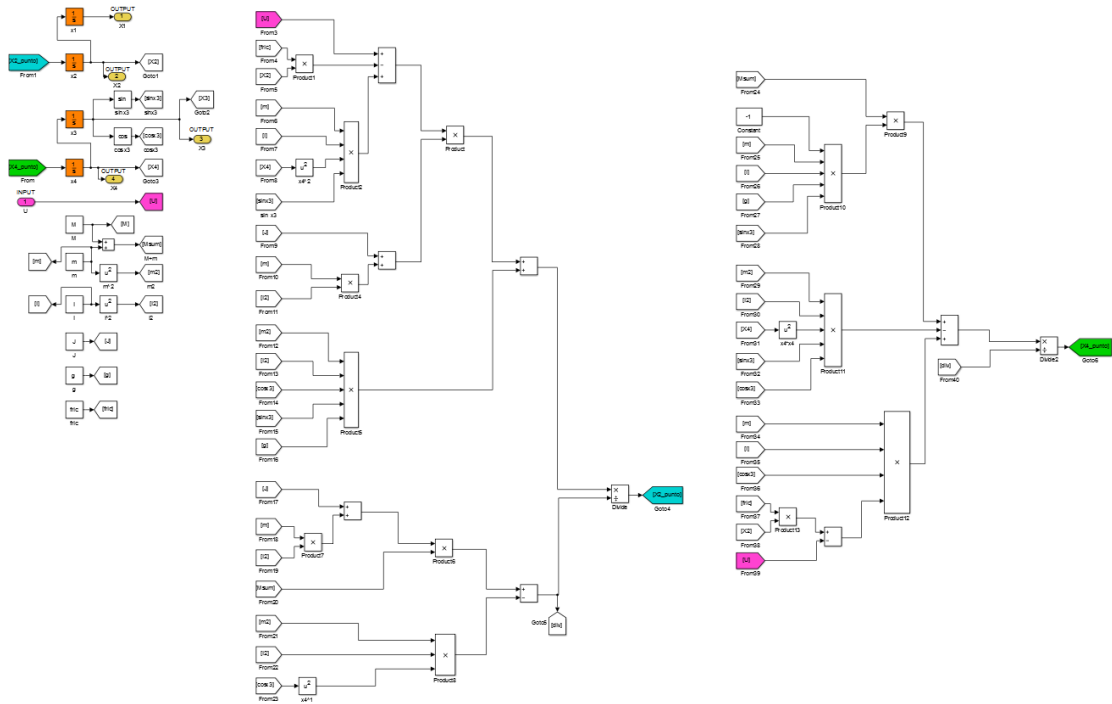


Figura 17 Esquema de blocs resultant corresponent al sistema no lineal a Simulink

Els integradors es poden veure de color taronja, d'altra banda les variables \dot{x}_2 i \dot{x}_4 resultants de les operacions es veuen en blau i verd respectivament, la entrada U es pot veure en color rosa i, per últim, les sortides del sistema en color groc.

En el moment en que ja està definit el model, es pot crear un subsistema per tal de integrar-lo als diferents esquemes de control i simulacions. Aquest queda de la següent forma:

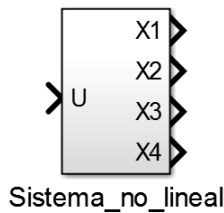


Figura 18 Bloc del subsistema creat per al model no lineal a Simulink

3.9.2 Simulació del sistema no-lineal

Per simular el sistema no lineal es fa servir el subsistema creat anteriorment, d'on s'obtenen les variables de sortida. En aquest cas, mitjançant el bloc *sum* cal fer una resta a la variable x_3 (ϕ), que és l'angle del pèndul, ja que el sistema ha estat linealitzat amb el seu punt d'equilibri en l'angle π i el controlador lineal funciona de manera que porta totes les variables a zero, per tant, cal restar-li π a la variable x_3 abans de tancar el llaç de control.

Un cop feta la resta, s'han de multiplexar les variables de sortida per poder fer la multiplicació que retorna la senyal de control $U = -K \cdot x$. Per multiplexar les variables es fa servir un bloc *mux*, on li entren les variables i surt X multiplexada, aquesta es multiplica amb el guany $-K$ fent servir el bloc *gain*, la sortida del qual retorna U .

Aquesta U cal introduir-la a l'entrada del subsistema que es comporta com a sistema no lineal i d'aquesta forma queda tancat el llaç de control. Per tal de simular el sistema a *Simulink* cal aplicar alguna condició inicial, per exemple a l'angle. Per tal d'aplicar-la, cal obrir el subsistema i introduir la condició a l'integrador corresponent a la sortida x_3 . L'esquema de control queda per tant de la següent forma:

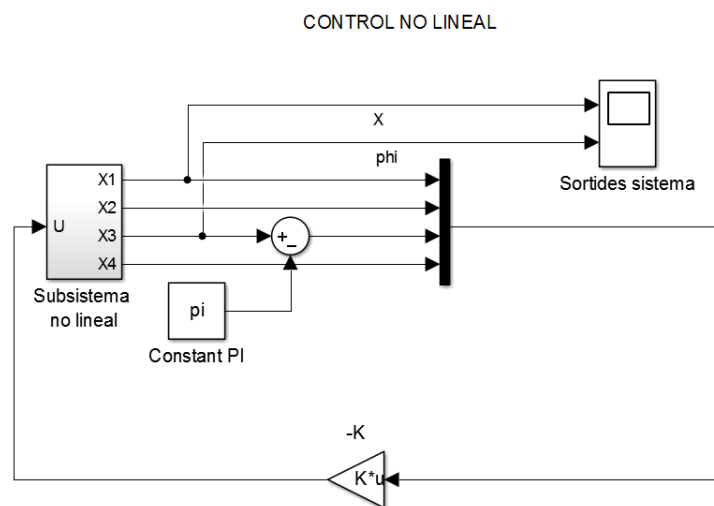


Figura 19 Esquema de control per realimentació d'estats fent servir el bloc del sistema no lineal

Simulant aquest sistema es pot veure que la sortida phi es manté en l'angle π , és a dir, el pèndul en posició vertical cap amunt, i la resta de variables varien fins que l'angle queda en estat estacionari. A continuació es mostren les sortides del sistema no lineal un cop acabada la simulació i la configuració dels blocs de simulació.

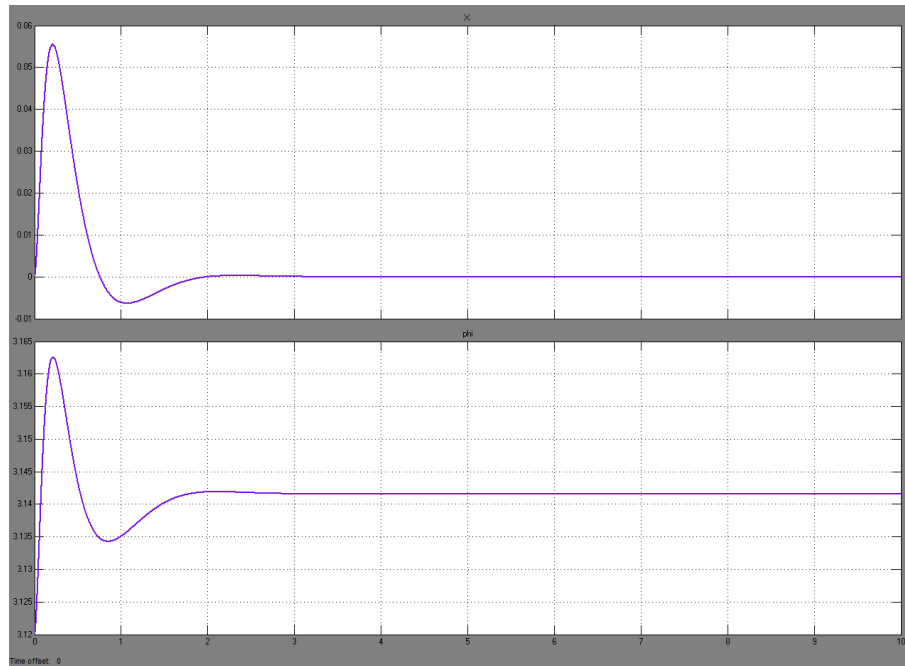


Figura 20 Resultat de la simulació aplicant una condició inicial de $x_3=3.12$ sobre el sistema enllaç tancat no lineal

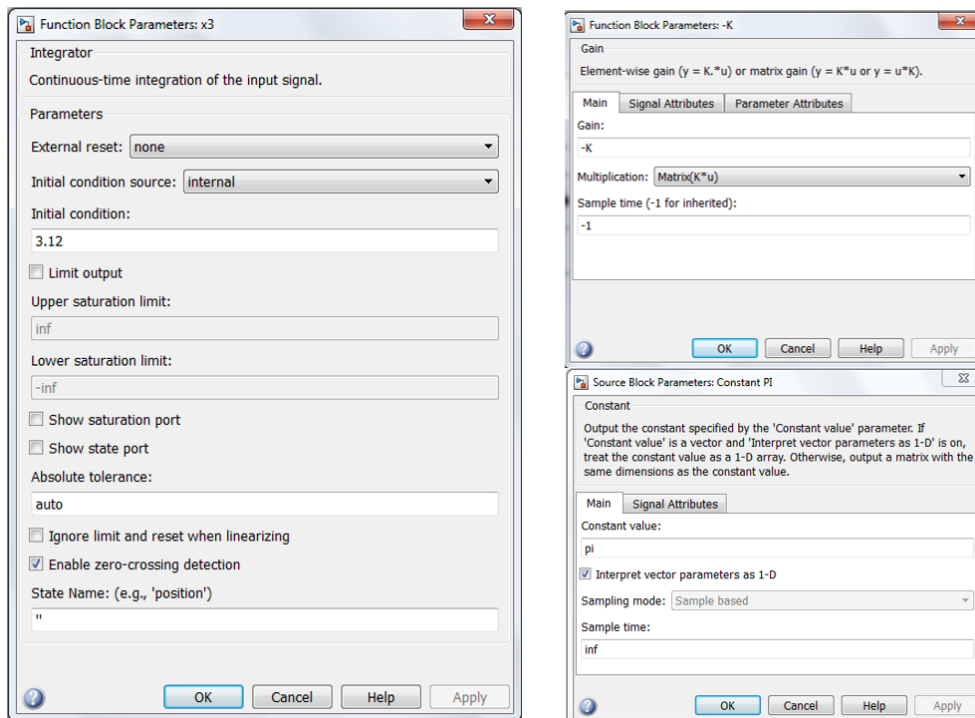


Figura 21 Valors de configuració dels blocs emprats al sistema enllaç tancat no lineal

3.10 Discretització del sistema lineal

3.10.1 Selecció del període de mostreig

Donat que el sistema a controlar funcionarà amb un microcontrolador, cal discretitzar el model ja que l'adquisició de variables i l'actuació es faran cada T_s segons, on T_s és el temps de mostreig. Per tal de obtenir quin ha de ser aquest període de mostreig, cal saber quins són els pols més ràpids del sistema en llaç tancat. Els pols escollits anteriorment eren els següents:

$$Pols_cont = \begin{matrix} -15.0000 + 0.0000i \\ -15.0000 + 0.0000i \\ -2.5000 + 2.5000i \\ -2.5000 - 2.5000i \end{matrix}$$

En aquest cas els pols més ràpids són el pols reals -15, donat que el sistema ha de ser mostrejat més ràpid que els període dels pols, cal aplicar la següent fórmula per obtenir el període de mostreig màxim.

$$\tau = -\frac{1}{pol_{real}}$$

$$hmax = \tau/N$$

On pol_{real} serà el pol més ràpid en continu, i N serà un valor comprès entre 4 i 10 en funció del número de mostres desitjades en cada període de mostreig. Per tal d'obtenir aquest valor es fa servir el següent codi de *MATLAB*:

```
pol_mes_rapid=pols_cont(1) %Seleccionar el pol mas ràpid en continu,  
si els més ràpids són imaginaris cal canviar el mètode de càlcul!!!  
pcd1=pols_cont(1);  
pcd2=pols_cont(2);  
pcd3=pols_cont(3);  
pcd4=pols_cont(4);  
tau=-1/pol_mes_rapid;  
N=4; %segons si es volen mes o menys mostres  
hmax=(tau/N)
```

Un cop executat el codi retorna com a resultat: $\tau = 0.0667$; $hmax = 0.0167$

Tal i com s'ha mencionat anteriorment, cal seleccionar un període de mostreig més petit al màxim calculat. Seguint aquest criteri, es selecciona un període de mostreig $h=0.015$ s.

Per evitar discretitzar el model de forma incorrecta a *MATLAB*, s'inclou una condició dins un bucle *while* per tal de preguntar a l'usuari el període desitjat sempre i quan el període màxim no superi el període de mostra fixat, h .

La condició queda de la següent forma:

```
while h>=hmax
    prompt = '¿Període de mostreig no ajustat?(ajustar):';
    h = input(prompt);
end
```

3.10.2 Càlcul del model discret lineal

3.10.2.1 Discretització del model en espai d'estats

Un cop s'ha comprovat que el període de mostreig compleix la condició, es pot procedir a discretitzar el model lineal en espai d'estats. Obtenir el model en discret es fa de forma senzilla amb la funció *c2d()*, a la qual se li han d'introduir com a paràmetres el model en espai d'estats continu, el mètode de discretització i el període de mostreig. Un cop obtingut l'espai d'estats en discret es poden extreure les matrius en discret *Phi*, *Gamma* i *Cd* mitjançant la funció *ssdata()*.

El codi queda de la següent forma:

```
%sistema discret segons període h calculat
ssdiscret=c2d(espai_obert,h,'ZOH') %discretització del model continu
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);%obtenció de les matrius
discretes
set(ssdiscret,'InputName',inputs) %declaració de les entrades del
sistema
set(ssdiscret,'OutputName',outputs) %declaració de les sortides del
sistema
```

3.10.2.2 Càlcul dels pols discrets desitjats en llaç tancat

Sabent el període de mostreig del sistema, cal obtenir els pols en el pla discret per tal d'obtenir el nou controlador que permeti controlar el sistema mostrejant les senyals d'entrada al controlador cada 0.015 segons.

L'obtenció dels pols discrets es fa aplicant la correspondència entre el pla *s* i el pla *z*, que resulta ser:

$$z_i = e^{s_i \cdot h}$$

On *s* són els pols continus, *h* el període de mostreig i *z* els pols discrets. Amb la finalitat d'aplicar la conversió a *MATLAB* cal saber que per fer l'exponencial es fa servir la funció *exp()*. El codi pertinent queda de la següent forma:

```
%pols discrets desitjats  
pdd1=exp(pcd1*h);  
pdd2=exp(pcd2*h);  
pdd3=exp(pcd3*h);  
pdd4=exp(pcd4*h);  
pdd=[pdd1; pdd2; pdd3; pdd4]; %matriu amb els pols discrets
```

Torna com a resultat els pols desitjats en temps discret.

$$pdd = \begin{bmatrix} 0.7985 + 0.0000i \\ 0.7985 + 0.0000i \\ 0.9625 + 0.0361i \\ 0.9625 - 0.0361i \end{bmatrix}$$

Tal i com era d'esperar, els pols desitjats, un cop discretitzats, són estables. Això es pot saber ja que són estables tots els pols discrets que quedin dintre del cercle unitari del pla complex discret. Figura 22

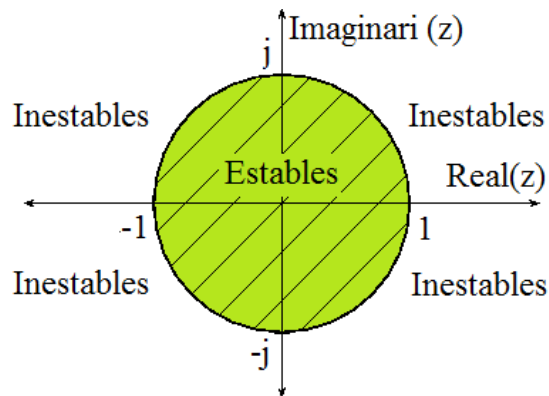


Figura 22 Pla discret i zones d'estabilitat de pols discrets

3.10.2.3 Càlcul del guany en discret

Per tal de desenvolupar un llaç de control en discret cal obtenir primerament el guany discret, per a obtenir aquest guany es pot fer servir la funció *acker()* novament, a la qual se li passa com a paràmetres en aquest cas, la matriu *Phi* i la matriu *Gamma* calculades anteriorment i els pols discrets desitjats que s'han calculat a l'anterior apartat. El codi és el següent:

```
kd=acker(phi,gamma,pdd)%càlcul del guany k en discret
```

3.11 Anàlisi del sistema lineal discret en llaç tancat

3.11.1 Simulació del sistema discret lineal en llaç tancat amb MATLAB

Primerament, cal calcular el sistema discret en llaç tancat per poder aplicar-li diferents proves. El sistema s'obté de la mateixa manera que en continu, amb la funció *ss()*, la diferència és que les matrius en aquest cas són les matrius discretes *Phi*, *Gamma*, *Cd* i *Dd*.

Per obtenir la matriu Φ en llaç tancat cal fer la operació $\Phi - \Gamma \cdot K_d$. A més, cal incloure als paràmetres de la funció el temps de mostreig h . D'aquesta forma es pot obtenir el sistema en espai d'estats en discret. El codi de *MATLAB* que permet obtenir el sistema és el següent:

```
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd, gamma, Cd, Dd, h); %sistema discret en llaç tancat
T=0:h:10; %Vector discret de temps 10s
set(ssdiscret_lt, 'InputName', inputs) %Declaració de les entrades del sistema
set(ssdiscret_lt, 'OutputName', outputs) %Declaració de les sortides del sistema
```

Obtingut el sistema discret en llaç tancat en espai d'estats es poden realitzar diferents proves com ara la resposta a una entrada graó o la resposta davant diferents condicions inicials del sistema. Per tal de realitzar la simulació de l'entrada graó cal fer servir la funció *step()*, igual que en el cas del sistema continu, la diferència és que en comptes de introduir el temps de simulació cal introduir el vector de temps de simulació calculat anteriorment on els valors són increments de 0.015s. El codi que ho permet és el següent:

```
%Step
step(ssdiscret_lt, T) %resposta al graó en discret
title('Step response DISCRETE SYS')
```

La resposta del sistema en aquest cas continua sent estable tal i com era d'esperar. Figura 23

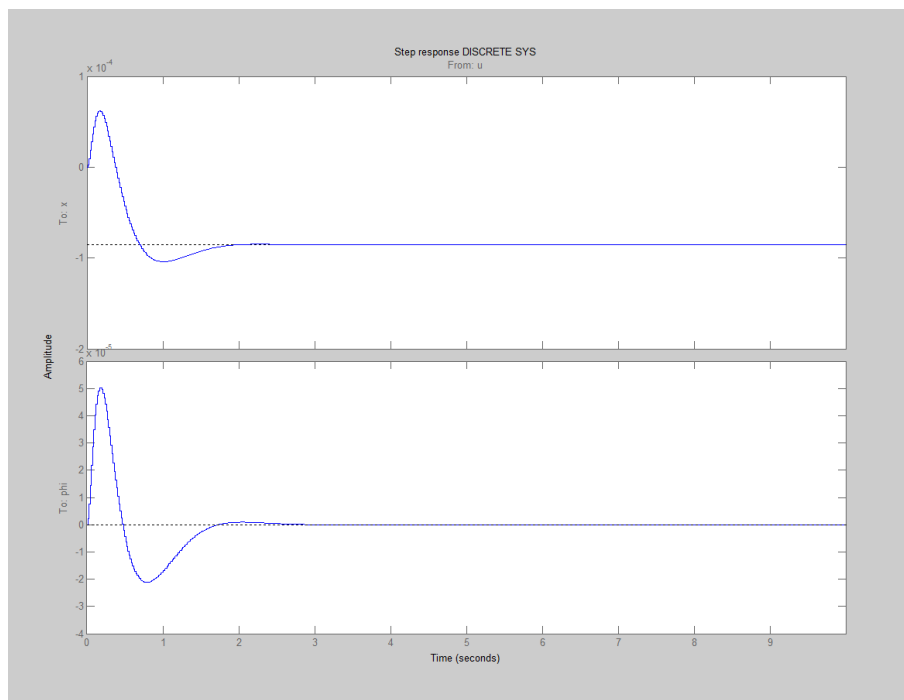


Figura 23 Resultat de la simulació aplicant un graó sobre el sistema en llaç tancat linealitzat discret

D'altra banda, es poden realitzar proves del sistema utilitzant diferents condicions inicials iguals a les proves realitzades en continu. En aquest cas on també canvia el valor del temps, cal introduir a la funció *initial()* el vector de temps corresponent.

A aquest sistema discret se li han realitzat dues proves de condicions inicials, una amb condició inicial a la variable x_3 , és a dir, l'angle del pèndul i altre amb condicions inicials a les variables x_1 i x_2 , que corresponen a la posició i velocitat del carro. El codi emprat es mostra a continuació:

```
%Initial Conditions phi diff 0
subplot(1,2,1)%Crea una figura de 2 simulacions i selecciona la
primera posició
x0=[0;0;3.12;0];%Condicions inicials del sistema on x3=3.12rad
initial(ssdiscret_lt,x0,T)%Simulació de les condicions inicials
title('Closed Loop DISCRETE response to Initial ->phi=3,12
rad')%Inserta títol a la simulació

%Initial Conditions position diff 0 vel diff 0
subplot(1,2,2)%A la figura de 2 simulacions selecciona la segona
posició
x0=[1;0.5;0.0;0];%Condicions inicials del sistema on x1=1m x2=0.5m/s
initial(ssdiscret_lt,x0,T)%Simulació de les condicions inicials
title('Closed Loop DISCRETE response to Initial-> x=1m
v=0.5m/s')%Inserta títol a la simulació
```

I els resultats obtinguts són els següents:

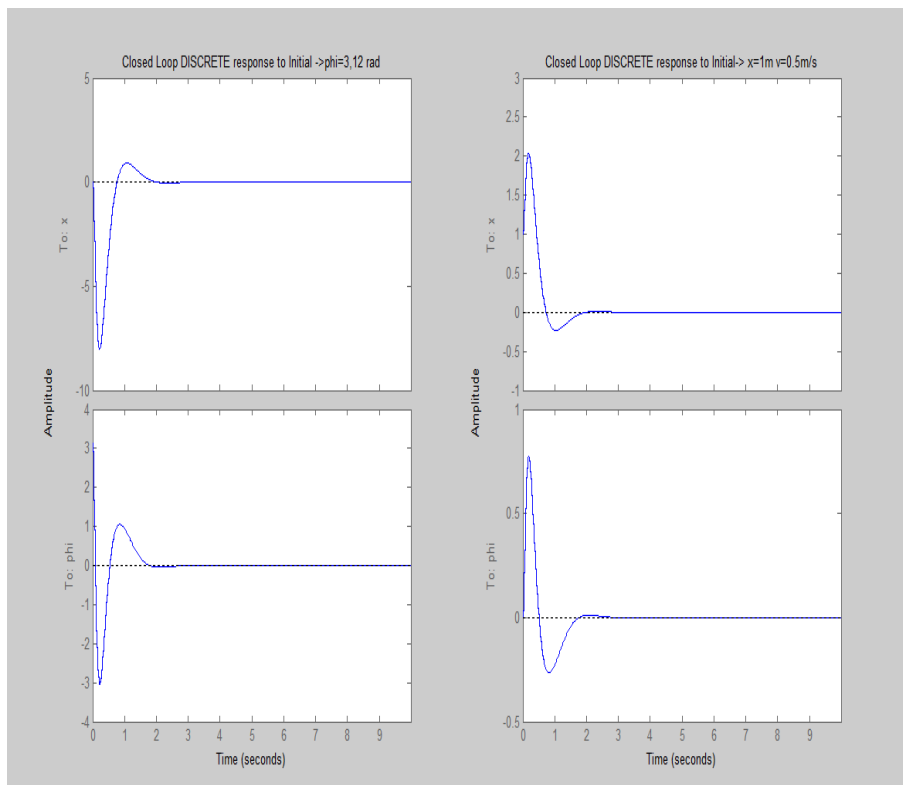


Figura 24 Resultat de la simulació aplicant diferents condicions inicials sobre el sistema en llaç tancat linealitzat discret

De la mateixa manera que a la prova anterior, el sistema es comporta de forma estable ja que les variables van cap a zero. Això demostra que el controlador i la discretització del model han sigut realitzades de forma satisfactòria. El següent pas és poder simular el controlador en discret amb *Simulink* de forma que es procedeix a crear l'esquema discret.

3.11.2 Simulació del sistema discret no lineal enllaç tancat amb *Simulink*

Un cop simulat el sistema discret enllaç tancat, cal simular el sistema amb *Simulink*. En discret, cal introduir un mantenidor d'ordre zero, que mantingui les senyals de sortida del sistema durant tot el cicle de treball, així doncs manté els valors durant els 15ms que triga a mostrejar el següent cicle, per tal de fer-ho, es fan servir els blocs *ZOH* de forma que el sistema es pugui mostrejar cada 0.015s. L'esquema enllaç tancat queda de la següent forma:

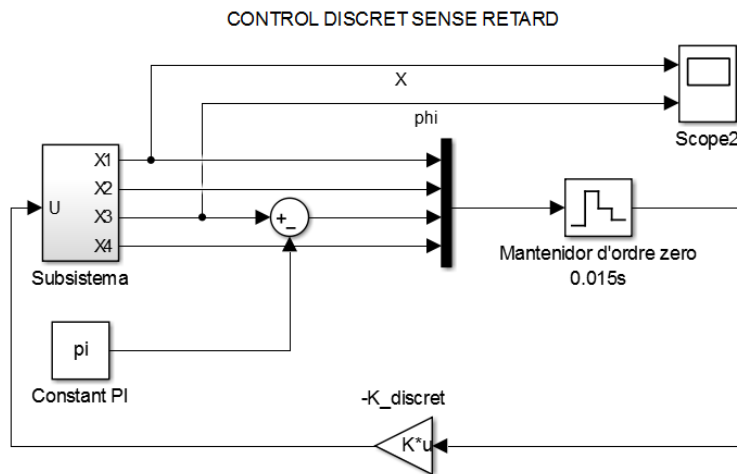


Figura 25 Esquema de control per realimentació d'estats del sistema no lineal discret

Tal i com es pot veure a l'esquema de control, les sortides del sistema passen pel mantenidor d'ordre zero i la sortida d'aquest, que retorna la senyal mostrejada surt cap al guany del controlador lineal en temps discret. La sortida del controlador tanca el llaç de control quan la senyal entra al sistema novament. Els paràmetres dels blocs es mostren a continuació:

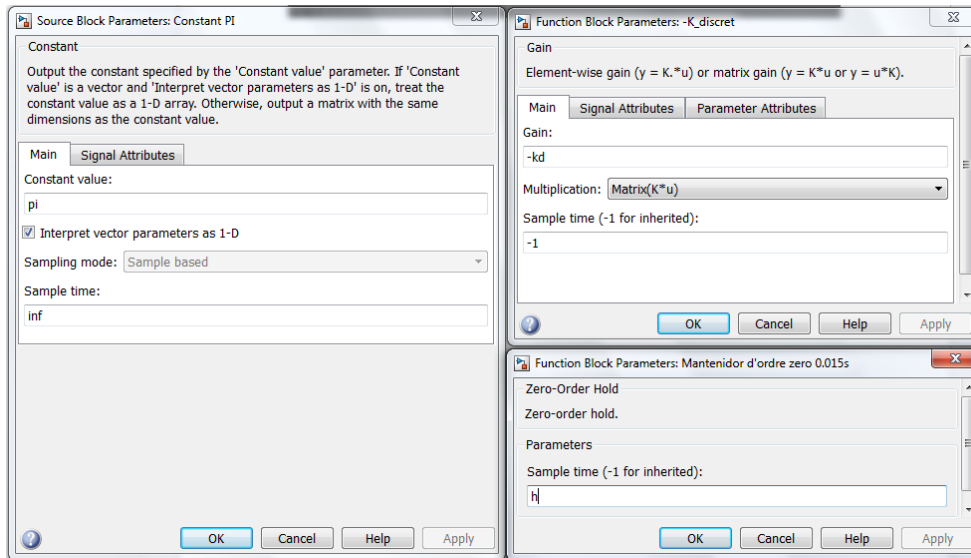


Figura 26 Valors de simulació a Simulink corresponent al sistema no lineal discret

Un cop tancat el llaç de control en discret es simula la condició inicial $x_3=3.12\text{rad}$ per comprovar que l'esquema està ben muntat i és funcional. La resposta del sistema queda de la següent forma (Figura 27), sent la resposta igual al model no lineal en continu.

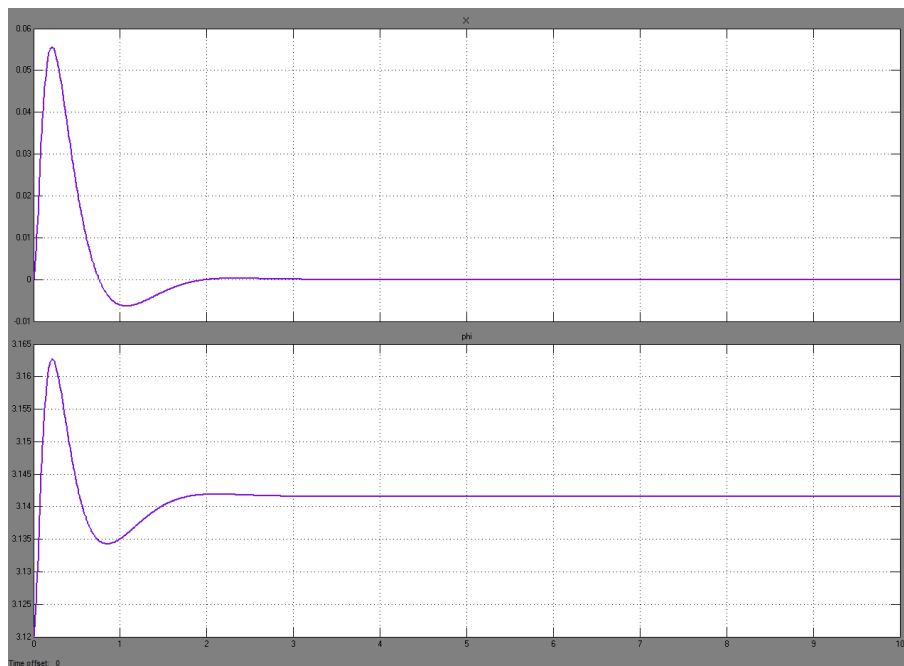


Figura 27 Resultat de la simulació aplicant un graó sobre el sistema en llaç tancat no lineal discret

Tenint el sistema discretitzat es passa al procés de disseny del controlador per al sistema real, on els motors emprats tenen un retard d'actuació de 25ms.

3.12 Model ampliat amb retard d'actuació al model

3.12.1 Obtenció del sistema ampliat en EE per introduir el retard d'actuació

En el prototip d'aquest projecte es fan servir uns motors *Hub* cedits per la *Facultat d'Informàtica de Barcelona* els quals tenen un controlador intern implementat i es comuniquen mitjançant el bus *CAN*. Els motors tenen un llaç de control intern que mesura el corrent consumit i ajusta el corrent en funció de la consigna, donat que el sistema de mesura és lent, el controlador desenvolupat triga 25ms en realitzar la lectura de consigna i ajustar la sortida correctament.

Un cop es té el sistema discretitzat i funcionant, cal ampliar el model en espai d'estats per poder considerar el retard d'actuació que introdueix el llaç de control intern dels motors del prototip. Donat que aquest retard d'actuació és més gran que el període de mostreig del propi sistema cal tenir en consideració el següent criteri per saber quantes variables extra calen i ampliar el sistema.

$$\tau = (d - 1)h + \tau' \quad 0 < \tau' \leq h$$

On τ és el retard total, d és el número de variables necessàries, per tant un valor enter, h és el període de mostreig actual i τ' és un valor comprès entre 0 i h .

En aquest cas, ja que h és 15ms i τ és 15ms, es selecciona τ' igual a 10ms de forma que l'equació queda:

$$25 = (d - 1) \cdot 15 + 10$$

La variable d , que equival al número de variables a ampliar és igual a 2. Cal tenir en consideració que, finalment, el número de variables a ampliar seran $d \cdot r$ on la r és el número d'entrades del sistema per tant caldran 2 variables extra per tal de poder modelar correctament el retard.

Sabent el número de variables extra, es pot ampliar el sistema seguint la següent representació matricial.

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}_{k+1} \\ u_{k-d+1} \\ \vdots \\ u_{k-1} \\ u_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi(h) & \Phi(h - \tau')\Gamma(\tau') & \Gamma(h - \tau') & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} & \dots & \mathbf{0} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{I} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_k \\ u_{k-d} \\ u_{k-d+1} \\ \vdots \\ u_{k-2} \\ u_{k-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \vdots \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} u_k$$

Per tal d'ampliar el sistema caldrà doncs calcular les matrius *Phi* i *Gamma* amb un temps de mostreig de $h-\tau'$, la matriu *Gamma* amb un temps de mostreig τ' i la matriu discreta *Phi* amb temps de mostreig normal h .

Seguint la representació matricial i sabent que $d=2$ s'ha d'obtenir el següent sistema ampliat on les variables ampliades corresponen a l'acció de control de l'instant anterior i l'anterior d'aquesta mateixa.

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}_{k+1} \\ u_{k-1} \\ u_k \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi(h) & \Phi(h-\tau')\Gamma(\tau') & \Gamma(h-\tau') \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{I} \\ \mathbf{0} & \mathbf{0} & \mathbf{0} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_k \\ u_{k-2} \\ u_{k-1} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \mathbf{0} \\ \mathbf{0} \\ \mathbf{I} \end{pmatrix} u_k$$

Sabent això es pot calcular el sistema ampliat amb *MATLAB* tenint en compte que la matriu *Phi* ampliada resultant serà de 6x6, el codi es mostra a continuació:

```
%Calcul sistema amb retard
tau=0.0250;%valor del retard dels motors
d=2;%nº variables a ampliar
tp=0.01;%valor tau_prima de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh')%sistema discretitzat amb temps h
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');%sistema discretitzat amb
tau prima
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%Calcular controlador posant com a pols dels components ampliats zi=0
phi_ampliada=[ phi_h      phi_htprima*gamma_tprima  gamma_htprima ;
              [0 0 0 0]      0                      eye(1)  ;
              [0 0 0 0]      0                      0      ]
gamma_ampliada=[[0;0;0;0];0;eye(1)]
C_ampliada=[[C_PI] [0 0;0 0 ]]
```

Executant el codi les matrius ampliades del sistema discret queden de la següent forma:

$$\mathbf{phi_ampliada} = \begin{bmatrix} 1.0000 & 0.0150 & 0.0014 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0 & 1.0000 & 0.1885 & 0.0014 & 0.0003 & 0.0003 \\ 0 & -0.0000 & 1.0022 & 0.0150 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0 & -0.0000 & 0.2944 & 1.0022 & 0.0002 & 0.0002 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{gamma_ampliada} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$C_{ampliada} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

3.12.2 Obtenció del controlador pel sistema discret amb retard

Per poder controlar el sistema a *Simulink* cal calcular el controlador pel sistema ampliat, es pot fer servir novament la funció *acker()* a la qual se li passen com a paràmetres les matrius discretes ampliatades i els pols discrets en llaç tancat que ja s'havien calculat anteriorment, no obstant, cal utilitzar uns pols per a les variables ampliatades, en aquest cas seran a l'origen de coordenades del pla discret, per tant seran de valor $z=0$. La funció a *MATLAB* queda de la següent forma:

```
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0 0]) %Guany discret  
ampliat amb retard
```

3.12.3 Anàlisi del sistema ampliat discret amb retard

Per poder passar a simular el sistema amb retard en discret cal crear el model corresponent a *Simulink*, per tal de fer-ho es fan servir un bloc nou, el bloc *transport delay* que simula el temps que triga en actuar el senyal de control.

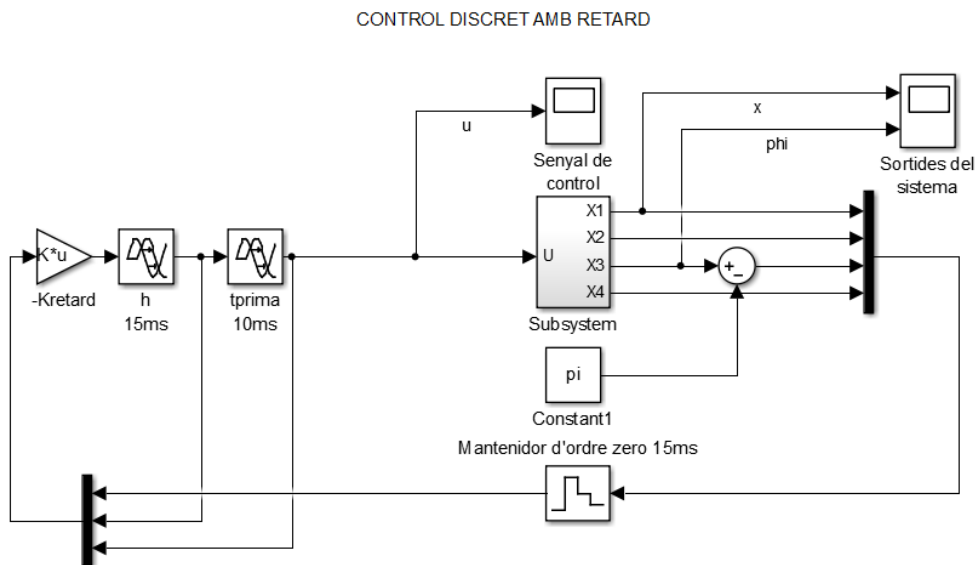


Figura 28 Esquema per realimentació d'estats del sistema no lineal discret amb retard d'actuació a *Simulink*

El primer retard correspon al propi temps de mostreig, que un cop sumat al temps 10ms equival als 25ms de temps de retard fins a actuar els motors. Una vegada s'ha modelat, es procedeix a simular amb la condició inicial igual a les anteriors proves per veure l'estabilitat amb el controlador d'estats ampliat.

Els paràmetres del model i els resultats de la simulació es mostren a continuació:

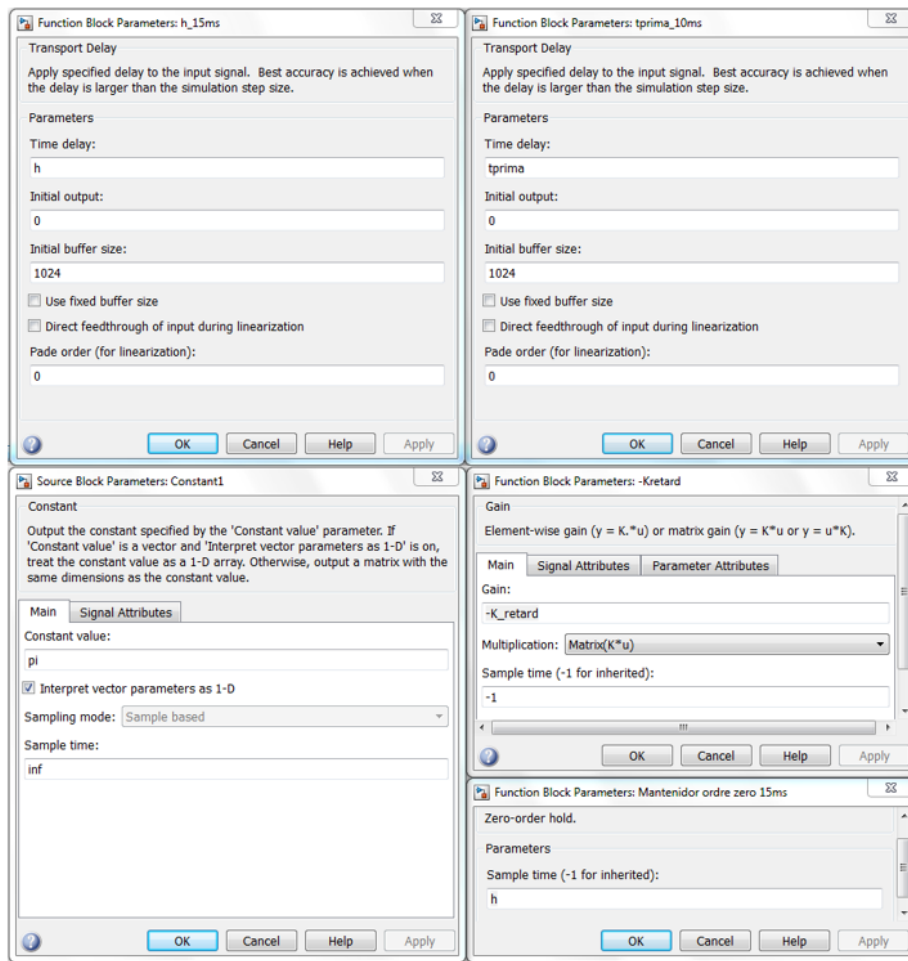


Figura 29 Valors dels blocs pel sistema enllaç tancat no lineal discret



Figura 30 Resultat de la simulació aplicant una condició inicial $x_3=3,12$ rad sobre el sistema enllaç tancat no lineal discret amb retard

Tal i com es pot veure el sistema es comporta de forma estable i porta l'angle a π des de la condició inicial 3.12rad en poc temps. A continuació, es pot procedir a dissenyar un control integral que eviti que el controlador torni a 0 totes les variables i permeti controlar a quina posició ha d'anar el sistema.

3.13 Model ampliat amb control integral

Un cop dissenyat un controlador que permeti tenir en compte el valor del retard del sistema es procedeix a dissenyar un controlador integral per tal de poder tenir controlada la posició del carro. Això permet que el sistema sigui més robust davant pertorbacions i a més atorga la possibilitat de portar el sistema a la posició desitjada.

Amb la finalitat de dissenyar el controlador integral cal ampliar el sistema segons la següent matriu de referència.

$$\begin{pmatrix} x_{k+1}^I \\ \mathbf{x}_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \mathbf{C} \\ 0 & \mathbf{\Phi} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_k^I \\ \mathbf{x}_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ \mathbf{\Gamma} \end{pmatrix} u_k - \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} r_k$$

D'aquesta forma s'introdueix al sistema un estat corresponent a la variable de l'integral de l'error de posició.

3.13.1 Control integral al sistema sense retard

Per tal de provar el control integral s'amplia el sistema sense retard. L'ampliació del sistema es realitza amb el següent codi i l'ajuda de *MATLAB*:

```
%Control integral sense retard
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posició
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi]%Matriu phi ampliada integral
Gamint=[0;gamma] %Matriu gamma ampliada integral
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.9]) %guany del controlador i
integral
Ki=Kint(1) %assignació del guany integral
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)] %assignació del guany del
controlador
```

Les matrius resultants un cop executat el codi són:

$$Phiint = \begin{bmatrix} 1.0000 & 1.0000 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0000 & 0.0150 & 0.0014 & 0.0000 \\ 0 & 0 & 1.0000 & 0.1885 & 0.0014 \\ 0 & 0 & -0.0000 & 1.0022 & 0.0150 \\ 0 & 0 & -0.0000 & 0.2944 & 1.0022 \end{bmatrix}$$

$$Gamint = 1e^{-3} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 0.0031 \\ 0.4172 \\ 0.0027 \\ 0.3659 \end{bmatrix}$$

$$Cd = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Un cop obtinguts els guanys del sistema i el guany integral cal obtenir el model a *Simulink* per tal de realitzar les proves, al model cal afegir un nou bloc que servirà per afegir un integrador en temps discret i obtenir l'integral de l'error de posició, el bloc necessari és el *Discrete Transfer Fcn*. L'esquema de control es mostra a la Figura 31.

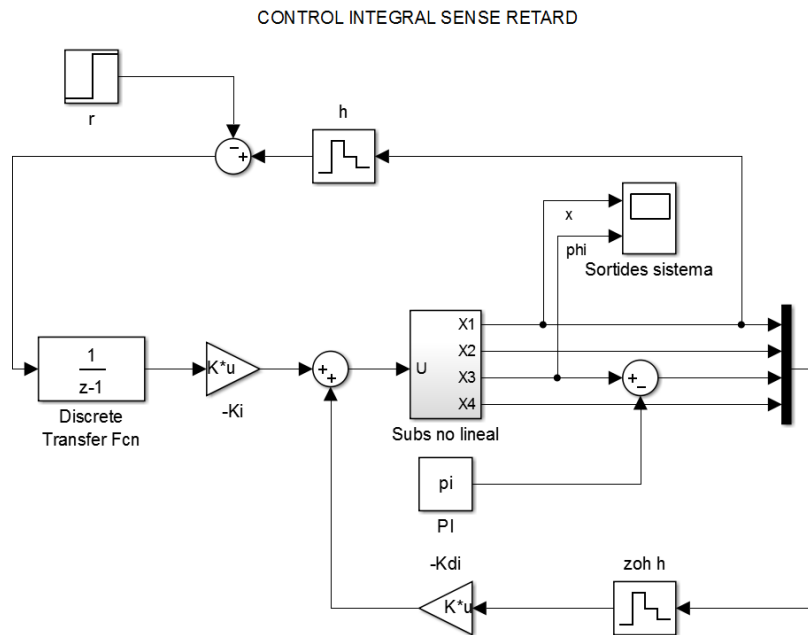


Figura 31 Esquema per realimentació d'estats amb control integral en llaç tancat sobre el sistema no lineal discret

Tal i com es pot observar a l'esquema de *Simulink* per tal de realitzar el control integral cal obtenir l'error de posició amb un bloc restador entre la sortida de posició i la consigna, posteriorment, cal fer la integral d'aquest error amb el bloc *Discrete Transfer Fcn*. Un cop obtinguda aquesta integral cal multiplicar-la pel guany integral i posteriorment sumar les variables amb el seu corresponent guany. Un cop feta la suma de les dues senyals de control es pot introduir la resultant al sistema no lineal.

Com als anteriors casos per tal de veure si el sistema és estable o no es fa servir una condició inicial de l'angle a 3.12rad i en aquest cas ja que es vol veure si el controlador porta el sistema a la posició desitjada es fa servir una consigna $r=1m$. Les dades referents a la configuració dels blocs es mostren a continuació:

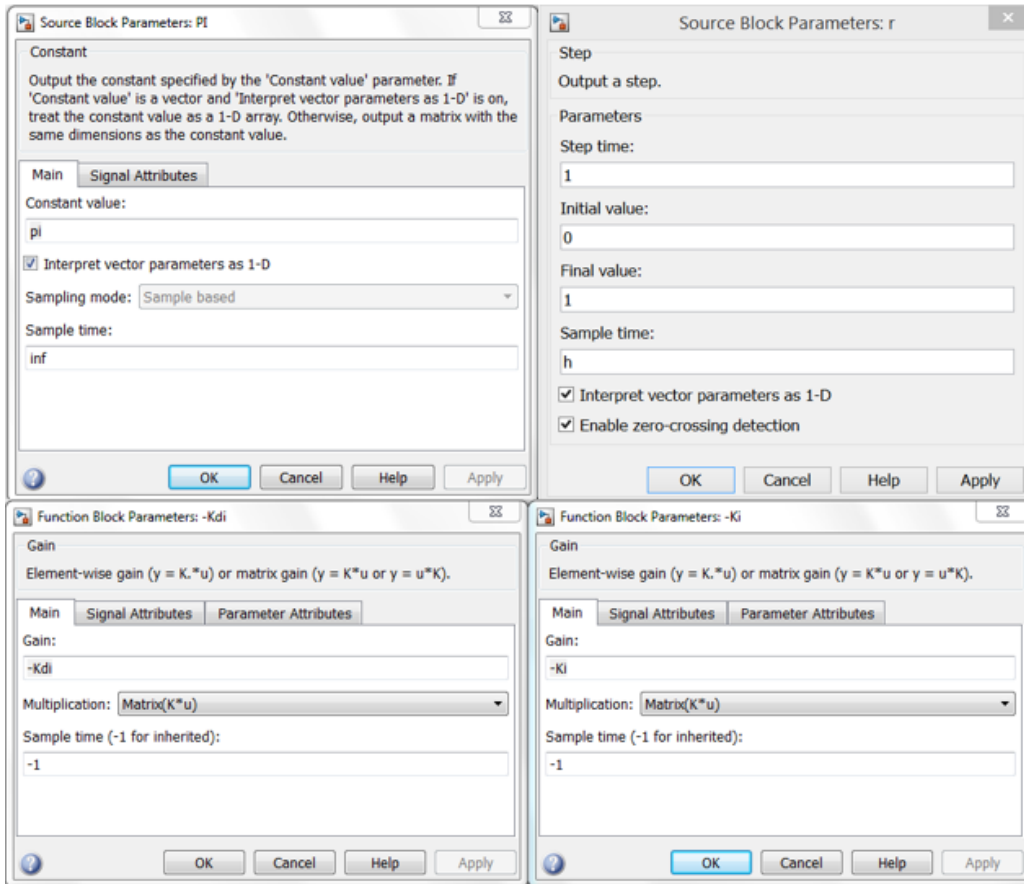


Figura 32 Valors dels blocs pel control integral sobre el sistema no lineal discret

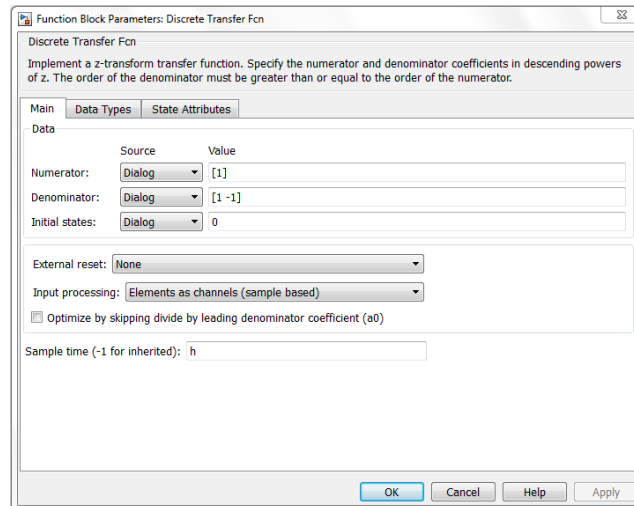


Figura 33 Valors del bloc transfer function per a aconseguir un integrador discret

El resultat de l'anterior simulació amb un temps de 25s retorna les següents sortides del sistema.

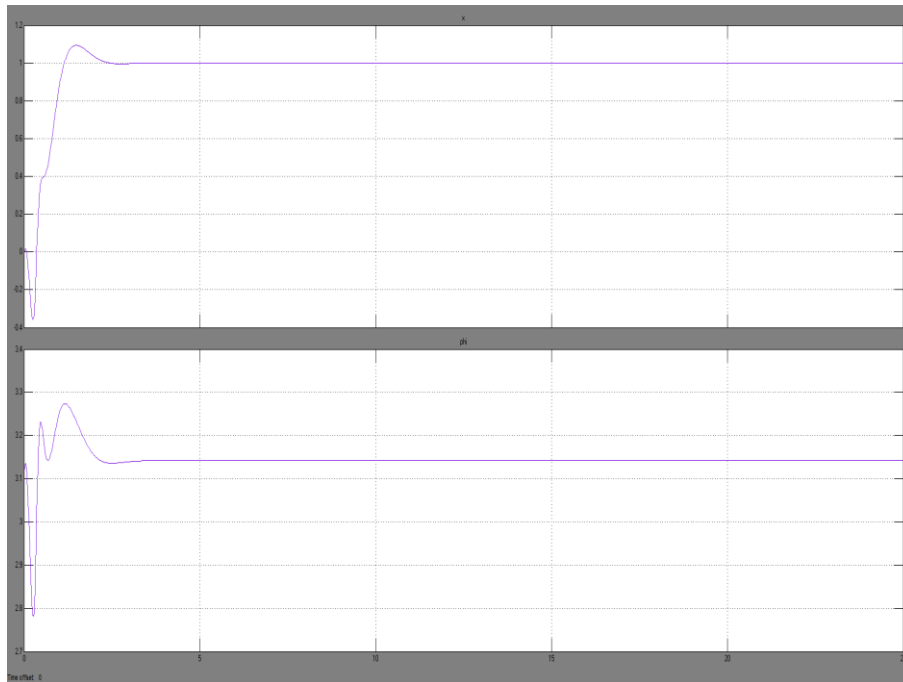


Figura 34 Resultat de simulació amb condició inicial 3,12rad i consigna 1m sobre el sistema no lineal discret amb control integral

Observant l'anterior figura es pot veure com la posició del sistema varia fins a establir-se a 1m tal i com era d'esperar, a més l'angle va cap a π rad, de forma que el sistema és estable amb el controlador integral.

3.13.2 Control integral al sistema amb retard

Sabent que el mètode de disseny del controlador integral és correcte i funcional es passa a dissenyar el controlador integral per al sistema amb retard, el qual es fa de la mateixa forma però amb les matrius ampliades del sistema amb retard. El codi de *MATLAB* per tal d'obtenir els nous guanys tenint en compte el retard dels motors es mostra a continuació:

```
%Control integral RETARD
C_ampliada_retard=[1 0 0 0 ] [0 0]] %Ja que només fem tracking de
posició!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0]' phi_ampliada]%Phi
ampliada retard
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada] %Gamma ampliada retard
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0 0.9])%Guany
variables i integral
Ki_retard=Kint_retard(1) %Guany integral
Kdi_retard=[Kint_retard(2)      Kint_retard(3)      Kint_retard(4)
Kint_retard(5)      Kint_retard(6)      Kint_retard(7)]%Guany variables
sistema
```

Executant el codi s'obtenen les matrius resultants:

$$Phi_{int_retard} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0.0150 & 0.0014 & 0.0000 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0 & 0 & 1.0000 & 0.1885 & 0.0014 & 0.0003 & 0.0003 \\ 0 & 0 & -0.0000 & 1.0022 & 0.0150 & 0.0000 & 0.0000 \\ 0 & 0 & -0.0000 & 0.2944 & 1.0022 & 0.0002 & 0.0002 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.0000 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Gam_{int_retard} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Cd = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Obtinguts els guanys del sistema amb retard es procedeix a simular a *Simulink* per veure si el model es comporta de forma estable. L'esquema de control és similar al del model amb retard però afegint la part integral de forma que s'obté l'integral de l'error de posició i un cop multiplicada pel guany integral es suma amb la senyal de control corresponent als estats de les sortides. El mencionat esquema es mostra a la Figura 35.

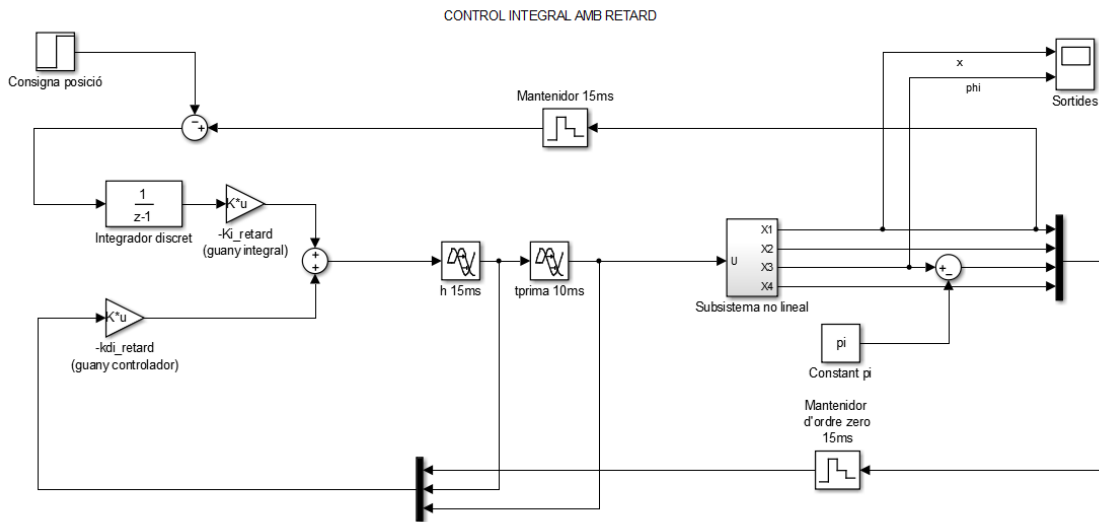


Figura 35 Esquema per realimentació d'estats amb control integral en llaç tancat sobre el sistema no lineal discret amb retard

Els paràmetres del model amb control integral i tenint en compte el retard d'actuació es mostren a continuació:

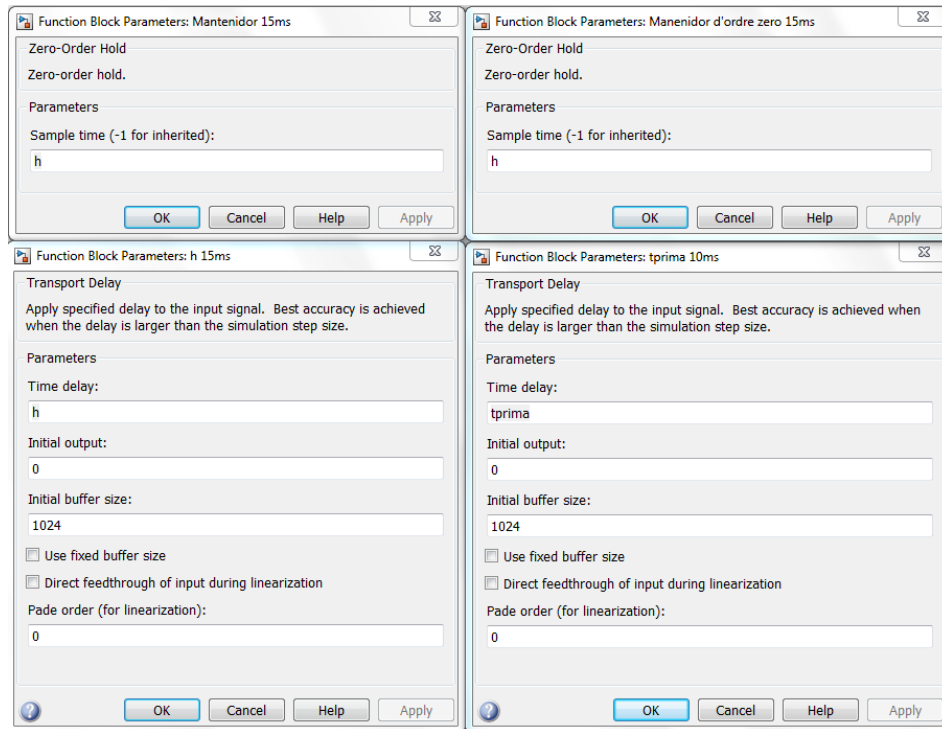


Figura 36 Valors dels blocs de simulació del sistema no lineal amb control integral i retard d'actuació



Figura 37 Resultat de simulació amb condició inicial 3,12rad i consigna 1m sobre el sistema no lineal discret amb control integral i retard

Tal i com es pot observar a la Figura 37 aplicant una consigna de posició de 1m amb el pèndul a dalt es veu com el sistema es desplaça cap a la posició desitjada sense que el sistema es comporti de forma inestable.

El codi complet de *MATLAB* es pot trobar a l'ANNEX H – CODIS DEL PROJECTE.

Capítol 4

SIMULACIÓ A LABVIEW

Per tal de realitzar una simulació en la que es pogués apreciar de forma més intuïtiva la resposta del controlador i veure el comportament del sistema amb més claredat es va pensar en realitzar un muntatge a *Labview*. En aquest es volia aconseguir, mitjançant un dibuix d'un vehicle en 3d similar al prototip construït i realitzant un muntatge igual que la estructura de control realitzada a *MATLAB*, valorar la resposta obtinguda amb el control calculat i la qualitat d'aquest per tal de tenir un millor criteri abans d'implementar-ho al model físic.

Referent a l'estructura de control, com s'ha comentat anteriorment es va voler seguir la mateixa que a les simulacions a *MATLAB*, per tant es va realitzar el següent muntatge:

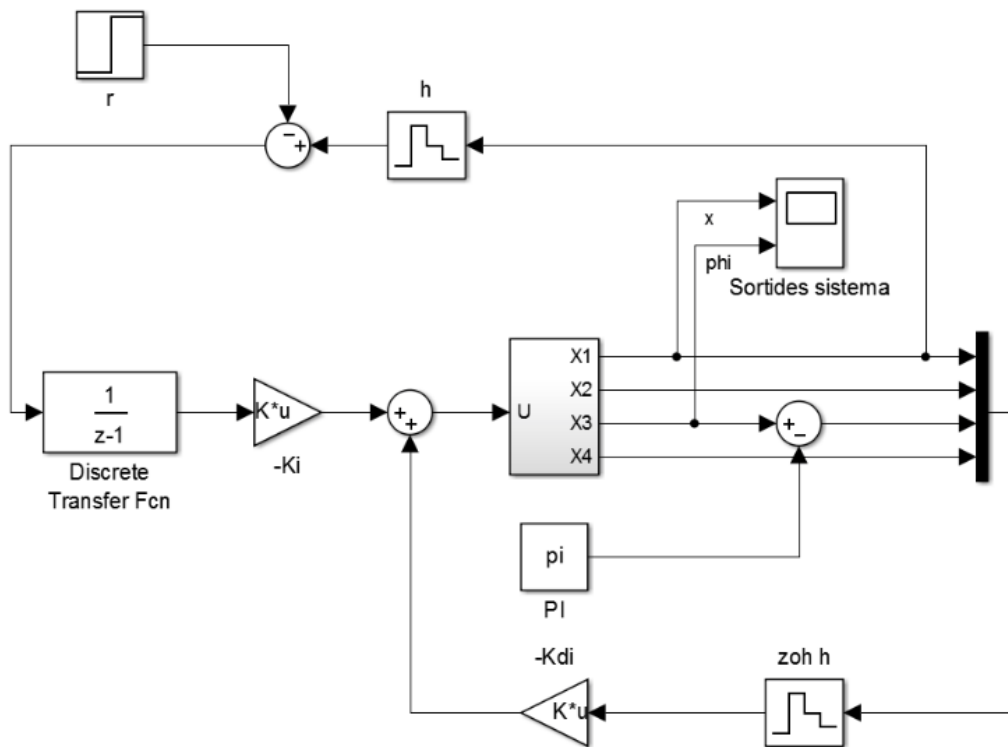


Figura 38 Esquema de control del sistema lineal a Matlab sense retard

4.1 Diagrama de blocs

Aquest esquema de *MATLAB* es pot realitzar a partir dels blocs de la paleta *Control design & Simulation* que permet realitzar la estructura de control amb els seus elements a més d'altres controladors numèrics que permetran introduir les dades necessàries. Això fa que el muntatge amb *Labview* quedi de la següent forma:

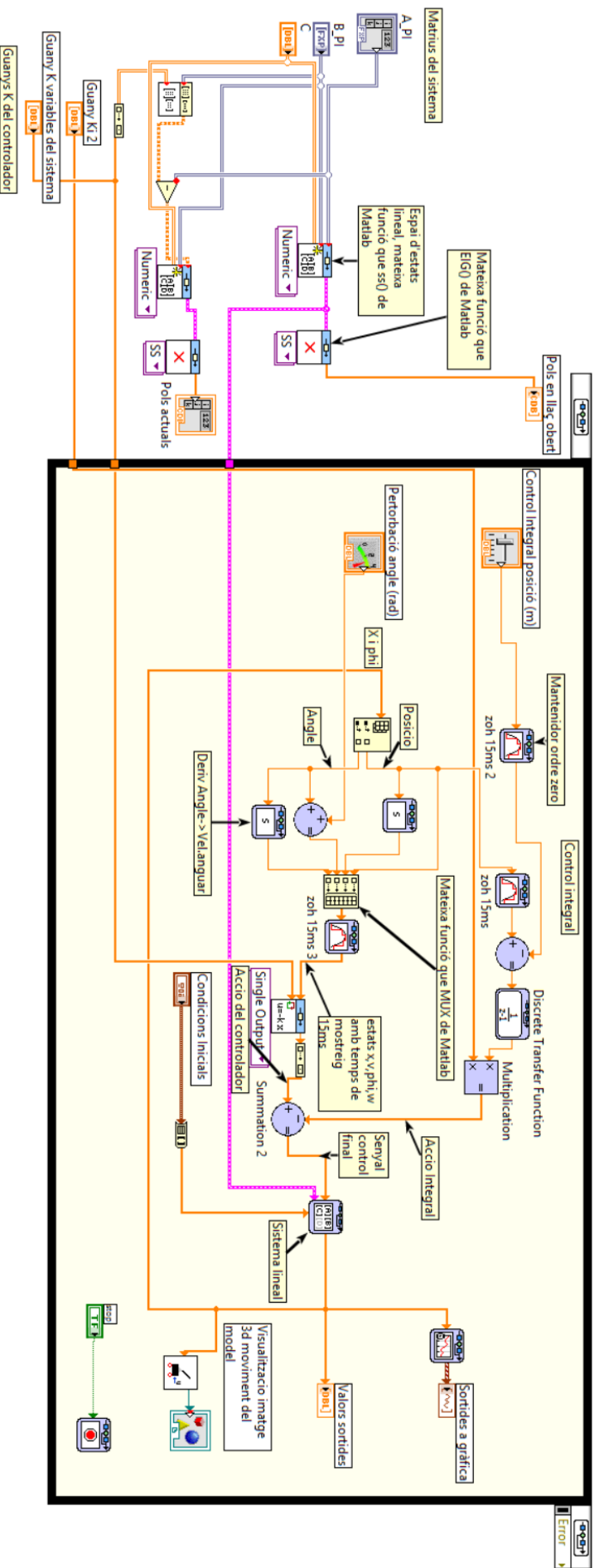


Figura 39 Esquema de control i programació de la simulació a LabView

Com podem observar segueix la mateixa construcció que el muntatge realitzat a *MATLAB*, amb l'única diferència que en el cas del *LabView* en comptes de passar-li les dades del *WorkSpace* se li introdueixen manualment des del panel frontal (l'única finestra que apareixerà al executar el programa) els valors de les matrius de l'espai d'estats i els valors dels guanys K tant el del sistema com el guany del control integral. Per altra banda, també s'ha incorporat un controlador numèric que permet aplicar una pertorbació a l'angle per veure la resposta del sistema i l'eficàcia del control, així com un altre controlador numèric per tal de comprovar el correcte funcionament del control integral.

A més de la programació de la estructura de control i introducció de paràmetres necessaris per aquest s'ha creat una imatge 3d per aplicar-li el moviment i les accions de control per tal de veure d'una manera gràfica el comportament del sistema.

Per tal de crear aquesta figura s'han anat creant per separat les diferents formes geomètriques que finalment formaran el vehicle i ajuntant-les entre elles per tal de dotar-les de moviment solidari entre elles.

Primer, s'ha realitzat el pèndul amb un cilindre, s'ha dimensionat per tal de que quadrés amb la resta de la estructura i se li ha dotat de moviment pendular i de translació, les rodes s'han realitzat de la mateixa manera amb cilindres i permetent moviment de translació.

Per últim, s'han creat també dimensionant dos cubs la base on van acoblades les rodes i el pèndul, i un pla per tal de poder diferenciar bé amb el fons el moviment del vehicle, en el cas del cub, que conforma la base del vehicle, se li ha dotat de moviment de translació igual que a les rodes, però en el cas del pla no se li atorga moviment ja que la seva finalitat es un únicament com a superfície de desplaçament.

A continuació es pot observar com queda el diagrama de blocs de la representació del model en tres dimensions.

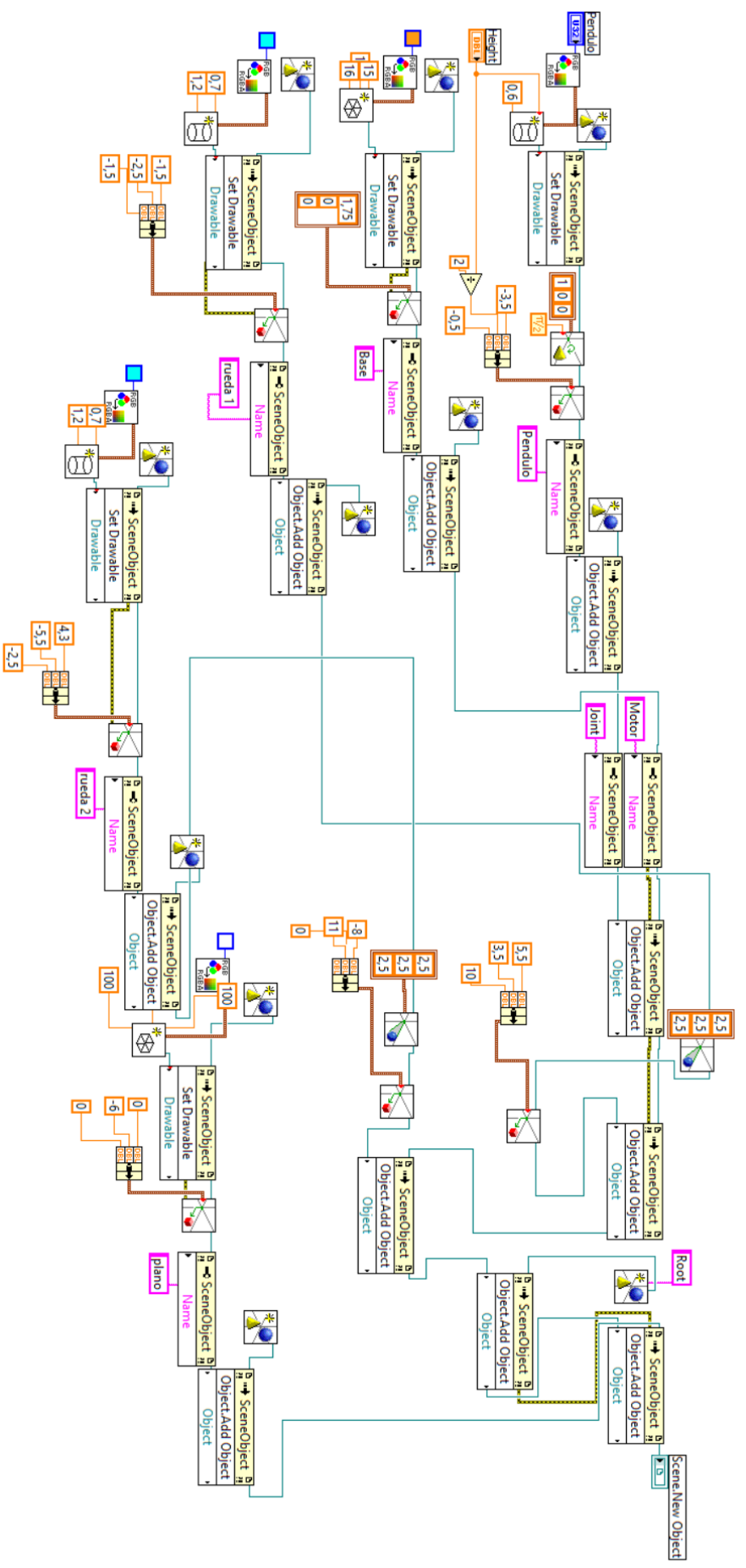


Figura 40 Esquema blocs representació 3D

4.2 Panell frontal

Fins ara s'ha parlat del panell de programació que permetrà poder simular el sistema i analitzar la resposta, però falta veure la part que únicament es veurà a partir del arxiu executable del programa, el panell frontal, ja que les anteriors imatges són del diagrama de blocs que no és accessible des de l'arxiu executable final. Aquest panell frontal que es veurà és el següent:

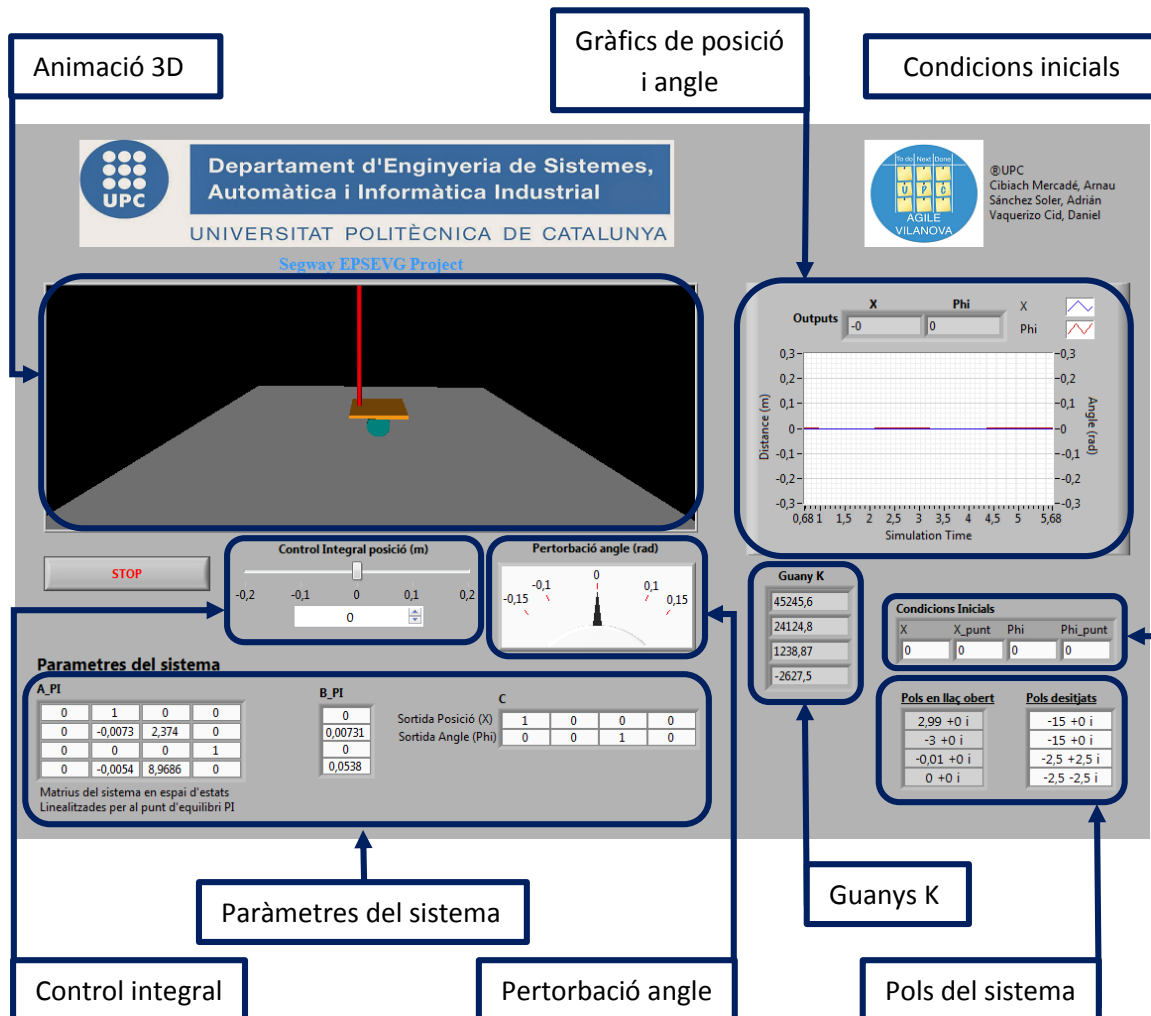


Figura 41 Panel frontal del programa de simulació del prototip

Aquí es poden veure les taules de les matrius de l'espai d'estat que s'han d'introduir manualment en cas de voler canviar les que venen per defecte, d'igual forma que el guany del sistema i el del control integral i les condicions inicials del sistema. Per altra banda, els pols en llaç obert i pols actuals són indicadors ja que es calculen pel mateix programa i per tant no es permet la modificació. Per últim, a més de la gràfica 3d on es veurà el moviment del sistema, hi apareix una gràfica de posició i angle per tal de registrar les pertorbacions introduïdes mitjançant els controladors de pertorbació d'angle i control integral, els quals poden anar variant el seu valor durant l'execució i veure com reacciona el vehicle.

Capítol 5

ARQUITECTURA ELECTRÒNICA

En aquest apartat es pot trobar un recull dels components utilitzats en la realització d'aquest projecte, explicant els motius pels quals s'han escollit aquests i aportant algunes de les característiques tècniques més interessants de tots els components utilitzats (microcontrolador, acceleròmetre i giroscopi, motors, *driver* per controlar els motors i bateries).

Aquesta selecció dels components s'ha dut a terme a partir del benchmarking, tenint en compte els elements que incorporaven els models estudiats en aquest i utilitzant-los com a referència.

5.1 Microcontrolador

El microcontrolador escollit per a la realització d'aquest projecte ha estat l'**ATMega2560** que integra la placa **Arduino MEGA**. El fet de decantar-se per una de les plaques del fabricant italià, *Arduino*, ha estat per la facilitat que aporta a l'hora de programar aquest microcontrolador. A més, disposa de una ampla varietat de pins d'entrada/sortida i de varis protocols de comunicació.



Figura 42 Microcontrolador ATMega2560

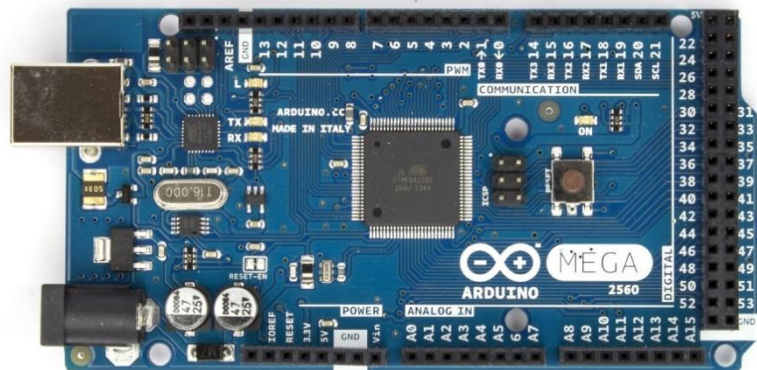


Figura 43 Placa Arduino MEGA

Dins de les plaques *Arduino*, s'ha acabat escollint la placa *MEGA*, ja que disposa d'una major quantitat de pins d'entrada/sortida que el model *UNO*, el més conegut i utilitzat en aquesta aplicació. També ofereix un major rendiment ja que el microcontrolador que incorpora, *ATMega2560*, és substancialment més potent que el *ATMega328* que incorpora l'*Arduino UNO*.

Per tant, per evitar problemes en termes de memòria disponible i comunicació i pel major ventall de connexions que ofereix s'ha escollit la placa *Arduino MEGA* com a cervell principal.

5.2 Acceleròmetre i giroscopi

En aquest apartat de l'arquitectura electrònica s'ha decidit optar per un sol component que integri ambdues funcions, tot i que com s'ha vist al benchmarking hi ha models que utilitzen dos components separats.

El component escollit per a dur a terme les funcions de acceleròmetre i giroscopi és el **MPU-6050**. Aquest sensor incorpora en un mateix xip un acceleròmetre *MEMS* (*Microelectromechanical Systems*) de 3 eixos i un giroscopi *MEMS* de 3 eixos. Per a la comunicació amb la placa Arduino i per enviar les dades (angle i velocitat angular) que capta en els 3 eixos simultàniament s'utilitza el protocol *I2C*.



Figura 44 GY-521 MPU-6050



Figura 45 Protocol I2C

El fet d'incloure en el mateix component el giroscopi i l'acceleròmetre juntament amb la seva precisió i un reduït cost han fet decantar-se pel **GY-521 MPU-6050** a l'hora de desenvolupar aquestes funcions.

5.3 Motors

En la elecció dels motors per a la realització del projecte no s'ha tingut en compte l'estudi realitzat al benchmarking, ja que tots els motors que utilitzaven els models estudiats suposaven una elevada inversió econòmica per la qual no s'estava preparat. Per tant, els motors utilitzats han estat cedits pels investigadors del departament d'*ESAI* (*Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial*) de la Facultat d'Informàtica de Barcelona.

Aquests motors, fabricats directament pels propis investigadors a la mateixa facultat, són del tipus *Brushless* (sense escobretes) i *DirectDrive*, és a dir, no incorporen cap reductora ni cap tipus de transmissió del moviment. Consisteixen d'un estator intern amb 3 bobines i un rotor extern amb 20 imants que mitjançant les variacions en l'alimentació de les bobines produeixen el moviment. L'alimentació d'aquests motors s'ha de realitzar a valors entre 20 i 24 Volts.



Figura 46 Motors HUB

Els motors disposen d'una limitació de la corrent a la que poden ser alimentats, factor que limita també el parell que poden transmetre. Això, ha suposat un gran handicap a l'hora de la implementació, ja que molts cops aquesta limitació impedia que el controlador funcionés correctament.

A continuació es mostra una gràfica on es pot observar la força que proporcionen els motors en funció de la consigna de corrent que se li subministri:

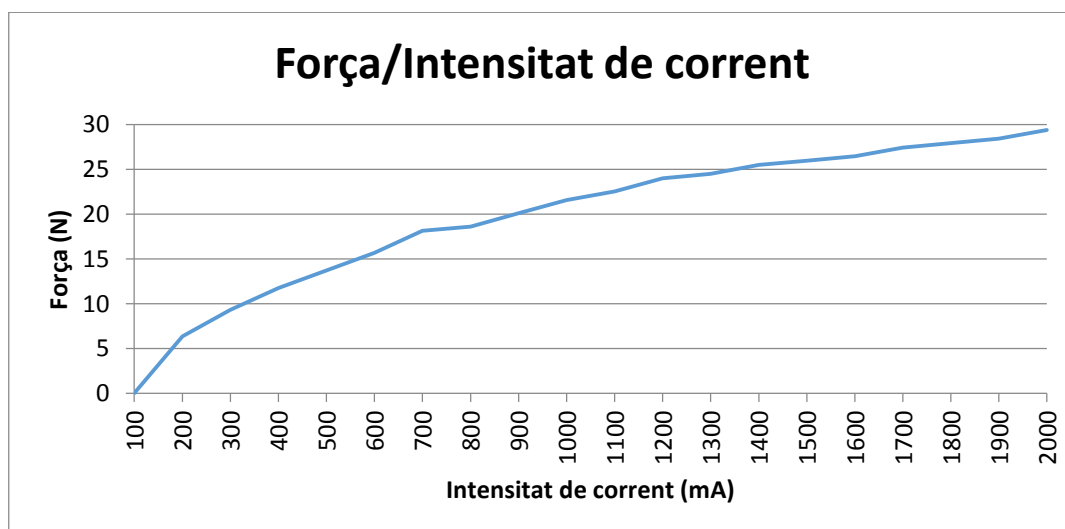


Figura 47 Gràfica F/I Motors

Es pot observar com al tenir limitada la corrent d'alimentació a 2000 mA, la màxima força que poden donar els motors és de 30 N, un valor molt baix tenint en compte les dimensions del prototip fabricat.

Finalment, deixar constància de que l'elecció dels motors no s'ha dut a terme com s'hagués desitjat a l'inici del projecte per motius econòmics i que per tant això ha afectat a la implementació.

5.4 Driver

Quant a la controladora dels motors, els motors cedits ja incorporen un *driver* per a regular el motor a través de consignes de corrent o velocitat, per tant no s'ha precisat de l'elecció d'aquest component.

Aquest *driver* que incorporen els motors realitza el control en llaç tancat mitjançant l'ús d'un *PID*, que regula la velocitat dels motors. A més, el propi controlador limita el corrent al que es pot alimentar els motors fins a un valor de 2 Ampers.

Aquesta placa del *driver* va ser dissenyada i mecanitzada també pels investigadors de la *Facultat d'Informàtica de Barcelona*.

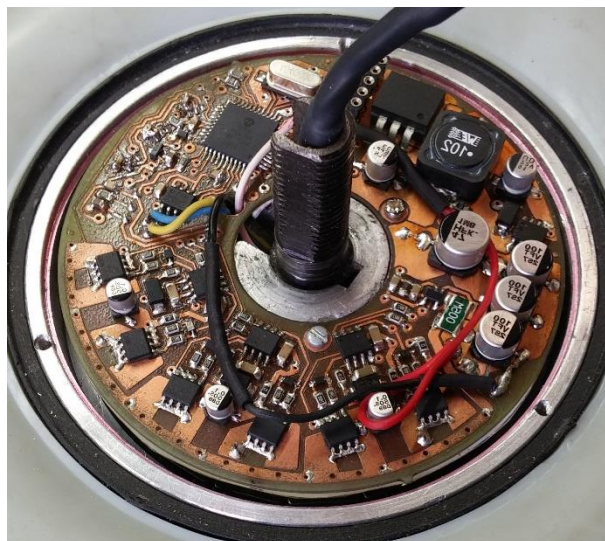


Figura 48 Driver Motors HUB

La comunicació entre el motor i el cervell principal s'ha de realitzar mitjançant el protocol *CAN-Bus* ja que és el que incorpora aquest *driver* per a realitzar l'enviament de les trames amb les corresponents consignes de velocitat o intensitat de corrent.

5.5 Bateries

Pel que fa a les bateries, de la mateixa manera que amb els motors, per motius econòmics no s'ha pogut disposar d'unes per realitzar l'alimentació dels motors. Tot i això, ajudant-se del benchmarking realitzat, s'han escollit unes que oferissin la capacitat suficient per alimentar els motors.

S'utilitzarien dues bateries de 12 V en sèrie, per aconseguir els 24 volts necessaris per a l'alimentació dels motors. Per a la alimentació de l'Arduino, s'utilitzaria el port V_{in} a 12 volts d'una de les bateries.

La capacitat desitjada d'aquestes bateries, basant-se en els models *DIY* estudiats, seria de 12 A·h, suficient per a alimentar uns motors com els que s'utilitzen en aquest projecte.

5.6 Bluetooth

El *Bluetooth* va ser necessari a l'hora de la transmissió entre l'aplicació mòbil dissenyada i el microcontrolador. Es va decidir la utilització del protocol *Bluetooth* ja que no eren necessàries transmissions a grans distàncies i aquest permet unes velocitats suficients per a realitzar la comunicació adequadament.

El component escollit és el mòdul **Bluetooth HC-05** distribuït per *Wavesen* ja que és un dels mòduls més fàcils d'utilitzar i amb una bona relació qualitat-preu. Aquest mòdul destaca per la possibilitat de treballar tant en mode *Slave* com *Master*.

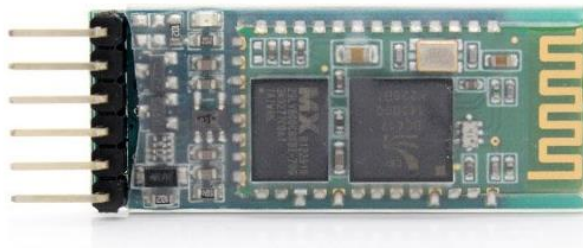


Figura 49 Mòdul Bluetooth HC-05

Capítol 6

PROTOTIP FUNCIONAL

6.1 Construcció prototip funcional

El primer pas realitzat per l'equip de dissenyadors va ser la construcció del prototip funcional. Aquest se li entregaria al equip electrònic per tal de que poguessin desenvolupar la electrònica i realitzar els testejos de la programació. El *briefing* i requeriments a complir eren els següents:

- Utilització de motors HUBS.
- Capacitat suficient de resistència com per a aguantar una persona
- Sistema de gir que pugui ser controlat per l'usuari.
- Zona on l'usuari s'hi pugui subjectar.
- Espai per a col·locar la electrònica.
- Espai per a la col·locació de bateries
- Mida i pes el més reduïts possible.

El punt de partida va ser l'obtenció de les rodes i el motor HUB. La FIB de Barcelona va facilitar un parell d'elements motrius que van donar lloc a l'inici del projecte (Figura 50).



Figura 50: Motor hub i forquilla rebudes de la FIB

El primer problema que es va trobar era la forquilla. L'ús de la forquilla complicava la construcció i elevava en excés la plataforma. Més endavant, es va veure que no calia utilitzar-la, l'eix de la roda era suficientment llarg com per a subjectar-la amb un altre component.

Un cop es coneixia la fisonomia de les rodes es van començar a barrejar les possibilitats per a la construcció de la estructura. Es necessitava quelcom rígid i capaç de suportar el pes d'una persona. El primer que es va pensar, van ser tubs d'alumini o acer els quals es doblegarien i soldarien entre ells. La manca de recursos per a realitzar aquesta tasca va fer descartar aquesta opció i passar a la següent. Es va pensar en simplificar la idea anterior i utilitzar làmines d'acer

doblegades. Els avantatges eren la reducció de pes, major facilitat en el procés de construcció i reducció de volum. La Figura 51 mostra una versió de la estructura inicial amb lamines:

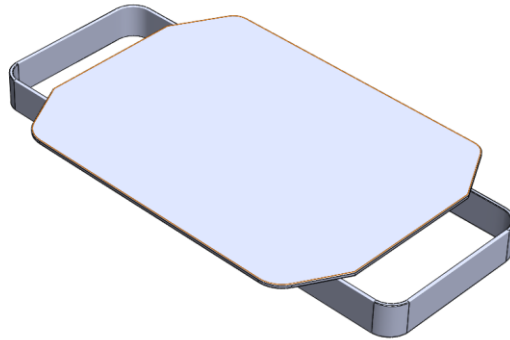


Figura 51: Estructura amb lamina d'acer

En una etapa més madura es va pensar en el que oferia el centre EPSEVG, màquines de soldadura, i es va retornar a l'ús de perfils, aquest cop quadrats (Figura 52). El pes dels perfils trobats, van fer descartar la opció.



Figura 52: Perfil d'acer quadrat

La opció final es utilitzar perfils de Mecalux. Permeten una construcció senzilla, amb marge d'error i fàcilment modelables. A més a més, el forats que acostumen a tenir aquests perfils faciliten l'assemblatge i la unió de components. Després de realitzar una taula de preus dels diferents comerços que en venen, la EPSEVG ens va facilitar el material d'uns vells prestatges.

En una fase més creativa es pretenia crear una plataforma estètica utilitzant fusta. Es volia aconseguir una aparença com la de la Figura 53. A mida que es va anar evolucionant es va comprendre que simplement necessitàvem quelcom funcional i que el temps que ens poguéssim estalviar en la plataforma, el podríem dedicar al sistema de gir. La solució final adoptada per a la plataforma va ser una fusta de contraxapat.



Figura 53: Imatge model per a l'estètica de la plataforma

El que va sorgir del concepte anterior es veu en la Figura 54. En aquest model, la estructura ja estava definida, amb mesures i distribucions.

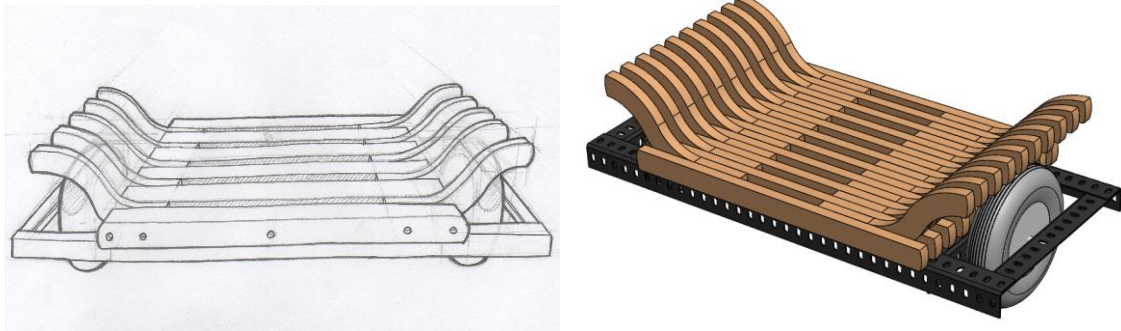


Figura 54: Sketch i modelat de la proposta

Per a la construcció del tronc es van utilitzar tubs de PVC que s'empren en les canonades. El sistema de gir es va efectuar amb unes molles i un potenciòmetre. A continuació s'enumeren totes les característiques del prototip, on es veu detalladament el sistema esmentat.



Figura 55 Estructura

Característiques del prototip funcional



La fixació de tots els elements a la estructura s'ha realitzat mitjançant cargols hexagonals i femelles auto-blocants, per evitar que s'afluixin. S'han utilitzat escaires per evitar l'efecte quadrilàter i donar rigidesa al conjunt.



S'ha creat les forquilles per a les rodes mitjançant dos perfils paral·lels i aprofitant els forats centrals, als que se'ls hi ha realitzat un tall per poder treure i posar la roda fàcilment. Mitjançant dues femelles i volanderes es fixa la roda a la posició correcta.



El perfil Mecalux aguanta bé els esforços tallants, però quan se'ls sotmet a un esforç de torsió, son poc resistents. En el primer testeig, es van doblegar, pel que es van col·locar uns tubs de reforç d'alumini.



Per a al gir es va col·locar un tub dins d'un altre per permetre el lliscament. El tub exterior es va fixar directament a la fusta mitjançant dues mordaces.



El retrocés del tronc s'efectua gracies a dues molles fixades al tronc i a l'estructura. Per augmentar el parell de gir les molles es fixen a la part més baixa del tronc.

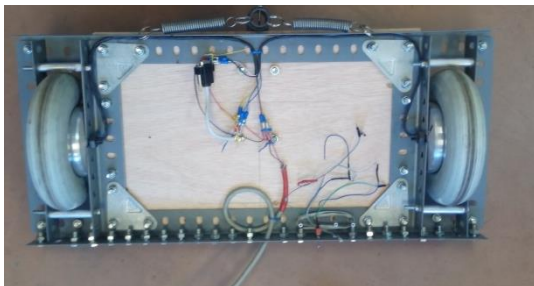


Amb l'objectiu de poder posicionar fàcilment les molles i poder-les col·locar a la distancia adequada, aquestes es fixen en una anella que s'agafa al tronc o a l'estructura.

Dos forats en el tronc permeten fixar la anella, mentre que els mateixos forats del Mecalux fixen les altres dues anelles.

L'eix del potenciòmetre s'ha fixat al tub unit a la base. El moviment de rotació es transmès de forma directa al element electrònic.

Per a fixar el potenciòmetre a la base i posar aquest a la alçada corresponent amb l'eix del tronc, s'ha utilitzat una escaira doblegada i tallada.



Tota la zona inferior esta destinada als components electrònics i les bateries. L'ús de la fusta permet fixar els components fàcilment.



S'han aprofitat els forats dels perfils per a col·locar contrapezos i centrar el CM del prototip.

6.2 Muntatge part electrònica

Un cop calculada tota la part de control, cal muntar els components sobre el prototip funcional de forma que es pugi veure si el controlador ha estat calculat de forma correcta i manté l'aparell estable.

6.2.1 Motors

En referència als motors, es van canviar els cables ja que estaven molt malmesos i podien provocar algun curtcircuit. Per tal de realitzar aquest canvi, es van soldar nous cables al *driver* que es troba dintre de la carcassa dels motors i posteriorment es va enfundar tota la trena de cables procedents del *driver* cap a l'exterior dels propis motors.

El procés de renovació queda detallat a continuació.



Figura 56 Estat inicial del cablejat dels motors

Per a la mesura de la velocitat dels motors es van soldar cables a la sortida de senyal dels sensors hall dels motors, aquest cables es van soldar sobre la pròpia placa *PCB* del *driver* dels motors, quedant de la següent forma un cop afegits els cables extra necessaris.

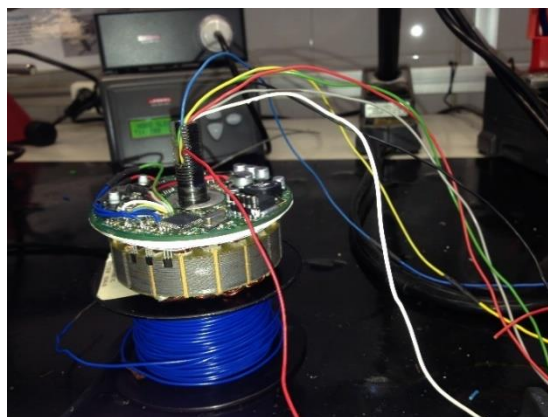


Figura 57 Motor amb cables canviats i cables per als sensor hall

Per últim, se li va afegir una funda termoretràctil a la trena de cables per protegir-los i mantenir-los ben ordenats.



Figura 58 Detall d'un dels motors amb el cablejat protegit

Un cop els cables dels motors van quedar ben protegits contra curtcircuits i friccions contra el canal de sortida metàl·lic per on passen aquests, es va procedir a muntar-los sobre el prototip.



Figura 59 Fixació roda, costat cable



Figura 60 Fixació roda, costat rosca mètrica

De forma que un cop fixades, el prototip té aquesta forma.

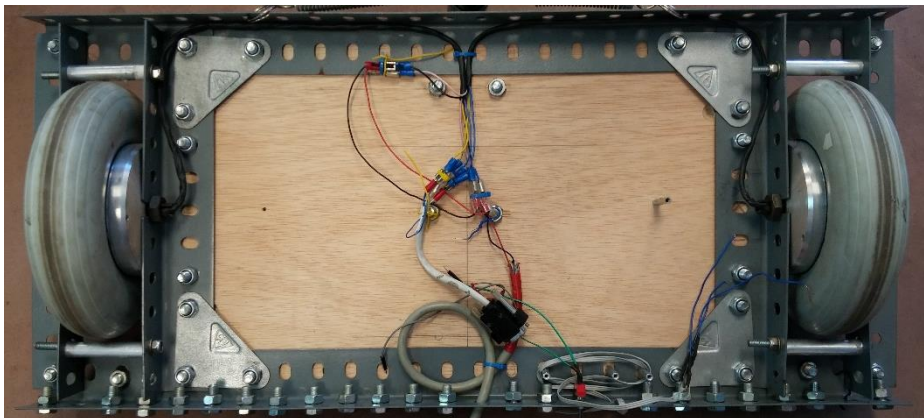


Figura 61 Prototip amb rodes



D'altra banda, tal i com es pot veure a l'anterior figura, per evitar que els cables es moguessin i per assegurar les connexions, es va procedir a posar-li terminals *faston* als diferents cables. Un cop es van tenir tots els cables amb terminals, aquests es van fixar a la plataforma del prototip fent servir brides de diferents colors.

Figura 62 Detall terminals Faston

Posteriorment, tenint fixats els motors al prototip i els cables amb terminals ben connectats es va soldar un terminal DB-9 femella a l'altre extrem de les connexions amb terminals per al bus de CAN. D'aquesta forma, es permet connectar i desconnectar els motors si és necessari substituir-los o fer-li algun tipus de manteniment. El terminal permet connectar fàcilment la *Shield* de CAN amb els motors, tal i com es mostra a continuació.

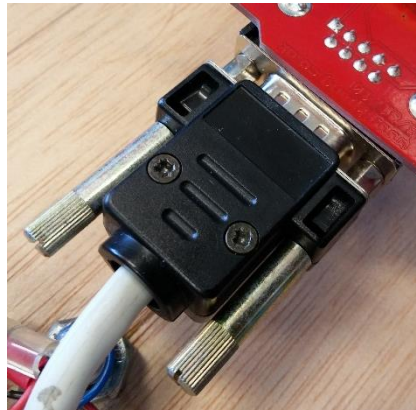


Figura 63 Connexió entre CAN motors i CAN-bus Shield

6.2.2 Placa electrònica

Un cop finalitzada la part referent als motors, es procedeix a muntar el microcontrolador i els sensors per poder realitzar proves. Inicialment, aquest muntatge es va fer sobre una *protoboard*, fixant-la sobre la estructura amb cinta de doble cara.

La connexió de les diferents plaques electròniques es va fer mitjançant cables de mascle a femella, possibilitant així la connexió de la *Shield* de CAN i el sensor acceleròmetre i giroscopi, *MPU-6050*. El muntatge inicial quedava per tant de la següent forma, on es pot veure com queda fixat a la part superior de la fusta del prototip.

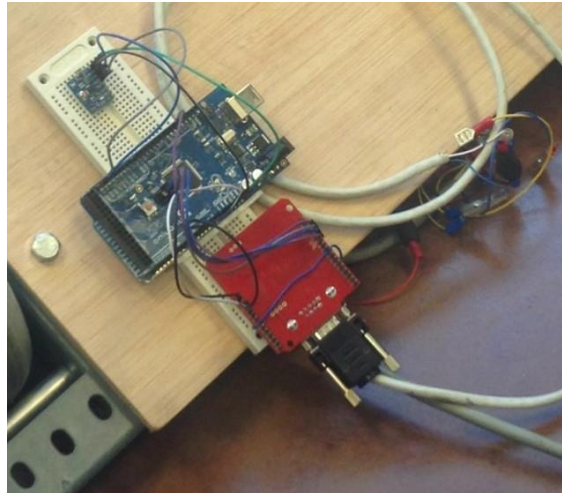


Figura 64 Placa electrònica inicial

Posteriorment i amb la realització de diferents proves, per evita que la placa es mogués i proporcionés millors lectures, es va procedir a fixar tota la part electrònica a una placa de prototips, que permet unir les pistes amb cables i estany. A més per poder enviar i rebre dades sense més cables, es va afegir un mòdul Bluetooth. L'esquema de connexió final queda tal i com mostra la següent figura:

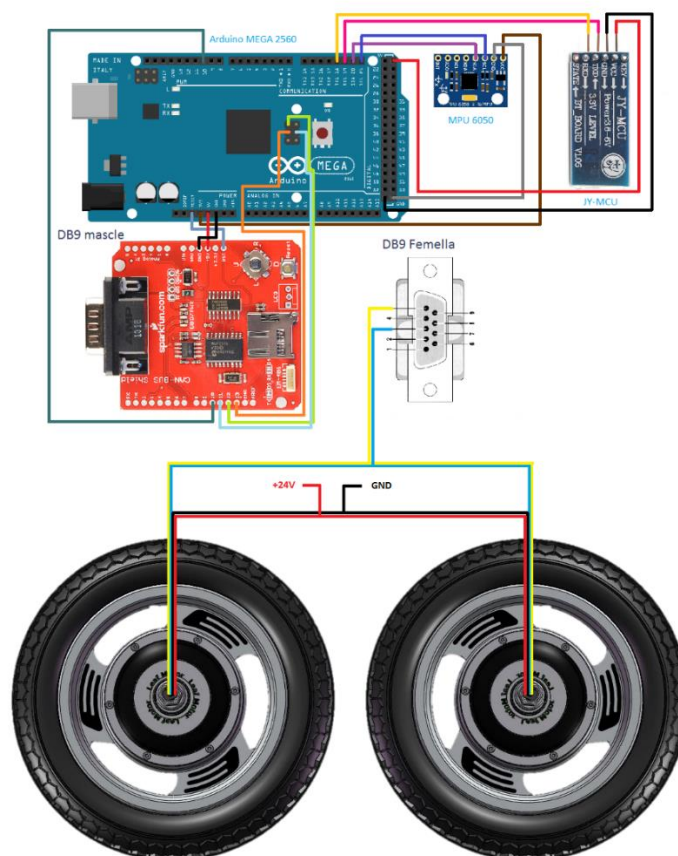


Figura 65 Esquema de connexió final

Un cop soldats els cables pertinents i fixat l'Arduino a la placa PCB, la placa electrònica on es troben els components essencials per a fer funcionar el sistema, és a dir, el microcontrolador, el Shield de CAN i el sensor giroscopi i acceleròmetre va quedar de la següent forma.

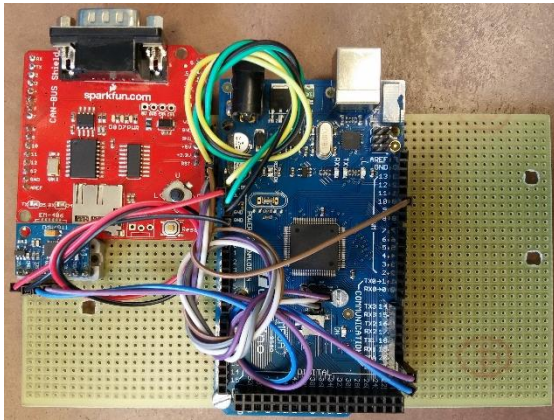


Figura 66 Placa electrònica final (1)

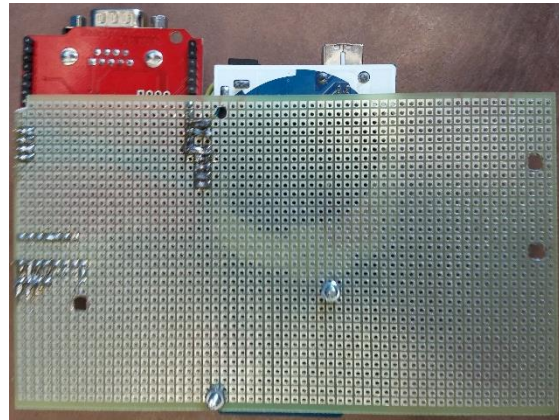


Figura 67 Placa electrònica final (2)

Cal destacar que el mòdul Bluetooth no està fixat a la PCB ja que es pot connectar directament sobre el Arduino sense necessitat de fixar-lo a la placa prototip, a més l'Arduino no està soldat sobre la placa sinó que queda fixe amb cargols i femelles per permetre canviar-lo en cas que sorgeixi algun problema o que es vulgui substituir per un altre tipus de microcontrolador.

Un cop provat el bon funcionament de la placa electrònica es va procedir a fixar-la a la part inferior del prototip funcional mitjançant uns separador de rosca mètrica i cargols del mateix tipus, d'aquesta forma el sensor de l'angle queda perfectament paral·lel respecte a la base del prototip, obtenint així unes bones mesures de angle i velocitat angular. Una vegada fixada la placa, el model queda tal i com mostra la figura següent.

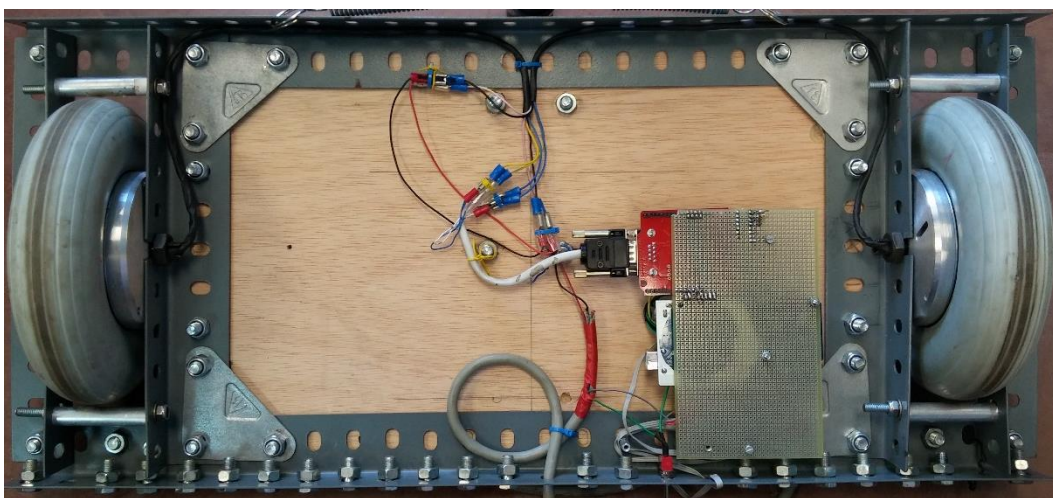


Figura 68 Model amb la placa electrònica fixada

6.2.3 Potenciòmetre per obtenir el gir

Fixada la placa sobre el prototip i tenint el manillar funcional, es va pensar en com obtenir la posició d'aquest per poder saber quant ha de girar el prototip, després de pensar en com fer-ho, es va arribar a la conclusió de que la forma més senzilla seria afegir un potenciòmetre.



Figura 69 Detall del manillar girat



Figura 70 Detall potenciòmetre (1)



Figura 71 Detall potenciòmetre (2)

Aquest potenciòmetre es va muntar sobre el prototip fent-lo servir com a divisor de tensió alimentat a 5V i connectat sobre una entrada analògica de l'*Arduino*, de forma que en moure's varia la tensió que es llegeix i per tant es pot fer l'acció desitjada.

6.2.4 Botó de parada i posada en marxa

Finalment una vegada es va tenir tot muntat i funcionant, es va voler afegir un botó per tal de poder apagar el microcontrolador a mà, aquest botó queda connectat entre l'alimentació a 12V i l'entrada V_{in} del microcontrolador, permetent parar-lo si es desitja. A continuació es pot veure amb detall el botó i on queda situat.



Figura 72 Detall botó

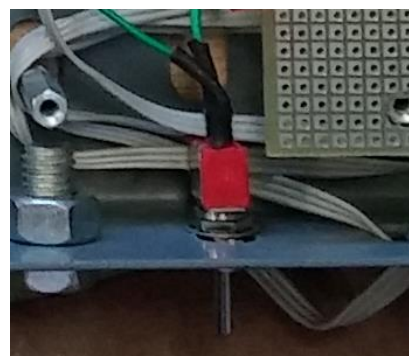


Figura 73 Detall posició botó

Capítol 7

APLICACIÓ ANDROID

7.1 Introducció

Per tal d'aportar valor afegit al projecte, es va pensar en la creació d'una aplicació mòbil capaç de monitoritzar dades i que a més fos capaç de controlar el vehicle sense necessitat d'estar una persona sobre la plataforma.

El primer que es va haver de decidir sobre l'aplicació va ser la plataforma amb la qual seria compatible, per prendre aquesta decisió es va fer una visió global sobre els SO mòbils més utilitzats, entre aquests principalment destaquen a l'actualitat *Android* i *IOS*, analitzant la quota de mercat de cadascun es va optar per *Android* ja que té un major nombre de terminals amb aquest SO en l'actualitat al nostre territori.

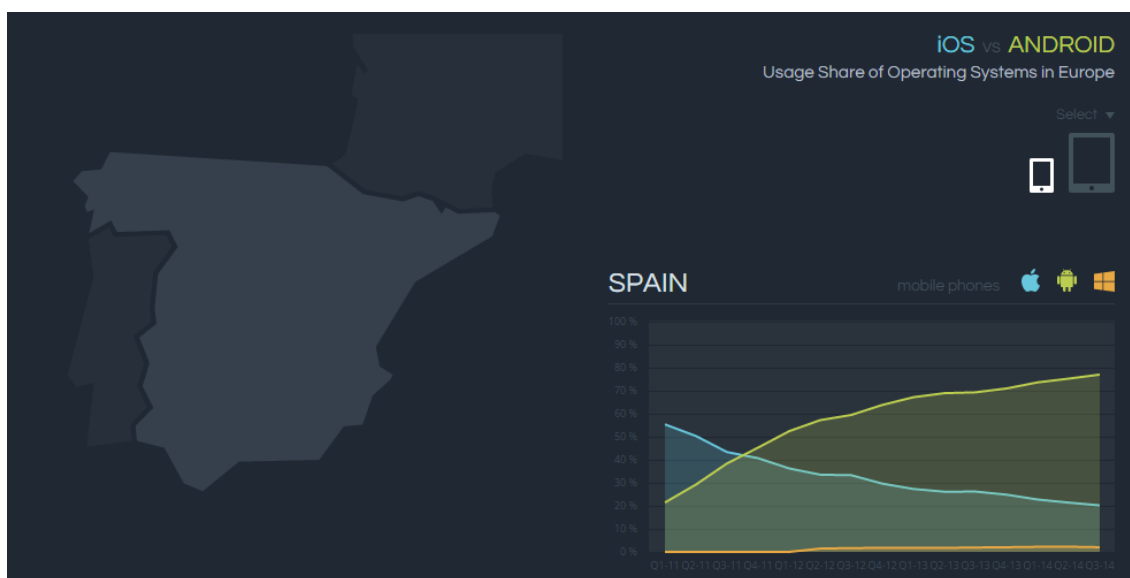


Figura 74 Gràfic del us de iOS vs Android vs Windows Phone a Espanya als últims anys

Un altre dels motius per a l'elecció de desenvolupar l'aplicació amb *Android* era la simplicitat que oferia la seva programació mitjançant el *MIT APP INVENTOR II*, però el fet que finalment va fer decantar la balança va ser que *Android* sigui un sistema *Open Source* ja que s'ha volgut basar aquest projecte en codi obert.



Figura 75 MIT APP INVENTOR i Android com a plataforma Open Source

A l'hora de programar l'aplicació es va optar per desenvolupar-la mitjançant el *MIT APP INVENTOR II*, un programa online totalment gratuït, que a partir de programació gràfica amb blocs de tot tipus (per realitzar comunicacions, utilització de sensors, blocs de control, etc.) permet crear *APP's*, compilar-les i descarregar-les per la seva posterior instal·lació al mòbil sense cap tipus de cost i d'una forma molt gràfica i intuïtiva.

L'aplicació creada té dos modes de funcionament totalment diferenciats, per tant, es va considerar que era una bona idea incorporar un menú inicial on es seleccionés el mode de funcionament desitjat. A més, per aprofitar aquesta pantalla, es va incorporar un boto per accedir al bloc *Agile* i conèixer una mica més el projecte i un boto per poder tancar l'aplicació, així com una musica de fons per donar-li un toc distintiu.

7.2 Aplicació

7.2.1 Menú inicial



Figura 76 Menú Inicial de la App

Per tal d'implementar totes aquestes funcions en la pantalla de la imatge anterior va ser necessària una programació. Aquesta programació la podríem dividir en la gestió dels botons per navegar entre les diferents pantalles y tancar l'aplicació, en l'accés al Bloc Agile y per últim en el so de fons y la seva activació/desactivació.

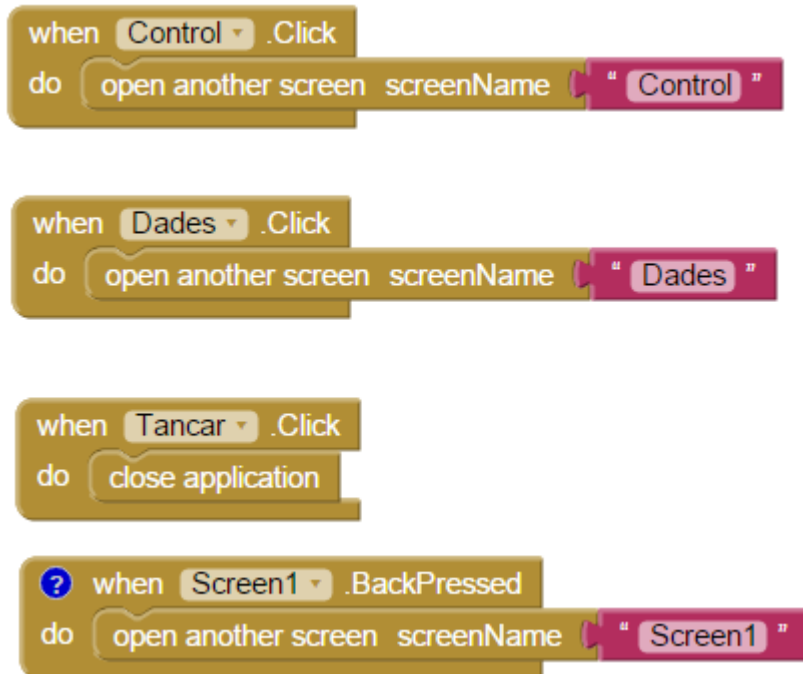


Figura 77 Gestió dels botons Control, Dades, Tancar i botó Enrere del telèfon

En aquesta imatge es mostra la programació on al fer clic al botó s'executa una acció segons correspongui, ja sigui navegació entre finestres com el tancament de l'aplicació.

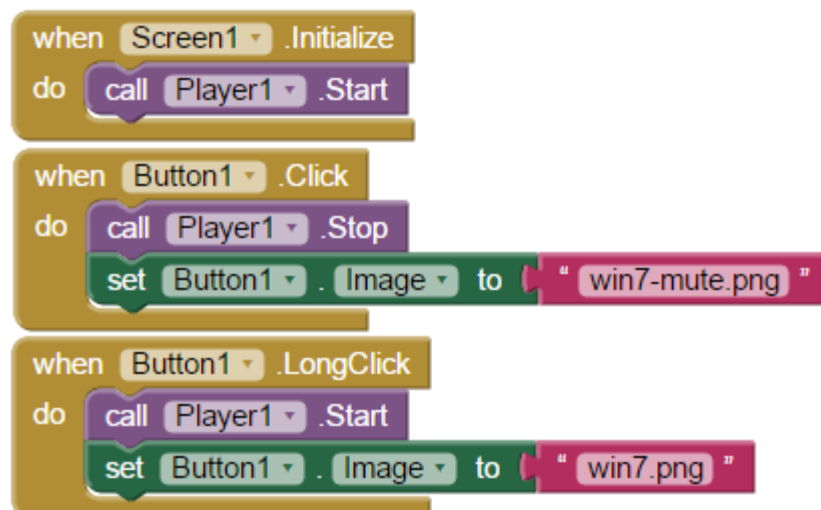


Figura 78 Gestió de musica de fons

Per la gestió de la música de fons s'ha determinat que aquesta s'activi automàticament al iniciar la pantalla amb possibilitat de desactivar-la fent clic al botó, canviant la imatge d'aquest per aclarir si la música està activada o desactivada, i tornar-la a activar mantenint polsat el mateix botó i tornant a canviar la imatge que indica l'estat d'aquesta.

```
when Accés_Blog_Agile .Click
do set ActivityStarter1 . DataUri to " http://blocs.epsevg.upc.edu/agileupcvilanova/category/segway/ "
call ActivityStarter1 .StartActivity
```

Figura 79 Programació de la redirecció al Bloc Agile

Per últim, per obrir el navegador i accedir al Bloc *Agile* s'ha utilitzat un *Activity Starter*, que és una funció que permet iniciar un altre procés, en aquest cas el navegador, mitjançant l'especificació de l'acció, per al cas del navegador l'acció necessària de l'*Activity Starter* seria *Android.intent.action.VIEW*, i l'únic que faltaria seria especificar el web al que es vol accedir i cridar la funció per accedir-hi.

7.2.2 Pantalla control



Figura 80 Pantalla control

Com s'ha comentat anteriorment, dins d'aquesta aplicació hi ha dos modes de funcionament, per una banda el control remot que està implementat en la pantalla de la imatge mostrada anteriorment.

En aquest mode serà necessària la comunicació *Bluetooth* per tal de poder dirigir a on es desitgi el vehicle en temps real, un botó per tal de tornar a la pantalla inicial i algun tipus de control per enviar trames diferenciades que indiquin la direcció i el sentit del moviment que ha de realitzar. Per tal de fer aquest control s'han implementat dos modes diferents, un mitjançant botons direccionals i un altre que fa ús de l'acceleròmetre.

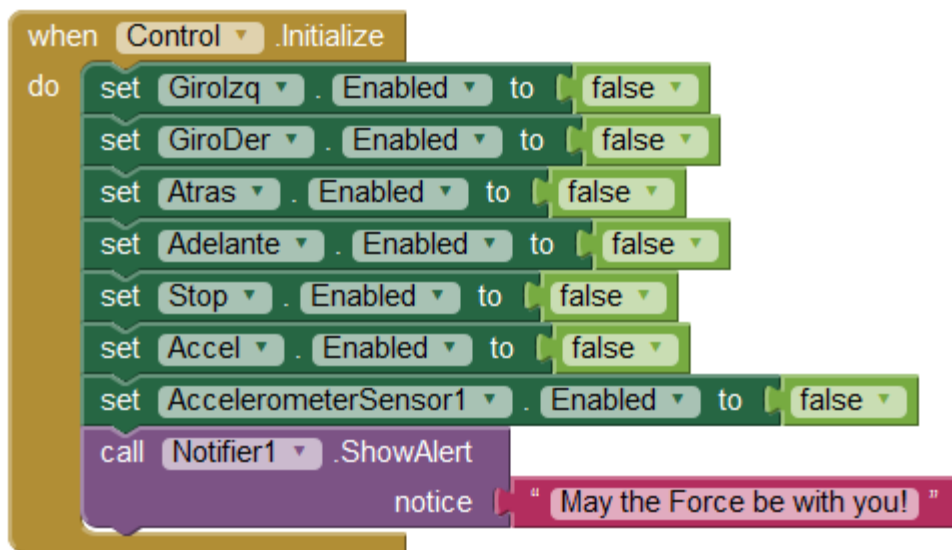


Figura 81 Desactivació dels modes de control i notificació al iniciar la pantalla

El primer que es fa al iniciar aquesta pantalla es inhabilitar tots els elements de control del vehicle, ja que no té cap sentit intentar enviar ordres sense abans no estar connectat el *Bluetooth*.

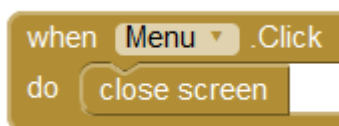


Figura 82 Programació de la tornada al Menú Inicial

Seguidament, s'ha configurat el botó *Menú* per tal de tancar la finestra actual i tornar al menú inicial que permet la selecció del mode de funcionament.

```
when BT .Click
do
  if
    call BluetoothClient1 .Connect
      address "30:14:12:05:21:21"
  then
    set BT .BackgroundColor to
    set BT .Text to "Desconectar Bluetooth"
    set BT .TextColor to
    set GiroIzq .Enabled to true
    set GiroDer .Enabled to true
    set Atras .Enabled to true
    set Adelante .Enabled to true
    set Stop .Enabled to true
    call Sound1 .Vibrate
      millisecs 400
```

Figura 83 Connexió mitjançant Bluetooth i habilitació del control per fletxes

Un cop s'estableix la comunicació *Bluetooth*, s'activa el control mitjançant les fletxes i es canvia el color i missatge del botó per assumir que si es pot "Desactivar Bluetooth" s'ha establert connexió, a més de la vibració que indica la connexió/desconnexió d'aquest.

```
when BT .LongClick
do
  call BluetoothClient1 .Disconnect
  set BT .BackgroundColor to
  set BT .Text to "Conectar Bluetooth"
  set BT .TextColor to
  set GiroIzq .Enabled to false
  set GiroDer .Enabled to false
  set Atras .Enabled to false
  set Adelante .Enabled to false
  set Stop .Enabled to false
  set Accel .Enabled to false
  set AccelerometerSensor1 .Enabled to false
  call Sound1 .Vibrate
    millisecs 400
```

Figura 84 Desconnexió del Bluetooth i inhabilitació del control

Si es vulgues desconnectar el *Bluetooth* només s'hauria de mantenir polsat el mateix botó que abans i amb la senyal de vibració i el canvi de missatge i color del botó es sabria que s'ha tallat la comunicació.

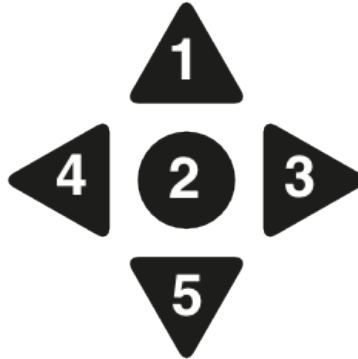


Figura 85 Caràcter a enviar segons direcció desitjada

Les trames que seran enviades segons la direcció que es vulgui que agafi el vehicle seran les mostrades a la foto anterior, per avançar cap endavant s'enviarà un "1" , quan es vulgui que estigui estàtic a una posició s'enviarà un "2" , per dreta i esquerra s'enviaran un "3" i "4" respectivament i, per últim, per retrocedir s'enviarà un "5".

```
to Avanzar
do
  set Adelante . Image to "highafterpicking.png"
  set Atras . Image to "down.png"
  set GiroDer . Image to "right.png"
  set Girolzq . Image to "left.png"
  set Stop . Image to "stop.png"
  if BluetoothClient1 . IsConnected
  then call BluetoothClient1 .SendText
        text " 1 "
```

```
to Stop
do
  set Adelante . Image to "high.png"
  set Atras . Image to "down.png"
  set GiroDer . Image to "right.png"
  set Girolzq . Image to "left.png"
  set Stop . Image to "stopafterpicking.png"
  if BluetoothClient1 . IsConnected
  then call BluetoothClient1 .SendText
        text " 2 "
```

```
to Derecha
do
  set Adelante . Image to "high.png"
  set Atras . Image to "down.png"
  set GiroDer . Image to "rightafterpicking.png"
  set Girolzq . Image to "left.png"
  set Stop . Image to "stop.png"
  if BluetoothClient1 . IsConnected
  then call BluetoothClient1 .SendText
        text " 3 "
```

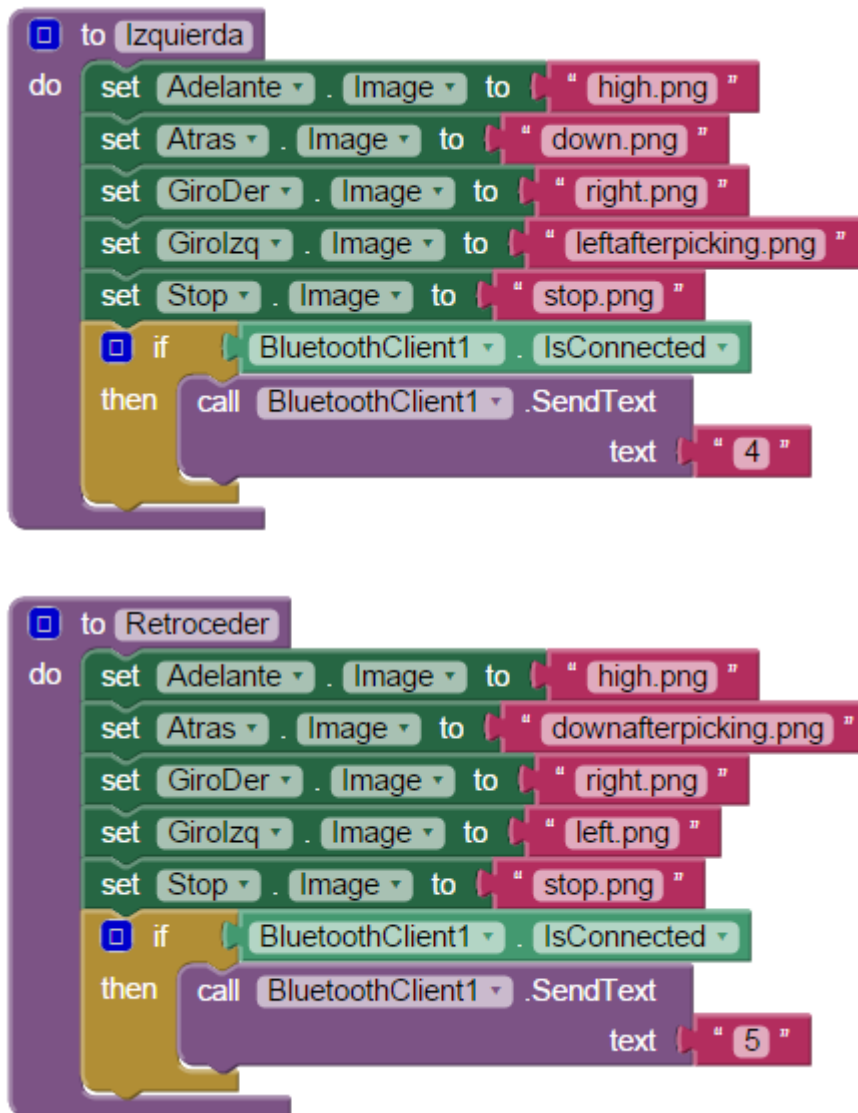


Figura 86 Creació de les funcions de direcció, gestió de les imatges dels botons i enviament de caràcter

En els blocs anteriors es defineixen les funcions que seran cridades i enviaran un determinat caràcter tal i com s'ha explicat anteriorment i que el codi d'Arduino interpretarà com a moviment cap a una de les direccions, a més d'aquest enviament via *Bluetooth*, es canvia la imatge per tal de poder diferenciar cap a on s'està indicant que s'ha de moure el vehicle.

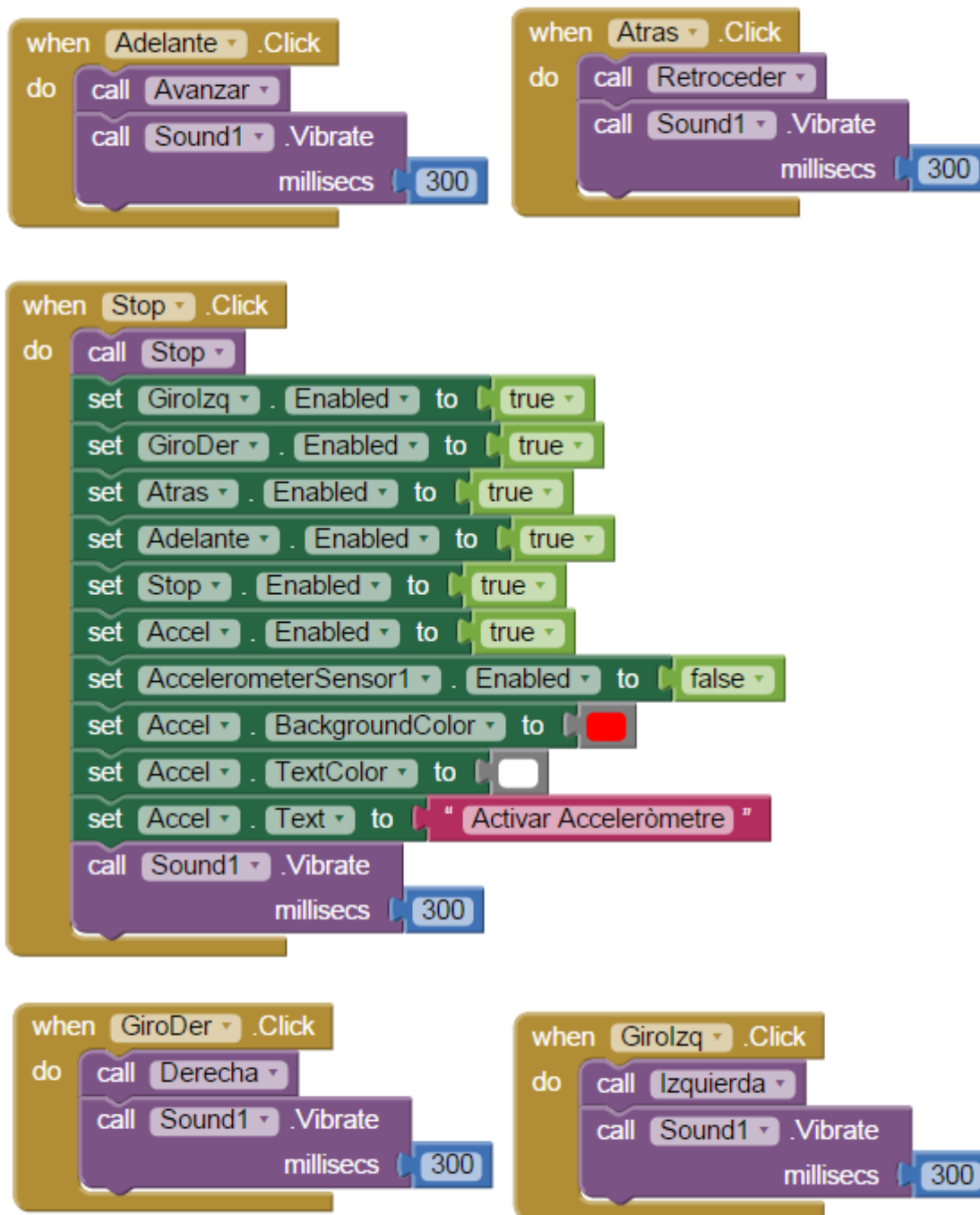


Figura 87 Gestió de les fletxes i crida a les funcions respectives

Un cop creades les funcions es programa la seva crida mitjançant la pulsació dels diferents botons de posició amb una petita vibració que ens indica la seva correcta activació a més del canvi de color que es produeix pel codi de les funcions. En el cas del botó STOP a més es programen altres funcionalitats ja que aquest boto podrà ser utilitzat per la desactivació de l'acceleròmetre canviant el text i color del botó d'activació/desactivació d'aquest i l'activació dels botons de posició en aquest cas.

```
when Accel .Click
do
  set GiroIzq . Enabled to false
  set GiroDer . Enabled to false
  set Atras . Enabled to false
  set Adelante . Enabled to false
  set Stop . Enabled to true
  set Accel . BackgroundColor to #00FF00
  set Accel . Text to "Desactivar Acceleròmetre"
  set Accel . TextColor to #FFFFFF
  set AccelerometerSensor1 . Enabled to true
  call Sound1 .Vibrate
  milliseconds 400

when Accel .LongClick
do
  set GiroIzq . Enabled to true
  set GiroDer . Enabled to true
  set Atras . Enabled to true
  set Adelante . Enabled to true
  set Stop . Enabled to true
  set Accel . Enabled to true
  set Accel . BackgroundColor to #FF0000
  set Accel . Text to "Activar Acceleròmetre"
  set Accel . TextColor to #FFFFFF
  set AccelerometerSensor1 . Enabled to false
  call Sound1 .Vibrate
  milliseconds 400
```

Figura 88 Activació/Desactivació de l'acceleròmetre

Anteriorment, s'aprecia la programació d'aquest últim botó el d'activació/desactivació de l'acceleròmetre, d'igual forma que en altres botons, al polsar-lo canvia el text i color d'aquest i produeix una vibració. Mitjançant l'activació, es desactiva el control amb els botons de posició i per la desactivació del acceleròmetre s'ha de fer una pulsació prolongada amb la que no només es desactiva l'acceleròmetre si no que es torna a activar aquest control per botons.

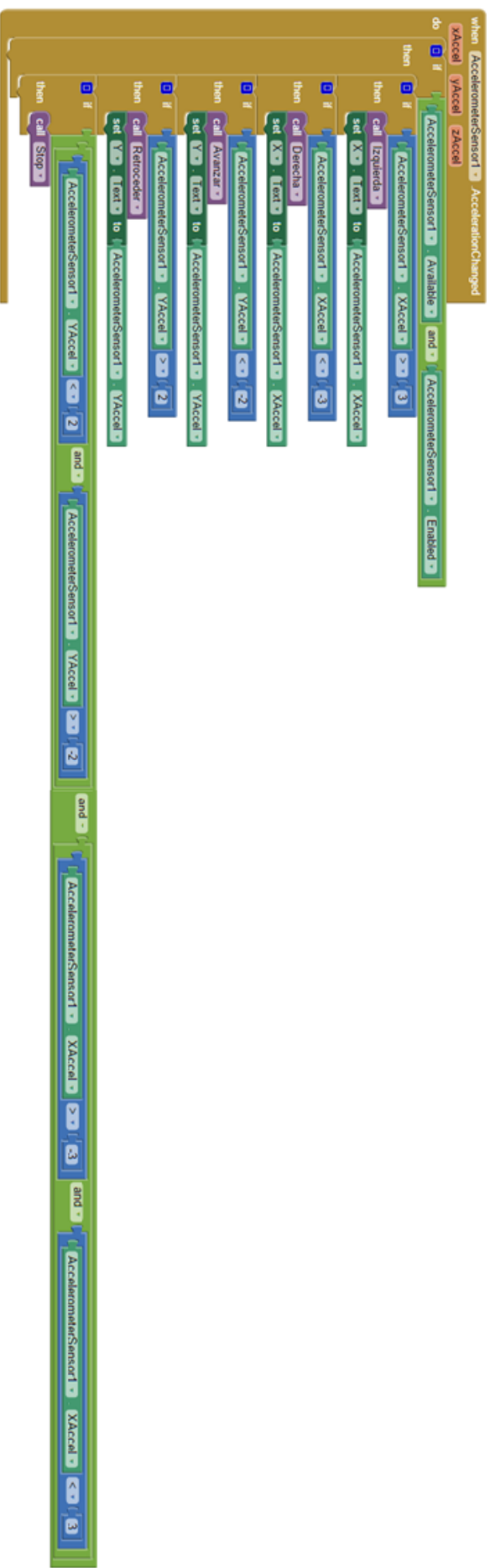


Figura 89 Gestió de l'acceleròmetre segons orientació del mòbil i crida a les funcions determinades

Per últim, en aquesta finestra de *Control* cal parlar sobre la gestió de l'acceleròmetre, aquest, quan detecta una acceleració comprova que està activat i en funció de les acceleracions de l'eix X i Y fa la crida de la funció adient per enviar la trama corresponent a la direcció determinada. Per altra banda, en els quatre moviments va refrescant el valor al visor de la finestra dels valors de X i Y. Destacar que, quan no es compleix la orientació mínima per detectar el moviment a cap d'aquestes direccions és interpretat com *STOP*.

7.2.3 Pantalla visor



Figura 90 Pantalla visor

En aquest segon mode de funcionament de la APP s'ha pensat en poder tenir unes lectures en temps real dels paràmetres més bàsics i interessants. La idea es poder veure en tot moment el desplaçament que ha realitzat el vehicle, la velocitat i l'angle d'inclinació.

A continuació es passarà a explicar la programació per dotar de les funcions requerides a aquesta finestra.

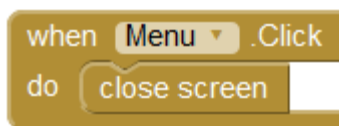


Figura 91 Programació de la tornada al Menú Inicial

Primerament, com a la finestra de CONTROL anterior, s'ha gestionat la navegació entre el menú i aquesta, tancant la finestra al clicar al botó "Tornar a Menú".

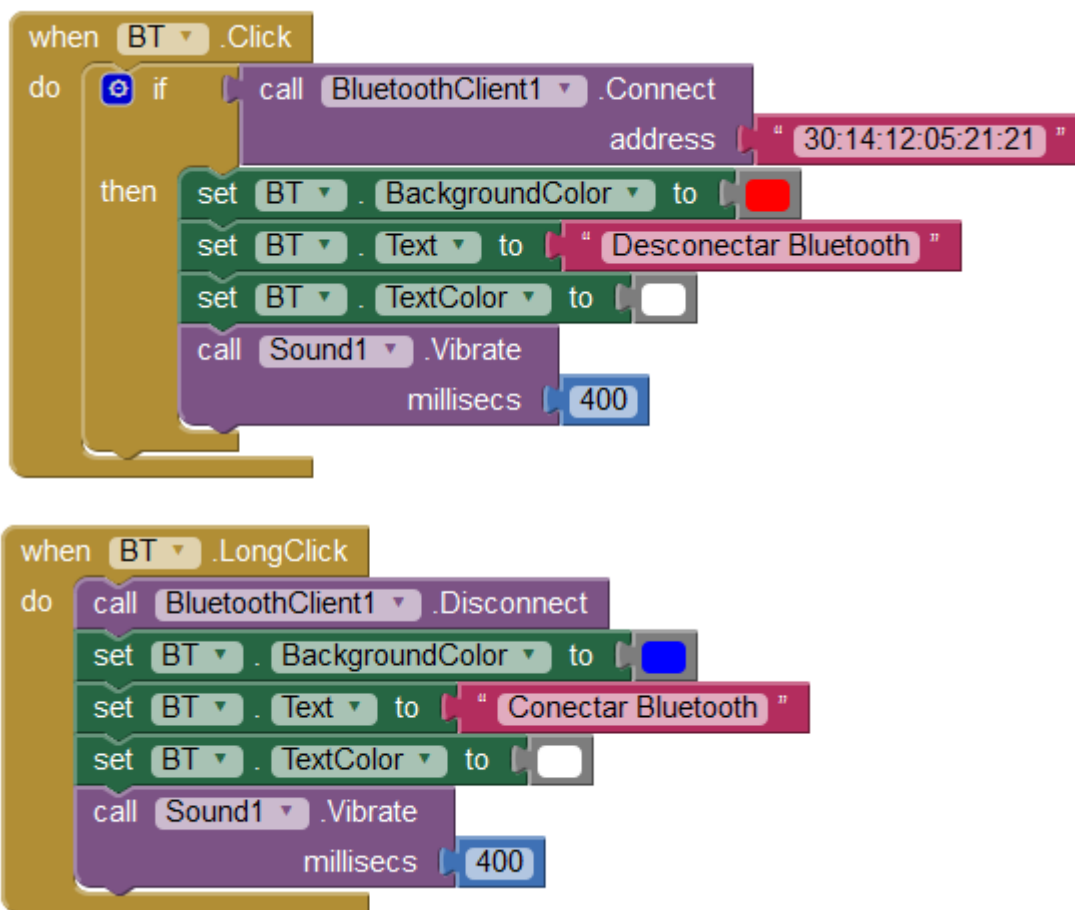


Figura 92 Activació/Desactivació del Bluetooth

A continuació, s'ha programat la connexió amb el mòdul *Bluetooth* del vehicle, d'igual forma que en l'altre mode de funcionament, se li passa l'adreça MAC i es fa una gestió del botó de Connectar/Disconnectar amb *clic* i *longclick*, i amb el canvi de contingut del boto i la vibració per aclarir en quin estat es troba si connectat o be desconnectat.

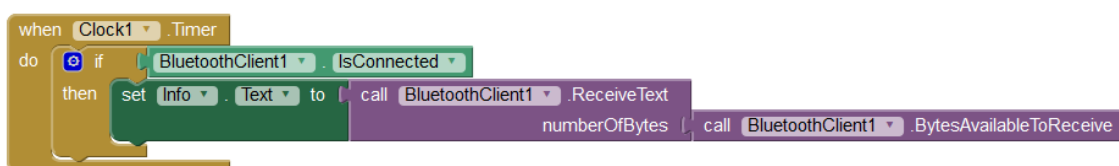


Figura 93 Recepció de dades mitjançant Bluetooth

Per últim, mitjançant un *timer* de 1000ms (1segon) es realitza la recepció de dades via *Bluetooth* que serà visible al costat de cada indicador de la pantalla, a la posició de la foto de mostra del Visor on apareix "Dades". Primerament, es comprovarà que hagi transcorregut el temps requerit per el *timer* i a continuació s'avaluarà la condició de connexió del mòdul *Bluetooth* i en cas afirmatiu es rebran les dades i imprimiran a la pantalla.

Capítol 8

CONFIGURACIÓ I

IMPLEMENTACIÓ ARDUINO

8.1 Configuració hardware

El pas inicial abans de començar la implementació de tot el codi necessari per a realitzar el control del vehicle és configurar tots els components que es connectaran al cervell del vehicle, l'*Arduino*.

Aquests són els següents: els motors a través del bus *CAN* i fent ús de la *CAN Shield*, el *MPU* (acceleròmetre i giroscopi) que utilitza el bus *I2C* i finalment el mòdul de *Bluetooth* a través del port sèrie.

8.1.1 Motors

La comunicació amb els motors fa ús del protocol *CAN* i ja que l'*Arduino* no l'incorpora és precisa la utilització de la placa *CAN Shield* que es comunica amb la placa *Arduino* mitjançant el protocol *SPI*. Aquesta segona placa esta pensada per col·locar-la directament a sobre l'*Arduino UNO* i no al *Mega* (el que s'utilitza en aquest projecte), per tant, va ser necessari conèixer quines connexions eren indispensables per a la realització de la comunicació i així connectar-les externament. Aquests pins indispensables corresponents al protocol de comunicació *SPI* eren : *SS(D10)*, *MOSI(D11)*, *MISO(D12)*, *SCK(D13)*, *Reset*, *V_{cc}* i *GND*.

Un cop adaptada la *Shield* a l'*Arduino Mega* era necessària l'adaptació de les connexions dels motors al port *DB9* mascle que utilitza aquesta *Shield* per al bus *CAN*. Aquesta adaptació es va realitzar mitjançant la soldadura d'uns *Faston* tant a la sortida dels cables (*CAN_HIGH*, *CAN_LOW*, *V+* i *GND*) dels motors com a l'altre extrem d'un connector *DB9* femella, facilitant així la connexió i desconnexió dels motors.

Finalitzada la part del hardware dels motors, a l'hora de la implementació, s'ha de configurar el port *CAN* a través de l'*IDE* d'*Arduino*. Aquesta configuració es facilita mitjançant l'ús de la llibreria *mcp_can* que incorpora funcions per a llegir o escriure missatges a través de trames pel bus *CAN* utilitzant la *Shield CAN*.

Per tant, s'inclou aquesta llibreria i mitjançant l'ús de la funció *CAN.begin* s'estableix la connexió. A continuació, es mostra un extracte del codi on es realitza una espera fins a rebre la confirmació del correcte funcionament de la comunicació i es mostra a través del port sèrie aquesta confirmació.

```
while (CAN_OK !=CAN.begin(CAN_1000KBPS));  
Serial.println("CAN BUS Shield init ok!");
```

Finalment, per donar per finalitzada la prova de funcionament dels motors a través del bus CAN, es procedeix a enviar una trama per a observar com reaccionen els motors. Per a l'enviament d'aquesta s'utilitza la funció `CAN.sendMsgBuf` que precisa dels següents paràmetres: identificador del receptor de la trama, missatge estès o no, longitud de la trama a enviar i la pròpia trama.

```
CAN.sendMsgBuf(1281, 0, 5, valor);
```

La trama que necessiten aquests motors per a funcionar esta composta per 5 bytes que s'exposen a continuació.

El primer byte consisteix en el tipus de funcionament del motor, hi ha disponibles 4 opcions:

- 0 – La roda es troba lliure
- 1 – Fa girar la roda mitjançant consignes de velocitat
- 2 – Fa girar la roda mitjançant consignes d'intensitat
- 3 – Frena la roda mitjançant consignes d'intensitat

El segon byte consisteix en la part alta de la consigna de velocitat, és a dir, el byte de major pes d'aquesta consigna. A continuació, es troba el tercer byte que correspon a la part baixa, el byte de menor pes.

Finalment els dos últims bytes corresponen a la consigna d'intensitat, el quart el de major pes mentre que el cinquè és el byte de menor pes.

Un cop observat que el motor gira correctament un cop rep el missatge pel bus CAN es dona per finalitzada la configuració d'aquest.

8.1.2 MPU (acceleròmetre i giroscopi)

La configuració del MPU a nivell de hardware va resultar més senzilla que la necessària per als motors, ja que només precisava de la connexió de 4 terminals a l'Arduino MEGA per funcionar correctament. Els pins necessaris per a la comunicació són els següents: SCL i SDA, a més dels pins d'alimentació (V_{CC} i GND). Aquests primers (SCL i SDA) són els pins corresponents a la comunicació I2C, la utilitzada en aquest acceleròmetre i giroscopi com s'ha exposat al Capítol 5.

Un cop finalitzada la configuració del hardware s'ha de passar a treballar amb l'IDE d'Arduino per a configurar la part del software d'aquest MPU-6050. Per a realitzar aquesta configuració s'utilitzen les llibreries I2Cdev i la pròpia del MPU, MPU6050, que faciliten substancialment aquesta tasca.

Per iniciar la comunicació, també es precís incloure la llibreria Wire, ja que per activar el bus I2C és necessària la funció Wire.begin. A continuació s'ha d'inicialitzar l'acceleròmetre i giroscopi utilitzant la funció accelgyro.initialize.

Finalment, es testeja la comunicació mitjançant la funció booleana accelgyro.testConnection que retorna un TRUE quan la connexió és vàlida i un FALSE quan aquesta ha fallat.

```
Wire.begin();  
accelgyro.initialize();  
Serial.println(accelgyro.testConnection() ? "MPU6050 connection  
successful" : "MPU6050 connection failed");
```

En el codi d'Arduino anterior es mostra com s'ha realitzat aquesta comprovació del funcionament del acceleròmetre i giroscopi dins del void setup() del programa d'Arduino i amb una confirmació final del bon o mal funcionament d'aquesta connexió pel port sèrie.

Comprovat que el funcionament del acceleròmetre i el giroscopi és l'adequat es dona per finalitzada la configuració d'aquest, més endavant s'exposa com s'han adquirit les dades necessàries per a la realització d'aquest projecte provinents del MPU a través de la comunicació I2C.

8.1.3 Bluetooth

El mòdul *Bluetooth* que s'ha utilitzat disposa de 6 pins per a la connexió que són els següents: V_{CC} (5 V) i *GND*, corresponents a la alimentació del mòdul, d'altra banda els pins *TX* i *RX* que són els que es corresponen a la comunicació a través de port sèrie i finalment dos pins per configuració i programació del mòdul que no s'han utilitzat. Gràcies a que l'*Arduino MEGA* incorpora més d'un port sèrie, i ja que l'altre està en ús, es connecten els pins de transmissió, *TX* i *RX*, als *RX1* i *TX1* respectivament de la placa *Arduino*.

El mòdul *Bluetooth* utilitzat es comunica per port sèrie amb la placa d'*Arduino*, així que la configuració de software és senzilla ja que només és necessari iniciar la comunicació amb el port sèrie. Això s'aconsegueix utilitzant la funció *Serial1.begin*, s'empra el *Serial1* ja que l'altre port sèrie s'utilitza per la comunicació entre l'*Arduino* i l'ordinador. A continuació es mostra el fragment de codi on s'inicia el port sèrie:

```
Serial1.begin(9600);
```

Finalment, un cop acabats de connectar i configurar tots els components es pot començar a treballar ja en la implementació del controlador a l'*Arduino* i l'adquisició de les quatre variables d'estat.

8.2 Implementació software

8.2.1 *Obtenció variables d'estat*

A l'hora de la implementació del software, a més d'utilitzar el controlador calculat anteriorment al *MATLAB*, és necessària la obtenció de les quatre variables d'estat (posició, velocitat lineal, angle i velocitat angular) que precisa aquest controlador.

8.2.1.1 *Posició i velocitat lineal*

Inicialment, es va pensar en obtenir tant la posició com la velocitat aprofitant un dels sensors *Hall* que disposava el motor. Per tal de poder obtenir aquesta senyal, es va haver de soldar i extreure un cable d'aquest sensor per a connectar-lo a la placa *Arduino*. La posició es calcularia mitjançant la integració d'aquesta velocitat extreta del sensor *Hall*.

Per a la obtenció de la velocitat, la primera idea va ser contar els polsos que s'obtenien del sensor *Hall* al girar la roda. Sabent que el rotor està compost per 20 imants, es va calcular el perímetre exterior de la roda i es va treure la relació de distància recorreguda per pols.

Aquest perímetre exterior es va obtenir a partir del diàmetre, 19 cm, i el valor resultant era de 59,7 cm. La relació obtinguda de la distància recorreguda per cada imant va resultar ser aproximadament de 3 centímetres per imant.

$$perimetre = 19 \times \pi = 59,7 \text{ cm} \quad \frac{distancia}{imant} = \frac{59,7}{20} = 2,99 \approx 3 \text{ cm}$$

Un cop obtingudes aquestes dades, es va passar a implementar aquesta conversió dels polsos comptats a distància i a velocitat. El recompte dels polsos a través del sensor *Hall* es va realitzar inicialment mitjançant una interrupció que s'activava cada flanc de pujada que hi havia en el pin on hi havia connectada la sortida del sensor *Hall*.

A continuació per obtenir la posició s'acumulava el valor que s'obtenia mitjançant relació calculat anteriorment, mentre que per a la velocitat es calculava la distància recorreguda en un període i es dividia per aquest període en segons. El codi es mostra a continuació:

```

void pulsos_speed()
    {pulsos++;}
void loop()
    {distancia = distancia + (pulsos * (0.02985));
    velocitat = (pulsos * 0.02985) / (tempsreal/1000);}
    
```

Al provar aquest codi es va observar com, en un sol període de mostreig, la majoria de vegades no entrava a la interrupció, motiu pel qual es va descartar aquest tipus de lectura, ja que en aquests casos la velocitat era zero quan la roda es trobava en moviment.

Per a comprovar que realment el codi contava bé els polsos, es va decidir fer unes proves amb el motor sense alimentació i amb l'ajuda de l'oscil·loscopi. La prova consistia en donar manualment una volta a la roda i observar els polsos que apareixien a la pantalla de l'oscil·loscopi i els que contava el codi. Gràcies a aquesta prova es va comprovar que el sensor *Hall* a cada volta que realitzava la roda donava 10 flancs de pujada i 10 de baixada, i que efectivament el codi llegia els 10 flancs de pujada. Al contrari del que es pensava inicialment, cada cop que el sensor detectava un imant, en comptes de realitzar un flanc de pujada, canviava l'estat. Per tant, es va canviar el tipus d'interrupció programada a una de tipus *CHANGE*.

Descartada la opció de lectura amb un sensor Hall es va plantejar la opció d'aprofitar els 3 sensors *Hall* inclosos en el motor. Es va extreure la funció lògica mitjançant la taula de la veritat, aquesta funció permetia una lectura el triple de ràpida que mitjançant l'ús d'un sol sensor.

A	B	C	SORTIDA
0	0	0	X
0	0	1	0
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	X

$$Sortida = (\bar{a} \times b \times c) + (a \times \bar{b} \times c) + (a \times b \times \bar{c})$$

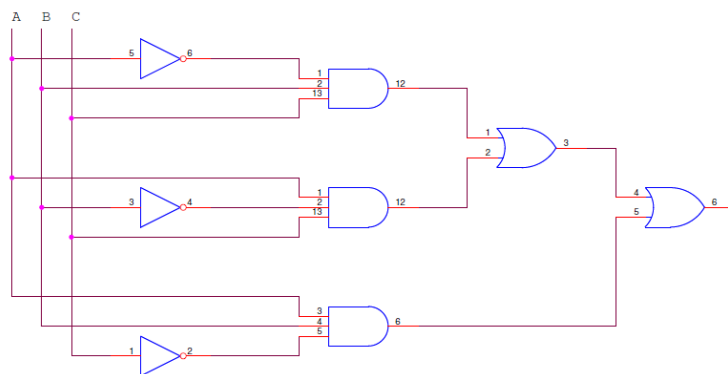


Figura 94 Esquema lògic

Es va implementar aquesta funció lògica amb les portes corresponents per a utilitzar-la en les proves per observar si era eficaç en la mesura. A més, va ser necessària alguna modificació en el codi d'*Arduino* ja que la relació de la distància per polsos en aquest cas, al ser el triple de ràpid, era diferent. La nova relació es va calcular amb el triple de polsos per volta que la inicial:

$$\frac{\text{distancia}}{\text{imants}} = \frac{59,7}{60} = 0,99 \approx 1 \text{ cm}$$

Amb aquesta nova relació el codi queda de la següent manera:

```
void pulsos_speed()
    {pulsos++;}
void loop()
    {distancia = distancia + (pulsos * (0.00995));
    velocitat = (pulsos * 0.00995) / (tempsreal/1000);}
```

Al realitzar les proves amb aquest codi, també es va observar com seguia sent massa lent per a contar els polsos reals. Això, es va comprovar mitjançant un tacòmetre manual i veient que la velocitat calculada amb el codi d'*Arduino* i la que llegia el tacòmetre no eren les mateixes. Després de consultar a un professor del departament d'electrònica, que va aconsellar l'ús del comptador intern de l'*Arduino* i treballar-hi a nivell de registres ja que la interrupció podia necessitar massa temps i això dificultar la mesura, es va optar per intentar realitzar el recompte de polsos d'aquesta manera.

Mitjançant un exemple cedit pel mateix professor es va realitzar la prova amb el comptador intern canviant els registres necessaris per a l'adequació al cas d'aquests motors. Un cop implementat aquest comptador al codi, es van tornar a realitzar proves d'adquisició de velocitat, i es va observar que el problema persistia ja que les lectures de polsos, no s'adequaven a la realitat. Arribats a aquest punt, es va decidir augmentar el període de mostreig del programa, per intentar resoldre el fet que a vegades els polsos llegits eren zero. Així, augmentant el període, el nombre de polsos llegits per cada cicle de programa seria major i s'evitarien els zero polsos en tots els casos.

8.2.1.1.1 Augment període de mostreig MATLAB

Per augmentar el període de mostreig es fixa un nou temps de 50ms. Aquest nou temps de mostreig obliga a canviar el mètode de càlcul fet servir amb anterioritat a *MATLAB* ja que en aquest cas el sistema tindrà un retard de valor menor al temps de mostra tal i com es mostra a la següent figura.

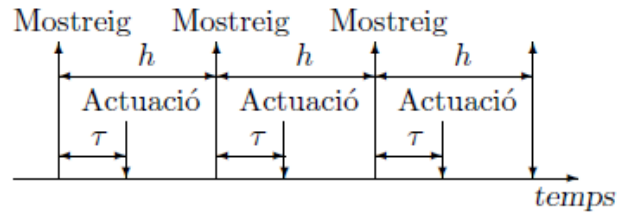


Figura 95 Temps de mostreig vs. temps d'actuació

De forma similar a la del càlcul del model amb retard major al temps de mostreig per tal de controlar de forma eficient amb aquest nou temps de mostreig cal ampliar el model amb una nova variable que correspon a la senyal de control anterior tal i com mostren les matrius següents, corresponents al sistema ampliat teòric.

$$\begin{pmatrix} \mathbf{x}_{k+1} \\ z_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Phi(h) & \Phi(h - \tau)\Gamma(\tau) \\ 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{x}_k \\ z_k \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \Gamma(h - \tau) \\ 1 \end{pmatrix} u_k$$

On z_k correspon a la senyal de control anterior.

Així doncs per tal d'ampliar el sistema i obtenir la matriu *Phi* ampliada caldrà calcular les matrius *Phi* discretitzant amb un temps de mostreig h , la matriu *Phi* amb el temps de mostreig $(h-\tau)$ i la matriu *Gamma* amb un temps de mostreig τ . Finalment per obtenir *Gamma* ampliada cal discretitzar la matriu *Gamma* amb un temps de mostreig $(h-\tau)$.

Amb la finalitat d'obtenir un controlador més lent i veure si millora l'adquisició de dades referents a la velocitat i posició es procedeix a discretitzar el sistema amb un temps de mostreig major, el temps escollit són 50ms. El procés per a canviar els pols i tenir un temps de mostreig de 50ms es el següent:

Primerament cal obtenir els pols del sistema en continu que permetin tenir un temps de mostreig de 50ms. S'obtenen de la següent forma:

```
%Càlcul controlador assignació de pols
N=4;
hmax=0.055; %HMAX=0.055;%Seleccionar el període de mostreig desitjat
i mai menor a 25ms
%Ja que la h desitjada serà 50ms
tau=hmax*N;
syms x;
pol_mes_rapid=solve('-1/x=-0.22',x);%Surt -4.5454545454
pol_mes_rapid=-4.55;
h=0.05;
while h>=hmax
    prompt = 'Període de mostreig no ajustat?(ajustar):';
    h = input(prompt);
end
pols_cont=[pol_mes_rapid;pol_mes_rapid;-2.5+2.5i;-2.5-2.5i];%Pols
reals dissenyats segons temps de mostreig
K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont)%càlcul guany controlador
espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0)%Espai en llaç tancat
set(espai_lt,'InputName',inputs)
set(espai_lt,'OutputName',outputs)
```

Per tal de veure si el sistema en continu segueix sent estable amb aquests pols es procedeix a simular una entrada impuls i a continuació una entrada graó.

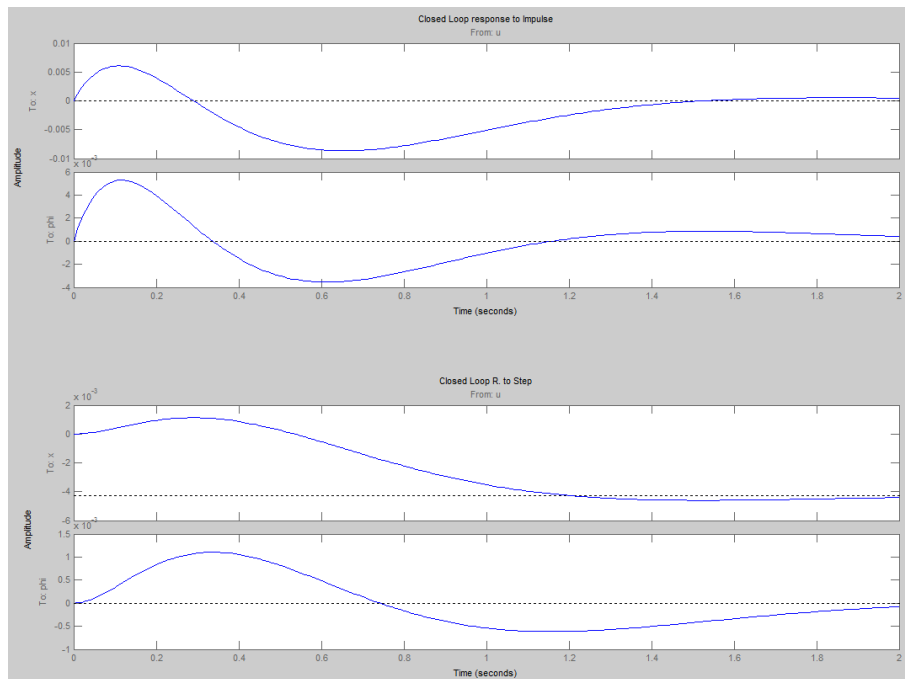


Figura 96 Resposta del sistema lineal en llaç tancat amb pols calculats davant el graó i l'impuls

Es pot veure a la anterior figura que el sistema és estable amb els pols continus definits, encara que sembla oscil·lant cal tenir en compte l'escala de la gràfica, que mostra valors molt petits.

Posteriorment es procedeix a discretitzar el sistema sense tenir el compte el retard d'actuació.

El procediment s'explica a continuació:

Primer de tot cal obtenir els pols en discret i discretitzar el model, ho permet el següent codi.

```
%pols desitjats en continu
pcd1=pols_cont(1);
pcd2=pols_cont(2);
pcd3=pols_cont(3);
pcd4=pols_cont(4);
%pols discrets desitjats
pdd1=exp(pcd1*h);
pdd2=exp(pcd2*h);
pdd3=exp(pcd3*h);
pdd4=exp(pcd4*h);
pdd=[pdd1 pdd2 pdd3 pdd4];
%sistema discret segons període h calculat
ssdiscret=c2d(espai_obert,h)%discretització del model 50ms
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);%extracció matrius discretes
```

Un cop obtingudes les matrius discretes es pot calcular el controlador discret, que es fa mitjançant *acker*.

```
%Controlador discret
kd=acker(phi,gamma,pdd)%controlador discret 50ms
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd,gamma,Cd,Dd,h);%sistema discret llaç
tancat 50ms
T=0:h:5;%vector temps simulació
set(ssdiscret_lt,'InputName',inputs)%entrades
set(ssdiscret_lt,'OutputName',outputs)%sortides
```

Tenint el guany del controlador discret es pot simular l'entrada impuls i graó igual que en temps continu.

El codi per realitzar les proves es mostra a continuació.

```
%Impuls
subplot(2,1,1)
step(ssdiscret_lt,T)%resposta step
title('Impulse response DISCRETE SYS')
%Step
subplot(2,1,2)
step(ssdiscret_lt,T)%resposta step
title('Step response DISCRETE SYS')
```

Que un cop executat retorna la següent resposta:

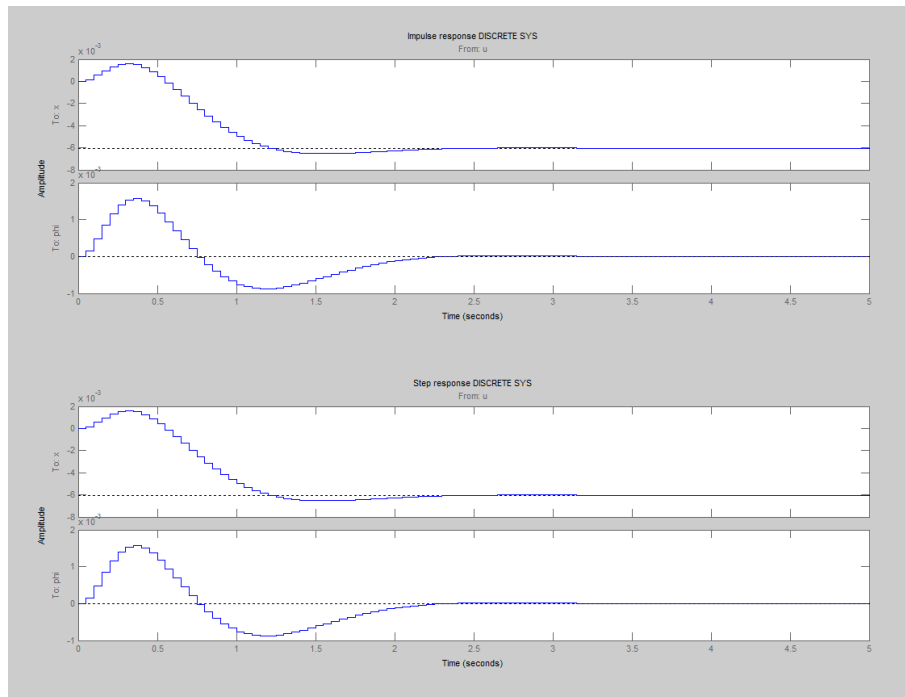


Figura 97 Resultat de simulació a entrada graó i impuls sobre el sistema en llaç tancat discretitzat amb 50ms

Després de veure que el sistema es comporta de forma estable en temps discret es pot procedir a obtenir el model amb el retard d'actuació fent servir les matrius d'ampliació anteriors.

Obtingut el sistema en discret cal ampliar-lo per afegir un nou estat corresponent a la senyal de control anterior. Per tal d'obtenir el model ampliat es calculen les matrius de la següent forma:

```
%Matrius sistema amb retard
tau=0.0250;%tau corresponent al retard d'actuació
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh') %sistema discret 50ms
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);%matrius sistema discret 50ms
ss_htau=c2d(espai_obert,h-tau,'zoh');%sistema h-tau
[phi_htau,gamma_htau,C_htau,D_htau]=ssdata(ss_htau);%matrius sistema
h-tau
```

Tenint les matrius necessàries per obtenir el model ampliat es procedeix a obtenir *Phi* ampliat, *Gamma* ampliat i *C* ampliat.

```
%Matrius ampliades
phi_ampliada=[phi_h          phi_htau*gamma_h ; %sistema 5x5
              [0 0 0 0 ]          0          ]
gamma_ampliada=[gamma_htau;eye(1)] %sistema 5x1 gamma ampliada
C_ampliada=[[C_PI] [0;0]] %sistema 2x5 salida x & phi
```

Tenint les matrius corresponents al sistema amb retard es pot trobar el controlador discret corresponent mitjançant el mètode d'assignació de pols.

El codi que permet obtenir els guany del controlador discret es mostra a continuació:

```
%Controlador  
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0])%guany 50ms amb  
retard
```

Tenint el controlador es procedeix a dissenyar el model de *Simulink* que consisteix en el model sense retard introduint dos blocs *transport delay* per introduir el temps de mostreig i el retard d'actuació abans de introduir la senyal de control al sistema no lineal. L'esquema final amb retard es mostra a la Figura 98.

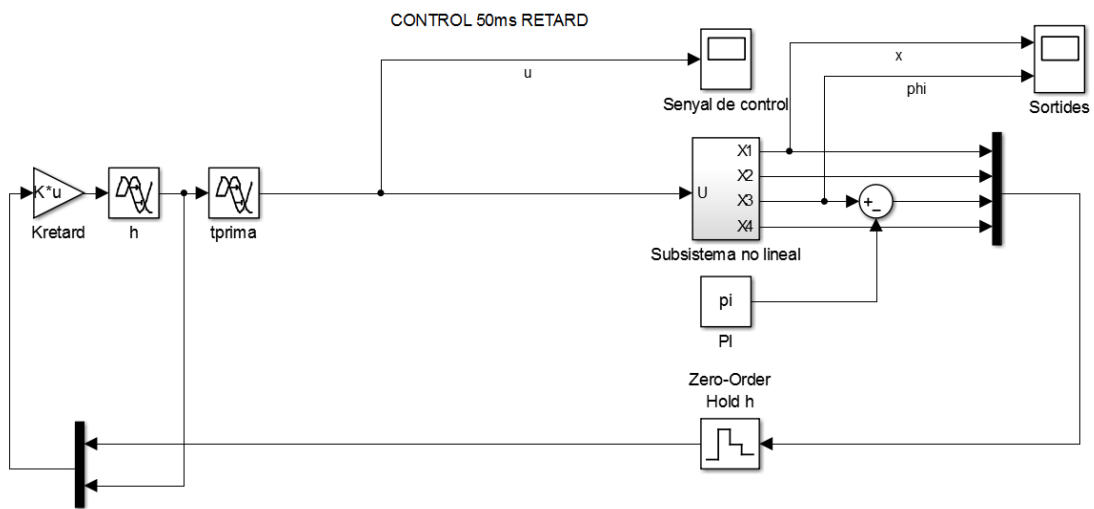


Figura 98 Esquema de realimentació d'estats del sistema en llaç tancat amb temps de mostreig 50ms i retard d'actuació

Tal i com es pot veure a l'esquema de *Simulink* cal obtenir les variables del sistema i la senyal de control anterior, per tal de fer-ho s'ha emprat un *mux* del qual s'obtenen a la sortida les variables del sistema i la senyal de control del període anterior.

Per veure si el sistema és estable amb les modificacions finals es simula l'esquema amb unes condicions inicials fixades de $x_3=3.12\text{rad}$, que correspon a la desviació de l'angle del pèndul.

Els resultats de la simulació son:

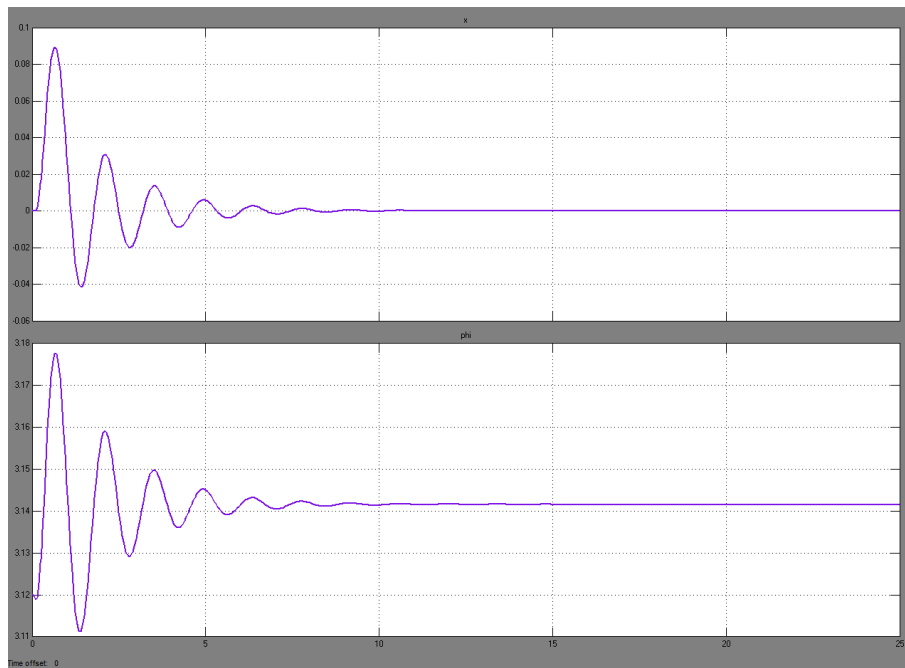


Figura 99 Resultat de simulació a Simulink de la condició inicial sobre el sistema no lineal discret de 50ms i retard

Un cop simulat es pot observar que tot i que el sistema no es comporta de forma inestable té un comportament oscil·lant, a més es pot veure que el controlador ha estat dissenyat de forma correcta.

Després de veure que el sistema es estable introduint un període de mostreig tan elevat es pot procedir a dissenyar el controlador integral per tal de refusar perturbacions i portar la posició del sistema allà on es vulgui.

Com ja s'ha vist al apartat de simulacions per poder implementar un controlador integral cal ampliar el sistema en espai d'estats amb una nova variable que correspon a la integral de l'error de posició.

Primerament cal veure si el sistema funciona sense el retard d'actuació. El codi de *MATLAB* emprat per realitzar l'ampliació del sistema es mostra a continuació.

```
%NO RETARD
Cd=[1 0 0 0];
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi]%matriu phi ampliada
Gamint=[0;gamma]%matriu gamma ampliada
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.9])%càlcul controlador
Ki=Kint(1)%guany integral
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)]%guany estats
```

A continuació, un cop obtingudes les matrius ampliades amb la integral de l'error es pot procedir a simular mitjançant el següent esquema de control a *Simulink*.

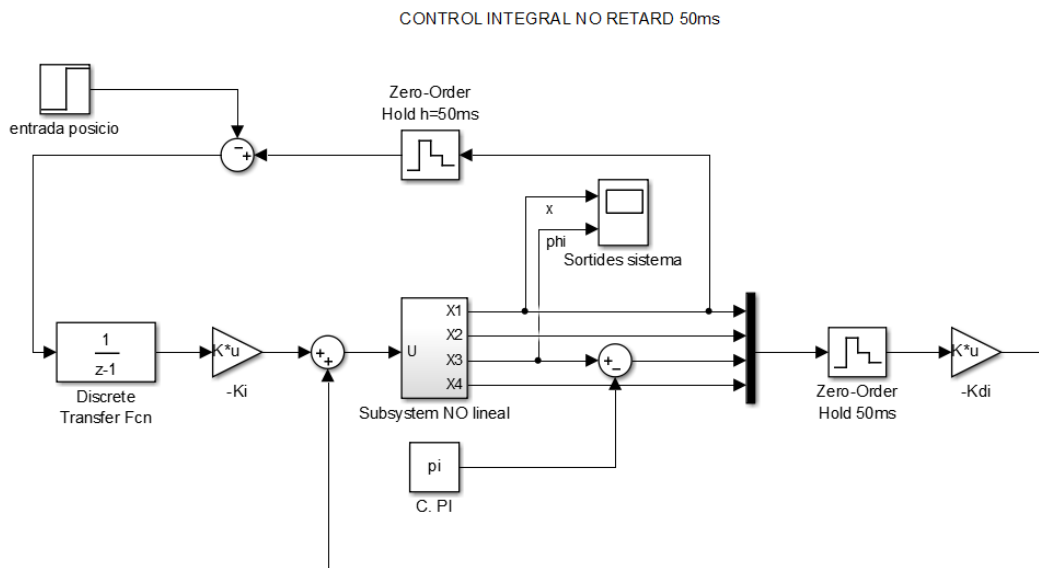


Figura 100 Esquema de realimentació d'estats del sistema enllaç tancat amb temps de mostreig 50ms i control integral

La simulació amb una consigna de 1m, una condició inicial de l'angle de 3.12rad i un temps de simulació de 25 segons es pot observar a la Figura 101.

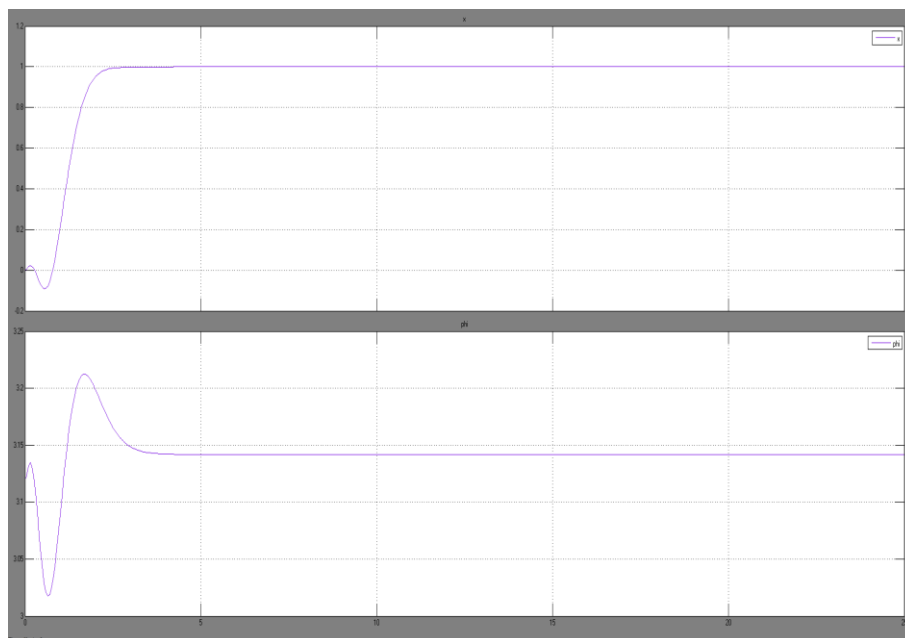


Figura 101 Resposta del sistema no lineal discret amb temps de mostreig 50ms a una consigna de 1m i condició inicial $x_3=3,12\text{rad}$

Mirant la figura anterior es veu que la resposta del sistema es la desitjada i per tant es pot introduir el retard per veure quina es la resposta en aquest cas.

Per introduir el retard s'amplia el sistema amb la senyal de control anterior per al retard i posteriorment s'amplia amb la integral de l'error amb la finalitat de realitzar el control integral. La forma de fer-ho es amb el següent codi de *MATLAB*.

```
%RETARD
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0]]
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard;
               [0 0 0 0 0]' phi_ampliada];%phi ampliada 50ms
Gamint_retard=[0 ;gamma_ampliada]%gamma ampliada 50ms
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0.9]) %guany
controlador 50ms
Ki_retard=Kint_retard(1)%guany integral
Kdi_retard=[Kint_retard(2) Kint_retard(3) Kint_retard(4)
            Kint_retard(5) Kint_retard(6)]%guany estats del Sistema
```

Un cop obtinguts els guanys del Sistema amb retard cal construir el sistema en laç tancat a *Simulink* i provar quina es la resposta en el cas del retard menor al temps de mostreig. L'esquema de control queda d'aquesta forma:

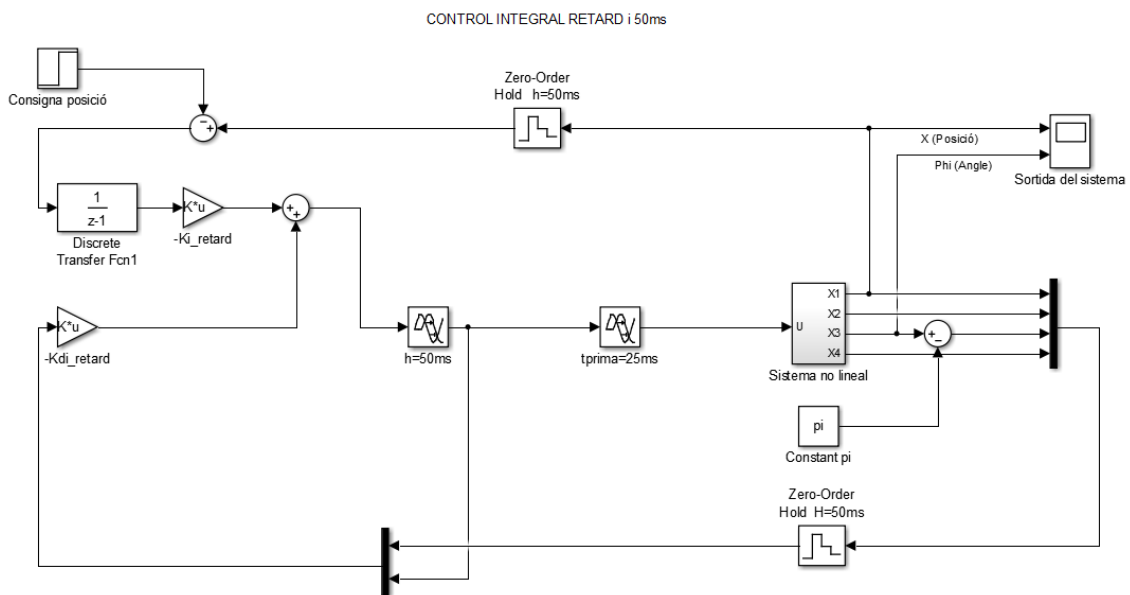


Figura 102 Esquema de realimentació d'estats del sistema en laç tancat amb temps de mostreig 50ms, control integral i retard

Igual que a l'anterior prova s'introdueix una consigna de 1m i es simula un temps de 25s. La simulació atorga els següents resultats a la sortida del sistema.

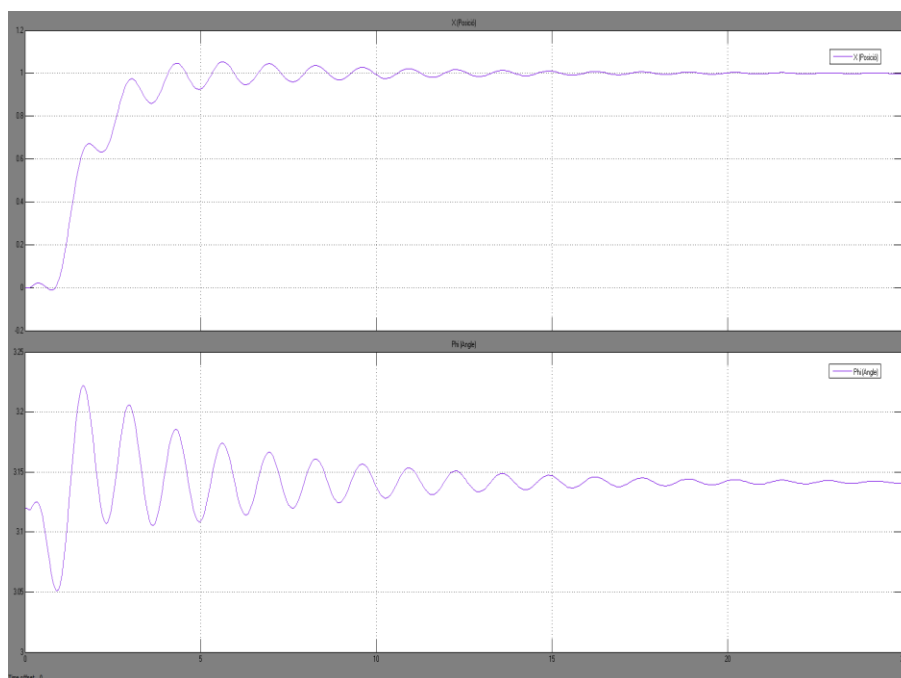


Figura 103 Resposta del sistema en llaç tancat de 50ms amb retard i control integral sota una consigna de 1m i condició inicial $x_3=3,12\text{rad}$

Aquesta prova final demostra que el sistema serà estable amb un control integral de posició i un temps de mostreig de 50ms tot i que es comportarà de forma oscil·lant fins establir-se.

Un cop realitzades les simulacions i comprovant que el sistema seguia sent estable es va procedir a la implementació d'aquest codi, augmentant el temps que durava cada cicle de programa per observar si s'obtenia una mesura dels polsos més precisa. Tot i aquests canvis, les mesures de velocitat seguien sense ser precises.

8.2.1.1.2 Lectura dades per bus CAN

Finalment, gràcies a una reunió mantinguda amb els investigadors de la *Facultat d'Informàtica de Barcelona* que van cedir els motors, es va trobar la solució per a disposar d'una mesura acurada de la velocitat i la distància. De la mateixa manera que per girar necessitava l'enviament de trames, aquests motors retornaven a través del bus CAN unes trames amb informació sobre la velocitat, la temperatura i altres dades. Aquesta informació que no va ser rebuda d'un bon inici hagués facilitat i agilitzat el procés d'adquisició d'aquestes dades. A continuació es mostra una taula resum de les trames que envia el *driver* a través del bus CAN:

CAN Frame ID			CAN Frame ID (dec)	Motor	Data						
Node Type	Node ID	Data ID			B0	B1	B2	B3	B4	B5	B6
3	0	0	768	Left	Speed MSB (int16s, RPM)	Speed LSB (int16s, RPM)	Odometry Ticks MSB (int32s)	Odometry Ticks (int32s)	Odometry Ticks (int32s)	Odometry Ticks LSB (int32s)	Controller Temperature (int8u, °C)
3	0	1	769	Right	Speed MSB (int16s, RPM)	Speed LSB (int16s, RPM)	Odometry Ticks MSB (int32s)	Odometry Ticks (int32s)	Odometry Ticks (int32s)	Odometry Ticks LSB (int32s)	Controller Temperature (int8u, °C)

Figura 104 Taula resum trames enviades pels motors

A partir de la taula, es va implementar el codi d'*Arduino* que permetés la lectura pel bus *CAN* de la trama corresponent a una de les rodes (768- roda dreta) mitjançant l'ús de la llibreria *mcp_can*. En el codi que es mostra a continuació es configura la màscara i el filtre per a llegir només el missatge que es desitja.

```
CAN.init_Mask(0, 0, 0x3ff);
CAN.init_Mask(1, 0, 0x3ff);
//BUFFER 0
CAN.init_Filt(0, 0, 0x01);
CAN.init_Filt(1, 0, 0x02);
//BUFFER 1
CAN.init_Filt(2, 0, 0x06);
CAN.init_Filt(3, 0, 768);
CAN.init_Filt(4, 0, 0x08);
CAN.init_Filt(5, 0, 0x09);
```

Posteriorment al programa principal s'utilitza la funció que permet la lectura de la trama que es rep pel bus *CAN*. Aquesta funció, *CAN.readMsgBufID*, precisa de tres arguments per al seu funcionament: l'identificador de la trama que es vol llegir, la longitud d'aquesta trama i el vector on es volen guardar les dades. Un cop llegida la trama es necessari operar amb aquest vector, ja que les dades obtingudes estan separades en dos bytes. A continuació es troba el codi on es realitza tant la lectura com les operacions corresponents per a obtenir la velocitat en m/s i la distància en metres.

```
CAN.readMsgBufID(&ID, &len, recibidos);  
  
distancia = distancia + (velocitatms * h / 1000);  
  
velocitatH = recibidos[0] * 256;  
  
velocitatL = recibidos[1];  
  
velocitat = velocitatH + velocitatL;  
  
velocitatms = velocitat * r * RPM_A_MS;
```

El primer que es realitza es la lectura del missatge. A continuació, es fa el càlcul de la distancia recorreguda en el període anterior, ja que aquest càlcul es basa en la integració de la velocitat tenint en compte el període h . Posteriorment, s'opera amb els valors llegits per obtenir un sol valor de la velocitat en RPM, donant-li el pes correcte a la part alta del valor i finalment sumant-los.

Finalment, per a passar la velocitat en revolucions per minut a metres per segon, s'utilitza un factor de conversió definit a l'inici del codi i el radi de la roda, també definit al principi. D'aquesta manera es disposa d'una mesura, tant de la velocitat com de la distancia, molt més acurada i real que en la resta de intents.

8.2.1.2 Angle i velocitat angular

Aquestes dues variables d'estat s'obtenen a partir de l'acceleròmetre. Mitjançant les acceleracions i realitzant unes operacions es poden obtenir els 3 angles, encara que per al control només es necessari un d'ells. La velocitat angular es va pensar inicialment d'obtenir-la mitjançant la derivada de l'angle.

Amb aquesta idea es va procedir a la implementació del codi que permetés obtenir els angles i les velocitats angulars de la manera que s'ha descrit anteriorment. Per a l'angle en l'eix X, es va utilitzar una fórmula² que relaciona les acceleracions que s'obtenen del MPU, aquesta fórmula és la següent:

$$\rho = \frac{A_y}{\sqrt{A_x^2 + A_z^2}}$$

² <http://www.geekmomprojects.com/mpu-6050-dmp-data-from-i2cdevlib/>

Inicialment s'han d'obtenir les acceleracions del acceleròmetre, mitjançant la funció *accelgyro.getAcceleration*, i un cop es disposa d'aquesta informació es pot procedir a la operació descrita anteriorment per a obtenir l'angle en radians i la velocitat angular derivant aquest valor. El codi que realitza aquesta funció es troba a continuació:

```
accelgyro.getAcceleration(&ax, &ay, &az);  
anguloX = atan((ay/A_R) / sqrt(pow((ax/A_R), 2)+pow((az/A_R), 2)));  
vel_ang = (anguloX-anguloXant)/(h/1000);  
anguloXant = anguloX;
```

A la primera línia, s'obtenen les acceleracions actuals llegides per l'acceleròmetre. A continuació, es realitza la operació matemàtica, utilitzant la fórmula descrita anteriorment, i realitzant una conversió a l'acceleració llegida per passar de *LSB/mg* a *rad/s²*, per obtenir l'angle en radians. Finalment, es calcula la velocitat angular mitjançant la variació de l'angle d'un cicle a l'altre tenint en compte aquest període de mostreig i s'emmagatzema l'angle actual per a utilitzar-lo com a angle anterior en el següent cicle.

Realitzades les proves amb aquest codi, s'observa com el valor de l'angle calculat es correspon a l'angle de la plataforma, però la velocitat angular, calculada a partir dels angles, no ofereix una mesura correcta. Això fa que el sistema esdevingui inestable, per tant, es busca una solució per a obtenir aquesta dada de manera més acurada.

El mètode que sembla més precís per a la obtenció d'aquest valor és mitjançant l'ús de la funció *accelgyro.getRotation* de la qual s'obtenen les tres velocitats angulars que s'han de convertir de *LSB/deg/s* a *deg/s* mitjançant un factor de conversió. A continuació, es mostra el codi final que obté la velocitat angular en el mateix eix que l'angle, ja que només és d'utilitat una d'elles. Aquesta obtenció es fa mitjançant l'ús del factor de conversió esmentat anteriorment a més d'un factor de conversió per passar el valor resultant de *deg/s* a *rad/s*, que són les unitats que precisa el controlador.

```
accelgyro.getAcceleration(&ax, &ay, &az);  
accelgyro.getRotation(&gx, &gy, &gz);  
anguloX = atan((ay/A_R) / sqrt(pow((ax/A_R), 2)+pow((az/A_R), 2)));  
vel_ang = (gx / G_R) / RAD_A_DEG;
```

D'aquesta manera, s'obtenen les quatre variables d'estat necessàries per al controlador d'una manera acurada i que dona per finalitzat aquest apartat.

8.2.2 *Període de mostreig*

Un cop les variables d'estat són calculades correctament dins el codi d'*Arduino*, el següent pas es incorporar el període de mostreig al mateix codi. Decidit finalment el període de mostreig de 15 mil·lisegons, s'ha d'aconseguir que cada cicle del codi duri aquests 15 ms per a assegurar un bon funcionament del controlador.

La manera d'aconseguir aquest propòsit és mitjançant la funció *millis* que incorpora el propi *Arduino* i que retorna el temps en mil·lisegons que ha passat des de l'inici de l'execució del programa.

Al principi de cada cicle, s'adquireix la mesura de temps actual amb la qual s'operarà i s'emmagatzema en una variable. Al final del codi, es torna a adquirir aquesta mesura de temps i, restant-li la emmagatzemada anteriorment, s'obté el temps real que ha tardat el codi en executar-se, que sempre ha de ser menor al període de mostreig.

Finalment, es realitza una espera mitjançant la funció *delay*, a la qual se li passa com a paràmetre un valor en mil·lisegons que representa el temps que ha de executar aquesta funció, on aquest paràmetre és igual a la diferència que hi ha entre el període de mostreig de 15 ms, *h*, i el temps real que s'ha calculat en el pas anterior. A continuació, es mostra el codi que realitza aquesta tasca dins del programa:

```
tempsanterior = millis();  
[...]  
tempsreal = (millis() - tempsanterior);  
delay(h - tempsreal);
```

Mitjançant el port sèrie es comprova que realment el cicle del programa dura el temps fixat, el període de mostreig de 15 ms, i per tant es dona per tancat aquest apartat.

8.2.3 *Conversió força-intensitat*

El següent pas en aquest apartat d'implementació va ser adaptar l'acció de control, una força en Newtons, que calcula el controlador a la consigna que precisen els motors, una intensitat en mA. Això va ser possible gràcies a una taula on apareixia la força que feia el motor al rebre consignes d'intensitat diferents. A partir d'aquestes dades es van poder extreure les corbes que seguien aquestes dades i que es troben a continuació (aquesta taula es troba a la pàgina *xcv*):

$$y_{FWD} = 4,3255x^2 + 37,878x + 98,94$$

$$y_{BKW} = 2,5465x^2 - 13,935x + 160,95$$

Ja que aquestes motors no ofereixen la mateixa força en ambdós sentits de gir, es van extreure dues equacions, una per cada sentit. A l'hora de la implementació es va tenir en compte si l'acció de control calculada era positiva o no, per a la elecció de quina equació utilitzar en cada cas. El codi que realitza aquesta funció descrita és el següent:

```
if (u > 0) {  
    intensitat = 4.3255 * (u * u) + 37.878 * u + 98.94;}  
if (u < 0) {  
    intensitat = -(2.5465 * (u * u) - 13.935 * u + 160.95);};
```

8.2.4 Limitació motors

Un cop obtingut el valor de la intensitat que se li han d'aplicar als motors, s'ha de tenir en compte que el *driver* que incorporen els motors està limitat a una intensitat màxima de 2000mA. Per tant, per evitar que el valor que s'envia als motors sigui major es limita aquest a continuació del càlcul anterior. Aquesta limitació s'implementa de la següent manera:

```
if (intensitat > 2000) {  
    intensitat = 2000;}  
if (intensitat < -2000) {  
    intensitat = -2000;};
```

A més, per assegurar que aquest valor no sobrepassi el límit que marca el *driver*, es fa una doble limitació. Aquesta segona limitació, que és anterior a la de intensitat, es troba a continuació del càlcul de l'acció de control i limita en funció del sentit de gir l'acció de control màxima que poden oferir els motors. El codi que es mostra a continuació realitza aquesta funció:

```
if (u > 17) {  
    u = 17;}  
if (u < -29) {  
    u = -29;};
```

8.2.5 Fre en cas de canvi de senyal de control

Al realitzar proves en l'enviament de les consignes al motor, es va observar com al canviar de sentit de gir en l'enviament de la consigna, els motors, al portar la inèrcia d'un sentit, tardaven massa temps en realitzar el canvi i per tant el sistema era molt lent.

Consultant la informació proporcionada pels investigadors de la FIB, es va descobrir que els motors, rebent una consigna determinada, eren capaços de frenar en sec. En aquest punt, per tant, es va decidir l'ús d'aquest fre en els casos en que la consigna canviés de signe i per tant fos necessari un canvi de sentit en el gir dels motors. A continuació, es mostra el codi:

```
if (uant / u < 0) {  
    valor[0] = 3;  
    valor[3] = 2;  
    valor[4] = 0;  
    CAN.sendMsgBuf(1281, 0, 5, valor);  
    CAN.sendMsgBuf(1313, 0, 5, valor);  
}
```

Es pots observar com, per realitzar aquesta comprovació del canvi de sentit, es comparen les accions de control actual i anterior. Un cop es compleix la condició del canvi de sentit, es prepara la trama que s'enviarà a ambdós motors mitjançant l'assignació de valors a les variables del vector per, finalment, enviar-les als dos motors per a que frenin.

8.2.6 Implementació control

Un cop s'han tingut en compte tots els detalls necessaris per al bon funcionament del controlador, es pot procedir a la implementació d'aquest. Inicialment, a l'inici del codi, es defineixen els valors dels guanys de cada variable del controlador que s'han obtingut a les simulacions a *MATLAB*.

```
#define k1 31.1206
#define k2 44.5245
#define k3 404.5417
#define k4 135.6138
#define k5 0.0931
#define k6 0.1762
```

Posteriorment, ja al programa, s'ha de calcular el valor de l'acció de control utilitzant aquestes constants definides anteriorment i els valors actuals de les variables d'estat, obtingudes anteriorment, més els dos estats ampliats, acció de control anterior i acció de control anterior a l'anterior.

```
u1 = distancia * k1;
u2 = velocitatms * k2;
u3 = anguloX * k3;
u4 = vel_ang * k4;
u5 = uant * k5;
u6 = uant2 * k6;
u = (u1 + u2 - u3 - u4 - u5 - u6);
```

En el codi anterior es pot observar aquest càlcul, on en la última operació es té en compte el signe dels guanys del controlador.

Finalment, un cop ja està el control implementat, les úniques parts que falten per completar el codi del programa, són l'enviament de les trames als motors i la reassignació de variables per als següents cicles.

Per a l'enviament de trames falta l'adaptació de la intensitat calculada al vector que s'enviarà als motors. Això s'aconsegueix separant aquesta intensitat en el bit de major i menor pes i assignant-los al bit corresponent dins de la trama. A continuació s'envien les trames a ambdues rodes i finalment es produeix la reassignació de les accions de control anteriors.

Aquest codi que es mostra a continuació realitza el descrit anteriorment:

```
intensitatH = intensitat / 256;
intensitatL = intensitat - (256 * intensitatH);
valor[0] = 2;
valor[3] = intensitatH;
valor[4] = intensitatL;

CAN.sendMsgBuf(1281, 0, 5, valor);
CAN.sendMsgBuf(1313, 0, 5, valor);

uant2 = uant;
uant = u;
```

El codi complet del programa es troba a l'ANNEX H – CODIS DEL PROJECTE.

8.2.7 Fluxgrames

8.2.7.1 Programa

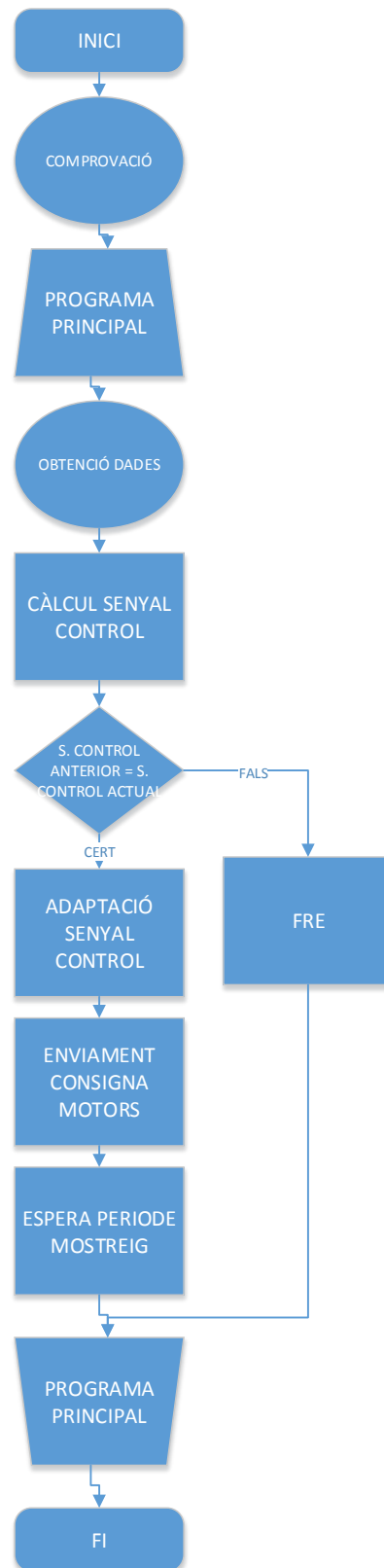


Figura 105 Diagrama de flux del programa d'Arduino

8.2.7.2 Comprovació

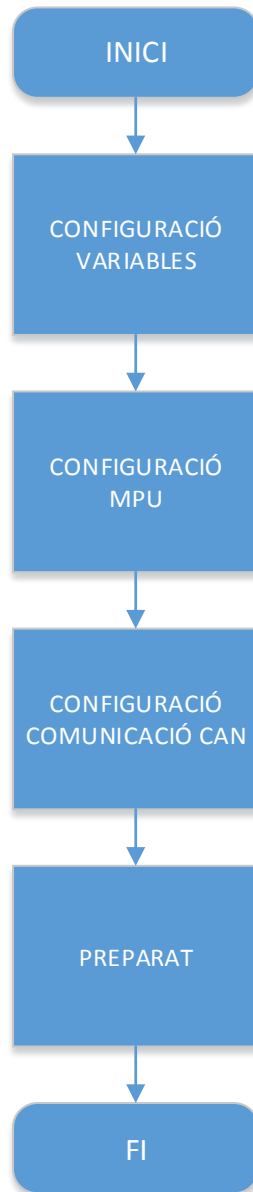


Figura 106 Diagrama de flux comprovació

8.2.7.3 Obtenció dades

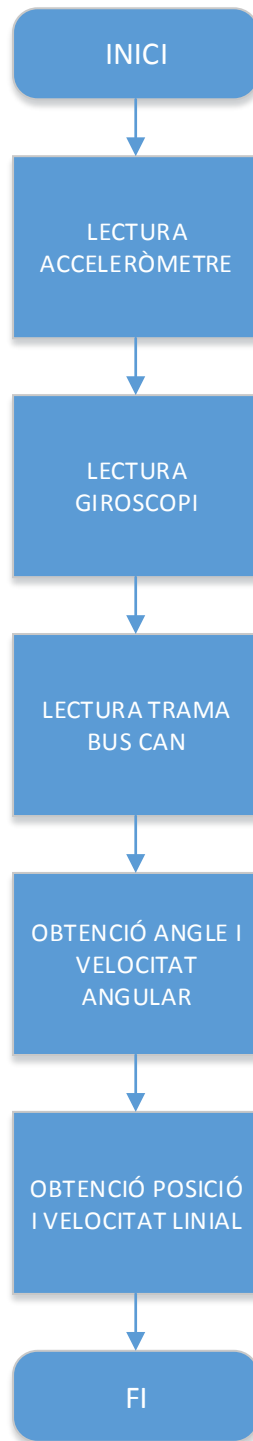


Figura 107 Diagrama de flux obtenció de dades

Capítol 9

PROVES

9.1 Proves del controlador al prototip

9.1.1 Primeres proves de control

Un cop realitzada la implementació del controlador de forma satisfactòria s'han realitzat diverses proves al prototip experimental, les conclusions són que el sistema es comporta de la forma esperada quan s'aplica una pertorbació provocant-li que l'angle actual no sigui l'angle d'equilibri. Un cop vist això es prova si amb una persona a sobre es pot moure.

Les conclusions d'aquestes proves són que quan hi ha una persona a sobre no és capaç de controlar, això és degut a la limitació dels motors emprats.

Per demostrar que el sistema no és estable quan hi ha una persona a sobre i se li aplica qualsevol pertorbació sobre l'angle es realitzen les següents simulacions. Per a les simulacions s'ha fet servir un bloc per a limitar la força aplicada al sistema entre 30 i -30N que són les accions de control màximes que poden retornar els motors actuals.

Primerament, es simula el sistema amb retard per demostrar que és estable. L'esquema emprat per aquesta simulació és el següent:

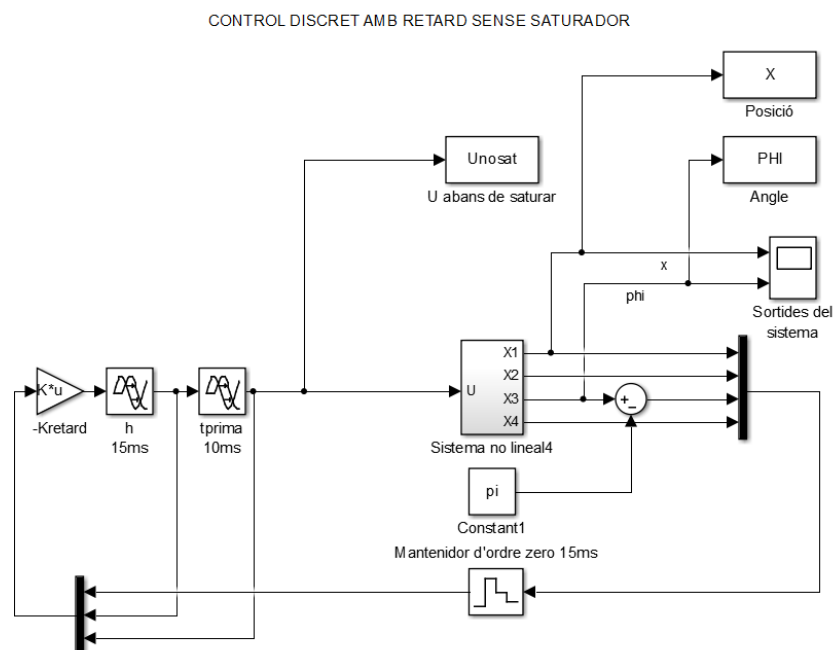


Figura 108 Esquema de control discret amb retard

El codi que permet simular i obtenir els resultats directament al *Workspace* és el següent:

```
sim('NON_LINEAR_v6'); %simula el fitxer de SIMULINK
subplot(2,1,1)
plot(Unosat.time, Unosat.signals.values) %gràfica de la senyal de
control
title('Senyal de control resultant amb una persona a sobre i condició
x3=3.12rad')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
plot(X.time, X.signals.values) %gràfica de la sortida posició
hold on;
subplot(2,2,4)
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
plot(PHI.time, PHI.signals.values) %gràfica de la sortida angle
```

Aquest codi retorna els resultats mostrats a la Figura 109.

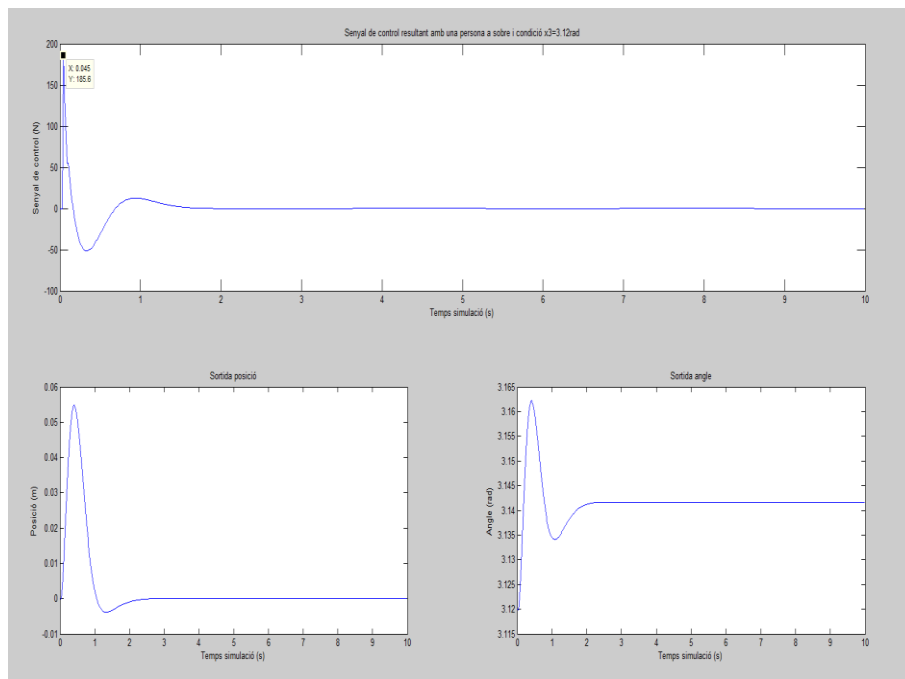


Figura 109 Resultat simulació esquema de control discret amb retard sota condició inicial $x_3=3,12\text{rad}$

A la figura, es pot observar amb facilitat que les sortides són estables i la senyal de control necessària va fins als 185N, que és més de 6 vegades major a la proporcionada pels motors *hub* del prototip.

A continuació, es repeteix la simulació amb els mateixos paràmetres però afegint a l'esquema el saturador, tal i com mostra la Figura 110.

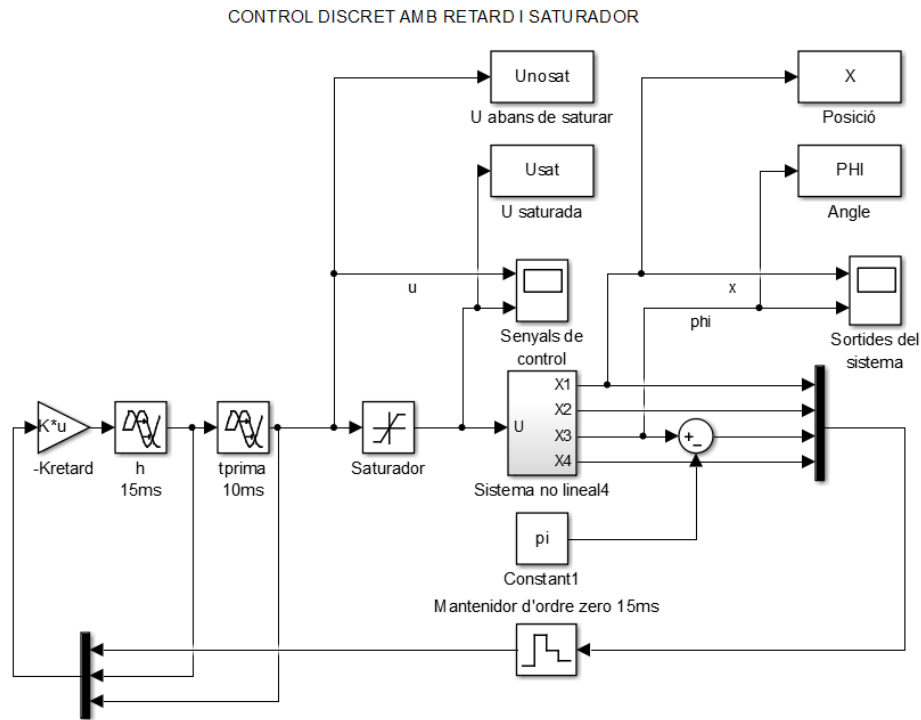


Figura 110 Esquema de control discret amb retard i amb saturador

Per obtenir la sortida en aquest cas, cal fer servir el codi que es mostra a continuació:

```

sim('NON_LINEAR_v6');
subplot(2,2,1)
plot(Unosat.time, Unosat.signals.values)%gràfica senyal de control
title('Senyal de control resultant amb una persona a sobre i condició
x3=3.12rad')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
plot(Usat.time, Usat.signals.values)%gràfica senyal saturada
title('Senyal de control saturada')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X.time, X.signals.values)%gràfica sortida posició
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI.time, PHI.signals.values)%gràfica sortida angle
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
    
```


Un cop simulat retorna les següents gràfiques on es mostra la senyal de control abans del saturador, després del saturador i les sortides angle i posició.

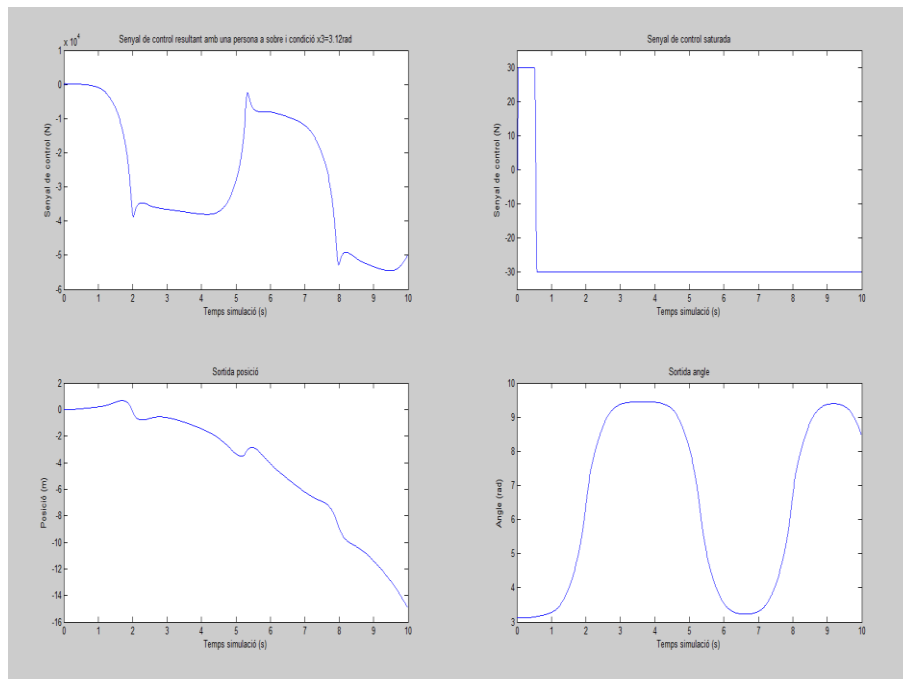


Figura 111 Resposta del sistema amb el saturador sota la condició inicial $x_3=3,12rad$

Com es pot veure als resultats de la simulació, el sistema es comporta de forma inestable un cop saturada la sortida del controlador per aplicar només la senyal real que es pot obtenir dels motors.

Així doncs, cal obtenir un model que es correspongui amb el prototip sense ningú a sobre, per tal de fer-ho es canvien els paràmetres de disseny tal i com es mostra al següent apartat. A continuació per veure si la culpa del problema és el controlador actual, és a dir, si els pols escollits per al control són molt agressius, s'opta per dissenyar de nou el controlador fent servir un controlador òptim.

9.1.2 Control òptim

Arribat aquest punt, el model funcional s'estabilitza amb els pols escollits inicialment però ho fa de forma molt brusca. Això és degut a la senyal de control resultant del controlador actual, aquesta senyal retorna uns valors de força molt elevats que tot i no inestabilitzar el sistema provoquen que aquest es comporti de forma brusca per tal de mantenir-se equilibrat. Per tal d'evitar aquest comportament i permetre un control més dinàmic del model es calcula un control LQR (*linear quadratic regulator*). Primerament cal modificar els paràmetres del sistema ja que finalment no es poden realitzar proves de conducció, per tant només es tindran en compte els valors del prototip, que són:

$$M = 7,25kg$$

$$l = 0,28m$$

$$m = 0,3kg$$

A continuació, per tal de dissenyar un controlador òptim cal fer servir la funció *lqr()* a *MATLAB* la qual retorna el guany *K* per a realimentar les variables del sistema, a aquesta funció cal passar-li com a paràmetres el sistema en espai d'estats, *Q* i *R* que corresponen als paràmetres de disseny del controlador.

Amb la finalitat d'obtenir un controlador que retorni una senyal de control dintre del rang 30N i -30N, que corresponen a les forces màximes que poden retornar els motors del prototip funcional, es dissenya el controlador mitjançant un escombrat de paràmetres tenint en compte que la senyal de control ha de quedar entre els marges esmentats.

Primerament, es fa un escombrat fixant el paràmetre *Q* i fent un escombrat de la variable *R*, obtenint d'aquesta forma 5 controladors diferents. Aquest guany de control són en el domini continu, per aquest motiu cal simular amb *Simulink* el model no lineal sense retards. Això es pot fer mitjançant el següent codi, que fa servir les matrius del sistema en continu:

```
%5 guanyos òptims fixant Q, variant R
i=1000
w=1
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=1/i
K1 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=3/i
K2 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=5/i
K3 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=7/i
K4 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=9/i
K5 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
sim('SIM_Optim_LQR');
```

La simulació es fa sobre el següent esquema, que permet simular 5 guanyos i veure la diferència entre les diferents respostes.

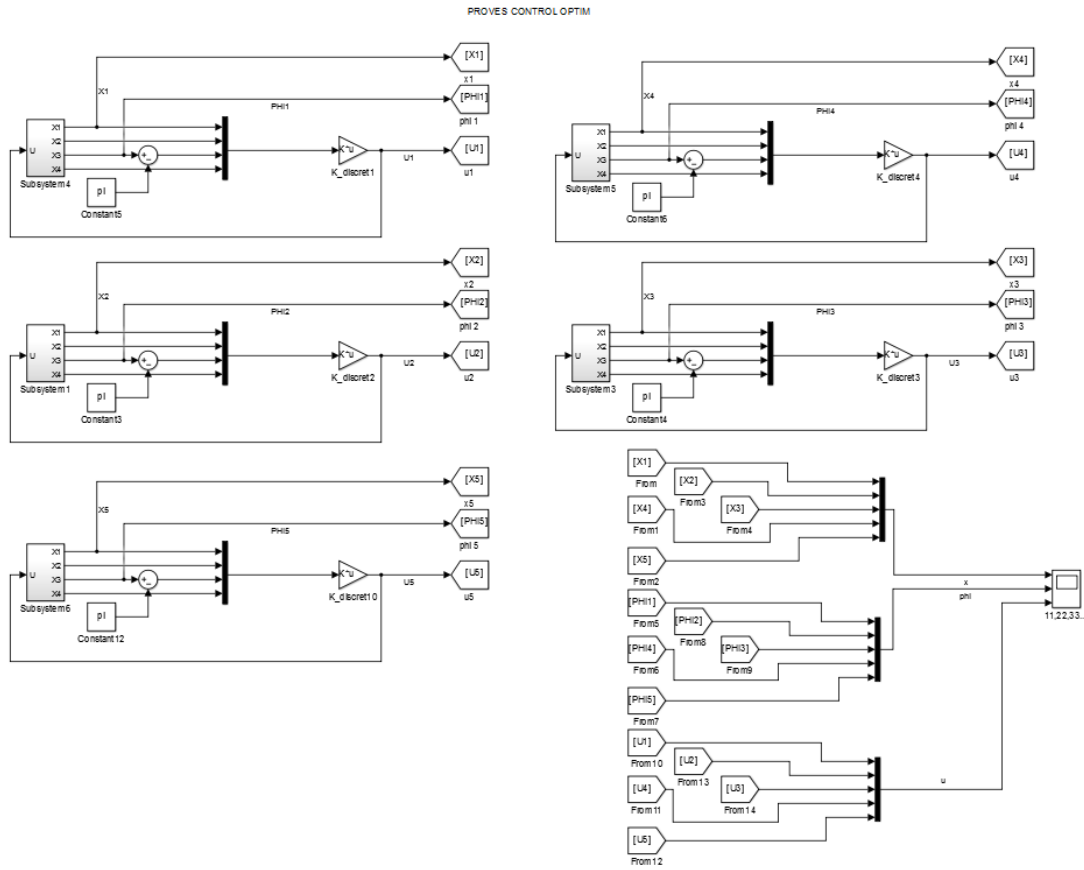


Figura 112 Esquema de proves del control òptim

La resposta dels diferents guany es mostra a la següent figura:

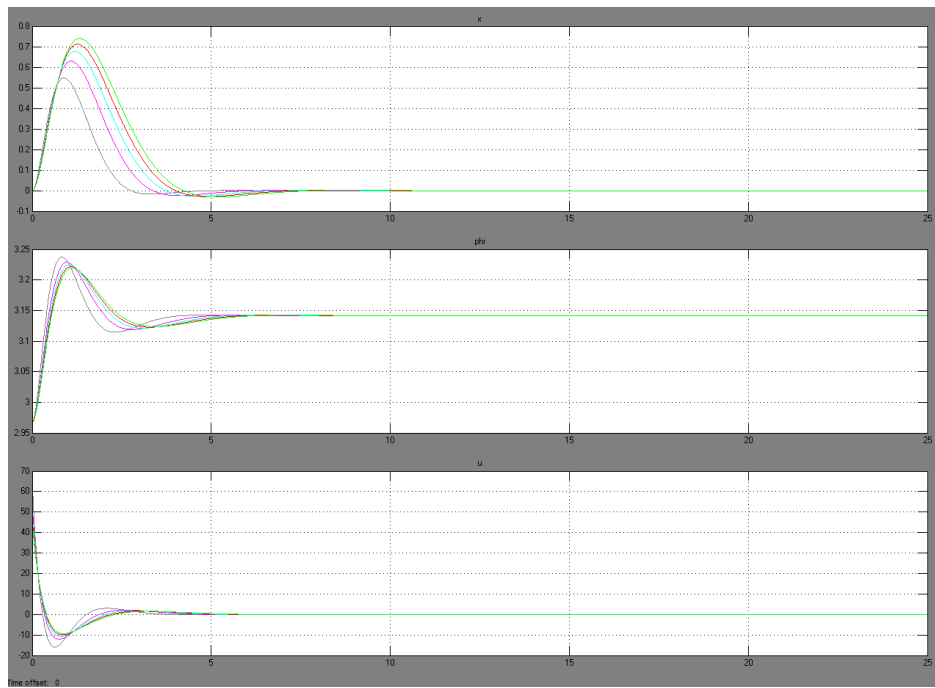


Figura 113 Resposta del control òptim sota condició inicial 3,12rad a l'angle phi (1)

Com es pot veure a la figura anterior tots els guanys en aplicar una condició inicial de 3.12rad retornen una acció de control major a els criteris de disseny.

A continuació, es fa un escombrat de valors de R fixant un altre valor al paràmetre Q, obtenint 5 controladors diferents. Tal i com s'ha fet en l'anterior cas es simula amb *Simulink* per tal de veure la resposta del sistema. La simulació retorna uns resultats de posició, angle i acció de control, que es mostren a continuació:

```
%5 guanys òptims fixant altre valor de Q, variant R
w = 10;
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.2
K11 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.5
K22 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.7
K33 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.9
K44 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=1
K55 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
sim('SIM_Optim_LQR');
```

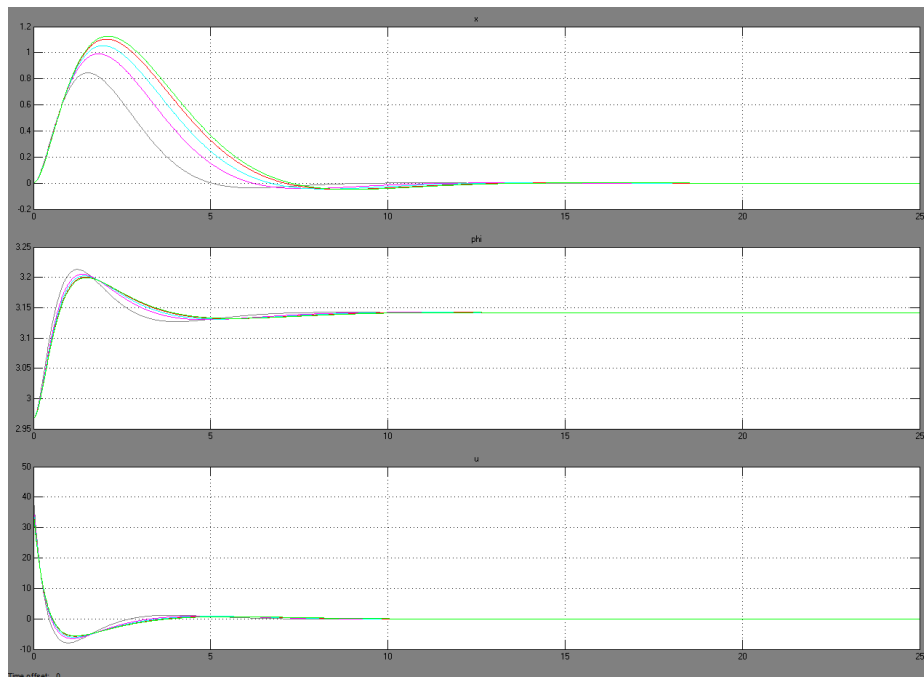


Figura 114 Resposta del control òptim sota condició inicial 3,12rad a l'angle phi (2)

En aquest cas, algunes de les respostes dels diferents controladors es troben dintre el paràmetre de disseny, s'ha escollit el guany K4 ja que la seva resposta conserva la millor relació entre rapidesa i valor de l'acció de control.

Un cop obtingut un controlador que funcioni, es procedeix a crear l'espai d'estats en llaç tancat i obtenir els pols equivalents al control òptim en llaç tancat per poder discretitzar el model.

Els pols en llaç tancat desitjats per al control òptim són els següents:

$$Pcd_{optim} = \begin{matrix} -3.3673 + 0.2678i \\ -3.3673 - 0.2678i \\ -0.8867 + 0.8821i \\ -0.8867 - 0.8821i \end{matrix}$$

Aquests permeten discretitzar el sistema sabent que el temps de mostreig màxim del sistema amb pols en llaç tancat imaginaris resulta ser de l'ordre del mig segon. Per tant, fixant un temps de mostreig de 15ms s'obté un sistema discret estable.

Per obtenir els pols en llaç tancat d'aquest sistema continu, cal obtenir la matriu A en llaç tancat, que equival a $A-B*K$, el resultat d'aquesta operació permet obtenir els pols del sistema mirant els valors propis de la matriu resultant amb la funció *eig()*.

El codi emprat es mostra a continuació:

```
espai_tancat_k4=ss(A_PI-B_PI*K4,B_PI,C_PI,0)
pcd=eig(espai_tancat_k4); %obtenció dels pols en llaç tancat
pdd=exp(pcd*h); %obtenció pols discrets
h=0.015;
espai_discret=c2d(espai_obert,h,'zoh');
[Ad,Bd,Cd,Dd]=ssdata(espai_discret);
kd=acker(Ad,Bd,pdd) %controlador discret
```

A més, com el sistema sobre el que es treballa és el mateix i només canvien els pols en llaç tancat, el procés de disseny del controlador és exactament igual als anteriors casos. Així doncs, cal ampliar el sistema amb dues variables per a tenir en consideració al sistema el retard d'actuació i posteriorment cal ampliar-lo per introduir el control integral. Un cop obtinguts els valors dels controladors, es pot simular i obtenir les sortides del sistema.

Resultats del sistema amb retard:

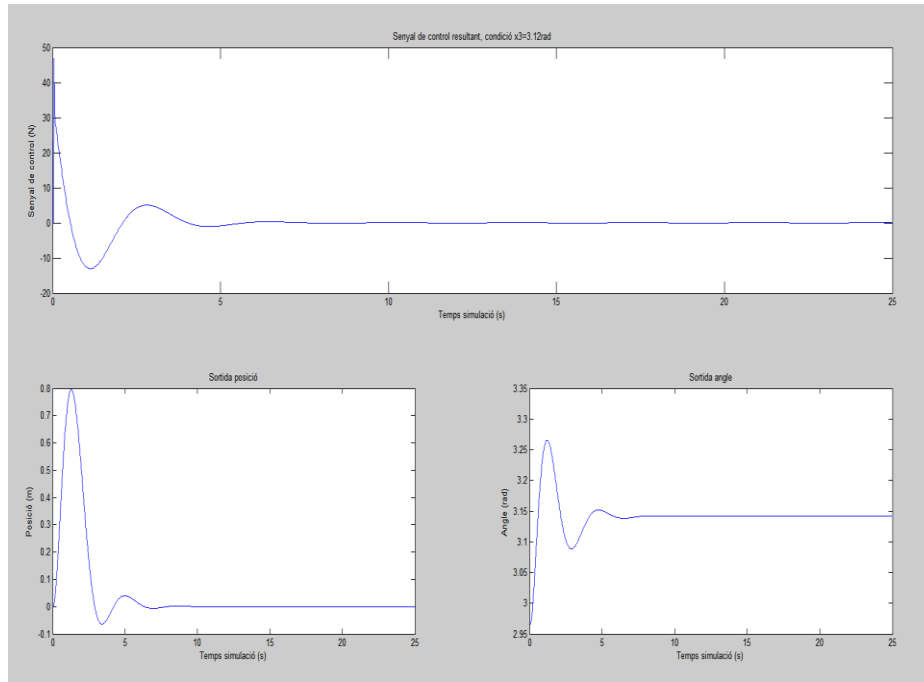


Figura 115 Resposta control òptim discret sota condició inicial 3,12rad

Tal i com es pot veure el sistema és totalment estable tot i que no és gaire ràpid ja que triga gairebé 5 segons en establitzar-se i la variable posició es desvia 0,8m de l'origen.

Com que el sistema és molt similar als anteriors provats i només canvien els pols emprats, la part de explicació del disseny del controlador integral s'omet.

Els resultats en aquest cas amb una consigna de 1m són:

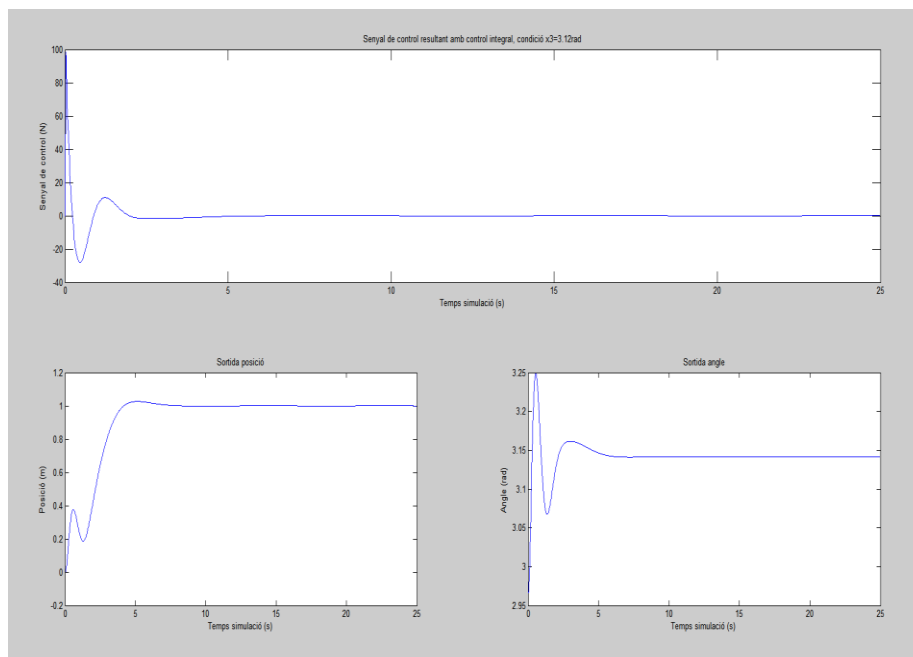


Figura 116 Resultats control òptim amb control integral, consigna 1m i condició inicial 3,12rad sense saturador

En aquest cas, un cop introduït el control integral i simulant una consigna de 1m la senyal de control augmenta considerablement, la qual cosa podria provocar que el sistema real es comporti de manera inestable, per tal de comprovar-ho es fa la mateixa simulació introduint el saturador davant l'entrada de la planta no lineal.

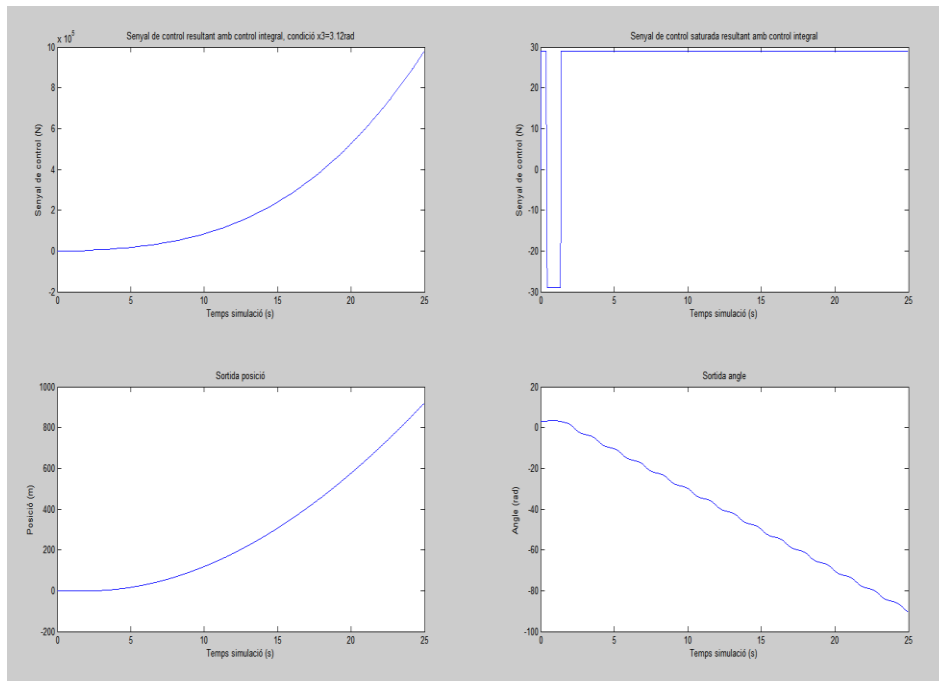


Figura 117 Resultats control òptim amb control integral, consigna 1m i condició inicial 3,12rad amb saturador

Al introduir el saturador la resposta del sistema no pot ser controlada i aquest es comporta de manera inestable.

9.1.3 Cerca dels millors pols per al controlador

Amb la finalitat d'obtenir un controlador que permeti el control integral amb la senyal de control del sistema saturada es procedeix a simular diferents pols i veure en quin moment s'inestabilitza el sistema.

Partint d'uns pols lents com són els següents, es fan iteracions canviant de 0.5 en 0.5 els pols cap a la zona ràpida del pla complex, fent un total de 19 iteracions i obtenint així 19 pols en llaç tancat i els seus relatius models.

$$Pols_{cont}inicials = \begin{matrix} -5 \\ -5 \\ -2 - 2i \\ -2 + 2i \end{matrix}$$

El codi emprat per simular la variació dels pols queda exemplificat a continuació on només es mostra el bucle principal.

```

for n = 0:0.5:9
    pols_cont=[-5-n;-5-n;-2-n+(2i-n*i);-2-n-(2i-n*i)]
    %[...] [Codi de càlcul del controlador i sistemes ampliat]
    sim('SIM_Escombrat');
    %[...] [Codi de simulació del model i mostra dels resultats]
end
    
```

L'esquema de SIMULINK queda de la següent forma per a realitzar les proves amb els diferents valors dels pols calculats.

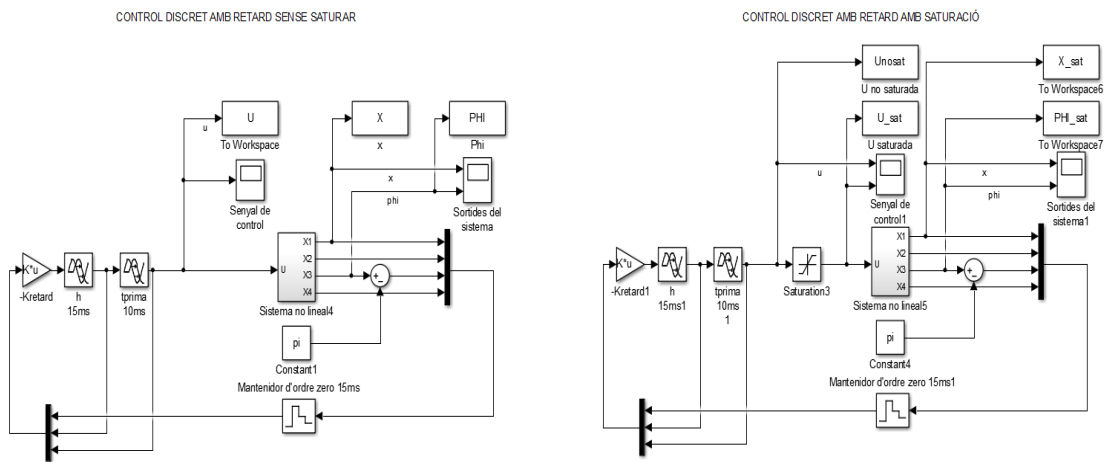


Figura 118 Esquema de proves per escombrat pols sense saturador i amb saturador

El resultat de la simulació amb 19 valors de pols diferents es mostra a continuació:

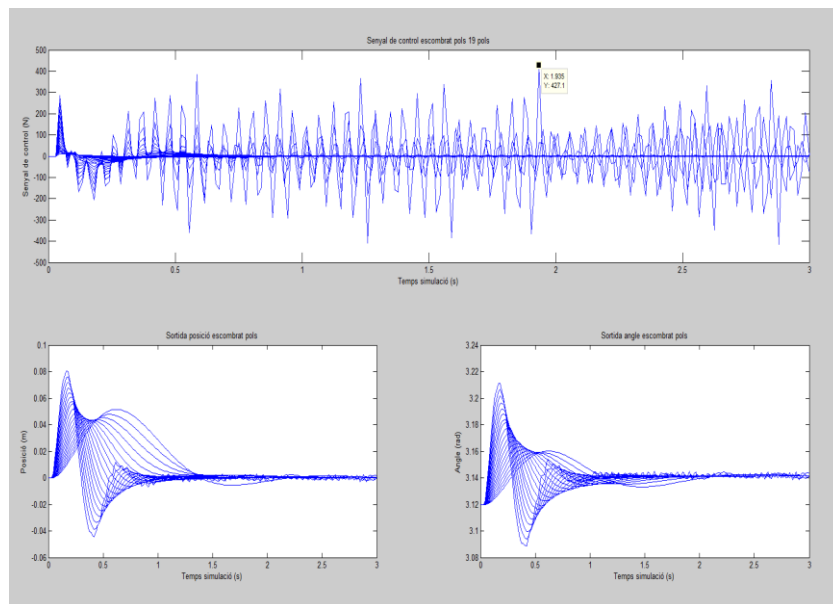


Figura 119 Resultat escombrat de pols (1)

A l'anterior figura (Figura 119) es poden observar les senyals de control resultants del càlcul del controlador per assignació de pols en cadascun dels 19 casos diferents. Tal i com es pot observar, el sistema sempre es comporta de forma estable encara que variant els pols es provoca una sortida més lenta. Si s'observa la senyal de control, es pot veure que aquesta arriba en algun cas fins als 428N, cosa que varia molt respecte a l'acció de control que es pot aplicar al sistema en aquest moment.

A la següent figura, es pot observar que en saturar l'acció de control del sistema es comporta de forma inestable i no pot controlar, és per aquest motiu que cal acotar encara més els pols que s'han fet servir.

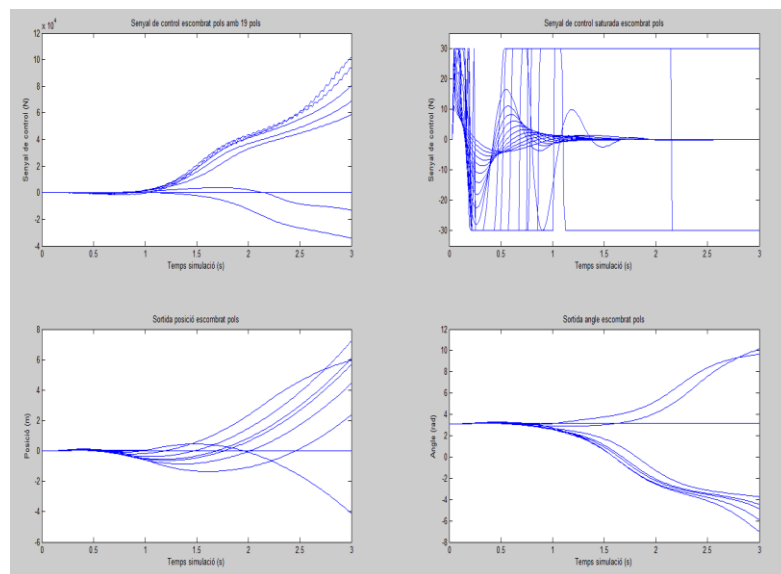


Figura 120 Resultat escobrat de pols (2)

Per evitar que el sistema s'inestabilitzi es va disminuint el nombre de pols simulats, de forma que quedin més a prop del pla complex, provocant que siguin més lents que els anteriors i d'aquesta forma consumeixin menys recursos de cara a obtenir una senyal de control més baixa.

A la següent simulació el nombre de pols simulats baixa fins a obtenir 14 pols diferents. D'aquesta forma el sistema es comportarà de forma més lenta però les accions de control resultants baixaran d'igual forma.

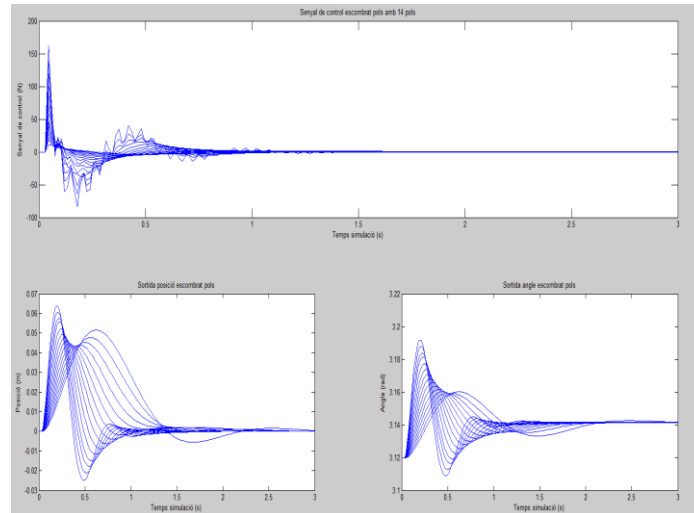


Figura 121 Resultat escombrat de pols (3)

En aquest cas el sistema continua sent ràpid i la senyal de control ha baixat considerablement, a més es pot veure que en cap moment es comporta de forma inestable.

Per veure si és suficientment petita l'acció de control com a per evitar que el model es comporti de forma inestable en introduir el saturador es mostra la sortida del sistema en aquest cas.

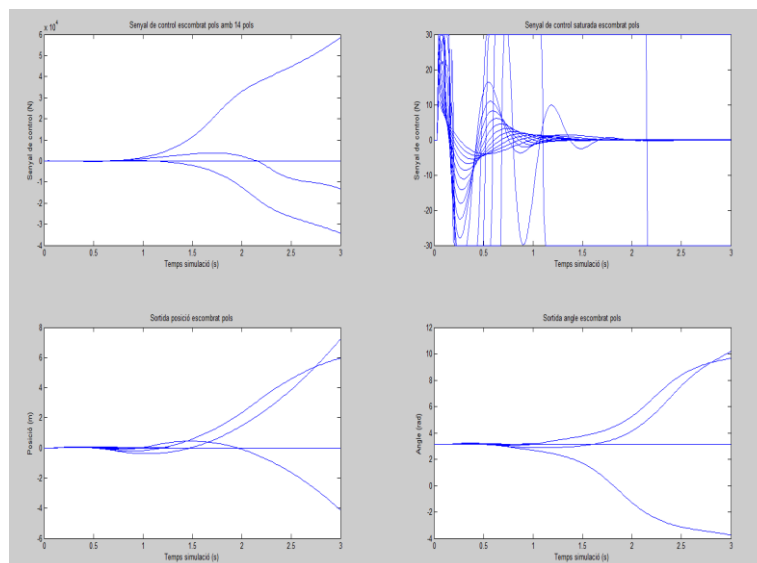


Figura 122 Resultat escombrat de pols (4)

En aquest cas, la senyal de control encara és massa gran i el sistema s'inestabilitza, es continua, per tant, reduint el nombre de pols per apropar-los encara més a l'eix imaginari.

Per aconseguir que el sistema no es comporti de forma inestable s'ha disminuït el nombre de pols simulats fins a 10.

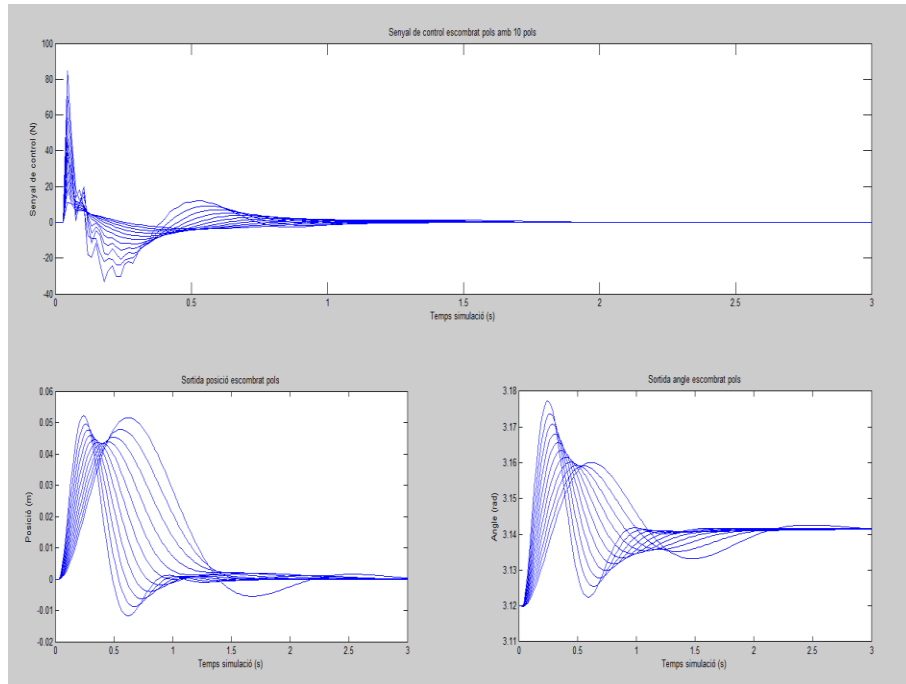


Figura 123 Resultat escombrat de pols (5)

Observant l'anterior figura, es pot veure que el sistema encara es comporta de forma estable però és cada vegada una mica més lent per establir-se.

Com es pot veure a la següent figura, en aquest últim cas, el sistema es comporta de forma estable fins i tot en aplicar el saturador.

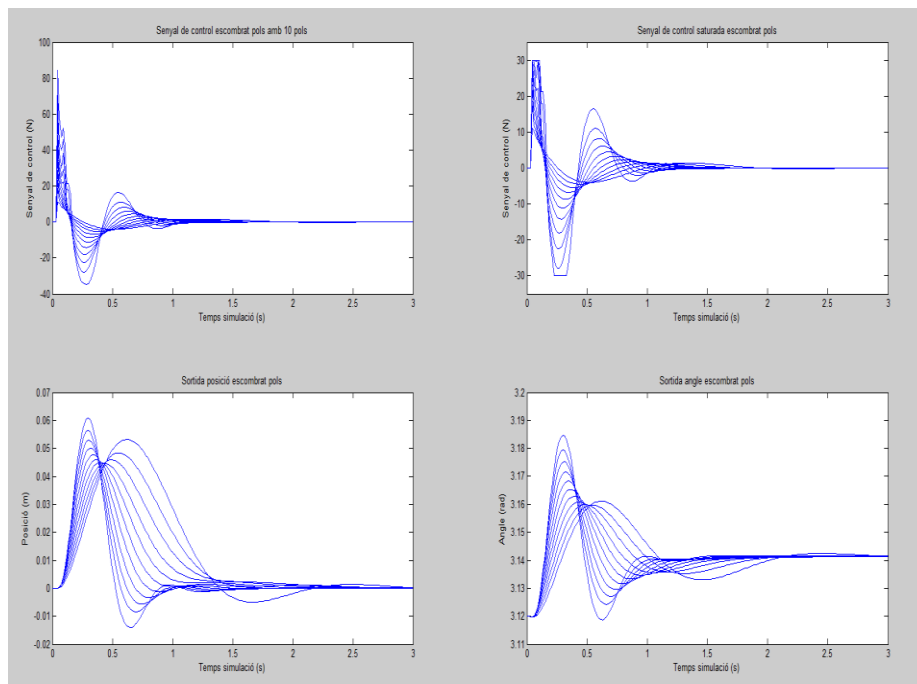


Figura 124 Resultat escombrat de pols (6)

Veient que es comporta de forma estable i és un control bastant ràpid s'opta per provar el més lent de tots, que s'aconsegueix amb uns pols en llaç tancat de:

$$Pols_{prova} = \begin{matrix} -5 \\ -5 \\ -2 - 2i \\ -2 + 2i \end{matrix}$$

Provant el controlador en el prototip es pot veure que és estable mentre està equilibrat, en el moment en que se li aplica qualsevol pertorbació per petita que sigui a l'angle aquest comença a avançar amb la finalitat d'equilibrar-se fins que cau. Això és degut a que el propi controlador és massa lent per a poder equilibrar el sistema real, tal i com es podia observar a la simulació amb el saturador, per poder equilibrar el sistema trigava fins a 2 segons.

A continuació, es proven diferents pols resultants de les diferents simulacions i s'arriba a la conclusió que el millor controlador per poder estabilitzar el sistema en aplicar-li una pertorbació sense que caigui és el controlador més ràpid obtingut a l'anterior simulació amb la saturació.

Aquest controlador s'obté fent servir l'assignació dels següents pols:

$$Pols_{prova} = \begin{matrix} -10 \\ -10 \\ -7 - 3i \\ -7 + 3i \end{matrix}$$

Un cop seleccionats uns pols inicials, es fan més proves per veure si es pot reduir encara més la senyal de control, per fer-ho es varia la part imaginària dels pols, que són els pols més dominants en aquest cas.

Variant la part imaginària dels pols, es pot veure que si es redueix fins a $-2 \pm 2i$ el sistema es comporta de forma exactament estable i la senyal de control necessària és molt més petita, apropant-se als 30N que es poden obtenir dels motors.

El resultat de la simulació es mostra a la Figura 125.

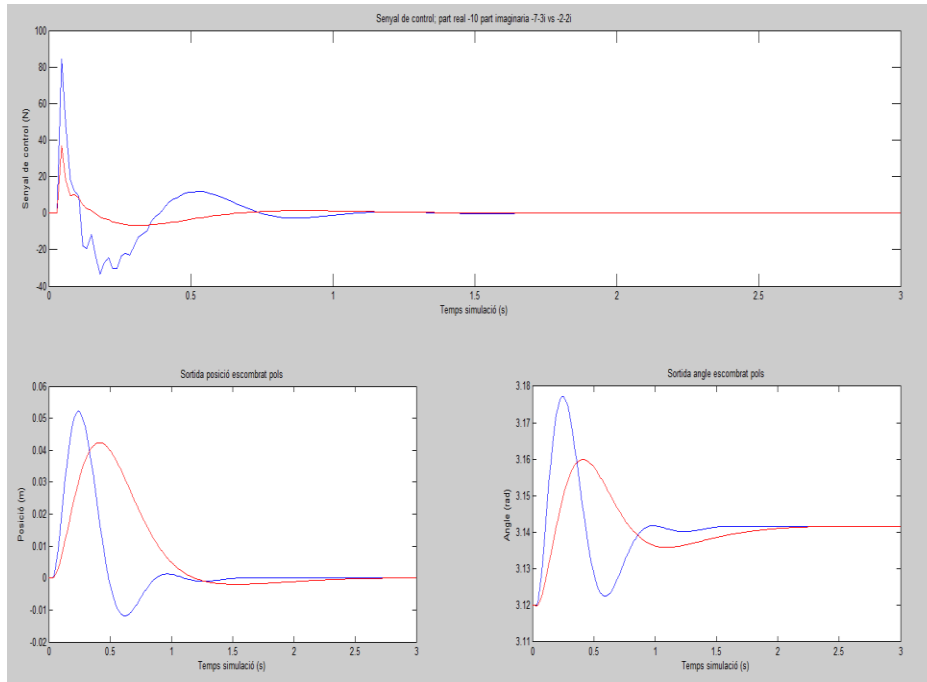


Figura 125 Escombrat de pols final sense saturador

A l'anterior figura, que mostra la simulació del model sense saturar es veu clarament que la senyal de control dels pols imaginaris més propers a l'eix imaginari, en vermell, és més petita. Observant també la mateixa figura, es veu que la resposta és, fins i tot, millor que amb una part imaginària de major valor.

En comparació, es pot veure també la simulació del sistema amb saturador, que retorna els mateixos resultats observats a l'anterior figura.

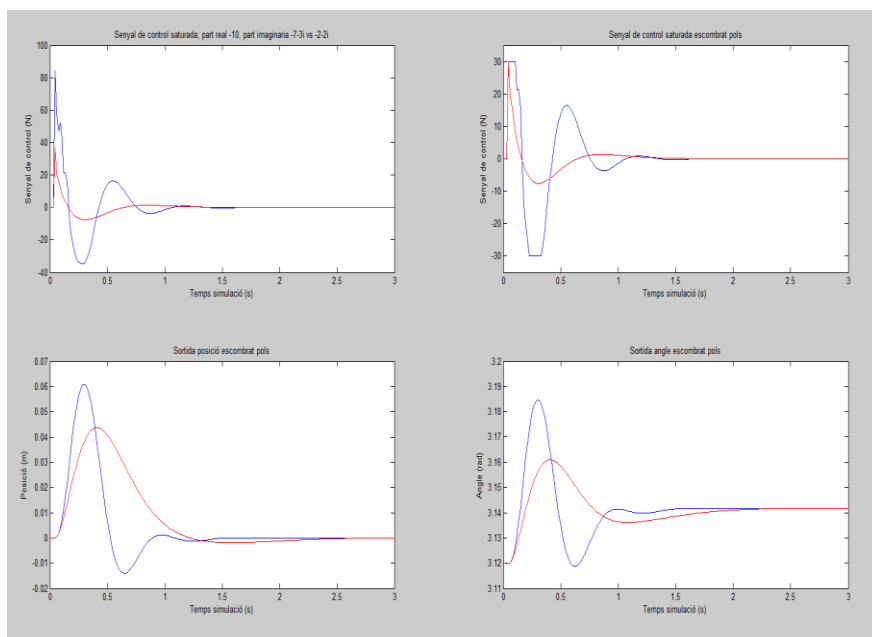


Figura 126 Escombrat de pols final amb saturador

A aquesta figura amb saturador, es veu que la senyal de control dels últims pols escollits, en vermell, no arriba a saturar ja que té un valor suficientment petit, veient això es decideix mantenir aquests pols per a la part d'implementació al prototip.

Els pols resultants d'aquesta selecció són:

$$Pols_{prova} = \begin{matrix} -10 \\ -10 \\ -2 - 2i \\ -2 + 2i \end{matrix}$$

9.1.4 Robustesa del controlador

Ja que el model ha sigut calculat fent una linealització als punts d'equilibri desitjats i que els valors aplicats al model per a simulació poden no ser del tot precisos respecte al model real es realitzen diferents proves de robustesa al controlador calculat a l' anterior apartat.

Per veure la robustesa del controlador es calcula el guany del controlador obtingut amb els pols anteriors i els valors de la planta del prototip. Un cop obtingut aquest guany es van variant els valors de la planta no lineal de *Simulink*. Per fer-ho s'assignen diferents valors a la simulació per als paràmetres m , corresponents a la massa del pèndul, M , que correspon al valor de la massa del carro i l , que correspon a la distància des de l'eix de rotació fins al centre de masses del pèndul.

9.1.4.1 Variació del paràmetre l

Per començar es variarà l'alçada del centre de masses del pèndul mantenint la resta de paràmetres de la planta inalterats. L'escombrat de l va des del valor 15cm fins al valor 65cm, mentre que l'actual valor per al controlador es troba a 28cm d'alçada. El codi emprat per fer aquesta variació altera els paràmetres del model no lineal que es fa servir a *Simulink*, per fer-ho es fa servir un bucle *for* on s'introdueix el valor de l'escombrat.

```
%[...] [codi del càlcul del controlador i models ampliats]
for s = 0:0.05:0.5 %varia el valor de l entre 15 i 65cm
    l = 0.15+s;
    J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
    sim('SIM_Escombrat');
    %[...] [Codi de simulació del model i mostra dels resultats]
end
```

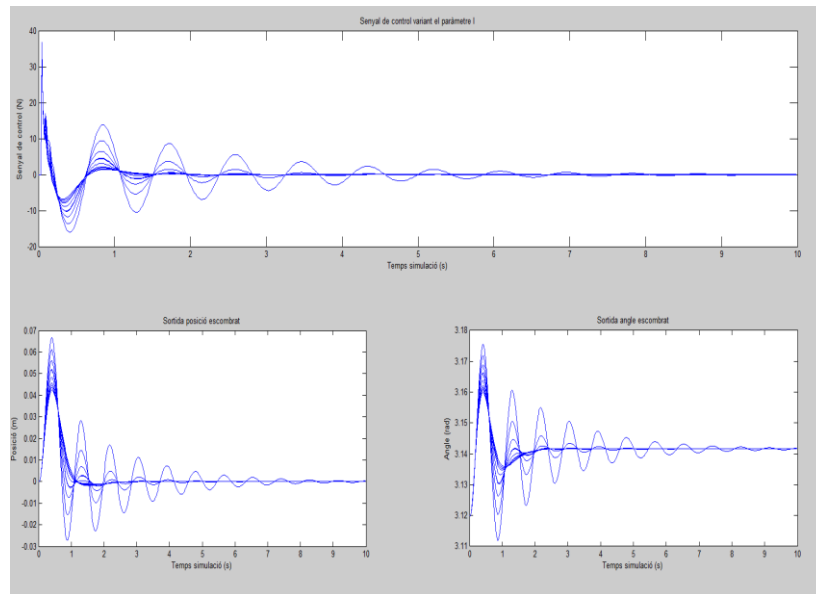


Figura 127 Escombrat paràmetres, paràmetre I

Es pot veure fàcilment que el model es comporta de forma més oscil·lant quant més lluny del valor original es troba el centre de masses però en qualsevol cas el sistema continua sent estable amb el controlador original. Si es satura la senyal de control es pot observar això mateix, ja que el valor de F necessari no és massa elevat, aquesta simulació es mostra a continuació:

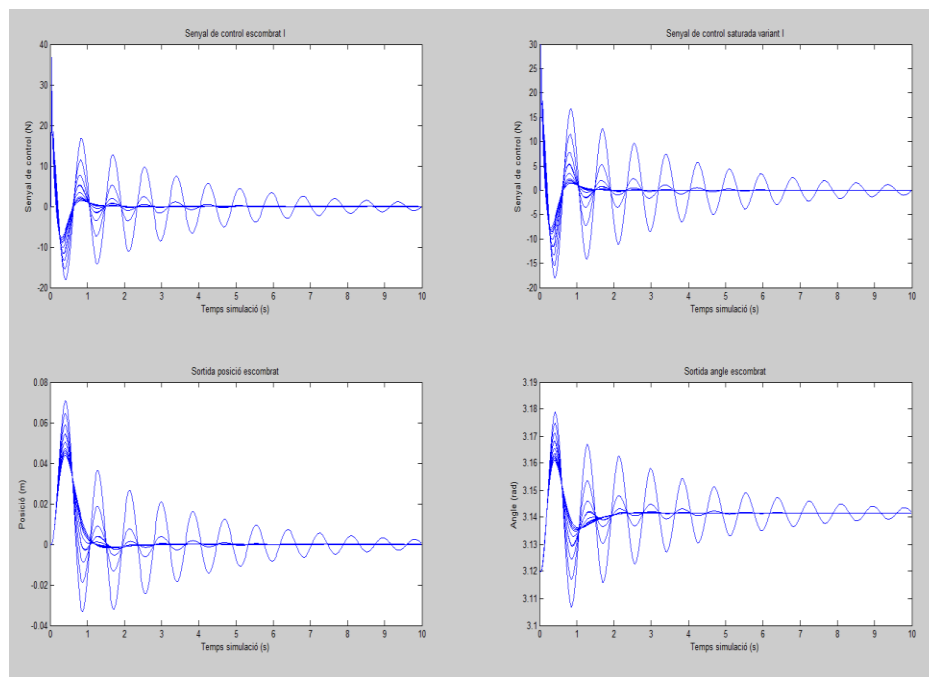


Figura 128 Escombrat paràmetres, paràmetre I amb saturador

En aquest cas com la senyal de control gairebé no supera els 30N el model segueix sent estable, per tant queda demostrat que el controlador originalment calculat és bastant robust davant variacions de la distància al centre de masses del pèndul de la planta.

9.1.4.2 Variació del paràmetre m

A continuació es simula una variació a la massa del pèndul, que és el paràmetre m , la variació es fa entre 0,1 i 1kg, quan el paràmetre original era 0,3kg. Per fer aquesta variació s'empra un codi molt similar a l'anterior, amb un bucle for per variar el paràmetre m . El codi queda de la següent forma.

```
%[...] [codi del càlcul del controlador i models ampliat]
for p = 0:0.1:1 %varia m entre 0,1 i 1kg
    m = 0.1+p;
    J = (1/4*m*0.3) + (1/3*1*m);
    sim('SIM_Escombrat');
%[...] [Codi de simulació del model i mostra dels resultats]
end
```

Un cop plantejat el bucle la simulació retorna els següents resultats per a la sortida i la senyal de control.

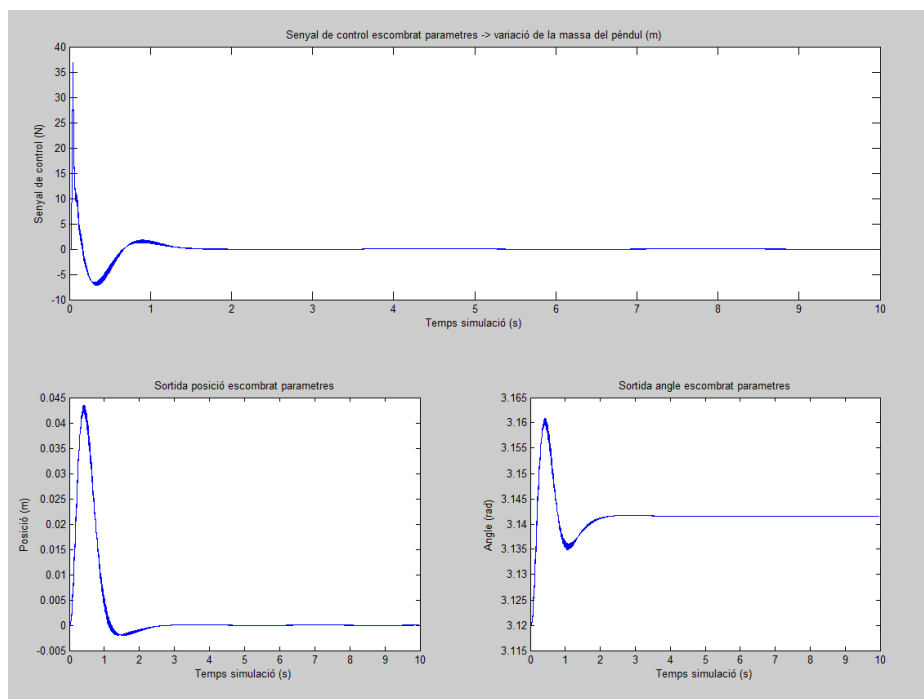


Figura 129 Escombrat paràmetres, paràmetre m

En aquest segon cas la variació del paràmetre m no afecta gaire a l'estabilitat del sistema mantenint el controlador original. Per veure quin és el resultat amb el saturador es realitza una altre simulació que retorna els següents resultats.

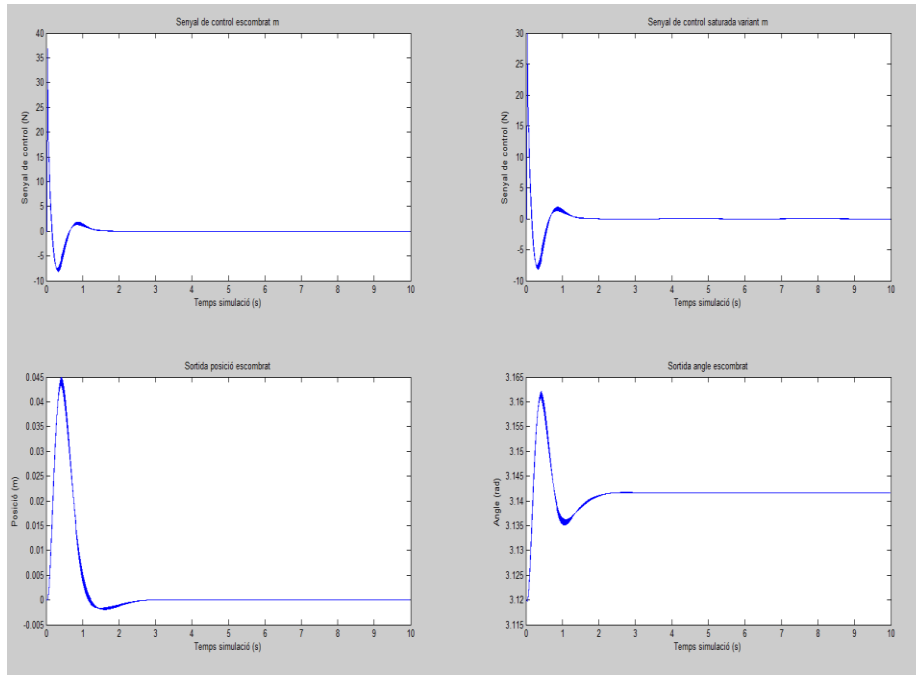


Figura 130 Escombrat paràmetres, paràmetre m amb saturador

Igual que a l'anterior cas tot i haver introduït el saturador el sistema és estable i es demostra que el controlador és robust a lleugeres variacions en la massa del pèndul.

9.1.4.3 Variació del paràmetre M

Un cop simulades les variacions a la massa del pèndul i l'alçada del centre de masses del pèndul es simula la variació a la massa del carro, de la mateixa manera que als anteriors casos es simula una variació a la massa M des del valor 6 fins a 9,25kg, tenint en compte que el valor original era de 7,25kg es pot veure el codi i el resultat a continuació.

```
%[...] [codi del càlcul del controlador i models ampliat]
for n = 0:0.05:3.25
    M = 6+n; %variació de M fins a 9,25kg
    J = (1/4*m*0.3)+(1/3*1*m);
    sim('SIM_Escombrat');
%[...] [Codi de simulació del model i mostra dels resultats]
end
```

Aquest codi retorna les següents gràfiques de resultats dels valors de la senyal de control, el angle i la posició.

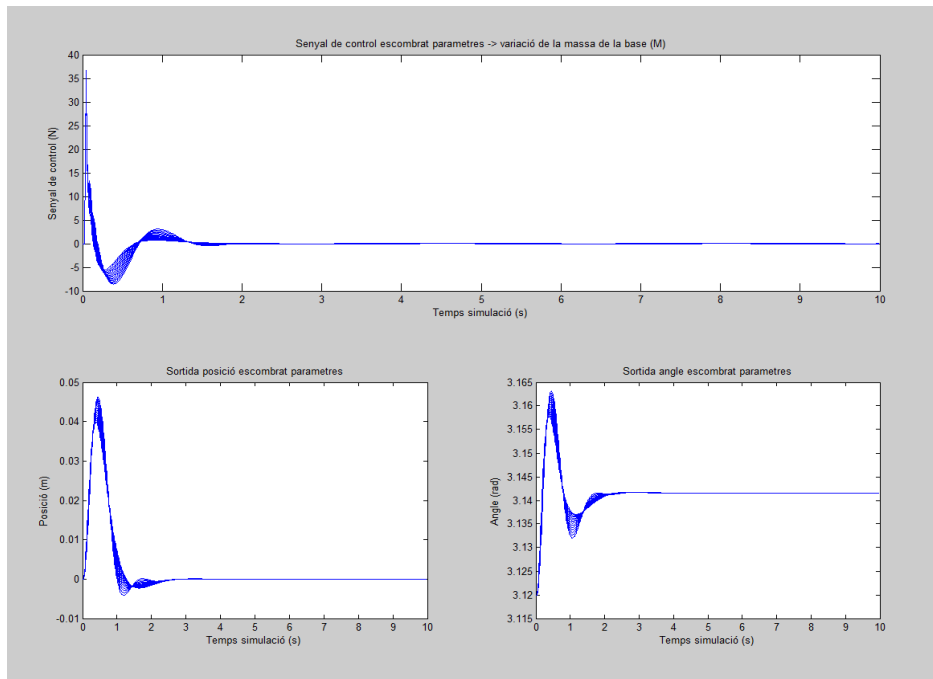


Figura 131 Escombrat paràmetres, paràmetre M

En aquesta simulació igual que en els anteriors dos casos el sistema es manté estable tot i variar els paràmetres de la massa del carro a la planta no lineal, a més es pot observar que la variació afecta relativament poc a la resposta del sistema.

A continuació per tal de veure si el controlador és capaç de controlar el sistema quan se li aplica el saturador de 30N es realitza la mateixa simulació amb l'acció de control limitada. Els resultats es mostren a la Figura 132.

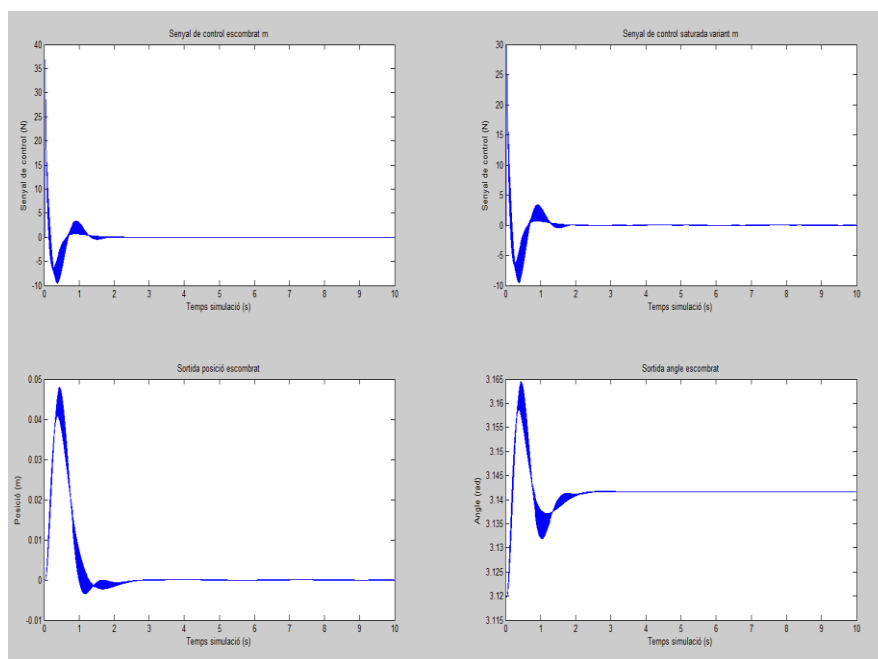


Figura 132 Escombrat paràmetres, paràmetre M amb saturador

En aquest últim cas, quan es varia la variable M el controlador porta el sistema al punt desitjat, com es pot veure el sistema és estable i es pot concloure que el controlador és robust davant variacions del valor de la massa del carro. Per finalitzar i concloure si el controlador és prou robust, es realitza un escombrat de tots els paràmetres de la planta amb un bucle *for* triple.

9.1.4.4 Variació de tots els paràmetres de la planta

Fent servir un triple bucle *for* es varien totes les variables de la planta per provar múltiples configuracions de variables, el codi que permet fer aquest escombrat múltiple es mostra a continuació.

De forma similar als anteriors casos es varien les variables m, M i l, des de 0,1 a 1,1kg, des de 6 fins a 9,25kg i des de 0,15 a 0,5m successivament. El codi emprat és el següent:

```
%[...] [codi del càlcul del controlador i models ampliat]
for n = 0:0.25:3.25
    M = 6+n; %variació de M
    for p = 0:0.2:1
        m = 0.1+p; %variació de m
        for s = 0:0.05:0.45
            l = 0.15+s; %variació de l
            J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
            sim('SIM_Escombrat');
            %[...] [Codi de simulació del model i mostra dels resultats]
        end
    end
end
end
```

Fent servir l'anterior codi el model no lineal retorna les següents sortides:

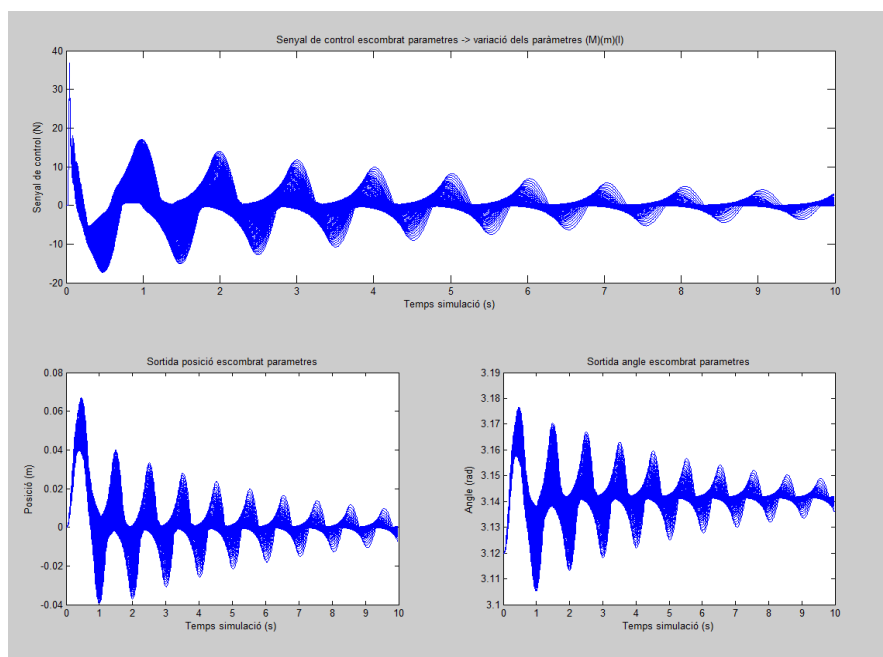


Figura 133 Escombrat paràmetres de la planta

La resposta sense saturar del sistema és estable tot i que arriba a un punt en que es comporta de forma oscil·lant i la seva resposta es va tornant cada cop més i més lenta.

Tot i així, tenint en compte que els valors simulats varien bastant dels que s'han fet servir per dissenyar el controlador es pot observar que el controlador és suficientment robust com per controlar el model encara que els valors de masses i altres paràmetres no es corresponguin al 100% amb la realitat.

A continuació, es torna a simular introduint el saturador per veure si el model funcional seria estable amb uns valors de les variables diferents als reals. La simulació queda així:

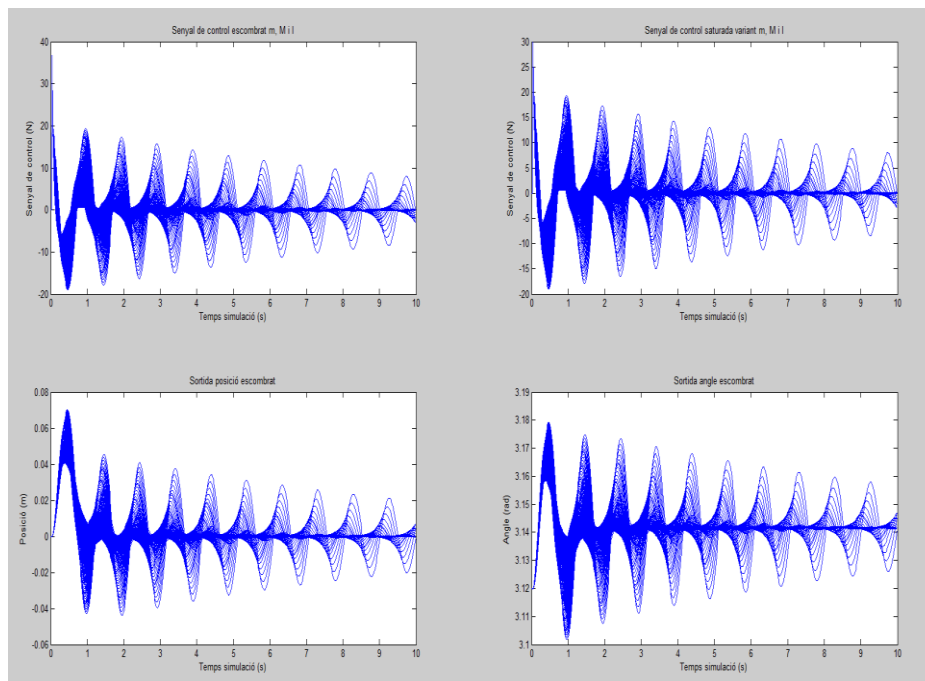


Figura 134 Escombrat paràmetres de la planta amb saturador

Després de simular queda demostrat que encara que s'introdueixi el saturador, la resposta queda inalterada respecte al model sense saturador i per tant es pot concloure que si s'introdueix aquest controlador al prototip funcional controlarà sense problemes encara que els valors del prototip no siguin exactament els que s'han fet servir per a dissenyar el propi controlador.

9.1.5 Proves del controlador final

Un cop finalitzat el procés de disseny i provada la robustesa del controlador es procedeix a fer algunes proves amb el model funcional, per fer aquestes proves cal implementar el controlador al microcontrolador.

Les proves de control del prototip resulten satisfactòries i el sistema es manté estable encara que se li provoqui alguna pertorbació a l'angle. Per tant, un cop provat es decideix dissenyar el controlador integral que permeti moure el sistema a una posició desitjada ja sigui enviant dades pel port sèrie de l'Arduino o mitjançant un mòbil i la comunicació *Bluetooth*.

9.1.6 Control integral

Un cop provat el controlador i vist que aquest funciona de forma correcta es procedeix a dissenyar un controlador integral que permeti moure el prototip a la posició desitjada. Per fer-ho, cal seguir el mateix procediment explicat a la part de simulacions (apartat 3.13).

Per al disseny del controlador integral, es fan servir els pols trobats anteriorment i un pol per a l'integrador en discret de valor 0,4 que correspon a un valor bastant lent però que si canvia provoca un augment molt gran de la senyal de control.

A continuació, es mostra l'esquema de control fet servir a *Simulink* per simular el controlador un cop obtingut.

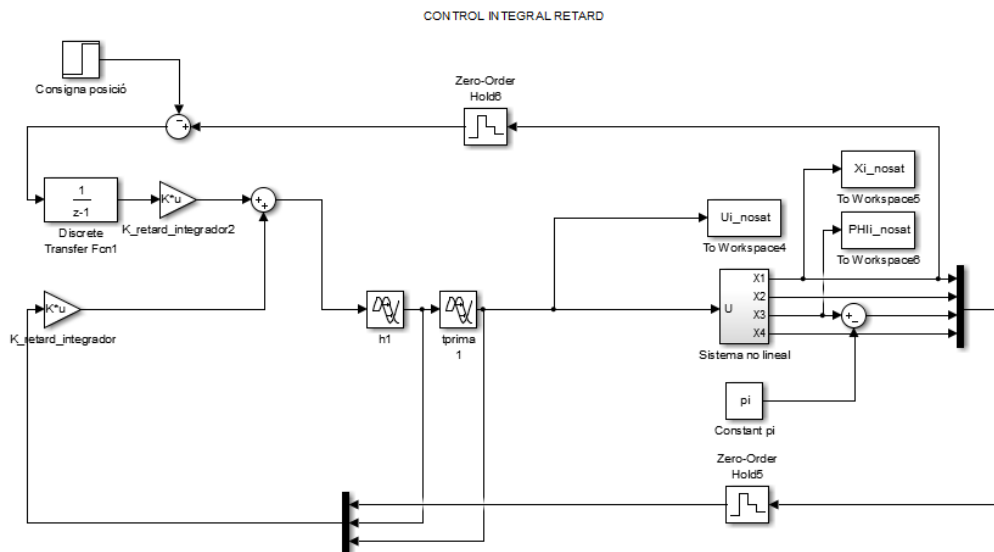


Figura 135 Esquema de control final amb retard i control integral

El resultat de la variable de control i les dues sortides es mostren a la següent figura.

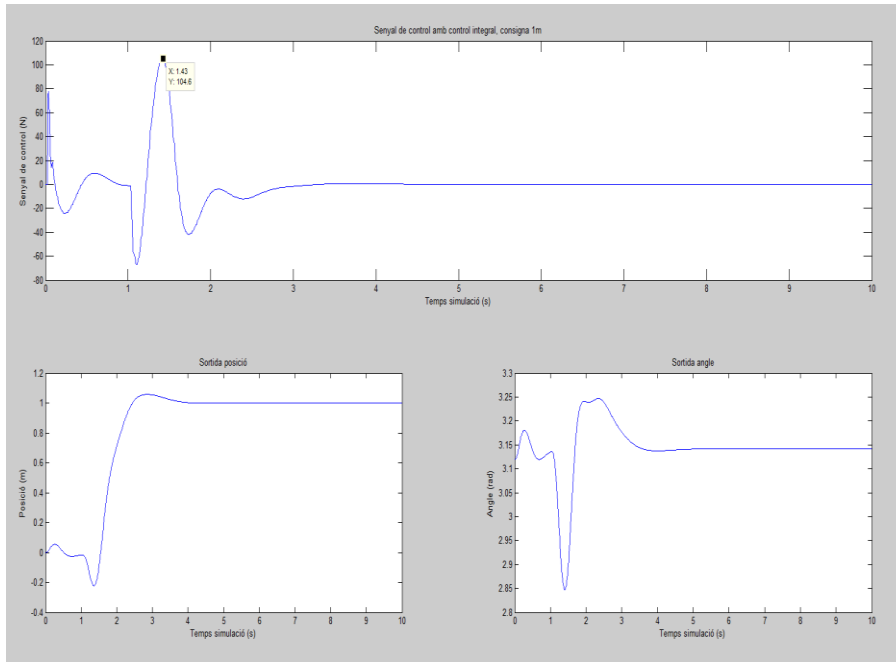


Figura 136 Resposta del sistema final amb control integral i retard

Observant els resultats es pot veure a simple vista que el model es comporta de forma estable i a més la posició del carro va fins a 1m, que era la consigna inicial. D'altra banda es veu també que la senyal de control ha augmentat des de els 30N fets servir només per al control del sistema fins als 100N necessaris per a portar el sistema a la posició desitjada. A continuació, es comprovarà si el sistema serà estable una vegada introduïda la limitació dels motors.

La simulació del model amb el saturador es fa amb el següent model de *Simulink*

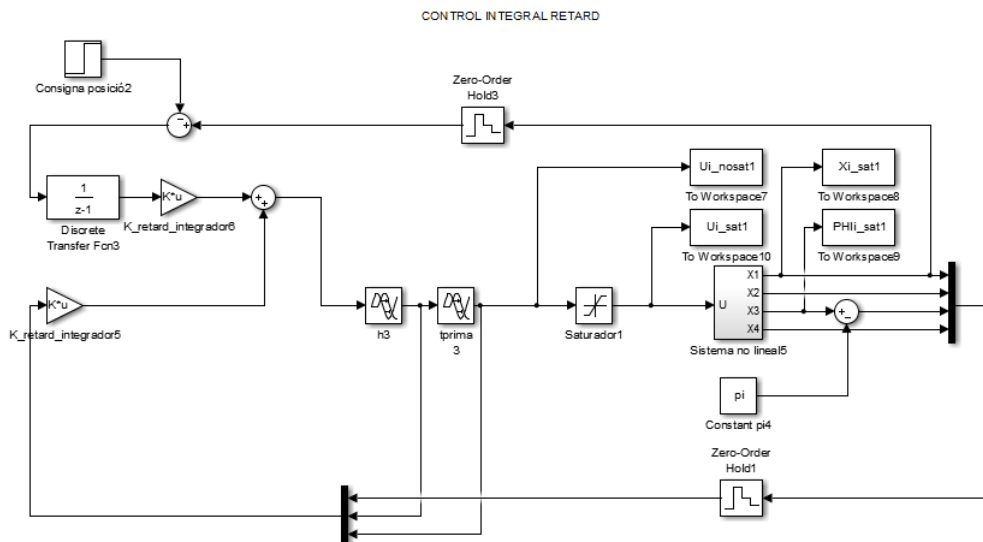


Figura 137 Esquema de control final amb retard, control integral i saturador

Simulant 10 segons el sistema amb una condició inicial de 3,12rad es pot veure que a diferència del anterior cas el model es comporta de forma inestable, això es pot veure a la Figura 138.

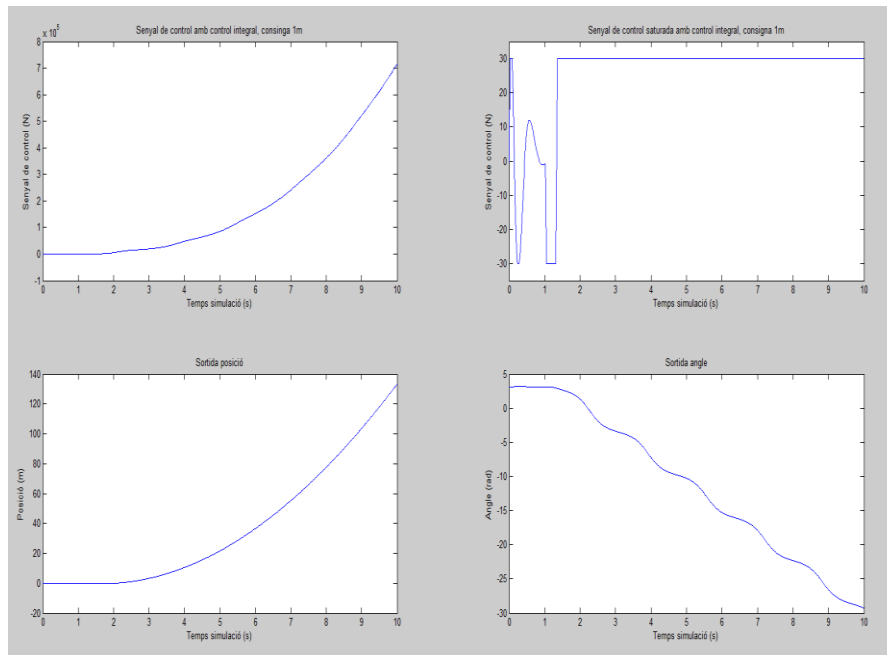


Figura 138 Resposta del sistema final amb control integral, retard i saturador

Com s'ha comentat, la resposta del sistema no és estable un cop introduït el saturador. Per tal de veure si variant els pols el sistema és estable es fan una sèrie de proves sobre el model funcional.

9.1.6.1 Proves control integral

Ja que el controlador final obtingut no es comportava de forma estable amb la saturació, per veure si hi ha alguna possibilitat d'estabilitzar el sistema amb el control integral implementat es decideix provar a dissenyar un control integral a partir de uns pols més lents obtinguts anteriorment a la part d'escombrat de pols. Els pols que es fan servir són els mateixos que els actuals però canviant la part real fins a -5, fent el sistema més lent.

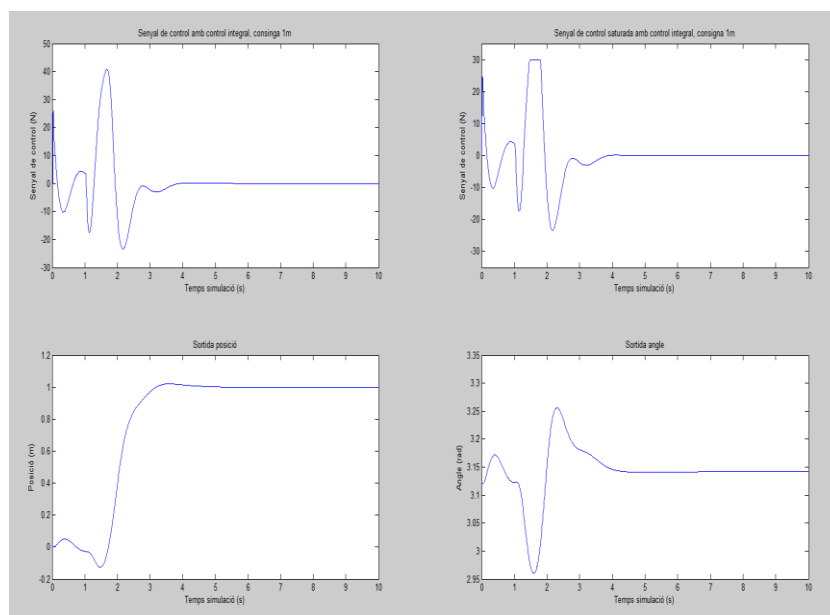


Figura 139 Resultat simulació amb retard, control integral i saturació amb pols més lents

Mirant la simulació es veu que per culpa del control de la posició, l'angle sofreix una variació bastant brusca en poc temps i va oscil·lant fins a estabilitzar-se, per aconseguir-ho ha trigat gairebé 4 segons. En el cas real on afecten més factors, a diferència de la simulació, es comporta de forma inestable ja que els pols del controlador són massa lents per a poder mantenir el sistema en equilibri en el moment en que se li aplica una pertorbació a l'angle, tal i com s'ha comentat en el apartat de selecció dels pols, ha estat per aquest mateix motiu pel qual s'ha decidit seleccionar uns pols més ràpids.

Així doncs s'arriba a la conclusió de que amb la limitació dels motors no es pot fer control integral fent servir aquest mètode.

9.1.7 Control de posició

Una vegada desestimat el control integral convencional cal provar un mètode alternatiu. Donat que en aquest cas en particular la planta té un pol 0, és a dir un integrador, aquest pol permet seguir consignes de tipus graó i tenir error 0 en estacionari. Per tant, es modifica el sistema per tal d'introduir una consigna i veure si el sistema en llaç tancat amb el retard és capaç d'anar fins a una posició concreta.

Per tal de modificar el sistema només cal introduir un restador al model del sistema amb retard i un vector amb les consignes desitjades, en aquest cas totes 0 menys la posició que adopta un valor de 1. Un cop fet això, es compara la sortida del sistema amb la consigna desitjada i s'introdueix al controlador, que permet mantenir el sistema estable. L'esquema esmentat queda de la següent forma:

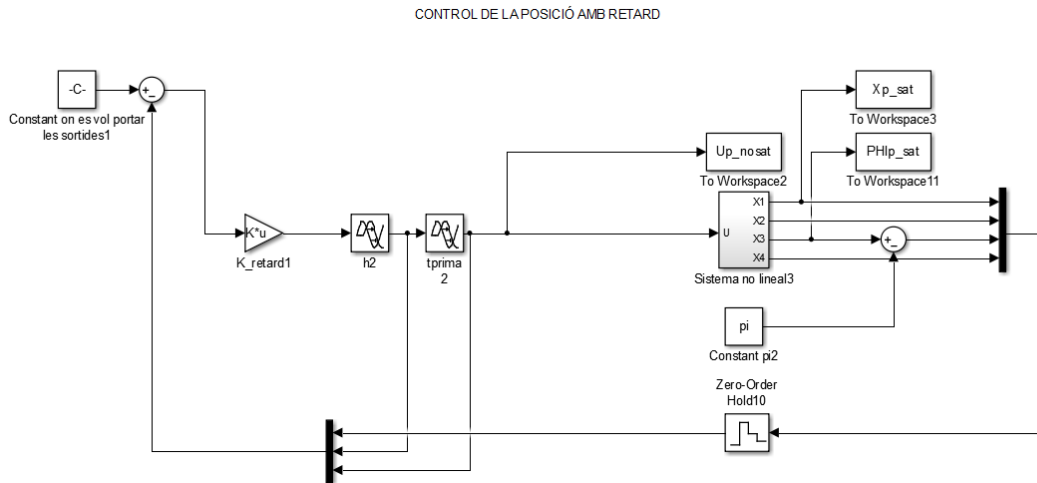


Figura 140 Esquema de control amb retard i control de posició

On el valor de la constant per comparar és $[1;0;0;0;0]$ i el controlador correspon amb el calculat per al prototip tenint en consideració el retard d'actuació.

Un cop simulat el model es pot veure que el sistema porta els estats allà on es volia, tenint que la sortida de posició, que era la que es pretenia controlar, va cap a un metre sense problemes.

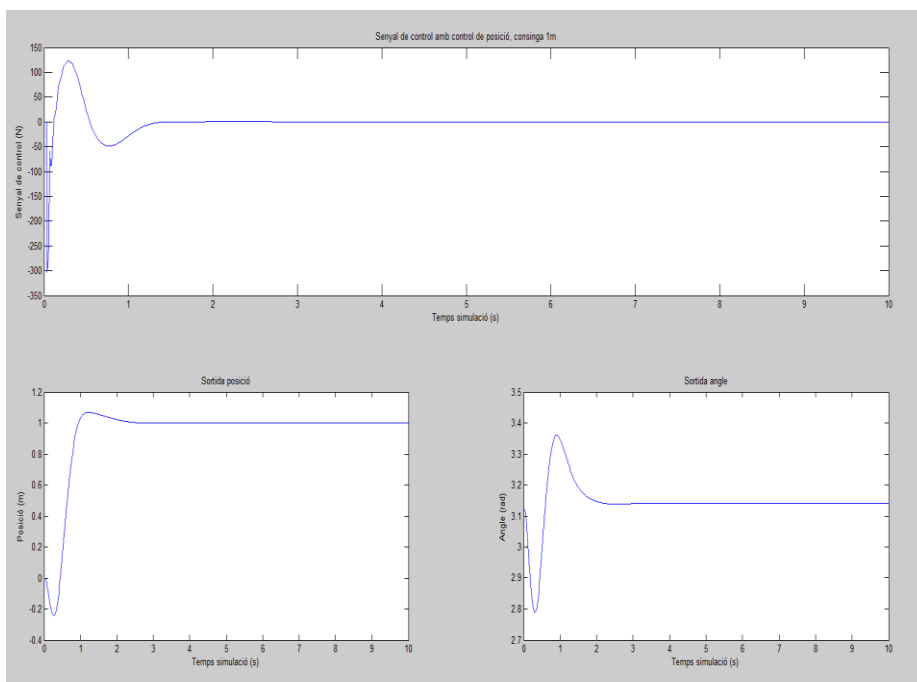


Figura 141 Resultat de la simulació del sistema amb control de posició i retard

D'altra banda, també es pot veure que, ja que al principi l'error de la posició és elevat, el controlador aplica una força de -300N durant un període de temps molt petit, això pot provocar que el sistema real no sigui estable donada la limitació dels motors.

El sistema amb retard, control de posició i el saturador queda tal i com es mostra a la Figura 142.

CONTROL DE LA POSICIÓ AMB RETARD I SATURAT

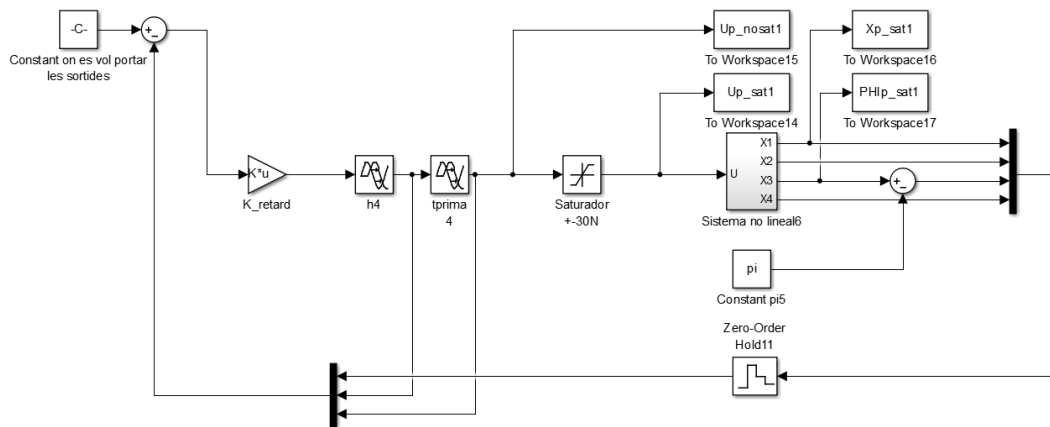


Figura 142 Esquema de control amb retard, control de posició i saturador

Després de simular l'esquema anterior els resultats es mostren a continuació:

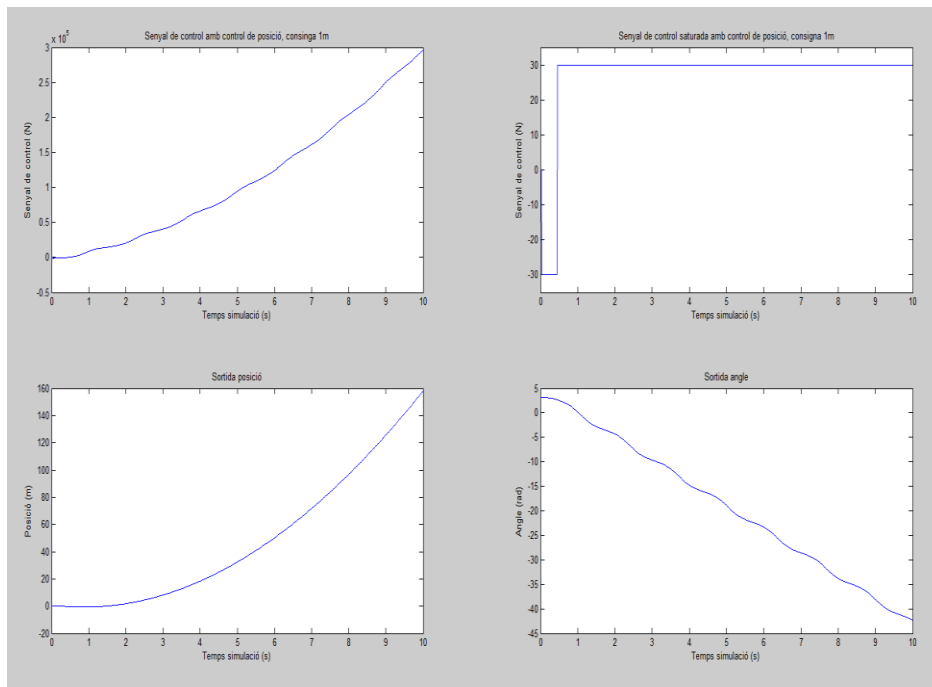


Figura 143 Resultat de la simulació del sistema amb control de posició, retard i saturador

Com era d'esperar donat que al principi actua una força molt gran el sistema amb la limitació de 30N no és capaç d'assolir aquesta acció de control i per tant s'inestabilitza fent que les sortides i l'acció de control vagin a infinit.

Veient aquests resultats, igual que a l'anterior cas, es pot concloure que el sistema no és capaç de seguir una consigna desitjada, ja sigui amb o sense control integral, degut a la limitació que introdueixen els propis motors del prototip.

9.2 Proves de l'aplicació Android amb el prototip

9.2.1 Visor

Per tal de comprovar el correcte funcionament de l'aplicació s'han realitzat proves amb el prototip en funcionament.

En la següent imatge es poden apreciar les petites variacions de l'angle quant es troba el vehicle controlant.

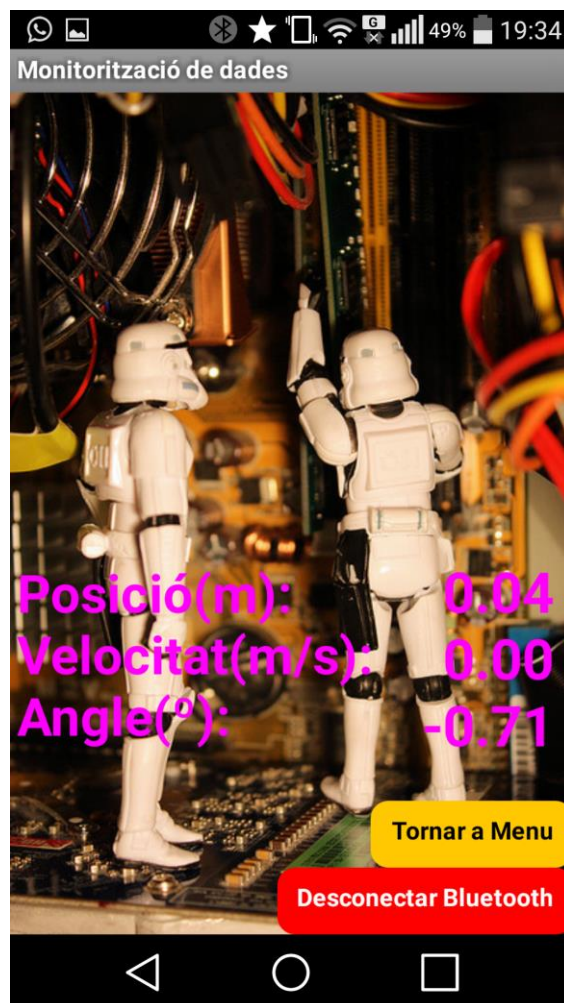


Figura 144 Recepció de dades a la Pantalla visor amb el vehicle estàtic

Com es pot observar amb el prototip controlant les desviacions de les variables d'estat, com la posició, la velocitat i l'angle, tal i com ha de ser degut a l'acció de control són pràcticament zero.

A més de les proves sense inclinació del vehicle s'han realitzat proves amb aquest inclinat cap els dos cantons, cap endavant per avançar i cap endarrere per retrocedir.

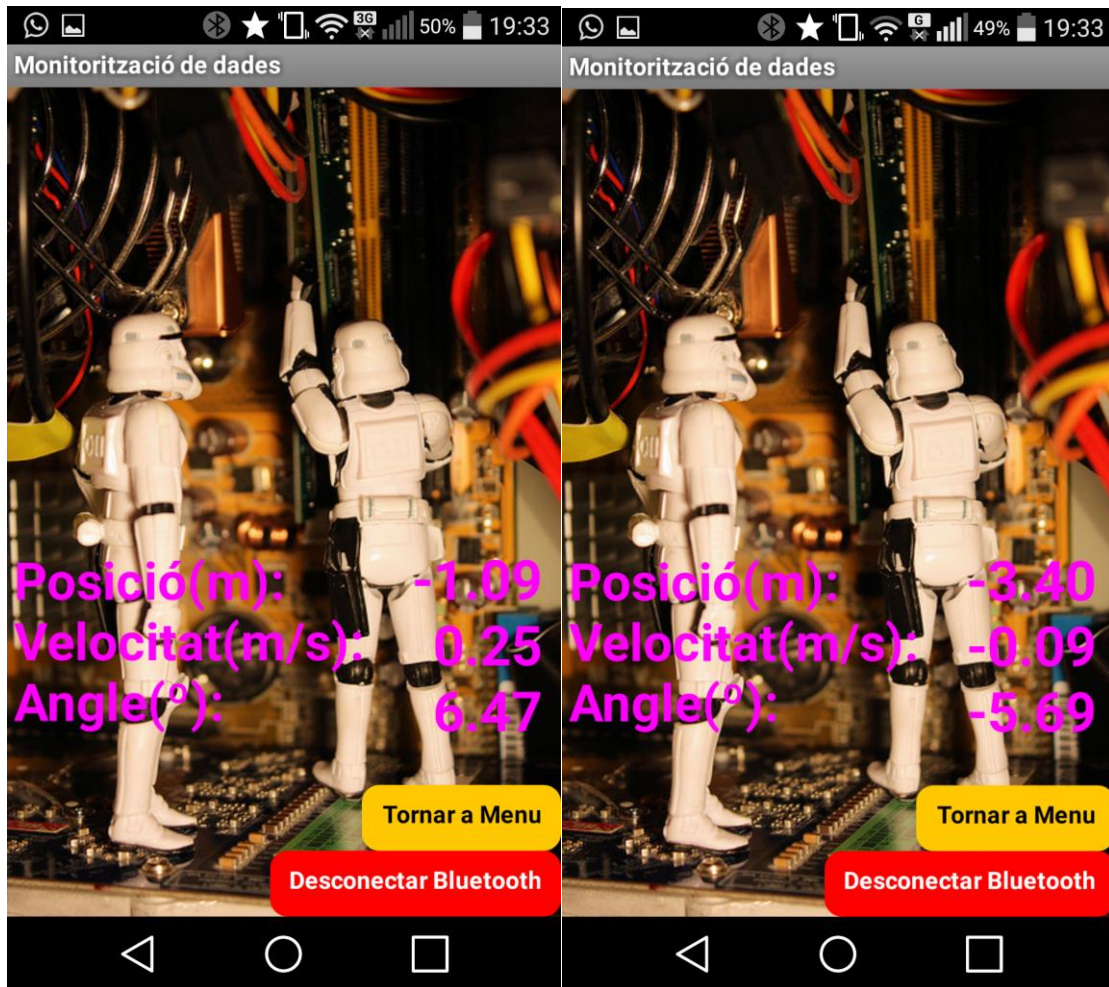


Figura 145 Recepció de dades a la pantalla visor amb el vehicle orientat endavant i endarrere

9.2.2 Control

Tot i no poder fer servir l'aplicació en aquest prototip pel problema de potencia dels motors comentat anteriorment s'ha volgut comprovar el seu correcte funcionament. Per tal de poder valorar el seu funcionament, s'ha utilitzat el següent codi d'Arduino que interpreta els diferents valor que s'envien des del telèfon , per tal d'imprimir pel port sèrie quin valor s'està rebent i que signifiquen aquests valors.

```
while (Serial.available()) {  
    delay(10);  
    if (Serial.available() > 0) {  
        c = Serial.read();  
  
        if (c == '1') {  
            Serial.println("Avanzar(1)");  
        }  
        if (c == '2') {  
            Serial.println("Stop(2)");  
        }  
        if (c == '3') {  
            Serial.println("Derecha(3)");  
        }  
        if (c == '4') {  
            Serial.println("Izquierda(4)");  
        }  
        if (c == '5') {  
            Serial.println("Retroceder(5)");  
        }  
    }  
}
```



Figura 146 Comprovació del funcionament dels botons direccionals i la recepció del valor correcte per port sèrie

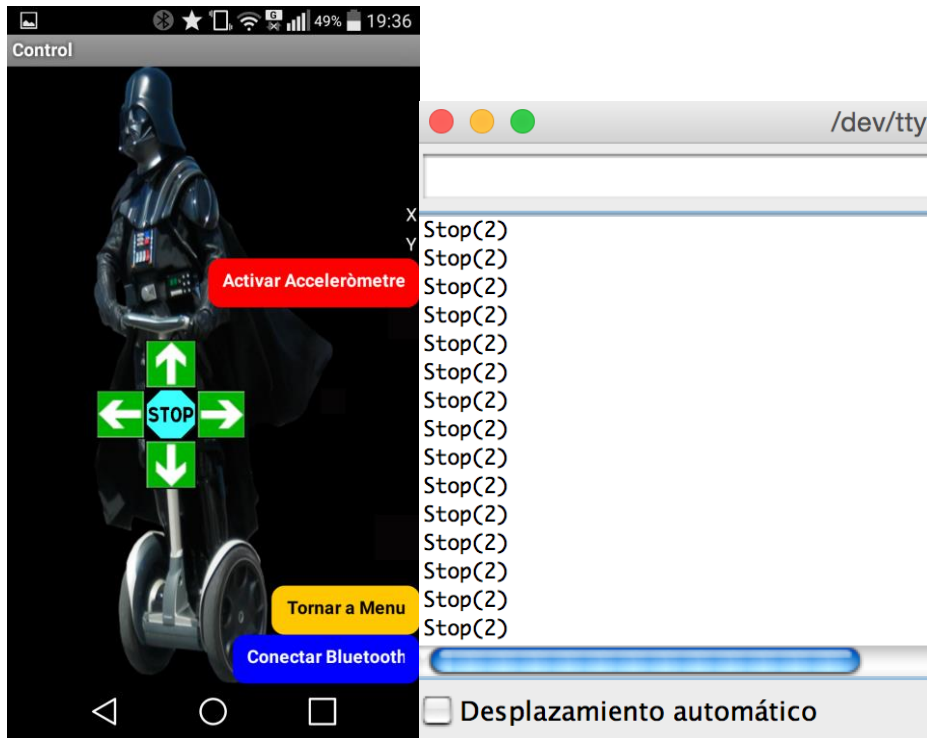


Figura 147 Comprovació de funcionament del bitó STOP i recepció del valor correcte per port sèrie

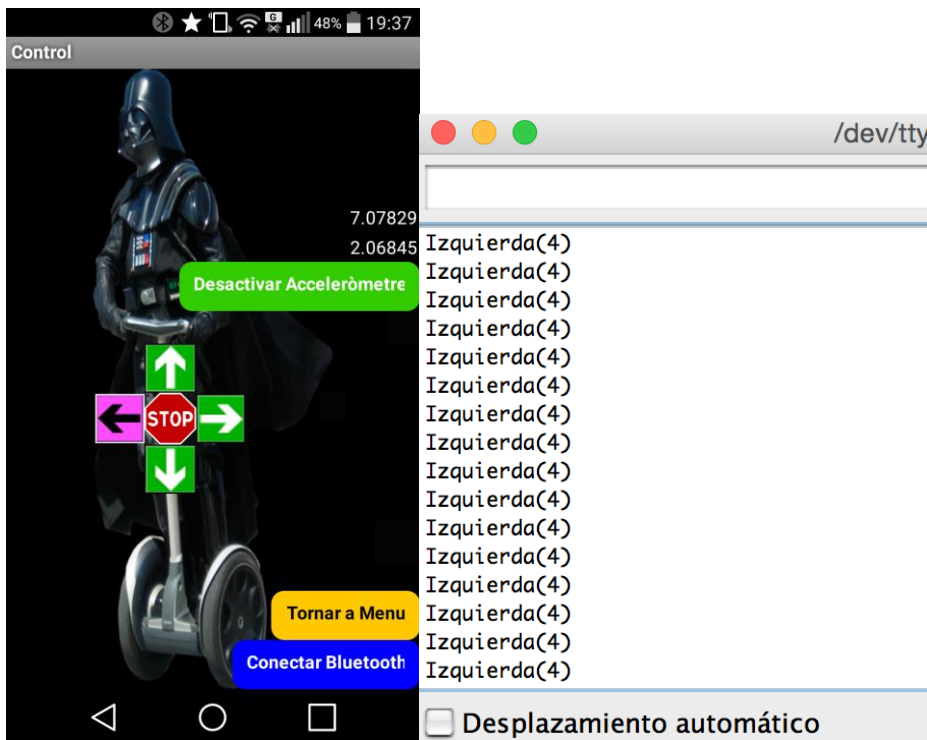


Figura 148 Comprovació del correcte funcionament de l'acceleròmetre i recepció del valor correcte per port sèrie

Capítol 10

ESTUDI DE MERCAT

10.1 Benchmarking

S'han realitzat 16 estudis en vehicles de transport personal que s'assimilen, conceptualment, al Segway PT (Figura 149), el primer vehicle comercial en aplicar electrònica pel control d'equilibri, o que destaquen pel seu grau d'innovació i singularitat. L'objectiu d'aquest estudi és conèixer la diversitat que hi ha al mercat així com les bondats i les carències de cada producte. En tots els vehicles analitzats es comença per una breu explicació dels valors de l'empresa, seguit del *target* del producte, la diferenciació respecte la competència i s'acaba amb una taula resum dels seus punts forts i febles.

És molt útil destil·lar els trets de cada producte que són forts ja que poden suposar l'argument de disseny d'alguna de les parts o funcionalitats del vehicle que es vol dissenyar. També és molt interessant saber veure punts febles de cada vehicle, i no és pas fàcil ja que, evidentment, a totes les pàgines web només es destaquen les bondats. El recull d'aquests punts febles genera una guia per l'equip de quins errors de disseny cal evitar.



























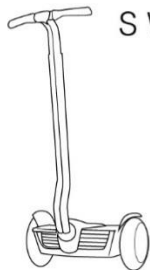







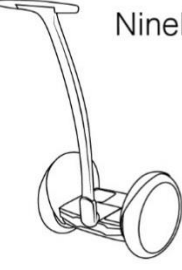

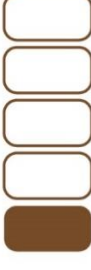





Figura 149: Segway PT, primer model

L'estudi es troba a l'ANNEX C – BENCHMARKING DE DISSENY.

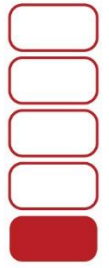
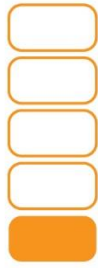
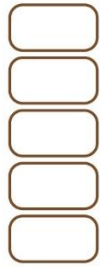
En acabar l'estudi, a mode de conclusió, s'han classificat tots³ els productes en una taula comparativa on es posen en consonància característiques com: el **preu**; la capacitat per a moure's per a diversos terrenys a "**muntanya**"; la **maniobrabilitat**: alhora d'efectuar girs sobre si mateix o l'agilitat al fer corbes; la **portabilitat** pel que fa a la capacitat de transportar-lo a mà o amb cotxe; l'**accessibilitat**: que mesura la facilitat d'accedir-hi i començar a desplaçar-se; l'**autonomia** de la bateria i la màxima **velocitat** que poden assolir.

³ A la taula s'ha exclòs la Yike Bike (pàg. 416) perquè s'ha considerat que tot i ser un vehicle unipersonal, s'allunya massa del concepte "Segway". Tot i això sí que es té en compte l'Shredder que per a res s'apropa al concepte, però s'ha considerat interessant pel fet que és un vehicle innovador que aposta per vendre una experiència única.

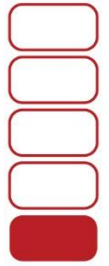
Classificació

Model	Cost	Muntanya	Autonomia	Accessibilitat	Maniobrilitat	Portabilitat	Velocitat
 <p>Segway PT</p>							
 <p>Genny</p>							
 <p>Freeyoyo</p>							
 <p>S Walker</p>							
 <p>Ninebot</p>							

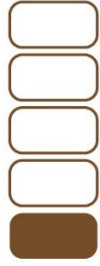
Winglet



Hovertrax



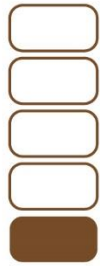
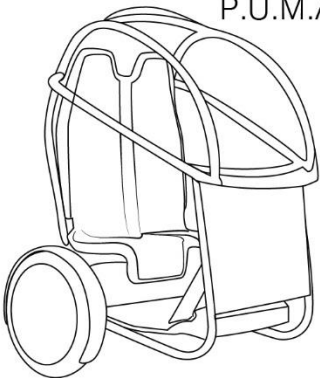
IBOT

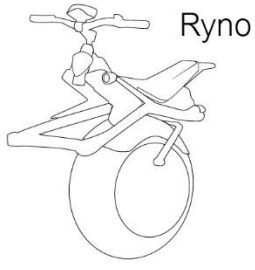


Shredder



P.U.M.A.

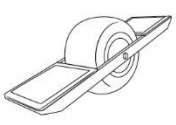
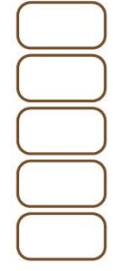




Ryno



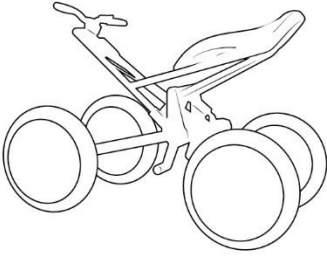
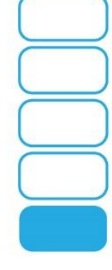
UX-3



One wheel



Solowheel



10.2 Conclusions

L'estudi realitzat porta a diverses conclusions.

- La funcionalitat del sistema d'equilibri basat en un pèndul invertit (concepte Segway) **no ha revolucionat el mercat ni els hàbits de mobilitat** dels ciutadans d'arreu del món. Tan sols s'ha fet una mica de lloc en feines rutinàries, com les de policia o guarda jurat.
- **El mercat està col·lapsat** de productes que imiten a Segway PT que senzillament es limiten a afegir algun tipus d'innovació més o menys supèrflua. Mantenen el concepte de pèndol invertit amb dues rodes en paral·lel.
- *Solowheel* ha estat el precursor d'una fornada nova de versions i imitacions que han aconseguit millorar els aspectes en **portabilitat** del vehicle amb sistema d'equilibri.
- Entre vehicles d'una i dues rodes estil Segway, bicicletes i bicicletes elèctriques, cotxes, motos i transport públic, ja hi ha una **gran quantitat d'alternatives pel transport intraurbà**.
- **Cap vehicle** dels analitzats **és independent de fonts d'energia**, en aquest sentit, la bicicleta elèctrica els hi passa la mà per la cara.
- La versió **tot terreny de Segway (X2)** només fa gala d'unes rodes amb tacs, **no té cap mecanisme** perquè el vehicle s'adapti a terrenys irregulars i sigui així veritablement tot terreny.
- Segway ha apostat, a part de les populars bicicletes elèctriques, per a vehicles urbans que competeixin amb els cotxes (P.U.M.A.), i també per a vehicles més experimentals com el *Centaur* que no té una utilitat o nínxol molt definits. Pel que fa a les millores de Segway PT, el més destacat que es va canviar de la primera a la segona versió va ser el control de la direcció: es va passar d'un control a través d'un mecanisme integrat al manillar a un sistema molt més intuïtiu gràcies a la tija articulada que permet la direcció inclinant el manillar a dreta i a esquerra; així es va apostar per **millorar l'experiència de l'usuari**.

El tercer model ha apostat per fer el vehicle una mica **més portable** fent fàcil la separació de la tija i la plataforma.

- El **Genny** és la versió del Segway que ha aconseguit la **millor adaptació** per a persones amb mobilitat reduïda.
- L'equip de disseny considera **molt interessant la innovació** que aporta Toyota amb el seu **Winglet: conducció més orgànica** gràcies al seu **quadrilàter articulad** que permet inclinar les rodes alhora de girar.

Capítol 11

CONCEPTUALITZACIÓ

11.1 Introducció

En aquest capítol, segurament **el més transcendent** de tot el treball, és on es tria el camí de disseny que prendrà l'equip. L'objectiu d'aquesta feina és concloure amb un **briefing** que suposi unes **pautes clares de disseny** per a donar forma a la proposta de vehicle.

Consta de 3 fases:

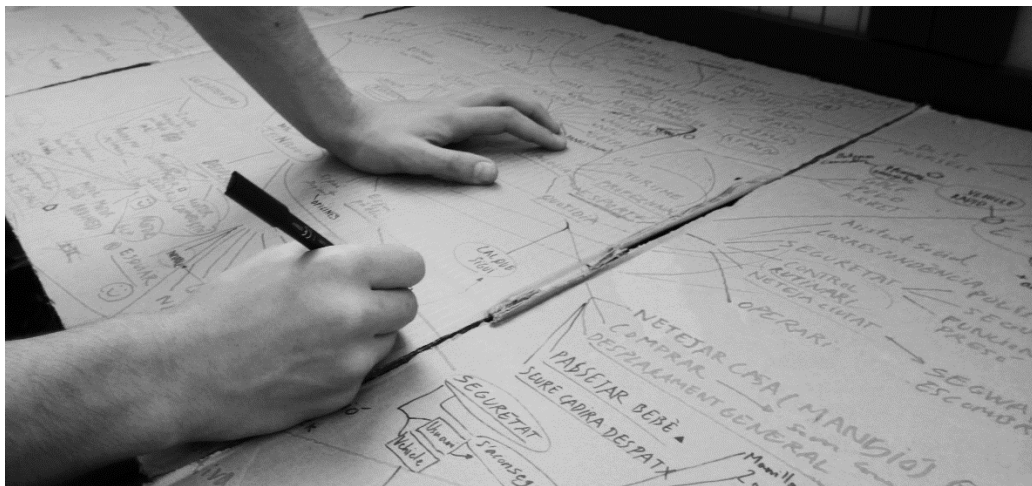
- **Fase1:** Molt general on es contemplen totes les idees que han sorgit havent fet l'estudi de mercat
- **Fase2:** S'acota el camí de disseny a seguir
- **Fase 3:** Fase d'inspiració on l'important és tenir en compte referents de disseny que ajudin a concretar el prototip.



11.2 Fase 1

El procés dut a terme ha estat el següent:

- Tenint en ment totes les conclusions efectuades després de l'extens benchmarking (molt important) s'ha dut a terme una sessió de **Brainstorming**. Consisteix en alliberar la ment i apuntar, entre tots els components de l'equip, paraules que suscitin qualsevol camp d'innovació o primers direccionaments de cap a on pot dirigir-se el futur disseny.
- El següent pas, és la realització d'un **Mindmap**, efectuat amb la col·laboració dels companys electrònics, que ha servit per ordenar totes les paraules que es tenien en ment. Aquest moment és clau perquè s'obren totes les vies, totes les possibilitats de disseny. Llavors, cal "reflexionar amb el llapis" (següent fase) per veure quina és el millor camí de disseny. La fotografia del primer *Mindmap* està a la pàgina lx de l'annex.



- La primera fornada d'**Sketching** que es fa, és interessant per fer-se una idea de com pot ser el vehicle que correspon a cada nínxol de mercat o oportunitat de disseny que s'ha trobat gràcies al *Mindmap* general, cal dir, que moltes idees, pel fet que són molt lliures (no s'ha de restringir cap idea) ni s'han arribat a dibuixar. A la pàgina lxi de l'annex s'hi compilen els primers esbossos.

Les conclusions extretes són:

L'equip de disseny creu que s'ha d'apostar per millorar l'experiència de conducció i fer un salt cap al món de l'esport i la competició. Per tant cal aconseguir un SEGWAY EXTREM.

11.3 Fase 2

S'ha fet un **Mindmap focal** (pàg. lxxvi de l'annex), on s'han tingut en consideració tots els aspectes a tenir en compte alhora de desenvolupar el SEGWAY EXTREM, s'han agrupat en:

- **Usuaris:** on s'apunten les característiques del tipus d'usuari que, potencialment, usaria el vehicle.
- **Esports extrems:** on s'enumeren esports extrems que puguin aportar alguna inspiració de cara al disseny de l'experiència. També resulten útils per veure les modalitats de competició. S'analitzen els factors que permeten els vehicles de certs esports extrems, realitzar-los.
- **Disseny:** on es tenen en compte els aspectes antropomètrics, ergonòmics, estètics i d'accessibilitat. Resulta especialment útil per indexar els aspectes a tenir en compte a l'hora de dissenyar i obre fronts de discussió, sobretot, referents a l'apartat de l'estètica del vehicle.
- **Localització:** on s'enumeren els possibles llocs per on podria circular el vehicle i es considera què caldria per què fos apte per cada terreny.
- **Materials:** on s'estudia de forma molt general les possibilitats que ofereixen les rodes, l'estructura (xassís) i les carcasses (carrosseria).
- **Tecnologia:** on s'analitza la mecànica, l'electrònica, les bateries, la interacció o el control de gir.



Desenvolupats tots aquests punts s'arriba a unes certes confrontacions, o vies de disseny que van en direccions oposades, (es troben a la part inferior esquerra del Mindmap). Són punts de discussió entre els components de l'equip que s'han discutit per prendre una sèrie de decisions:

- El vehicle es va voler enfocar de dues maneres: una imitant la postura de descens de l'ski i l'altre la de l'snowboard, altrament, descens lateral o frontal. En un principi es van acceptar les dos tipologies de vehicle però es va descartar la de descens tipus

snowboard (pàgina lxi de l'annex), les possibilitats en els primers sketchos eren limitades i resultava difícil aprofitar la tecnologia d'equilibri tipus Segway.

- Es va decidir que només fos un vehicle esportiu destinat a competir i per tant no s'havia de dissenyar pensant que circularia per la ciutat.
- Es va plantejar que un disseny prototip tingués manillar i un altre que fos "mans lliures". El manillar tenia relació amb el disseny tipus ski, per la seguretat que suposa baixar de cara i tenir un suport fixe. En canvi la opció del mans lliures es plantejava més aviat per poder manejar el vehicle tipus snowboard.
- Pel que fa a la portabilitat no es va arribar a cap acord i es va concloure que no era una qüestió prioritària.
- El gir que atreia més per al disseny del vehicle era l'inspirat en el Toyota *Winglet* usant un **quadrilàter articulat**. Però s'obrien altres possibilitats com era imitant el sistema de l'Schredder o aconseguint un gir més convencional, com el que es pot fer amb el manillar d'una moto o bici.
- La opció més convencional era usar una bateria, però s'obria la possibilitat de treballar amb l'aportació d'energies externes com poden ser el vent, el sol, o mecànica (en cas d'usar pedals)
- Es va decidir incloure llums per poder competir de nit.
- Es va plantejar si fer-lo per anar per muntanya o per a deserts. I es va considerar que s'havia de fer el vehicle apte per a tot tipus de terrenys de tal manera que només calgués canviar els pneumàtics en funció d'on es volgués competir.
- S'obria la possibilitat de posar una pantalla informativa o no posar-la
- Es va decidir que l'adherència entre els peus i les plataformes (on es col·loquen els peus) havia d'aconseguir-se, des de la mateixa peça, donant-hi relleu.

11.4 Fase 3

En aquest punt, quan ja s'han acotat els paràmetres de disseny amb el Mindmap focal, es tracta d'empapar-se de solucions existents, que sota el criteri de l'equip estan molt ben dissenyades. La eina emprada ha estat la plana web Pinterest on s'hi han penjant tots els referents que es trobaven a la xarxa.

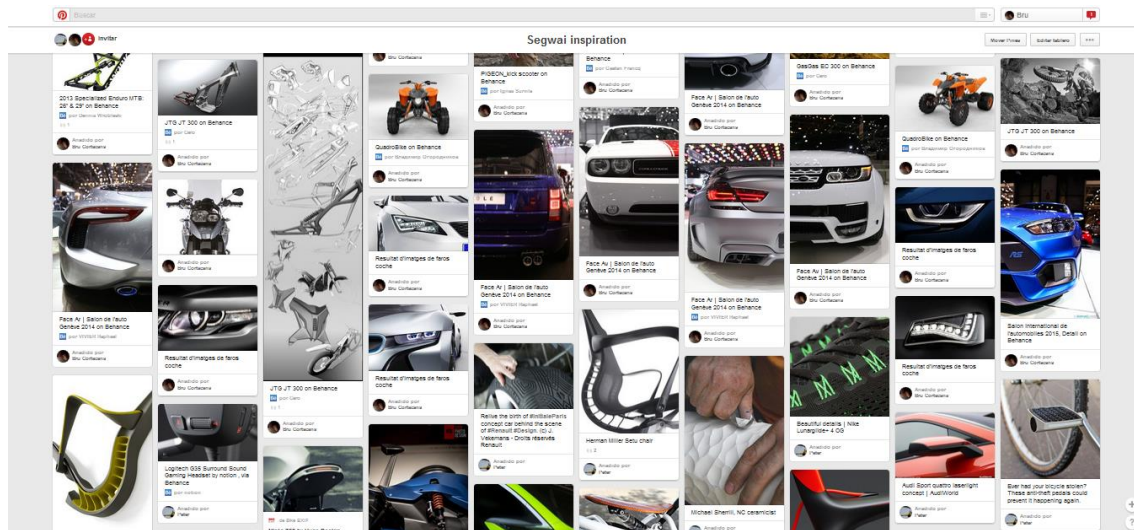


Figura 150 Taulell moodboard de la plana web Pinterest

El taulell de Pinterest ha acabat tenint 286 imatges i per exprimir-ne la seva capacitat inspiradora s'han agrupat en **Moodboards** temàtics (tots es troben a partir de la pàgina Ixix de l'annex):

- **Experiència:** amb l'objectiu de capturar les sensacions que es vol que visqui l'usuari.
- **Carcasses i formes:** on s'han recollit molts elements de carrosseries de cotxes així com elements d'altres productes que resultaven inspiradors per l'equip.
- **Sistemes de suspensió:** s'han recollit diversos tipus d'amortidors. Es veuen en la seva col·locació real en diversos vehicles i la seva funció en cada cas.
- **Xassis i estructures:** on es recullen diversos xassis de vehicles de 2 i 4 rodes així com barres nervades de mecanismes d'articulació i suspensió.
- **Rodes:** on s'hi compilen diversos tipus de llantes i pneumàtics que resulten inspiradors.
- **Llum:** on s'agrupen una gran quantitat de referents estètics tant de llums frontals com posteriors de vehicles de 2 i 4 rodes.
- **Color & trim:** on s'hi recullen textures i combinacions cromàtiques.

De forma simultània s'ha anat fent un **Anàlisi de Referents**, que es veu reflectit a la pàgina lxxx de l'annex, on s'han explorat a fons els sistemes de vehicles que treballessin el gir d'una forma orgànica gràcies a quadrilàters articulats. Els exemples més evidents que s'han explorat són 4 vehicles amb sistemes poc avançats, industrialment parlant, que són: la *Brudeli*, la *Tremoto*, la *Wesll snow* i la *Wesll quad*. Mentre que els exemples industrials més avançats que s'han estudiat han estat 3 tricicles⁴: la *Yamaha Tricity*, la *Piaggio MP3* i la *Peugeot Metropolis*, totes tres amb mecanismes de quadrilàter similars.



Figura 151 Piaggio MP3

L'estudi efectuat ha ajudat a prendre moltes decisions i ha sigut un punt de partida molt bo per a fer els primers dissenys, els més innocents, també ha aportat criteri de resolució en el moment en que s'estaven dissenyant certes peces.

⁴ S'ha estudiat les tres, però només s'ha confeccionat la pàgina explicativa de la Tricity, que és extensible a les altres dues motos).

11.5 Briefing

Després d'haver fet l'estudi de mercat i haver conceptualitzat el vehicle, l'equip es veu en condicions d'elaborar el *briefing* que estableixi tots els paràmetres de disseny.

Producte: Vehicle tot terreny auto-equilibrat amb dues rodes paral·leles i quadrilàters articulats.

Objectius: Aconseguir millorar l'experiència de l'usuari respecte a la conducció actual del Segway PT, fent un vehicle dinàmic amb un control de la direcció orgànic, capaç d'adaptar-se a tot tipus de terrenys i estils de conducció.

Característiques generals:

- L'avenç, la frenada i el retrocés del vehicle s'efectuaran per inclinació mitjançant un procés electrònic.
- El vehicle serà elèctric i usarà bateries d'ió-liti i motors HUB.
- Les bateries seran intercanviables de manera fàcil.
- El vehicle ha de ser capaç de moure's en terrenys hostils com fang, sorra, terrenys humits, gespa, entre d'altres.
- Les bateries i l'electrònica hauran d'estar protegides contra pols i aigua.
- Ha de ser prou maniobrable tant en altes com en baixes velocitats.
- Ha de poder superar pendents positives i negatives.
- Ha de tenir una amplada raonable per circular per zones boscoses.
- El vehicle s'ha de poder inclinar quan es faci una corba
- Ha de ser capaç d'amortir les irregularitats del terreny així com la recepció en salts.
- El gir del vehicle es realitzarà gràcies a la diferència de revolucions per minut (rpm) a cada roda activat a partir de la inclinació d'aquestes, gràcies a un procés electrònic.
- Es podrà circular de nit de manera segura, amb llum frontal i posterior.
- S'haurà d'indicar la frenada de l'usuari.
- El conjunt permetrà el desmuntatge global per permetre reparacions de peces concretes.

Característiques específiques respecte l'usuari:

- La plataforma on s'hi posen els peus estarà a una alçada prou accessible com perquè un ampli sector de la població hi pugui accedir.
- La plataforma ha de garantir la seguretat de l'usuari.

- L'usuari, quan condueixi no ha de tenir contacte amb les rodes per un motiu de seguretat.
- Un alt rang d'usuaris haurà de poder conduir el vehicle en una posició de confort, per això s'hauran de tenir en compte consideracions ergonòmiques i antropomètriques.
- L'usuari disposarà sempre de la informació necessària per la correcta conducció del vehicle.

Capítol 12

DIMENSIONAT

12.1 Estudi antropomètric

12.1.1 Introducció

En aquest apartat s'estudien i es recullen les mesures del cos humà que influeixen en el dimensionat del vehicle. La correcta tria dels valors dimensionals així com els seus adients percentils seran determinants per aconseguir un **producte ergonòmic**.

12.1.2 Seqüència d'ús del vehicle

Amb l'objectiu d'esbrinar quines són les mesures que restringiran el dimensionat del producte, és necessari saber com l'usuari interaccionarà amb ell. Durant la visita a Segway Espanya vam conèixer i veure en primera persona la interacció producte-persona, fet que ens ha permès aplicar-ho al nostre vehicle. Existeixen dos moments d'interacció destacables: un és el pujar i baixar del vehicle i l'altre la conducció.

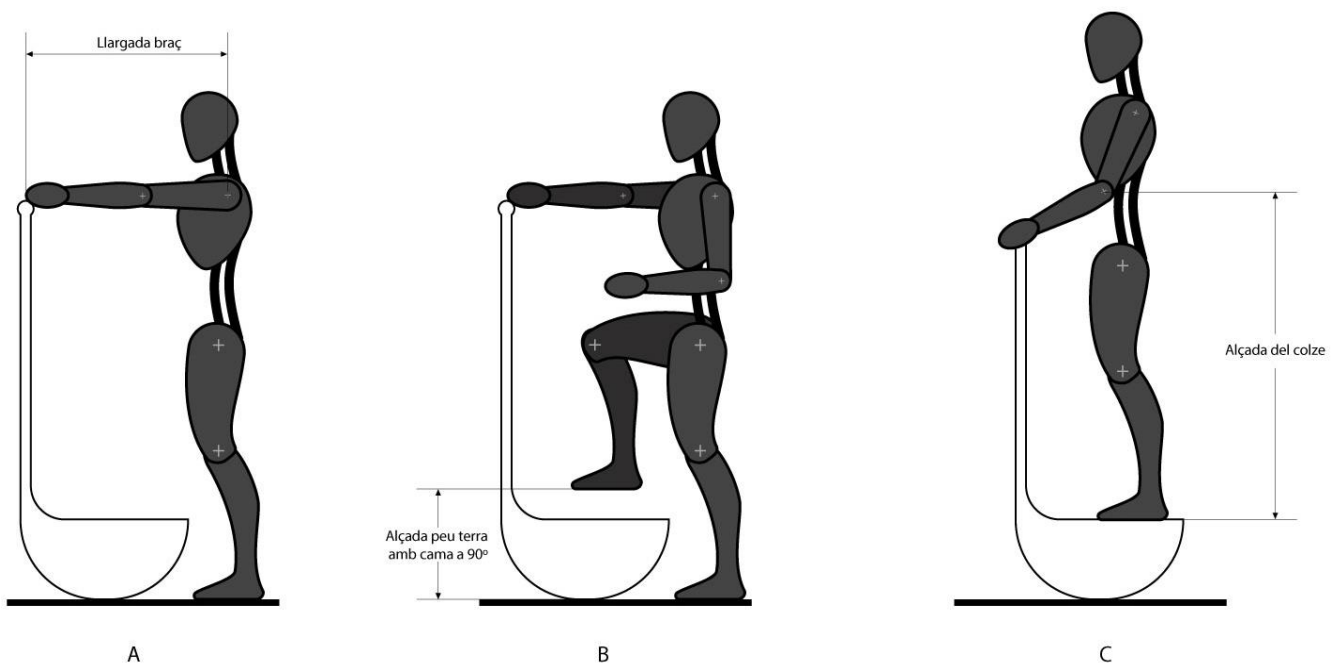


Figura 152: Seqüència d'ús al pujar al vehicle

A – Per tal de mantenir controlat l'aparell i facilitar la pujada o baixada, es necessari subjectar el manillar del vehicle. Si el vehicle està activat i no es subjecta el manillar, el pes del mateix, fa que avanci automàticament endavant. Si per el contrari aquest no està activat i no es subjecta el manillar, l'aparell cau. Per tant és totalment necessari subjectar-lo abans de pujar. En aquest cas la llargada del braç determinarà la distància màxima a la qual pot anar col·locat.

B – La plataforma no ha de superar l'alçada del peu al terra quan la cama està alçada a 90°, ja que aquest fet dificultaria en excés la pujada, podent arribar a desestabilitzar-te i accionar el moviment del vehicle de manera descontrolada.

C – Un cop l'usuari està controlant el vehicle, els braços han d'anar en una posició relaxada, sense que estiguin en màxima extensió i sense col·locar-los a 90°. Per aconseguir-ho la distància del colze al peu serà la cota màxima del manillar. El manillar serà regulable per tal de poder ajustar l'angle de l'avantbraç.

La distància del manillar al cos quedarà determinada per l'angle (w), l'angle (z) (Fig. 2), i la llargada de l'avantbraç.

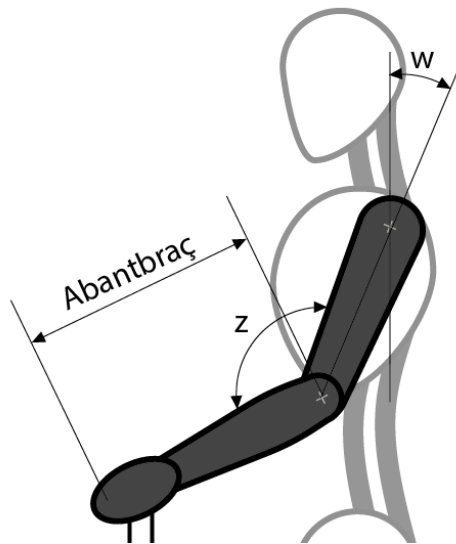


Figura 153: Obtenció de la distància del manillar al cos

12.1.3 Mesures antropomètriques considerades

Les cotes que es mostren a continuació són totes aquelles que s'han utilitzat per tal d'aconseguir un producte ergonòmic. Algunes cotes s'utilitzen per dimensionar de manera directe el producte, mentre que d'altres serveixen per arribar a un cota d'una posició del cos determinada.

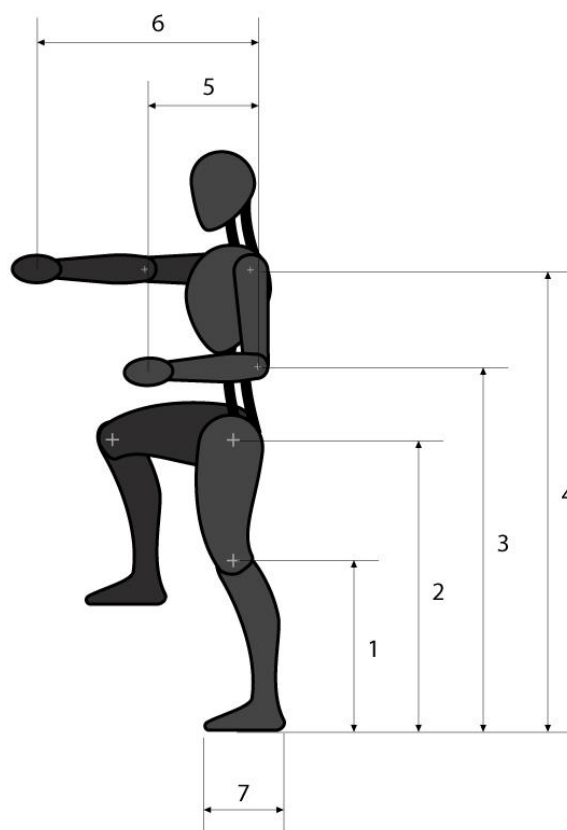


Figura 154: Mesures antropomètriques considerades

Ref.	Descripció	Restricció
1	Alçada de la tibia	Permeten determinar l'alçada del peu quan la cama està flexionada 90°.
2	Alçada de l'espina ilíaca	
3	Alçada del colze	Determina la alçada màxima del manillar regulable
4	Alçada espatlles	Juntament amb la cota 3 determinen la distància del manillar al cos.
5	Longitud colze-puny	
6	Longitud espatlla-puny	Distància màxima del manillar respecte el final de la base.
7	Longitud del peu	Serveix per saber quina es la cota mínima de la base.
-	Amplada del peu	La base haurà de ser més ample que aquesta cota
-	Amplada de la mà	El mànec haurà de tenir mínim aquesta amplada
-	Distància entre colzes	El manillar haurà de ser de llar màxim aquesta cota.

Taula 1 - Descripció de mesures antropomètriques

12.1.4 Mostres utilitzades

Per a fer l'estudi antropomètric s'han utilitzat les dades de "Datos antropométricos de la población laboral española". Les mostres analitzades en aquest estudi corresponen a la població espanyola i van ser preses entre 1992 i 1996, i corregides el 1999. El total de mostres preses és de 1723, on el 64% són homes i el 36% són dones.

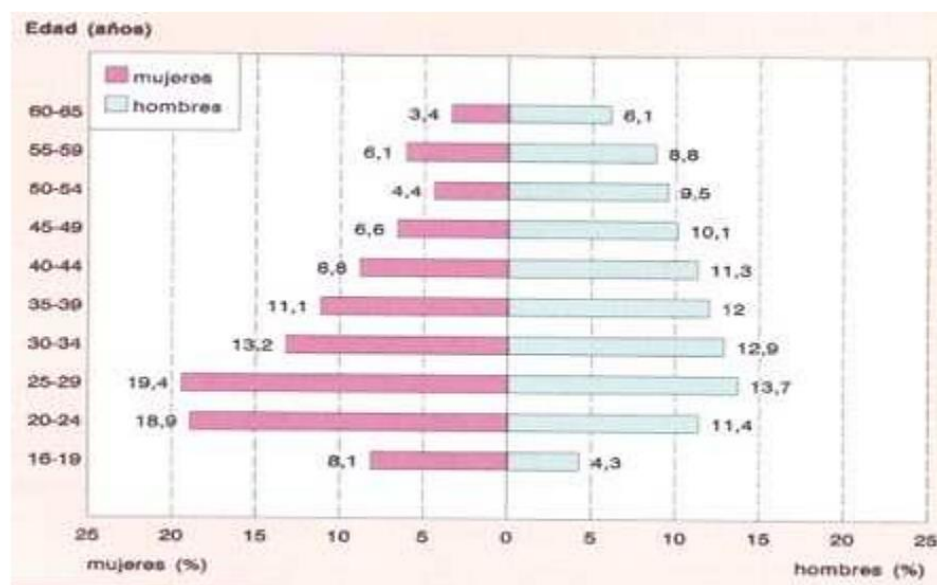


Figura 155: Distribució de mostres preses entre homes i dones per edat

Les mostres preses corresponen amb la norma UNE EN ISO 7250:1998, que defineix les mesures bàsiques del cos humà pel disseny tecnològic.

12.1.5 Dades obtingudes

Després de determinar les cotes necessàries per a la construcció ergonòmica del vehicle s'obtenen les dades de l'informe on es consideren tant els percentils generals, com diferenciats per sexe.

Ref.	Descripció	General (mm)			Dones (mm)			Homes (mm)		
		P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
1	Altura de la tibia	377	398	449	384	430	488	409	461	520
2	Alçada de l'espina ilíaca	842	934	1028	829	904	985	855	947	1040
3	Alçada del colze	932	1027	1122	913	985	1059	970	1049	1134
4	Alçada espatlles	1256	1384	1508	1229	1319	1420	1309	1414	1520
5	Longitud colze-puny	292	337	376	281	315	351	312	347	380
6	Longitud espatlla-puny	606	700	785	587	663	734	632	720	796
7	Longitud del peu	221	253	279	215	237	257	234	260	282
-	Amplada del peu	84	98	110	79	91	100	87	101	112
-	Amplada de la mà	72	86	97	70	78	86	80	90	99
-	Distància entre colzes	367	461	542	346	419.5	500	398	379	551

Taula 2 - Mesures obtingudes

12.1.6 Percentils

Els percentil és un valor estadístic que determina quin és el percentatge de mostres que es troben en aquella mesura. Per l'antropometria, les mesures adopten una distribució normal, on el P50 es troba centrat a la campana de Gauss.

En el disseny els percentils 5 i 95 són els que més s'utilitzen degut a que són els que exclouen menys població. Si s'agafa un percentil P5 exclourem al 5% de població que es troba per sota del valor de mesura, mentre que si agafem el percentil P95 exclourem el 5% de població que està per sobre.

No es tracta però, d'escollir un percentil per a tot, ja que potser en alguns casos estem tenint en compte una gran majoria de la població i en altres l'estem exclouent. Per tant la tria de percentils per al vehicle és la següent:

Ref.	Descripció	Percentil escollit	Taula	Motiu
1	Altura de la tibia	P5	General	Les persones més baixes podran pujar-hi.
2	Alçada de l'espina ilíaca			
3	Alçada del colze	P5 – P95	P5- Dones P95-Homes	Es vol fer que l'alçada del manillar sigui regulable, per tant el P5 determinarà la cota mínima i el P95 la màxima.
4	Alçada espatlles	P5 – P95	P5- Dones P95-Homes	La distància del cos al manillar per al mes baix no serà la mateixa que per al més alt. El manillar tindrà un angle respecte la base.
5	Longitud colze-puny			
6	Longitud espatlla-puny	P5	General	Ens assegurem que tant la persona més alta com la mes baixa podrà subjectar el manillar abans de pujar.
7	Longitud del peu	P95	Homes	A tothom li cabrà el peu.
-	Amplada del peu			
-	Amplada de la mà	P95	General	Serà ergonòmic per a tots.
-	Distància entre colzes	P95	General	

Taula 3 - Tria de percentil

12.1.7 Selecció final

Un cop definits tots els paràmetres els valors seleccionats es poden veure en la taula següent:

Ref.	Descripció	General (mm)			Dones (mm)			Homes (mm)		
		P5	P50	P95	P5	P50	P95	P5	P50	P95
1	Altura de la tibia	377	-	-	-	-	-	-	-	-
2	Alçada de l'espina ilíaca	842	-	-	-	-	-	-	-	-
3	Alçada del colze	-	-	-	913	-	-	-	-	1134
4	Alçada espatlles	-	-	-	1229	-	-	-	-	1520
5	Longitud colze-puny	-	-	-	281	-	-	-	-	380
6	Longitud espatlla-puny	606	-	-	-	-	-	-	-	-
7	Longitud del peu	-	-	-	-	-	-	-	-	282
-	Amplada del peu	-	-	-	-	-	-	-	-	112
-	Amplada de la mà	-	-	97	-	-	-	-	-	-
-	Distància entre colzes	-	-	542	-	-	-	-	-	-

Taula 4 - Valors finals utilitzats

12.2 Ergonomia

12.2.1 Introducció

A aquest apartat és on es tradueix en cotes real de disseny, les recollides anteriorment. A continuació es concreta el dimensionat de les peces que interaccionen directament amb l'usuari.

12.2.2 Manillar

Per determinar l'angle de sortida del manillar respecte la base, s'han creat figures/models humans amb les mides obtingudes de les taules antropomètriques. S'ha determinat una posició òptima per a la conducció en la que el braç està col·locat a 20° respecte la horitzontal del cos i l'avantbraç a 140° respecte el braç (Figura 156)

Gràcies als models creats, un amb el percentil P5 de les dones i l'altre amb el percentil P95 dels homes, és possible determinar l'angle del manillar. Si s'uneixen els centres dels punys de la posició de confort dels màxims percentils amb els mínims percentils, obtenim l'angle W (Figura 157).

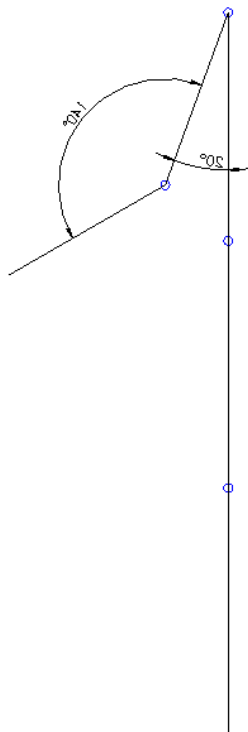


Figura 156: Angles de la posició de confort de l'esquelet

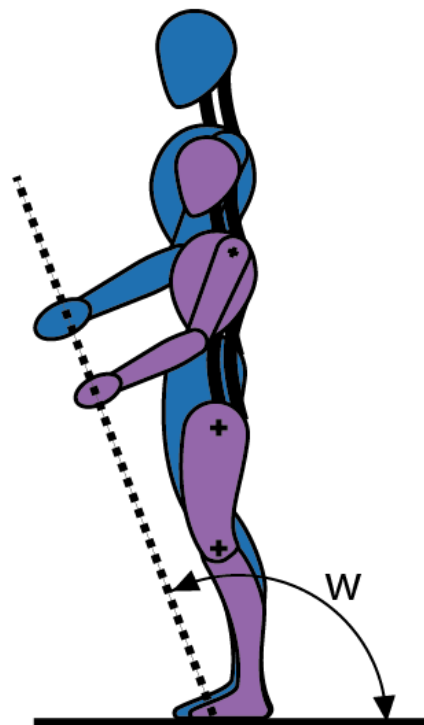


Figura 157: Angle del manillar respecte la base

A la (Figura 158) s'observen les cotes màximes i mínimes del manillar ajustable, així com l'angle respecte la base.

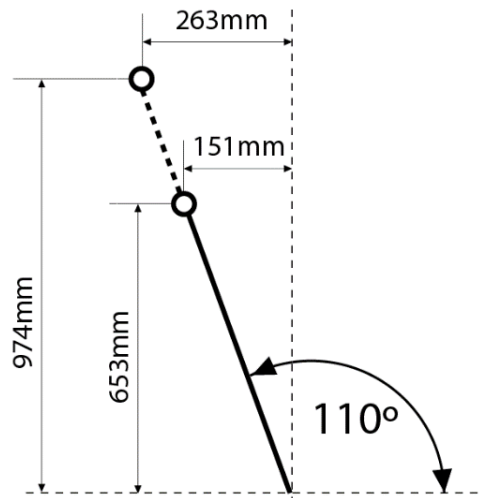


Figura 158: Dimensions del manillar regulable

L'amplada mínima del manillar queda restringida per la distància entre colzes, que es de 542mm. Per tant haurà de ser lleugerament més gran per a que tot tipus de usuari tinguin una posició confortable. La mesura seleccionada ha estat de 585mm.



Figura 159: Amplada del manillar

Amb l'objectiu de no provocar molèsties i aconseguir un manillar més ergonòmic, se li aplicarà una inclinació que respecti la fisonomia del cos (Figura 160).



Figura 160: Àrea de treball de les mans amb el braços encogits

El més adequat és que el braç i la mà tracin una línia recta, i per tant el canell no quedi inclinat. Quan el canell forma un angle amb el braç el nervi cubital és pressionat dificultant la circulació

de la sang. Els impactes són transmesos directament a la mà, cosa que pot provocar també inflamacions del nervi si el canell no està ben posicionat. (Figura 161).

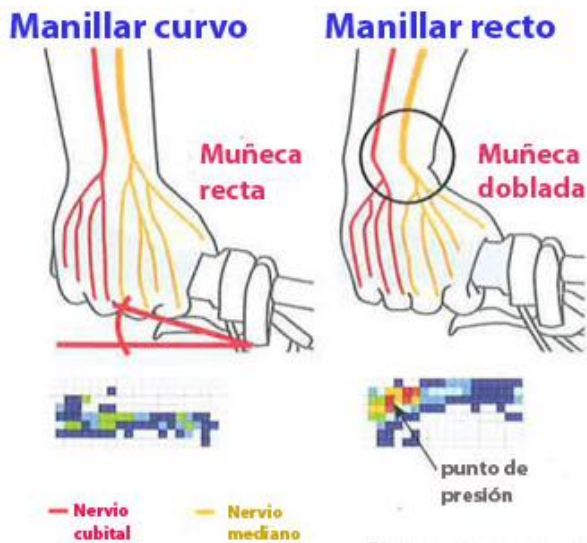


Figura 161: Afectació dels nervis segons la posició del canell

Per aconseguir que el canell quedi alineat amb el braç es realitzen dues inclinacions en el manillar: s'aplica un angle en el pla de planta fent que els punys s'apropin al usuari; i un angle en el pla d'alçat que orienten els punys cap avall.

Cal considerar que la posició del cos com la dels braços no és la mateixa que en la d'una bicicleta, pel que el recorregut del manillar no és el mateix.



Figura 162: Inclinació (vista en planta) del manillar

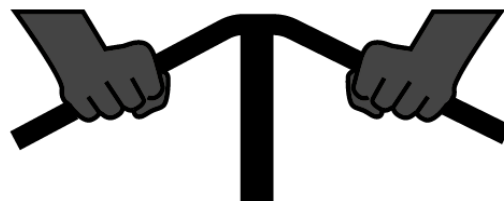


Figura 163: Inclinació (vista en alçat) del manillar

Us punys també són importants. És on l'usuari té contacte directe. És important que tinguin un diàmetre adequat, el material tingui un bon *grip*, que les mans transpirin i que la seva forma permetin una subjecció ferma. La tria dels punys és fa directe d'un proveïdor, i són punys de bicicleta.

12.2.3 Plataformes

Un dels factors més rellevants per a la interacció producte-persona, és que l'usuari pugui pujar i baixar amb comoditat del vehicle. Per això intervien una sèrie d'aspectes en la forma i col·locació de la plataforma.

En primer lloc cal definir quina serà l'alçada més apropiada. Per fer-ho, es fa ús de les taules antropomètriques, d'on s'extreu quina és la alçada màxima a la que una persona pot aixecar el peu amb el genoll a 90°. En base això i els paràmetres extrets de l'estudi dimensional corresponent a l'actuació dels quadrilàters, definim l'alçada d'ús del vehicle a 334mm (Figura 164) respecte el terra.

S'ha de considerar, però, que quan el vehicle està en estat de repòs i sense cap pes addicional, la força de les molles faran augmentar la seva alçada; per tant s'ha determinat l'alçada òptima de la plataforma, de 445mm (Figura 164), aconseguint així que quan l'usuari s'hi pugui quedar a una alçada adequada per a la conducció i per quan vulgui baixar del vehicle.

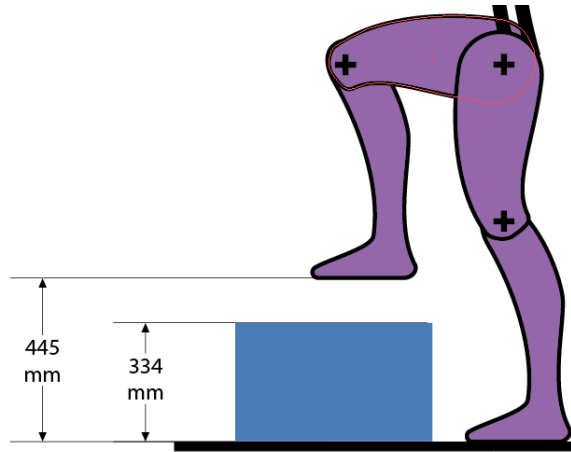


Figura 164: Alçada òptima per la comoditat de l'usuari i el bon funcionament del vehicle

Un cop es coneixen les dimensions màximes del peu (Taula 4) es passa al dimensionat de la plataforma. L'espai destinat a cada peu és de 170mm x 320-400mm (Figura 165). També es defineix quin serà l'espai destinat al nucli central del vehicle, que és on s'hi allotjaran les bateries i els components electrònics. La posició de confort en un vehicle que es condueix de peu és tenint els peus separats. Com en altres vehicles de l'estil (Segway PT, Ninebot E, S-walker, etc.), l'equip també ha decidit aprofitar la separació esmentada.

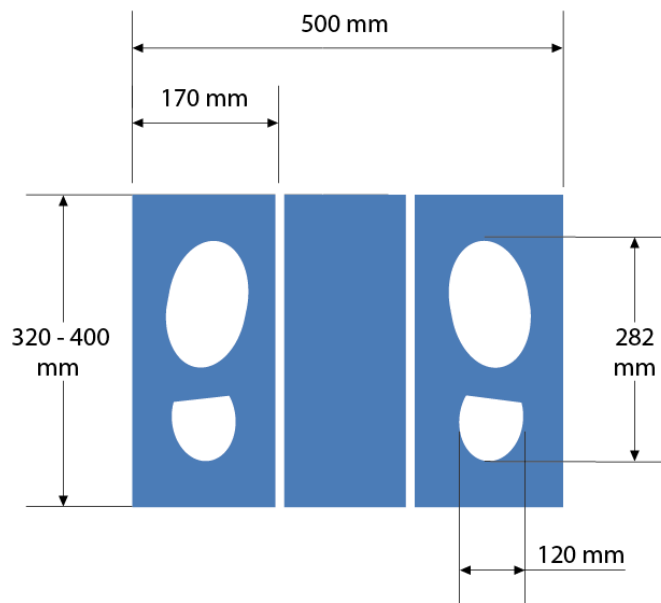


Figura 165: Dimensionat de la plataforma

Per facilitar la pujada i minimitzar l'error de l'usuari al pujar, s'ha inclinat l'extrem posterior de la plataforma, aconseguint així una més fàcil recepció (Figura 166).

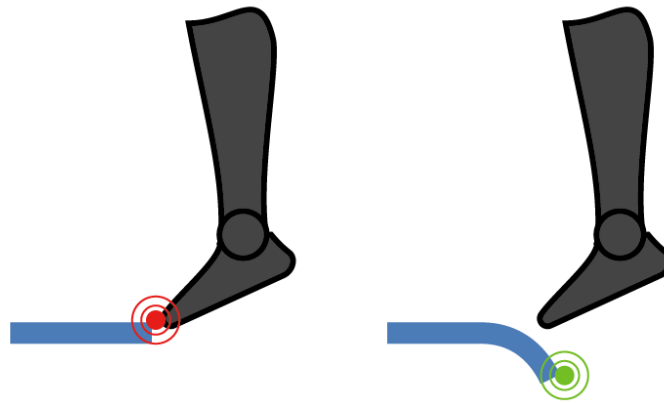


Figura 166: Inclinació de la part posterior de la plataforma

Altres aspectes ergonòmics referents a les plataformes són els de mantenir el peu en la posició correcta. Aquí intervenen texturitzats (Figura 167) i factors formals per això els extrems davanters i exteriors de cada plataforma s'han plegat (Figura 168) evitant així que el peu pugui sortir-se i desestabilitzar el conductor.

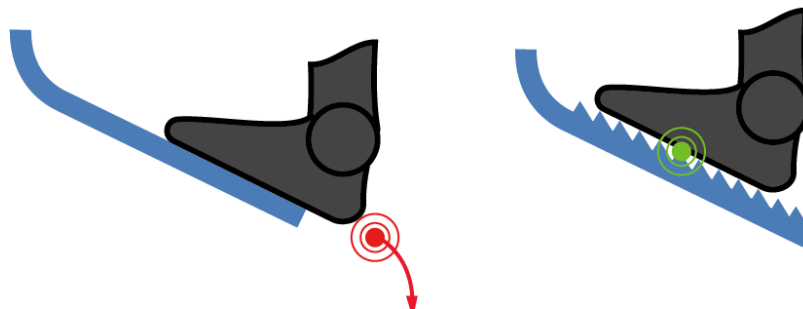


Figura 167: Texturitzat de la plataforma per una bona adherència

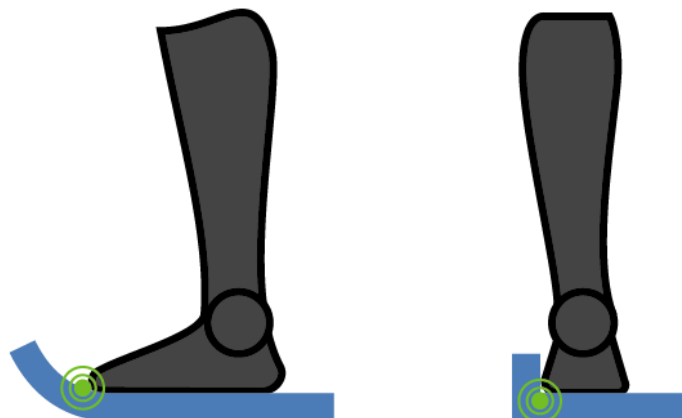


Figura 168: Formes de la plataforma que eviten que el peu se surti

12.3 Realització de la primer maqueta

Un cop finalitzada la primera fase de conceptualització, es passa a la construcció d'una primera maqueta. Com es diu a les conclusions del *mindmap* focal, una de les possibilitats per a efectuar el gir, era la d'utilitzar el sistema de quadrilàters per aconseguir la inclinació del vehicle mentre s'està traçant una corba. L'objectiu de la construcció d'aquest primer prototip es la de comprendre el funcionament i veure'n el comportament real.

Aquest apartat esdevé un punt clau en el projecte, ja que fa canviar el rumb de la idea inicial. En els primers esbossos s'estava dibuixant considerant que el sistema només tenia un quadrilàter, fet que hagués afectat completament el disseny del Xassís⁵. A la següent figura es pot veure quin era el plantejament que s'estava adoptant (Figura 169: Esbós del quadrilàter articulat):

● PUNTS D'ARTICULACIÓ

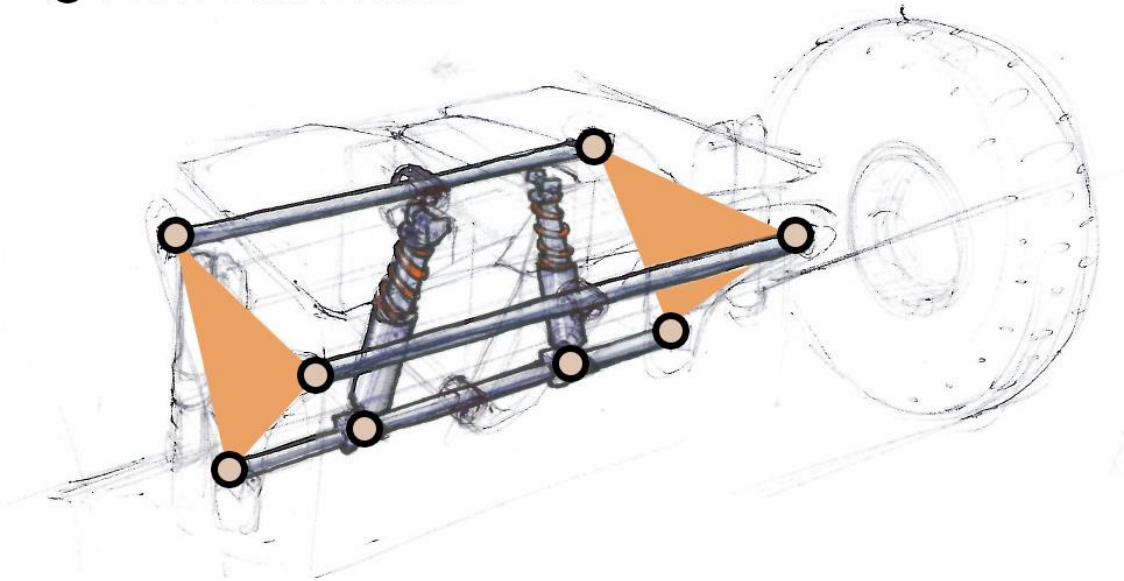
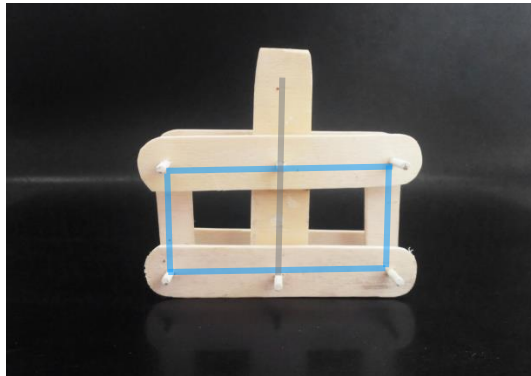


Figura 169: Esbós del quadrilàter articulat

⁵ Es fa referència a un apartat molt més avançat del projecte. Si es vol saber-ne més, visitar la pàgina X.

Les avantatges d'aquest sistema eren la simplicitat, pel que fa a barres i elements de tornilleria, la possibilitat d'inclinació i la capacitat d'esmoreir impactes a les rodes. Es va passar doncs a la construcció de la maqueta, la qual va permetre observar el següent:



La maqueta va ser construïda mitjançant fusta de balsa i eixos de fusta. Constituïda per el quadrilàter articulat (en blau) i el tronc del manillar (en verd) articulat a la part central.



El sistema permet la inclinació de la plataforma (que aniria fixada en perpendicular al tronc del manillar (no hi és a la maqueta)) mentre s'efectua el gir. Les rodes es mouen paral·lelament una i altre.



En cas que una roda impacti amb un obstacle, el cop serà absorbit per les molles, fent que una de les rodes es desplaci. La plataforma es mantindrà paral·lela al terra durant l'acció.



Aquest factor esdevé el punt clau. Es comprova que en el cas que el vehicle rebi un impacte simultani en ambdues rodes, els amortidors no treballen, pel que l'impacte no és esmoreït. Es fan doncs recerca d'altres solucions.

Si es vol conèixer l'evolució de la maqueta i del sistema de quadrilàters visitar la pagina 192.

12.4 Dimensionat del quadrilàter articulat

Les explicacions següents estan supeditades a la comprensió de l'esquema frontal del vehicle amb el qual s'han fet les simulacions. A continuació se'n mostren les línies i la seva equivalència amb la peça original:

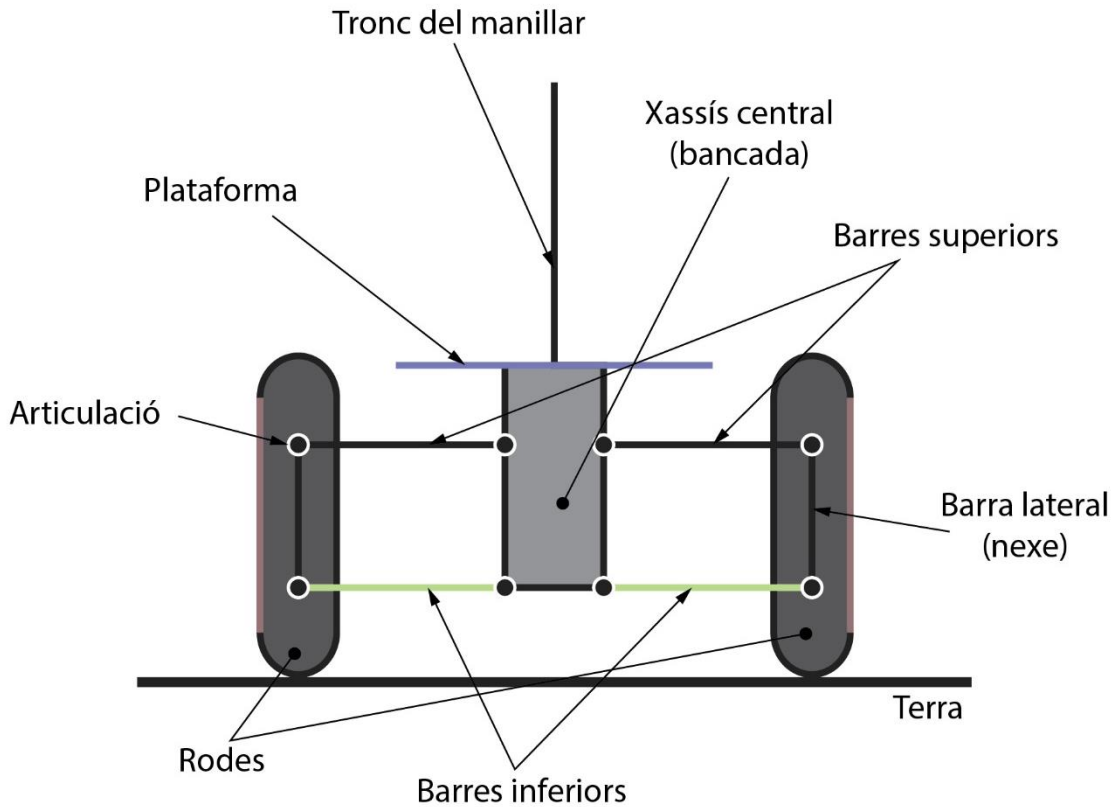


Figura 170 Explicació de l'esquema per a la simulació

Com s'ha vist en l'estudi de referents (pàg. lxxx de l'annex) la capacitat d'inclinació del vehicle sempre va lligada a com a mínim un quadrilàter articulat. En el vehicle dissenyat s'ha seguit un llarg procés per arribar a la **solució òptima** d'aquest mecanisme. És important remarcar que les possibilitats de moviment tenen una relació directa amb el dimensionat de les barres, que en aquest cas, és un quadrilàter paral·lelogram. Dit dimensionat està condicionat per una sèrie de restriccions:

Alçada de la plataforma

Amplada total del vehicle

Proximitat de les barres inferiors al terra

Figura 171: Restriccions principals

- L'**alçada de la plataforma** no pot sobrepassar en cap cas el màxim establert segons les bases antropomètriques (pàg. x)
- L'**amplada del vehicle** ha de ser la més petita possible, altrament s'estaria fent un vehicle poc àgil, difícil de conduir, pel fet que el límits quedarien massa allunyats de l'usuari i resultaria difícil realitzar, per exemple, maniobres d'eslàlom. Aquest paràmetre depèn de la llargada de les barres horitzontals i del gruix de les rodes.
- La **proximitat de les barres inferiors al terra** ha de ser la mínima possible, si dites barres s'acosten massa al terra hi ha el risc que es puguin aixafar, fer malbé o trencar amb un roc o alguna protuberància del terra.

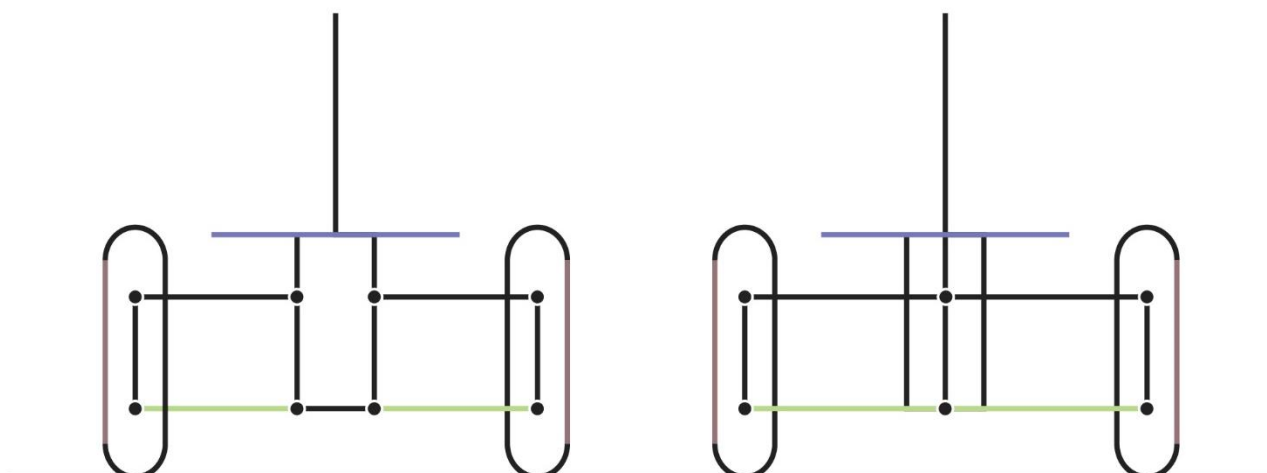
Aquests condicionants limitaven la capacitat de gir: la quantitat de **graus que es podia inclinar**, respecte la vertical, a banda i banda. I el procediment que es va seguir va ser crear models diferents, i, empíricament, comprovar quins responien més bé.

Els primers models estaven condicionats per la influència de l'estudi de referents; els models comercials treballen només amb un quadrilàter, mentre que el més experimentals (*Brudeli*, *Wesll*, etc.) ho fan amb dos a banda i banda del xassís. A la Figura 172 s'aprecien els primers esquemes que es van fer, amb dimensions aleatòries, però iguals en els dos casos. Es veu perfectament que en el punt de contacte, el recorregut del tronc del model amb **dos quadrilàters** és superior del que només en té un (29º i 24,5º respectivament).

Dos quadrilàters

Un quadrilàter

Tronc vertical



Tronc inclinat

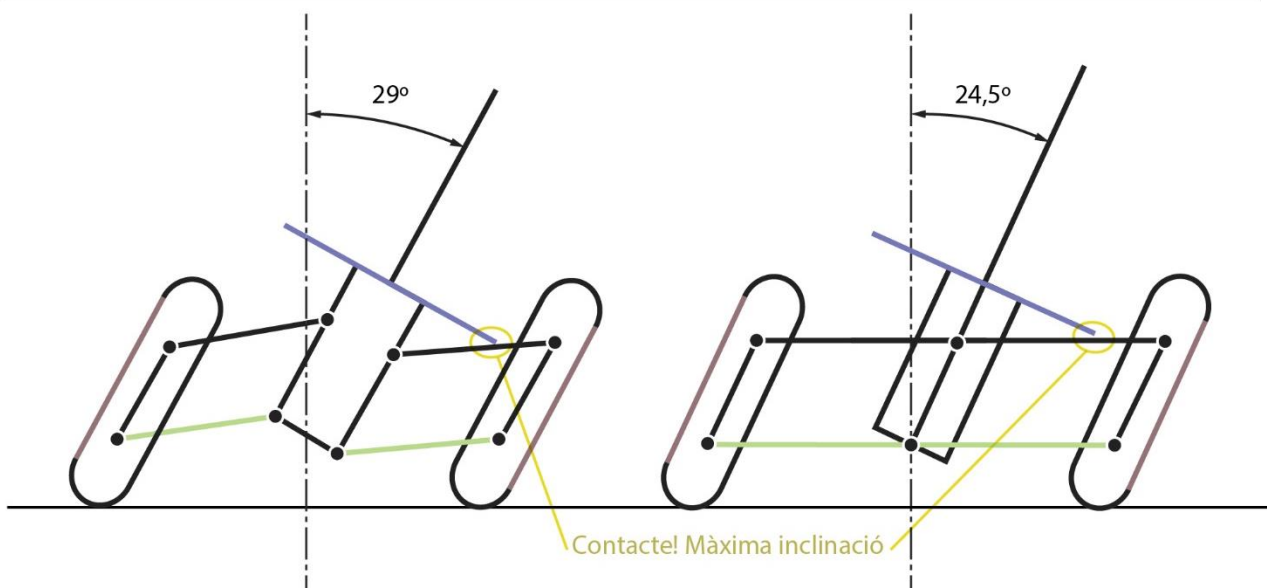


Figura 172: Primera simulació amb models d'un i dos quadrilàters

La tria del model amb el qual es va seguir l'estudi dimensional, va ser el de dos quadrilàters articulats, i això, pel disseny del vehicle suposava una facilitat alhora de mantenir el nucli central lliure per a col·locar-hi bateries i el conjunt electrònic.

Havent escollit el model, calia buscar l'equilibri entre les tres variables anteriors. Es va fixar l'alçada màxima de les plataformes a 340 mm, i el diàmetre de les rodes a 500mm. Estudiant les possibilitats, l'equip es va adonar que es podia jugar amb el paràmetre de distància entre el

centre de rotació de les rodes i les barres superiors, fins llavors s'havia donat per fet que la barra lateral havia de quedar centrat a dit centre de rotació.

Tenint en compte tots els paràmetres amb que es podia jugar, es van dur a terme una sèrie de models comparatius i es va anar avançant cap a la millor solució. El dimensionat resultant és el següent:

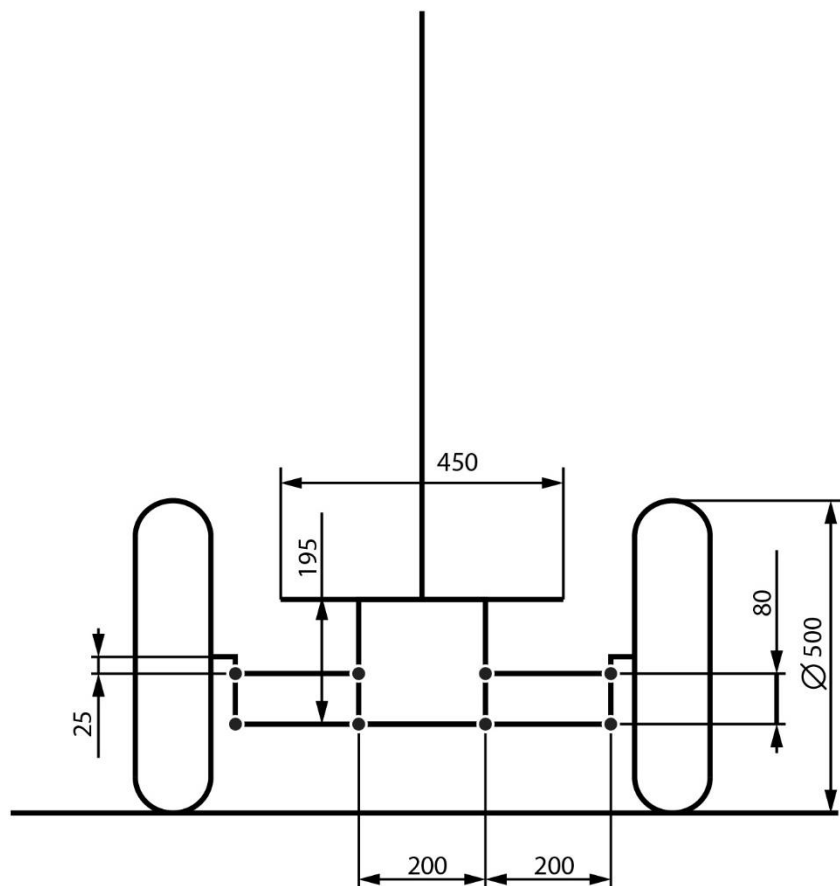


Figura 173: Dimensionat final del quadrilàter i d'altres peces que el condicionen

El que és en sí el quadrilàter adopta unes mesures de 200x80mm. La barra superior queda 25mm per sota de l'eix de les rodes, la barra superior queda a 195mm de la plataforma, que en un primer moment es va dimensionar de 450mm. El xassís es fa de 200 mm d'ample, que és suficient per a contenir-hi les bateries i l'electrònica.

Si ens fixem en les restriccions inicials (Figura 171), la de l'alçada de la plataforma ja s'ha dit que es va assignar a 145mm; L'amplada del vehicle es preveu d'uns 920mm i, en posició vertical del tronc, la distància al terra és de 145mm (Figura 174).

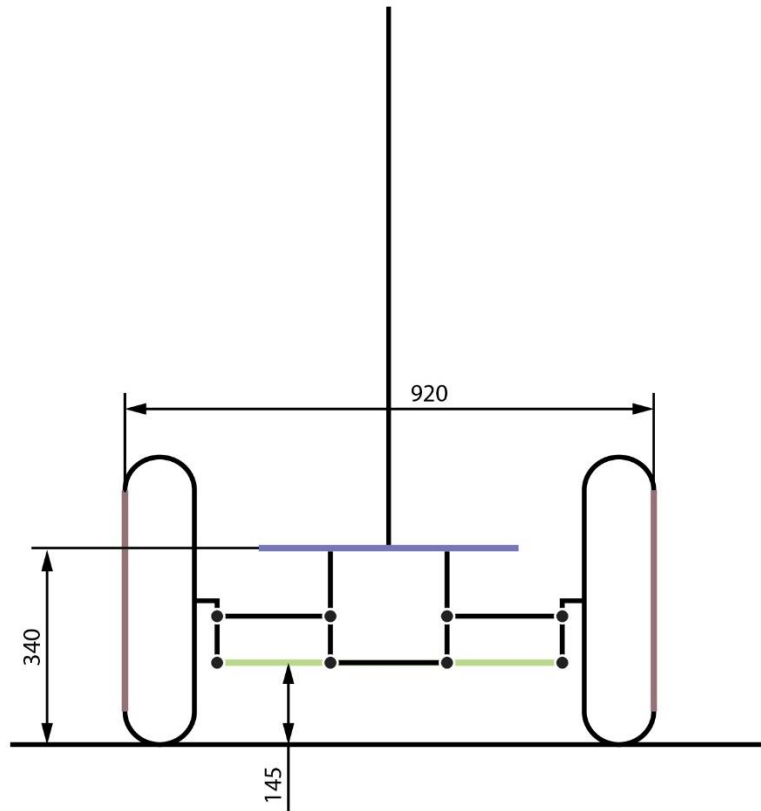


Figura 174: Dimensions del quadrilàter i altres peces que el condicionen

El dimensionat final permet al vehicle inclinar-se 20° a cada costat (Figura 175)

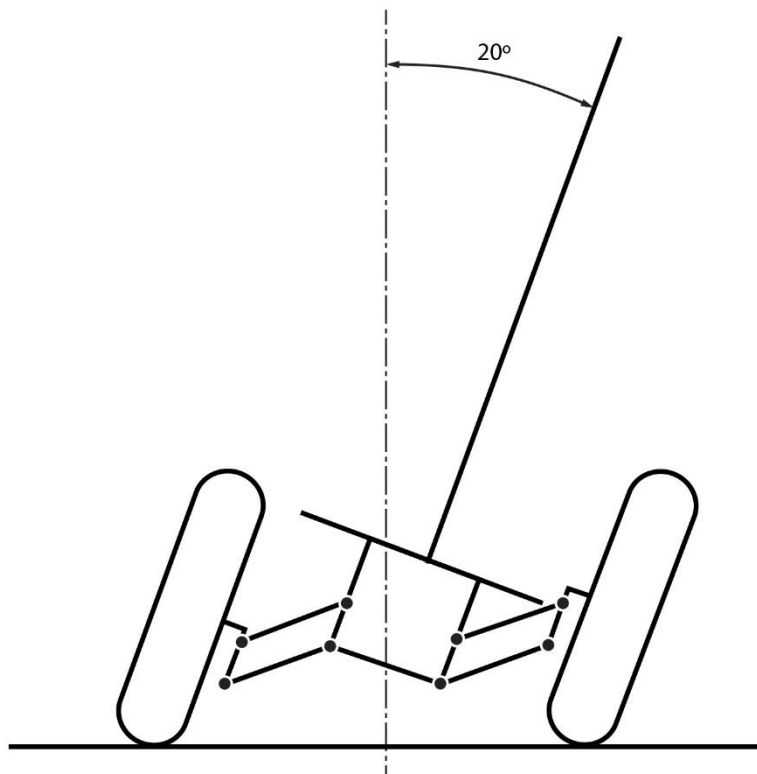


Figura 175: Angle màxim d'inclinació

En la posició de màxima inclinació la distància entre el terra i el punt més proper de la barra inferior és de 110 mm (Figura 176).

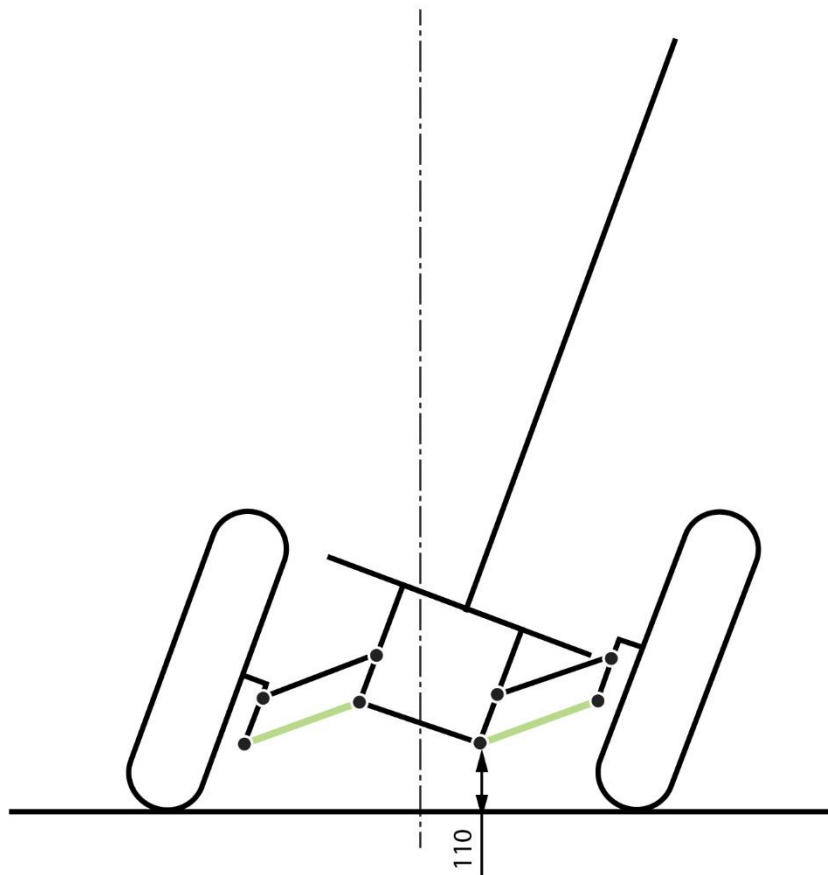


Figura 176: Distància mínima entre el vehicle i el terra en la posició més inclinada

Conclusions:

L'equip ha trobat una solució que satisfà, en més o menys mesura, totes les restriccions que s'havien detectat. Haver aconseguit un ventall total de 40º d'inclinació és satisfactori. Cal tenir en compte que el dimensionat del quadrilàter dota al vehicle d'unes possibilitats de conducció, però l'usuari sempre pot mantenir el seu estil de conducció i ser agressiu a cada corba com a la Figura 177.



Figura 177: Motorista més plegat que la Piaggio MP3

12.5 Realització de la segona maqueta

Després d'haver vist què existeix al mercat, amb la anàlisi de referents (pàg. lxxx de l'annex, i haver dimensionat el cos, es passa a la verificació del segon sistema de gir ideat. Com es va veure en la primera maqueta (pàg. 184), el sistema de quadrilàter dissenyat no servia per a l'aplicació que se li volia donar al vehicle. En aquest punt ja s'havia fet l'estudi antropomètric i s'havia dimensionat el quadrilàter, pel que la construcció de la maqueta es va fer a escala. Aquesta maqueta serveix per veure si el sistema dissenyat compleix amb els requisits que s'havien pensat i permet verificar el seu funcionament. Alhora es veu com es comportà i quin serà el moviment del vehicle dissenyat.



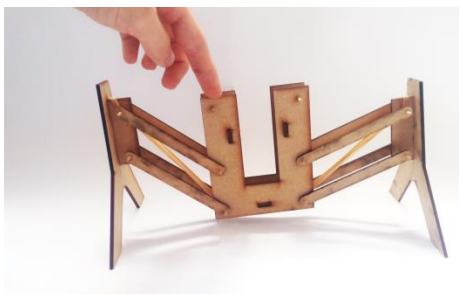
La maqueta ha estat fabricada amb fusta DM tallada amb làser. Els eixos són de fusta i l'efecte dels amortidors l'efectuen quatre gomes elàstiques, de manera diferent, però anàloga, respecte com s'ha dissenyat la col·locació dels amortidors.



Les rodes actuen de forma independent, de manera que una roda pot absorbir l'impacte d'un obstacle mentre que l'altre n'absorbeix un altre.



El sistema permet la inclinació del vehicle i fins i tot és capaç d'absorbir impactes de manera independent mentre el cos està inclinat. Durant el gir una molla treballa a compressió (no treballa, però si que ho faria l'amortidor) i l'altre treballa a tracció.



A diferència del primer quadrilàter dissenyat, pot absorbir impactes en ambdues rodes alhora. Això permet suavitzar la recepció en cas que el vehicle perdi el contacte amb el terra.

Capítol 13

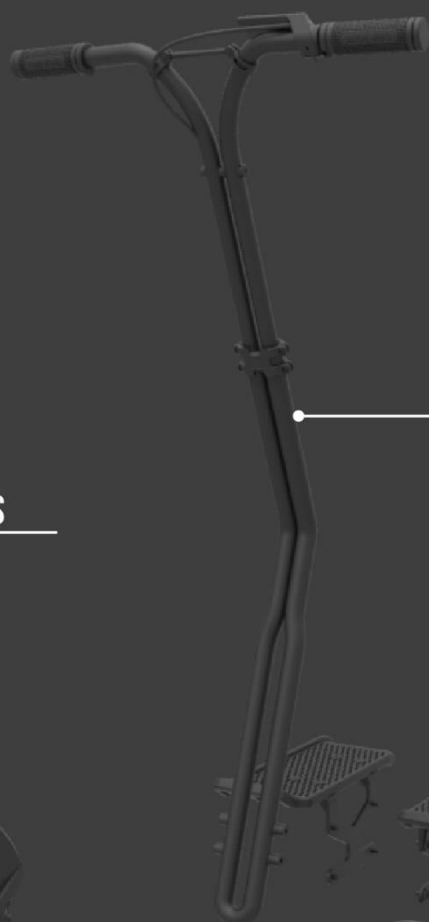
DISSENY I MODELAT 3D

13.1 Introducció

A aquest capítol es desglossen totes les peces dissenyades per l'equip i altres que s'adquireixen d'un proveïdor. Es fa de manera esglaonada, avançant pels subconjunts que conformen el vehicle dissenyat. A cada peça, tret d'algunes excepcions, es fa una breu introducció de la seva funció general, que segueix amb l'explicació de la fase d'ideació, segurament el que ha ocupat més temps a l'equip, continua amb estudis d'elements finits i la millora consegüent de cada peça (només les que ho requerien), i es finalitza amb figures comentades que il·lustren les característiques funcionals de cada peça, on es justifica la relació forma-funció dels seus detalls.

Aquest apartat representa el gruix més ampli de feina del treball. És on es reflecteixen les hores i hores de reunions, croquis i esbossos, presa de decisions, correccions, millores... A les següents pàgines s'exposen tots els detalls del que s'ha dissenyat.

EXPLOSIONAT DEL CONJUNT EN SUBCONJUNTS



SUBCONJUNT TRONC

PÀGINA 290

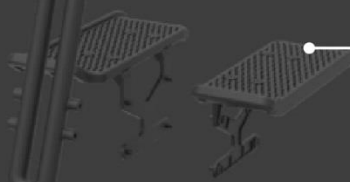
SUBCONJUNT RODES

PÀGINA 312



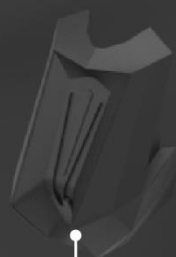
SUBCONJUNT PLATAFORMES

PÀGINA 269



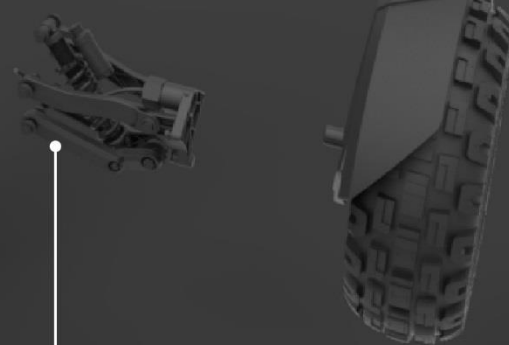
SUBCONJUNT LLUM FRONTAL

PÀGINA 327



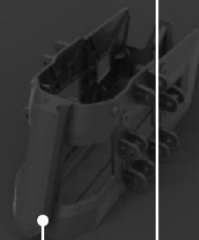
SUBCONJUNT QUADRILÀTER ARTICULAT

PÀGINA 213



SUBCONJUNT XASSÍS

PÀGINA 196



SUBCONJUNT CARROSSERIA

PÀGINA 246



SUBCONJUNT XASSÍS



XASSÍS
PÀGINA 198



PROTECTOR DE LES BATERIES
PÀGINA 210

13.2 Subconjunt xassís

Aquest subconjunt és la part estructural del vehicle. És el que fa possible l'assemblatge de totes les peces i és la part més sol·licitada mecànicament.

Les característiques generals del subconjunt són:

- Unió del subconjunt plataformes.
- Unió del subconjunt del manillar.
- Unió del subconjunt de quadrilàters.
- S'hi allotgen els components elèctrics i electrònics.
- Protegeix les bateries de possibles impactes

13.2.1 Xassís

El Xassís és l'element principal del vehicle, la peça que possibilita la construcció de tots els elements. El Xassís allotja tots els components elèctrics i electrònics, s'hi uneixen els quadrilàters articulats, el tronc i el manillar, i suporta tot el pes de les plataformes. És l'ànima mecànica del vehicle i per això dissenyar-la va ser un pas molt important en la realització del projecte.

Es tracta d'un component que rep moltes sol·licitacions mecàniques exteriors i per al seu disseny s'han hagut de fer extensos estudis de la geometria amb el Mètode d'Elements Finitos (FEM), es troben més endavant.

13.2.1.1 Ideació

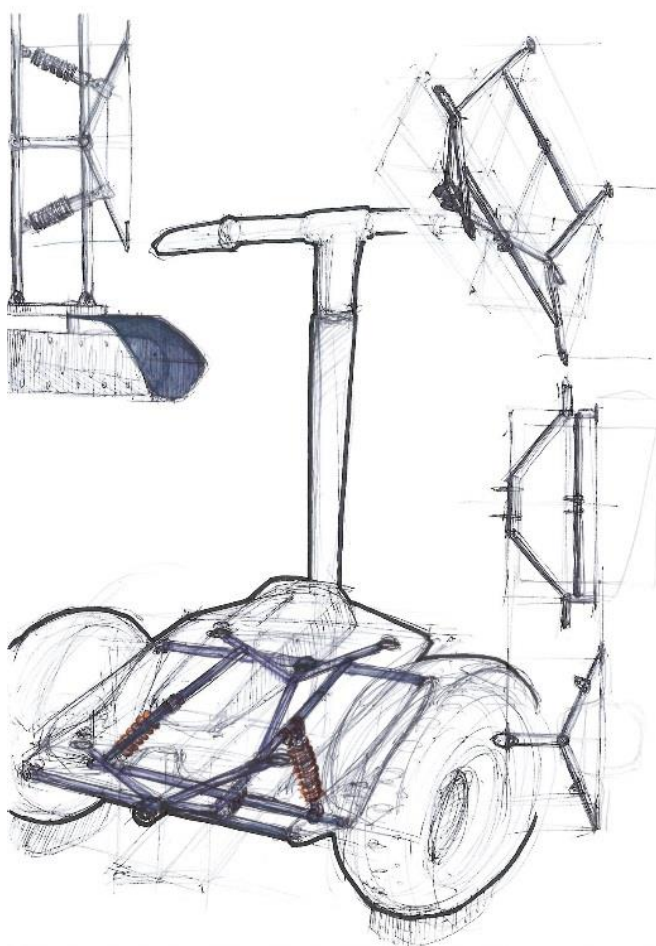


Figura 178: Esbós 1 del xassís

Des del naixement del concepte, quan el projecte encara estava en una etapa inicial i el *leaning suspension*⁶ no era aleshores definitiu, comencen a aparèixer els primers esbossos del xassís. El que es plantejava doncs era una estructura de peces tubulars soldada, amb tot els elements com les orelles i el suport de la plataforma com a afegits. El següent dibuix és dels primers que es van realitzar (Figura 178). En aquell moment només es contemplava un quadrilàter articulats, on les barres quedaven situades a la part posterior i anterior del xassís. Simplement es va considerar l'articulació de les barres, descartant tot els altres elements com la subjecció del tronc i el recinte de les bateries.

⁶ Concepte anglès que fa referència al sistema de suspensió que permet el gir i inclinació del vehicle. Aquest concepte apareix per primer cop a la part de Conceptualització del projecte.

Aquest concepte comença a madurar i adopta una forma més estructural en que elements com les plataformes i la subjecció del tronc es consideren en el disseny del xassís. És quan es planteja que les bateries hauran d'anar al centre del cos, pel que el bastidor ha de tenir un espai central (Figura 179).

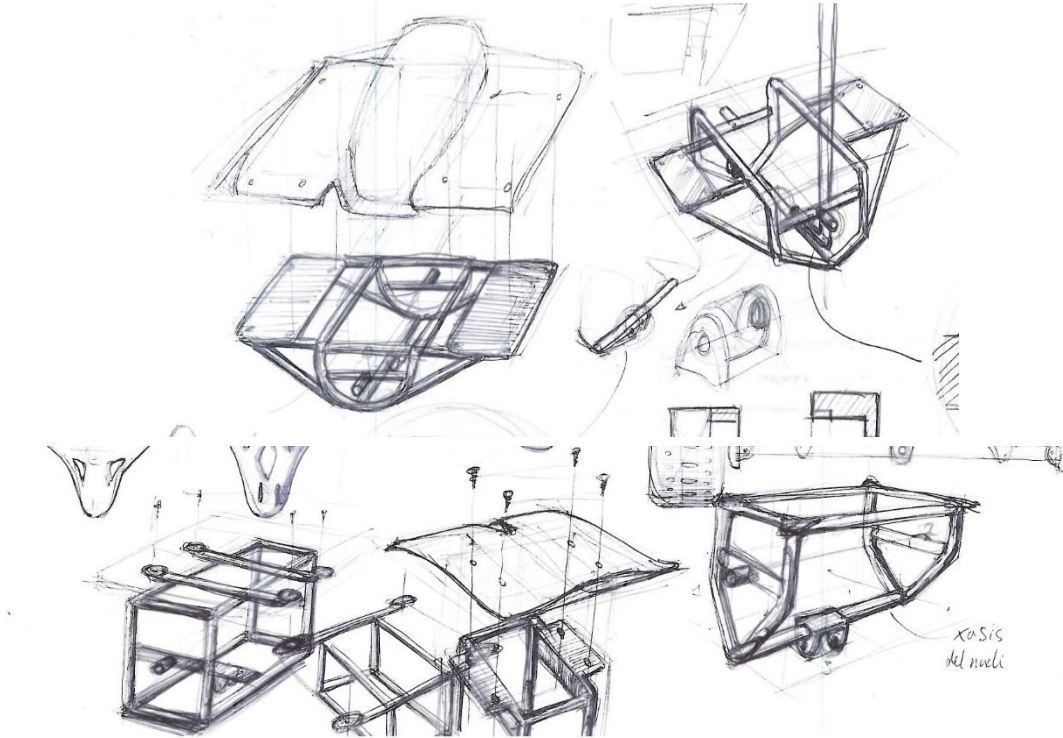


Figura 179: Esbós 2 del xassís

Un nou concepte és plantejat: I si es fa una estructura mecanitzada o emmotllada?. La Figura 180 mostra aquesta idea. El més destacable d'aquest concepte és la simplicitat plantejada. Les barres articulades dos a dos en un sol punt i la unió del tronc directament al suport de la plataforma creaven un conjunt lleuger i compacte, però es feia difícil fixar les plataformes i feia nosa a la bateria, per tant es va descartar aquest tipus de disseny, però va agradar el fet de plantejar maneres alternatives de construir el xassís.

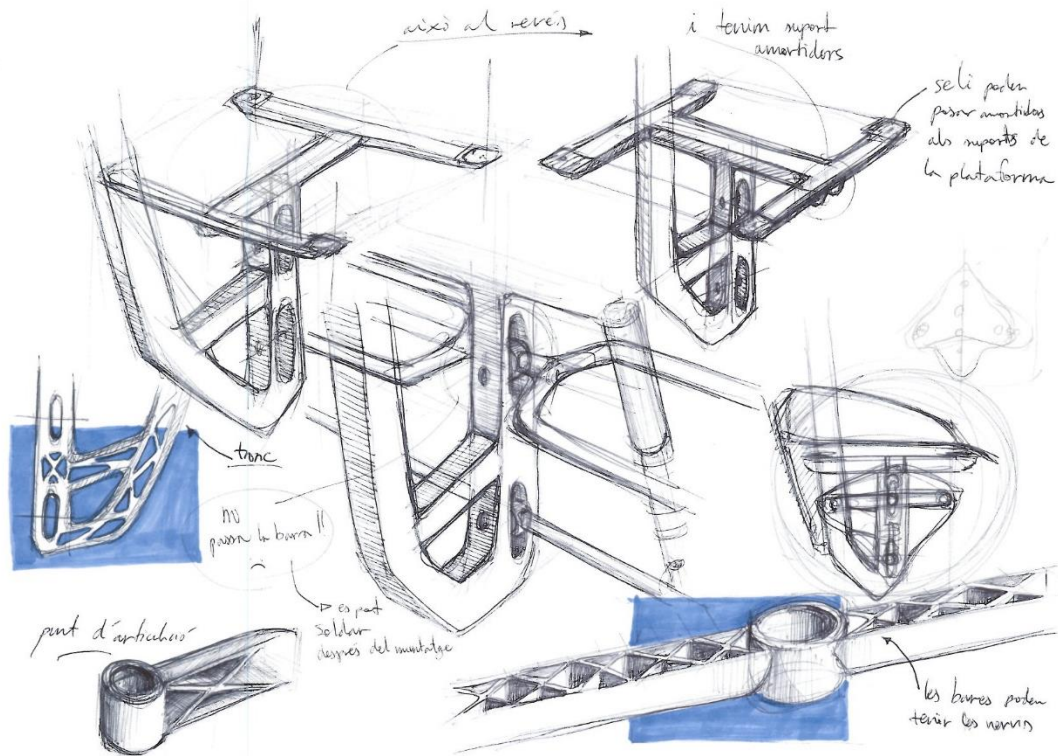


Figura 180: Esbós 3 del xassís

Quan s'havia conclòs, després de fer l'estudi del dimensionat del quadrilàter (pàg.186), que el vehicle ha d'incorporar dos quadrilàters en comptes d'un, es torna a una estructura tubular que s'haurà d'articular a banda i banda quatre barres (Figura 181).

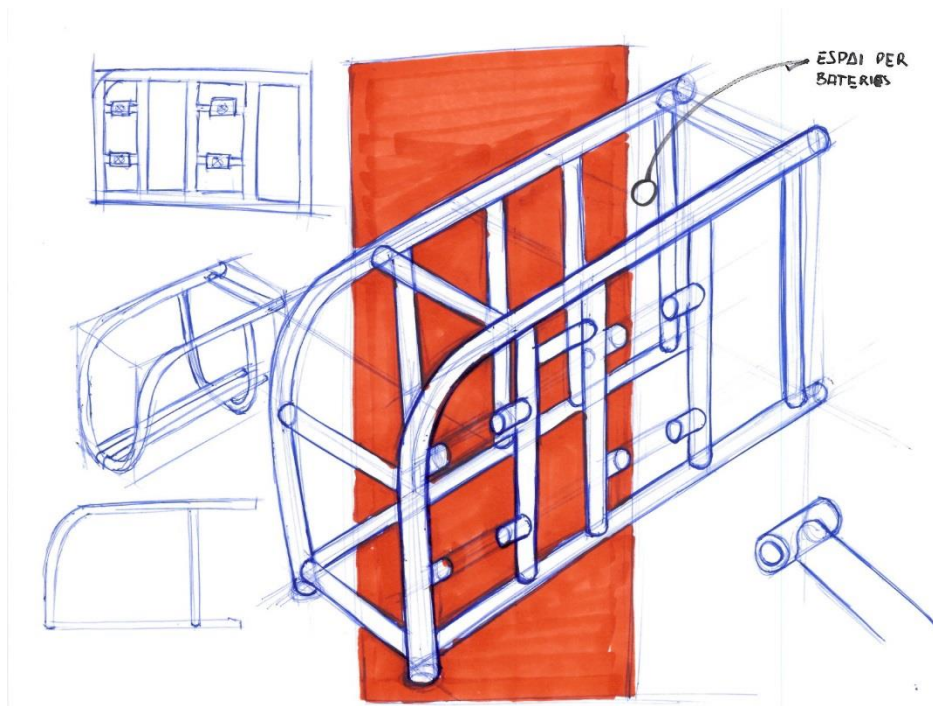


Figura 181: Esbós 4 del xassís

El continu avenç del projecte va permetre descobrir que existeixen altres solucions. En aquesta fase el xassís fa un pas important cap a la solució definitiva. Es planteja doncs un monocasc injectat d'alumini, on d'una única injecció s'obté una peça amb orelles, suport de plataformes, tronc i manillar. Aquest va ser l'esbós:

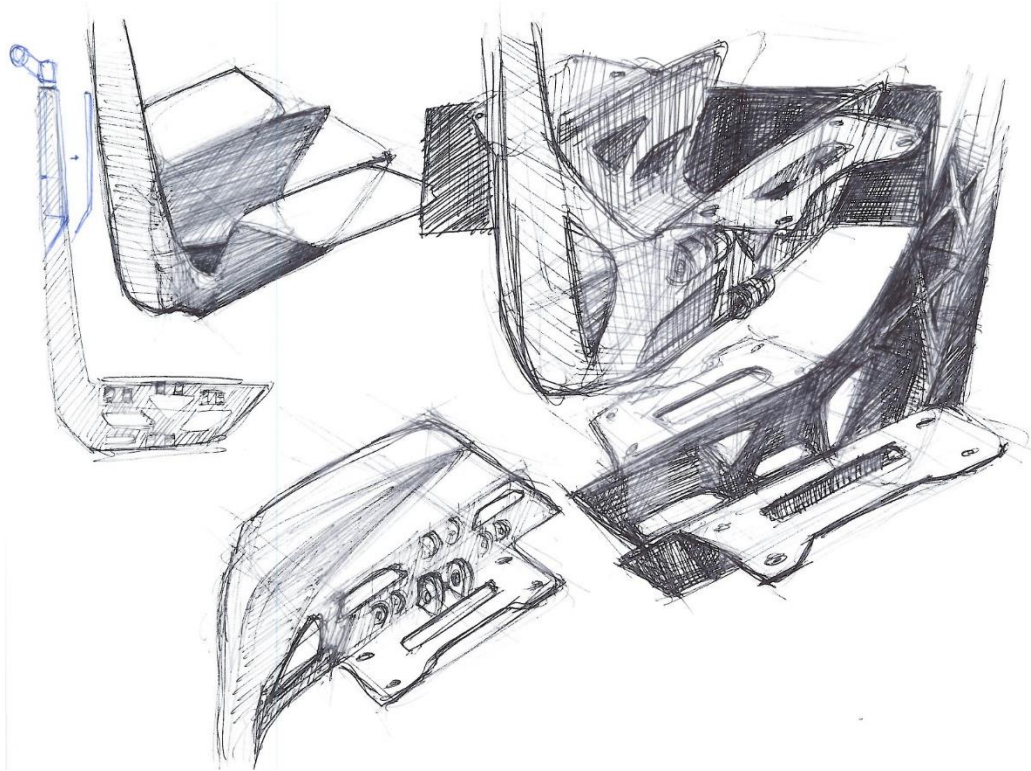


Figura 182: Esbós 5 del xassís monocasc

A partir de la idea de fer un xassís monocasc s'esbossen altres propostes:

- BASE
- ORELLES
- TRONC

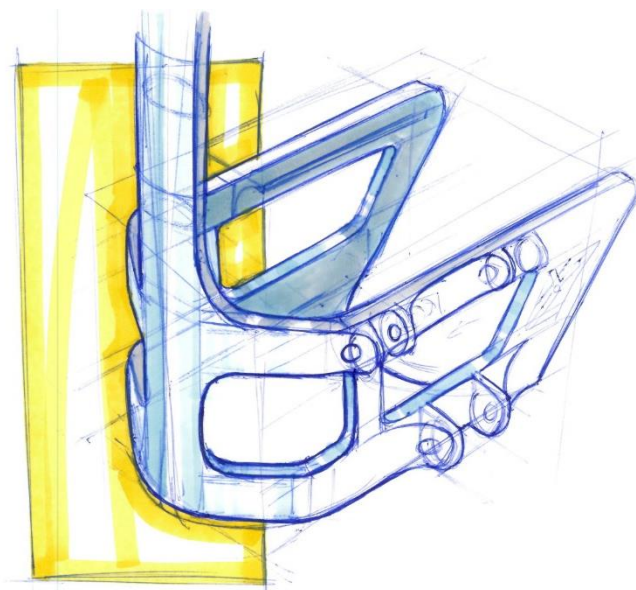


Figura 183: Esbós 6 del xassís monocasc

Encara no s'havia arribat a una proposta definitiva que fes el pes a l'equip, pel que es van seguir buscant formes (Figura 184).

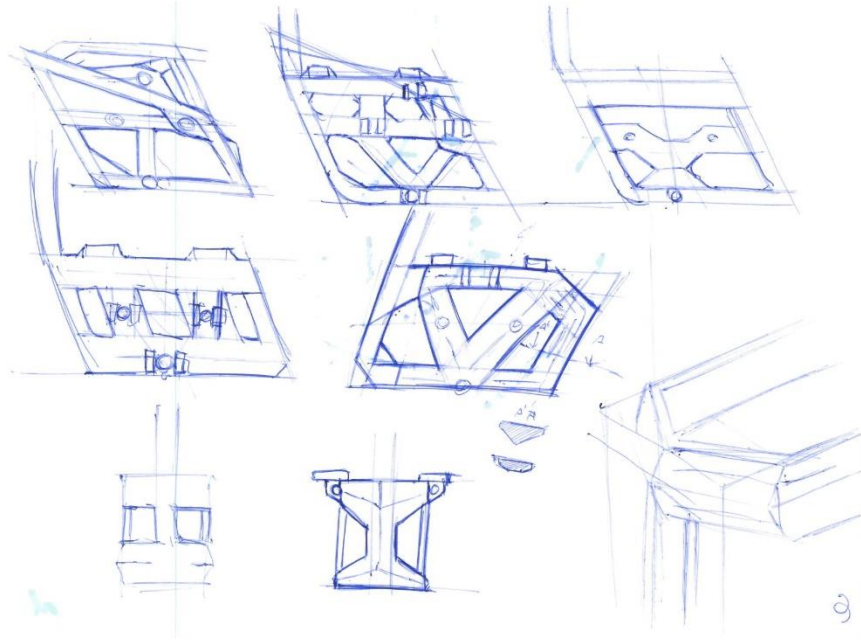
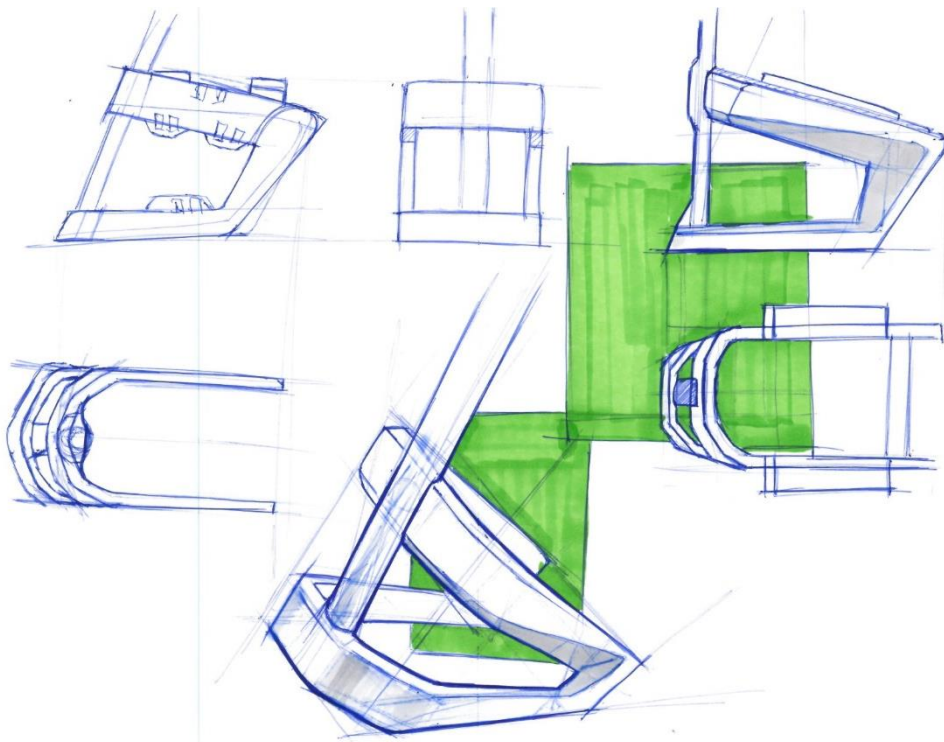


Figura 184: Esbossos de la forma del xassís

Finalment es va arribar al xassís definitiu. Les tres imatges a continuació mostren el refinament de la idea final:



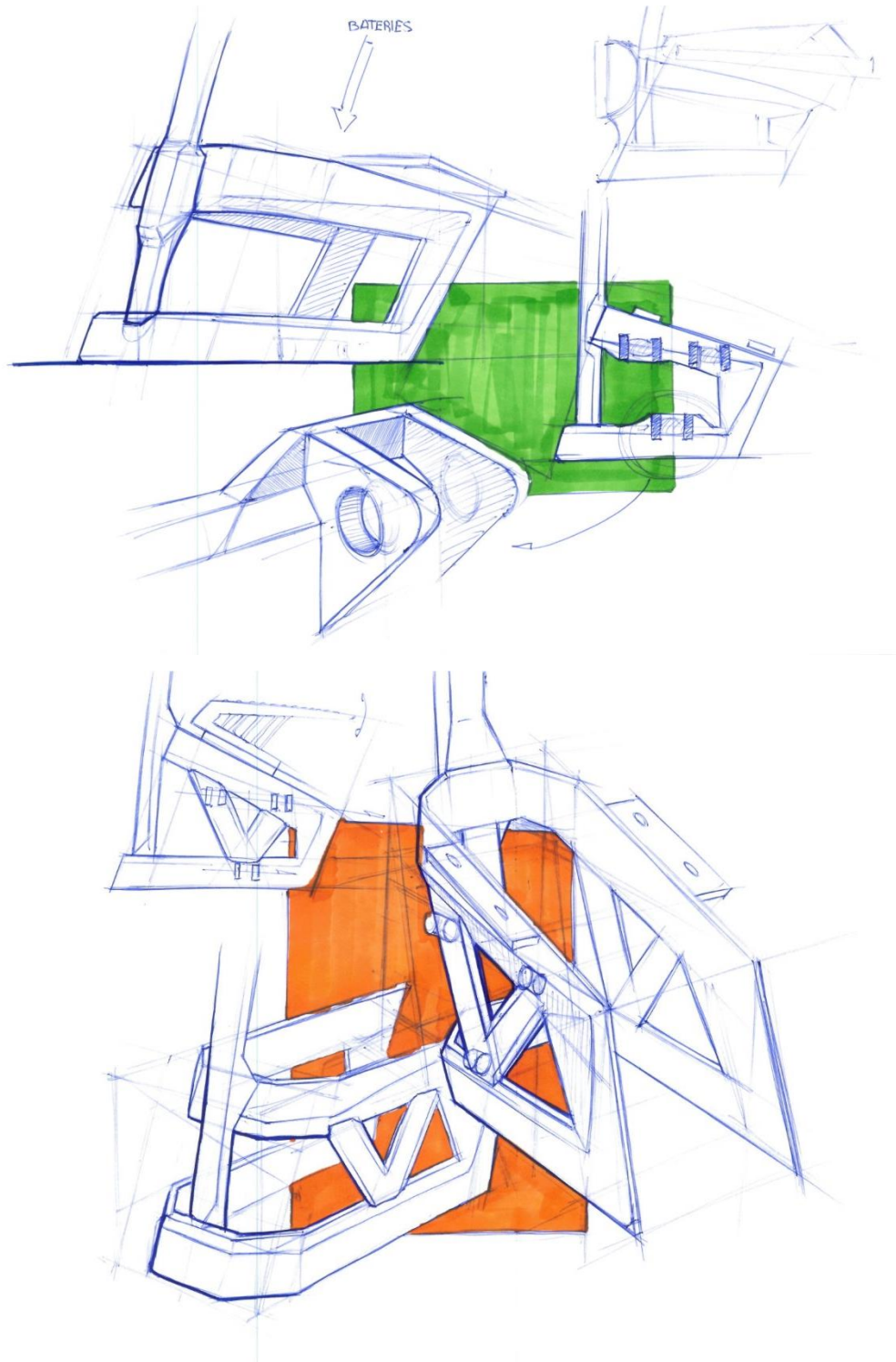


Figura 185: Refinament del xassís final

A l'últim esbós se li han aplicat unes columnes laterals amb l'objectiu de donar rigidesa al conjunt i permetre la col·locació de les orelles. Es fa també una aproximació de la subjecció de les plataformes.

13.2.1.2 Estudis FEM

Reforç i nervat del bastidor/xassís

Amb l'objectiu de reduir material i pes del bastidor, un cop l'estructura principal està definida, es procedeix al nervat de la peça. Per tal de localitzar les zones més sol·licitades i poder atacar de forma directa aquests punts es realitza un primer estudi.

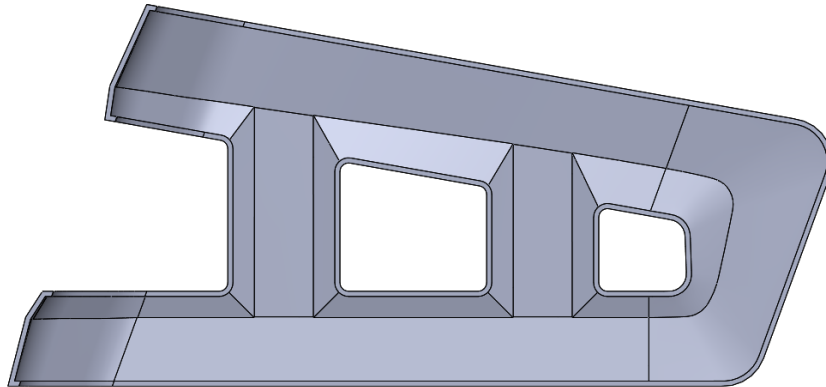


Figura 186: Meitat interior del bastidor

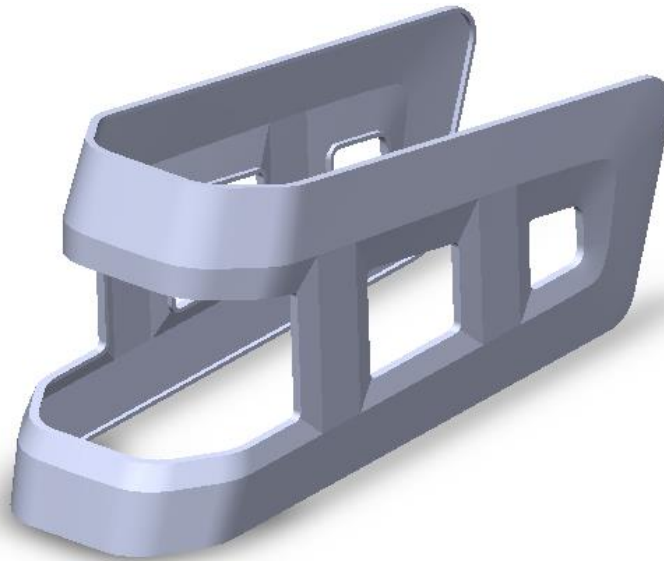


Figura 187: Bastidor inicial

Per realitzar la simulació s'han fixat les parts on van situades les orelles (representat amb verd en la imatge inferior), se l'hi ha aplicat una força de 5000 N normal al terra a la zona superior (representat amb fletxes roses a la imatge inferior), i se li ha aplicat un material que correspon a un aliatge d'alumini amb un tractament d'enduriment: Al 6061-T6.

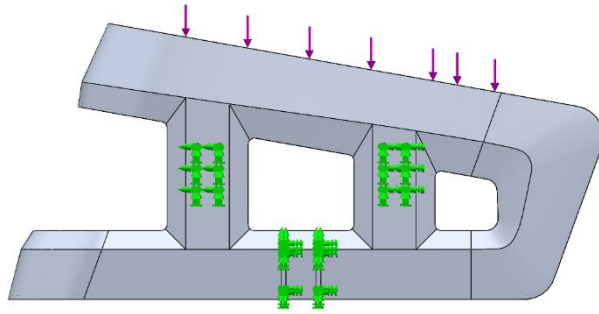


Figura 188: Distribució de forces i restriccions

El mallat correspon a un d'estàndard triangular, amb un geometria de 8 mm de costat, i que respecta la curvatura de les cares.

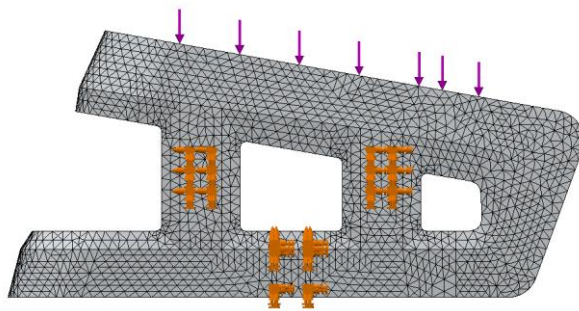


Figura 189: Mallat del bastidor

Cal esmentar que a l'estudi no s'està considerant encara el tronc soldat a la part frontal que donarà encara més rigidesa al conjunt. Per altra part no es pretén veure si el material serà suficientment resistent o no, ja que encara no parlem d'una peça final, sinó que el que es vol observar es el comportament de les deformacions de la estructura així com les zones de màxima tensió. Això permetrà a l'equip reforçar aquestes zones i crear un conjunt més robust.

Els resultats obtinguts són els següents:

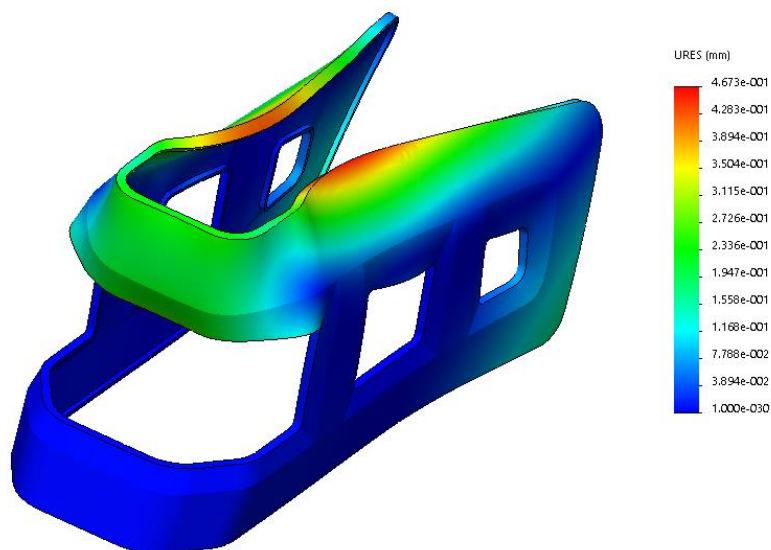


Figura 190: Representació de les deformacions del bastidor

Les zones vermelles són les parts on el xassís pateix una major deformació, que en el cas de l'estudi és de 0,4 mm. Per tal de millorar la peça caldrà *nervar* més aquestes zones.

Les concentracions de tensió es localitzen a la unió de les columnes amb la resta del conjunt. Aquestes tensions s'originen per les deformacions comentades a la imatge anterior, i si es redueix la deformació també ho farà la tensió. En aquest estudi les tensions màximes arriben a 95 MPa.

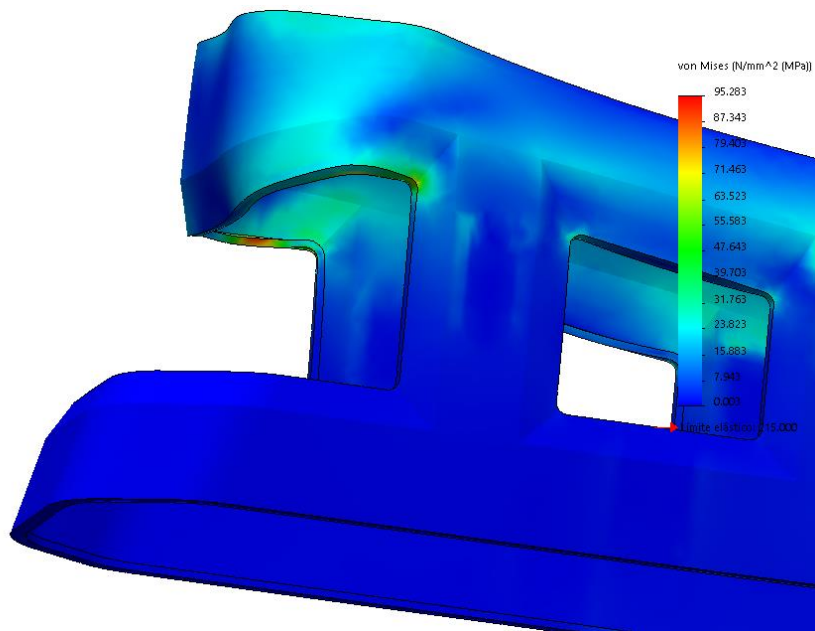


Figura 191: Representació de les tensions del bastidor

A la imatge que ve a continuació es mostra com a quedat la meitat interior un cop aplicat el primer nervat.

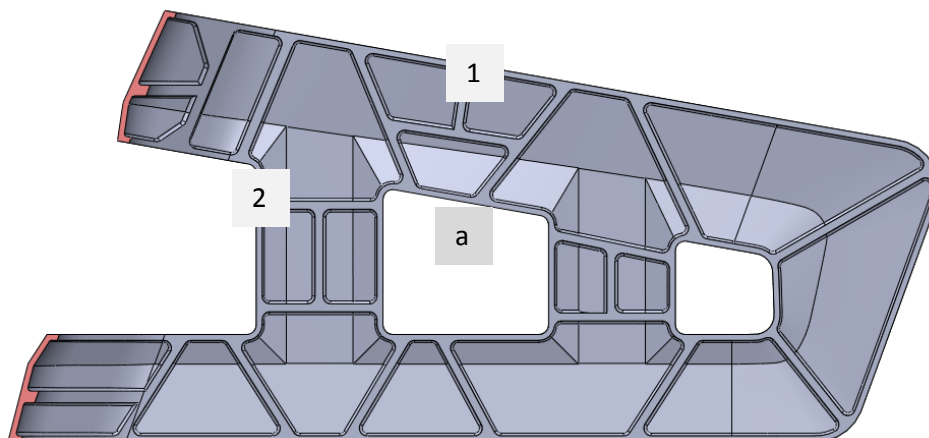


Figura 192: Meitat interior del bastidor nervat

S'ha aplicat un major nervat a les zones 1 i 2 (Figura 192) i s'ha reforçat la resta del cos.

El segon estudi ha permès comprovar el comportament del cos enervat. Per poder-ho comparar amb l'estudi anterior s'han aplicat les mateixes restriccions i característiques. Els resultats obtinguts son els següents:

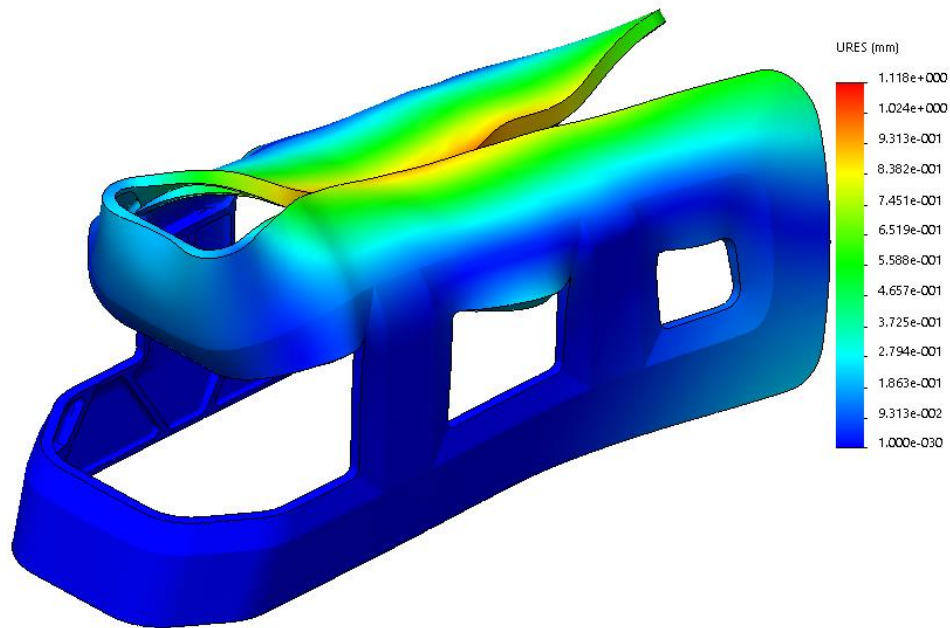


Figura 193: Deformacions del bastidor nervat

S'ha corregit el vinclament de les zona 1 (Figura 192), però com a conseqüència s'han incrementat els desplaçaments fins a un màxim d'1.18mm. Això es deu a que el enervat concentra els esforços en el punt "a" (Figura 192) en lloc de repartir-los per tota la peça. Això es tradueix també en un increment de les tensions màximes. A continuació s'estudia una nova distribució del nervis.

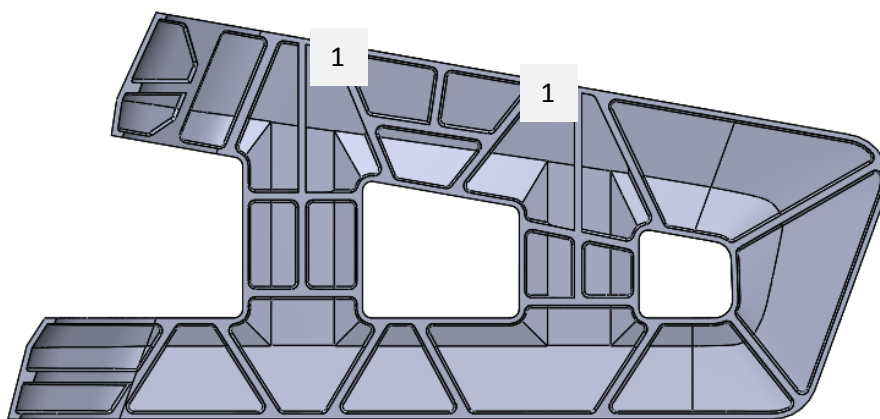


Figura 194: Meitat interior del bastidor amb el nervat millorat

L'objectiu doncs és poder enviar els esforços cap a la resta del cos i per això s'afegeixen dos nervis més (1) (Figura 194) que connecten la part superior del xassís amb les dues columnes centrals.

Es realitza l'estudi:

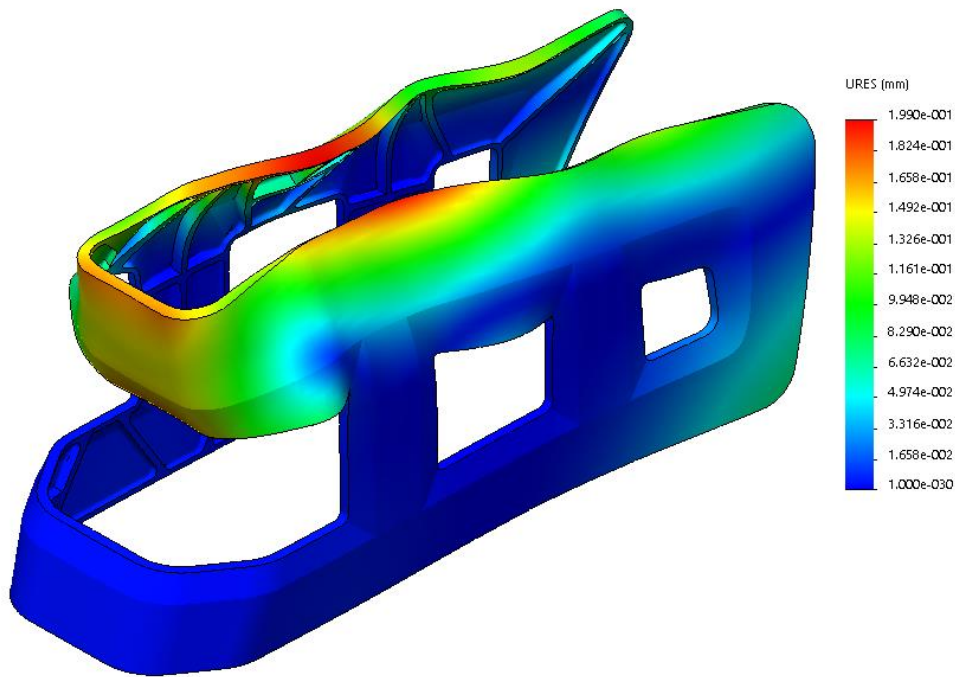


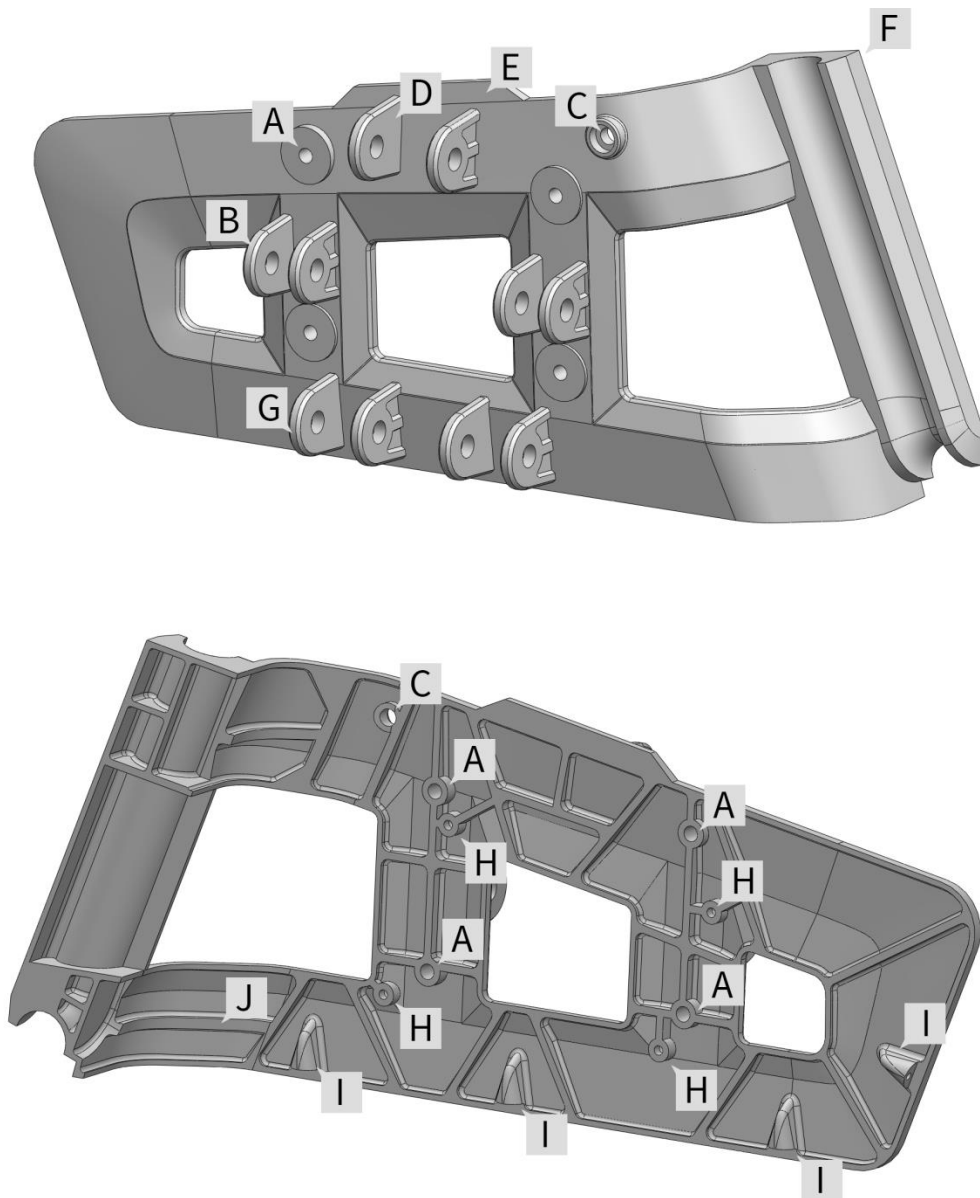
Figura 195: Deformacions del bastidor nervat millorat

Els resultats obtinguts són positius. Es passa d'un desplaçament inicial màxim de 4.673×10^{-1} mm a un desplaçament de 1.990×10^{-1} mm, reduint en un 50% el desplaçament de del xassís sense enervar. Les tensions màximes també disminueixen de 95MPa a 68MPa. Ara la part central es deforma més, però quan es connecti el tronc soldat, aquesta es veurà fortament millorada.

	Tensions (MPa)	Desplaçaments (mm)
Bastidor sense <i>nervar</i>	95	4.673×10^{-1}
Bastidor nervat	177	1.18
Bastidor nervat millorat	68	1.990×10^{-1}

Taula 5: Resum de resultats

13.2.1.3 Característiques funcionals de la peça



- A: Zona plana on el suport de la plataforma es recolza i es fixa.
- B: Orelles de les barres superiors del quadrilàter.
- C: Zona per al cargol que fixa la electrònica al xassís.
- D: Orella del amortidor.
- E: Afegit que permet posicionar la orella del amortidor.
- F: Sona on es posiciona el tronc fixe i es solda.
- G: Orelles de les barres inferiors del quadrilàter.
- H: Forats pels cargols que fixen la caixa al xassís.
- I: Sortints per als cargols que fixen el protector de les bateries al xassís.
- J: Nervis estructurals.

13.2.2 Protector de les bateries

Aquesta peça té com a objectiu protegir els components d'impactes i rascades. És la zona més propera al terra i degut al sistema de suspensió podria impactar-hi. Per altra banda també serveix per unificar el conjunt i donar robustesa al xassís, mentre dona suport als components interiors.

El protector inferior s'ha dissenyat com una peça a part, i podria haver sortit de la mateixa injecció del xassís, però això complicava l'emmotllament. A més a més inicialment, la zona d'accés als components electrònics es va plantejar que fos la part inferior, de manera que traient el protector inferior la zona quedés descoberta. Finalment aquesta idea es va descartar ja que es va trobar la manera d'accedir a l'electrònica des de dalt, a més hi ha avantatges evidents per adoptar aquesta solució.

L'estil que s'ha seguit per al disseny de la peça està inspirat en el protector que duen les motos de trial i enduro, on just a la part inferior protegeixen el motor i el càrter (Figura 196).



Figura 196: Protector del càrter d'una moto d'enduro

13.2.2.1 Ideació

Definits els conceptes claus, es va passar a la fase de *sketching* (Figura 197). Es van esbossar tres propostes. Durant aquest procés es va veure com aquest element podia interaccionar amb el llum de darrera (pàg. 267) i com podia ajudar a crear un conjunt continu i unificat. En els dibuixos, el protector inferior anava unit per la part externa del xassís, fet que es va corregir en el modelat.

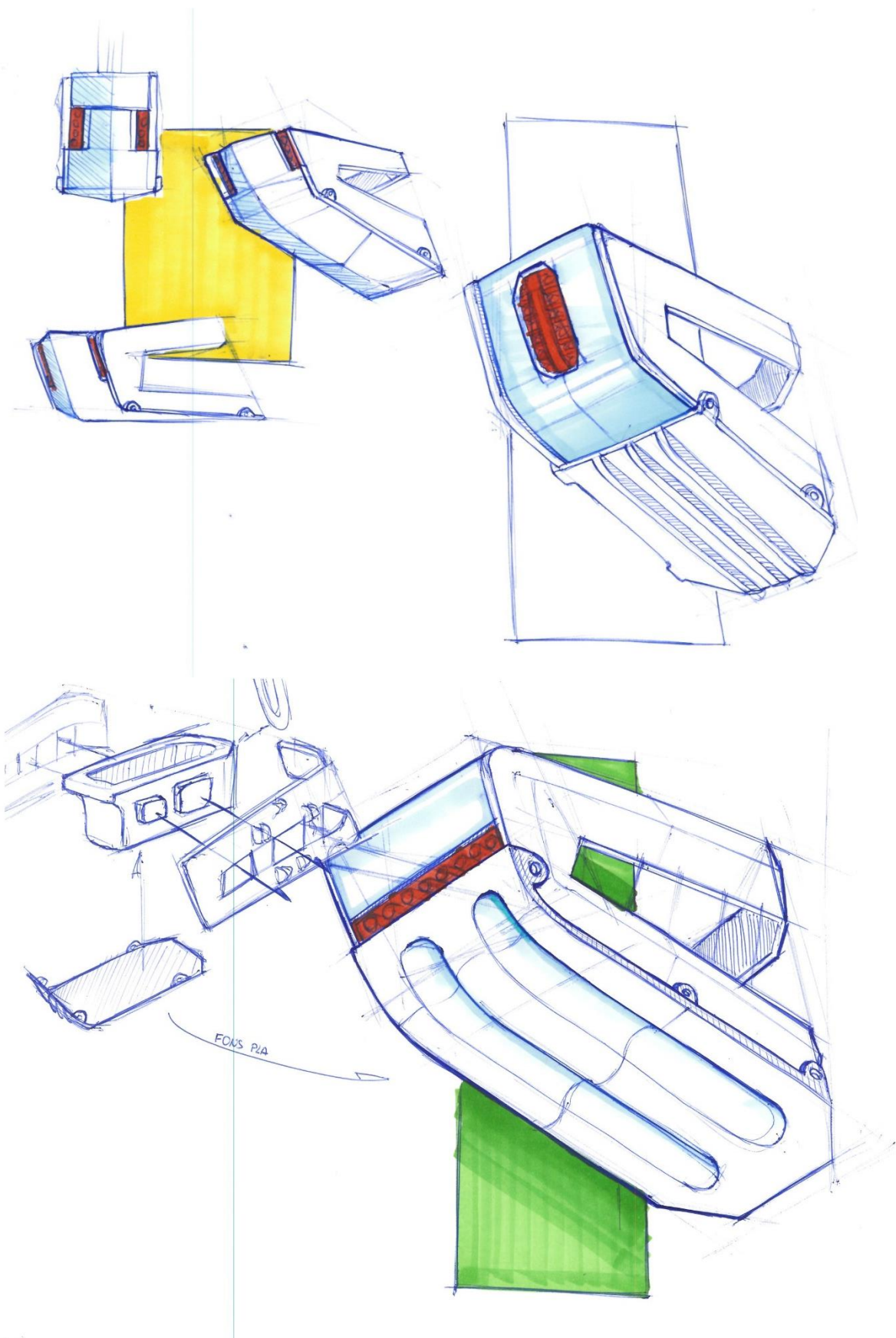
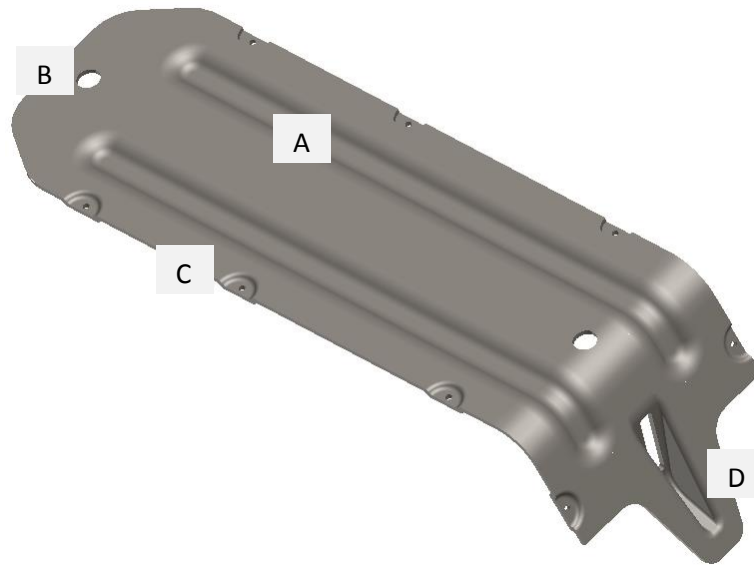


Figura 197: Esbossos del protector inferior

13.2.2.2 Característiques funcionals de la peça



- A: La peça és una xapa metàl·lica fabricada per estampació. La forma ondulada permet donar rigidesa al conjunt.
- B: Se li han fet dos forats, un davant i l'altre darrera, per tal d'evacuar l'aigua en cas que n'entri (el conjunt xassís i protector no és estanc).
- C: Per a protegir els cargols dels possibles impactes s'ha enfonsat la xapa al voltant del forat passant.
- D: Les formes de la part de darrere corresponen a l'habitacle de la llum posterior. El pla on es fixa dit llum està encarat més cap amunt per que els adversaris, en una possible competició, vegin el vehicle (Figura 198).

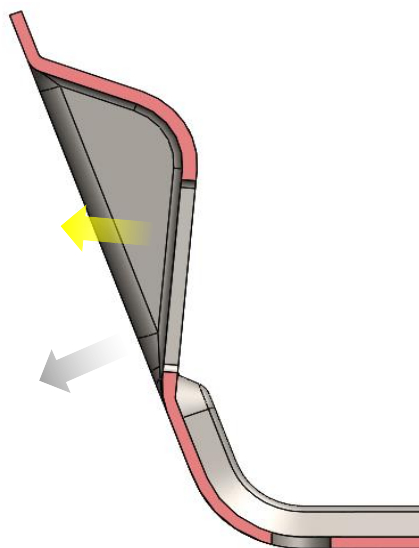


Figura 198: Direcció de la llum en la secció del protector de les bateries

SUBCONJUNT QUADRILÀTER ARTICULAT

AMORTIDOR

PÀGINA 245

BARRA LATERAL

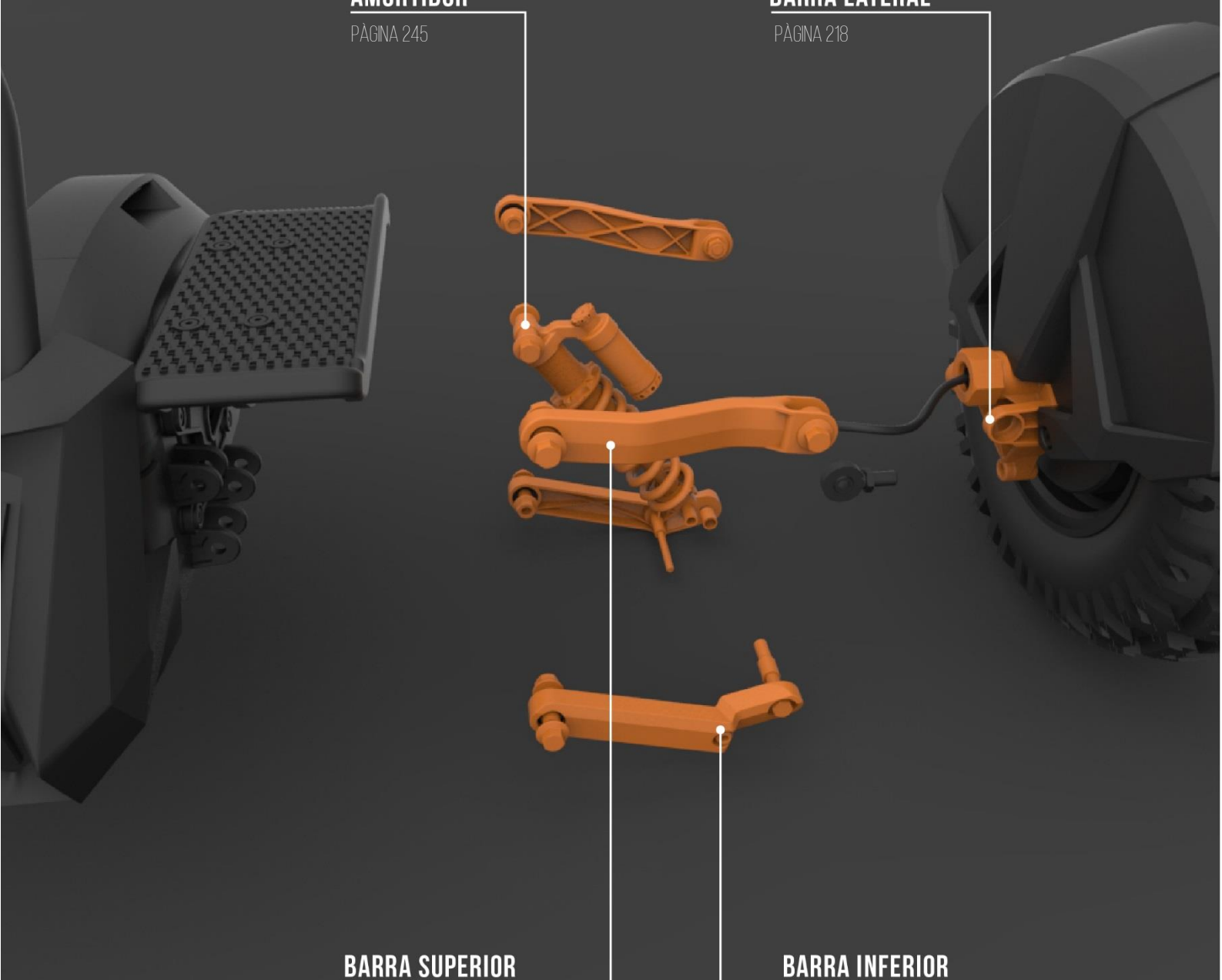
PÀGINA 218

BARRA SUPERIOR

PÀGINA 229

BARRA INFERIOR

PÀGINA 239



13.3 Subconjunt quadrilàter articulat

Aquest subconjunt es la part que articula el moviment del vehicle, que permet l'anomenada *leaning suspension*.

Les característiques generals del subconjunt són:

- Uneix el Xassís amb el Subconjunt Rodes
- Permet el moviment i retorn a la posició inicial gràcies a un amortidor i les articulacions de les barres
- Dóna al vehicle la capacitat d'amortir impactes

13.3.1 Ideació

El disseny del Subconjunt Quadrilàter Articulat és un dels que més s'han estudiat a través del paper. A continuació es mostra un recull dels primers esbossos. Més endavant es mostra el procés de disseny de cada barra.

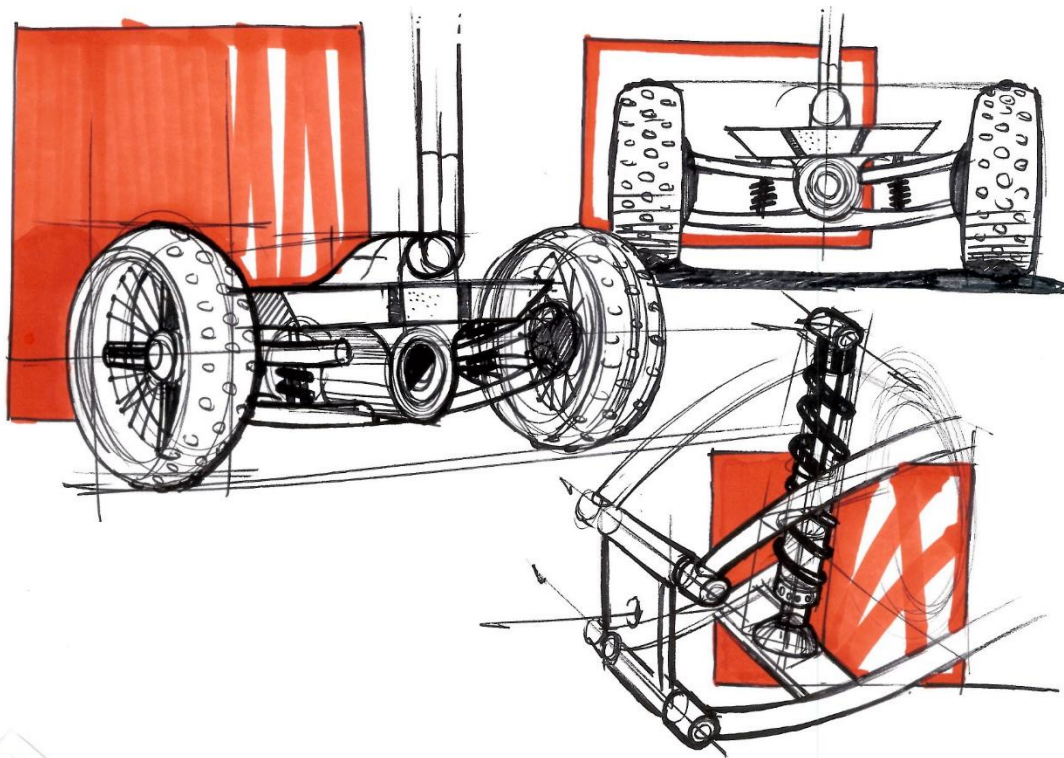


Figura 199: Sketching del quadrilàter articulat nº1

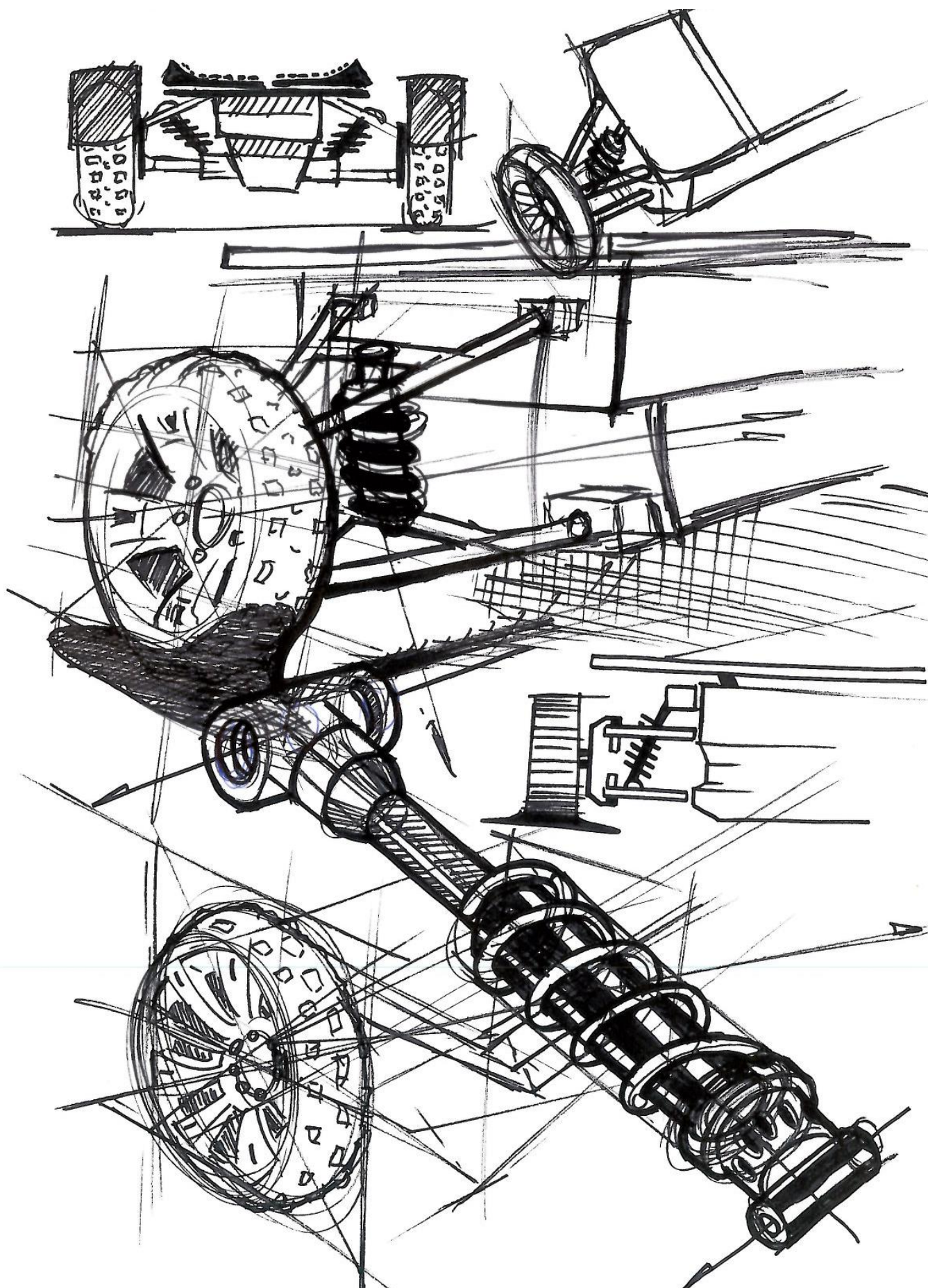


Figura 200: Sketching del quadrilàter articulat nº3

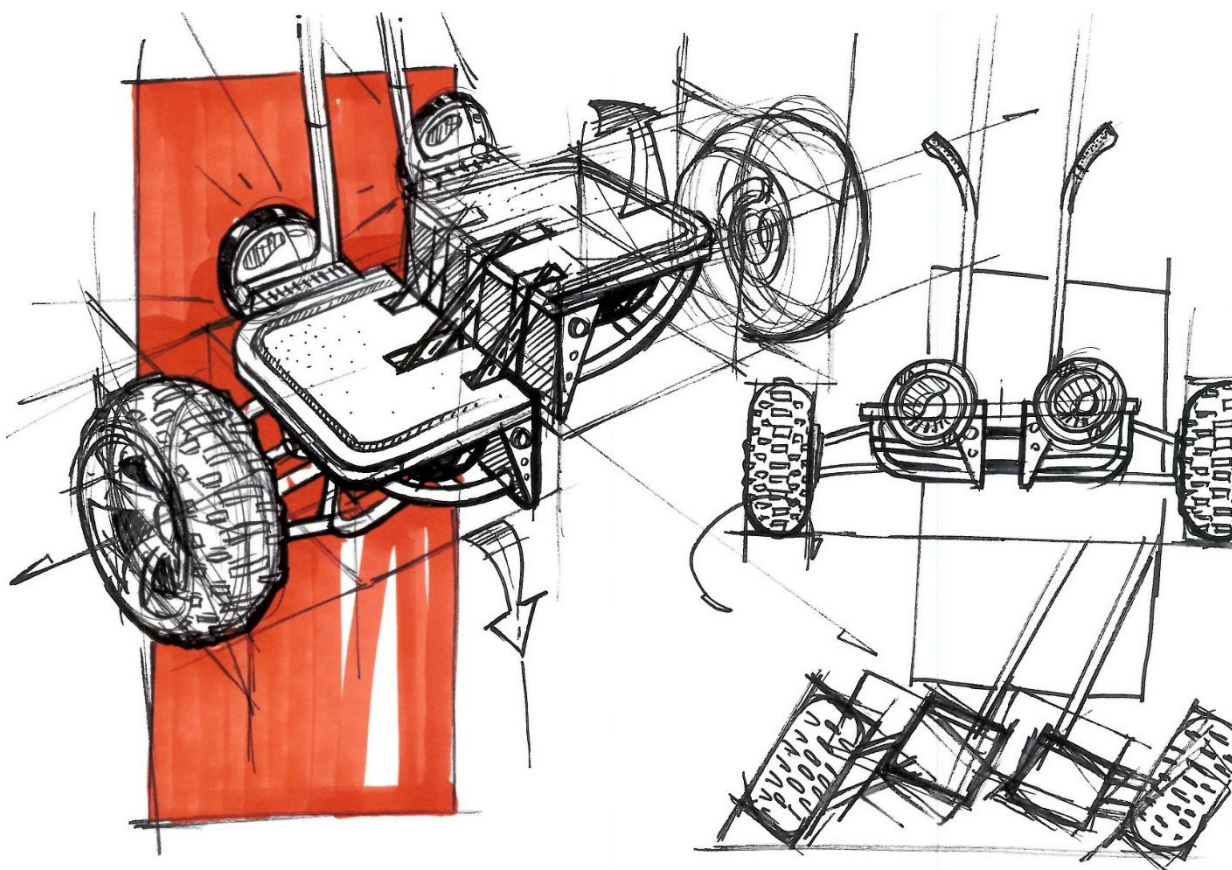


Figura 201: Sketching del quadrilàter articulat nº4

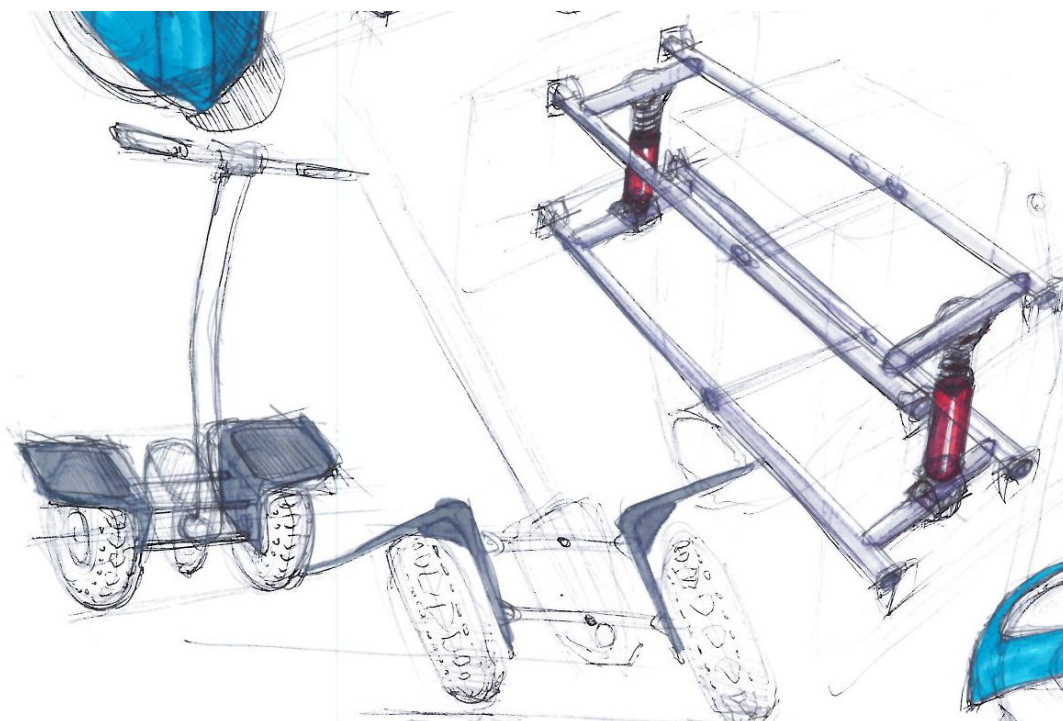


Figura 202: Sketching del quadrilàter articulat nº5

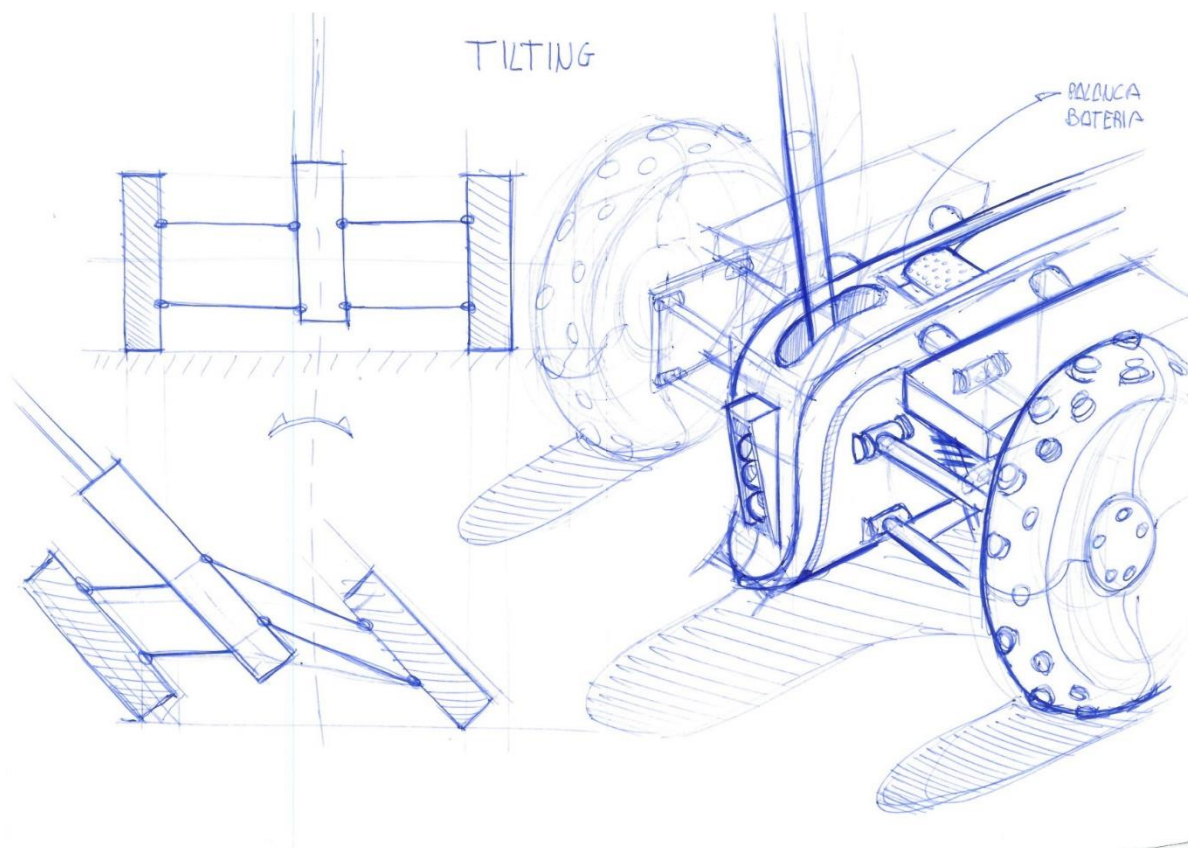


Figura 203: Sketching del quadrilàter articulat nº2

13.3.2 Barra lateral

La barra lateral és un dels quatre elements que configuren el quadrilàter articulat, és el més exterior del vehicle i el que queda connectat amb la roda. La seva funció és vital ja que manté les barres superiors i inferiors en una relació de paral·lelisme. També fa la funció de sustentar el parafangs.

13.3.2.1 Ideació

En un inici la barra lateral es va plantejar en forma d'"X" per articular quatre barres als seus extrems (Figura 204 i Figura 205), en el cas de la Figura 204 es va plantejar afegir un amortidor just abans de connectar amb la roda per tal que el vehicle amortís impactes verticals. La opció es va descartar per la complexitat que suposava i pel fet que les rodes s'allunyaven molt del centre del vehicle.

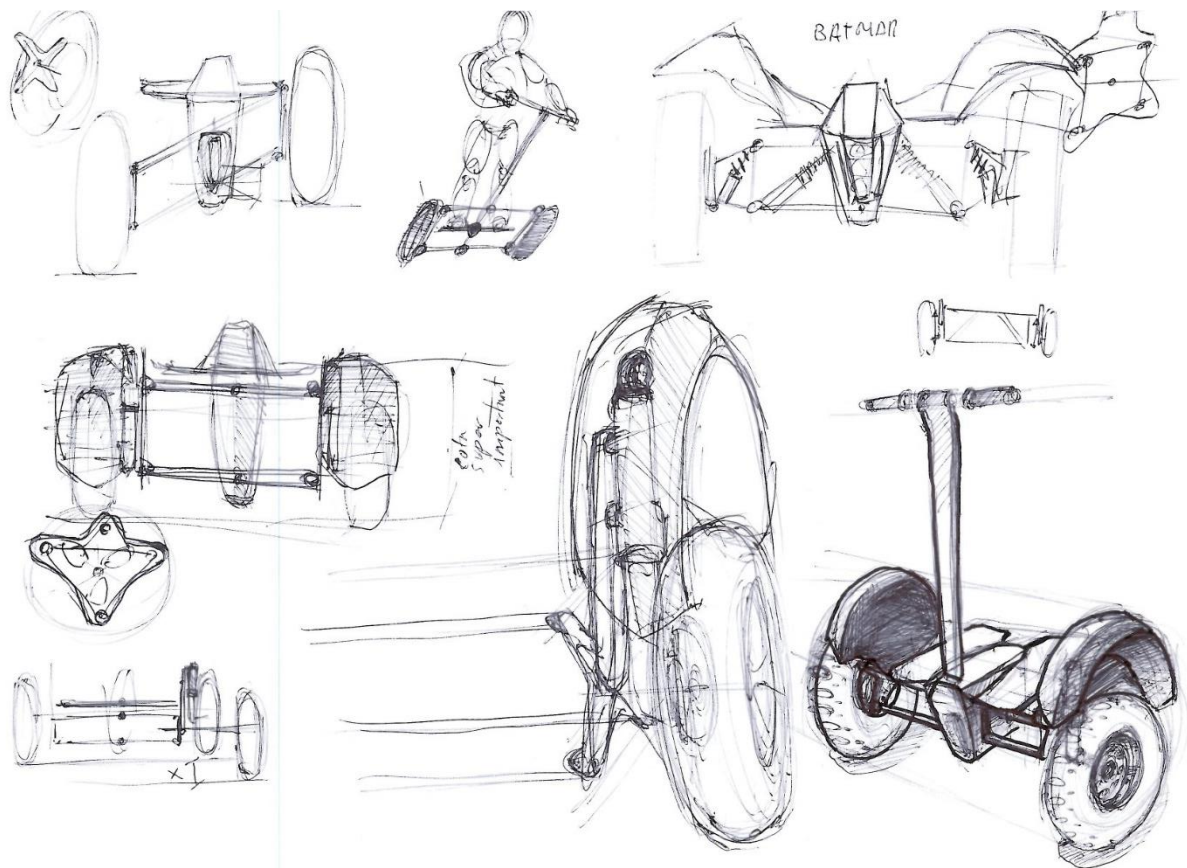


Figura 204: Primers esbossos de la barra lateral

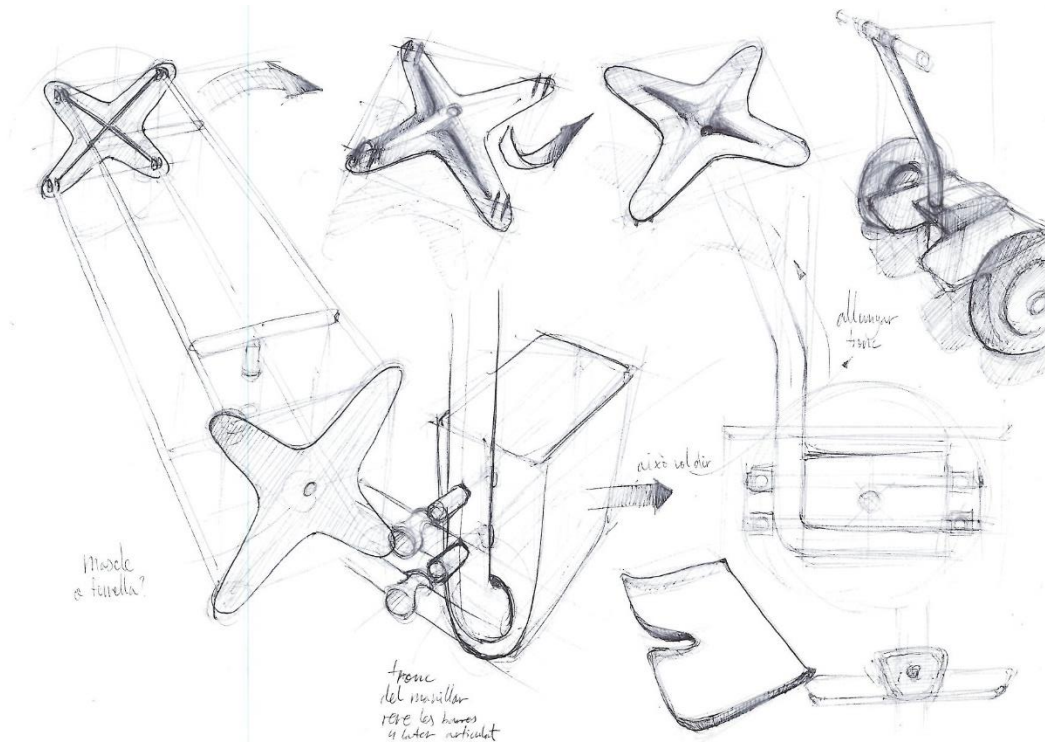


Figura 205: Plantejament de la forma de la barra

La morfologia de la barra sempre anava condicionada al desplegament tridimensional del quadrilàter, va haver un temps en que es van plantejar les bondats de fer un quadrilàter amb dues barres superiors i una inferior. Això duia a fer una barra lateral amb una forma triangular (Figura 206). A més, es va pensar en fer la peça lleugera gràcies a una estructura nervada interior.

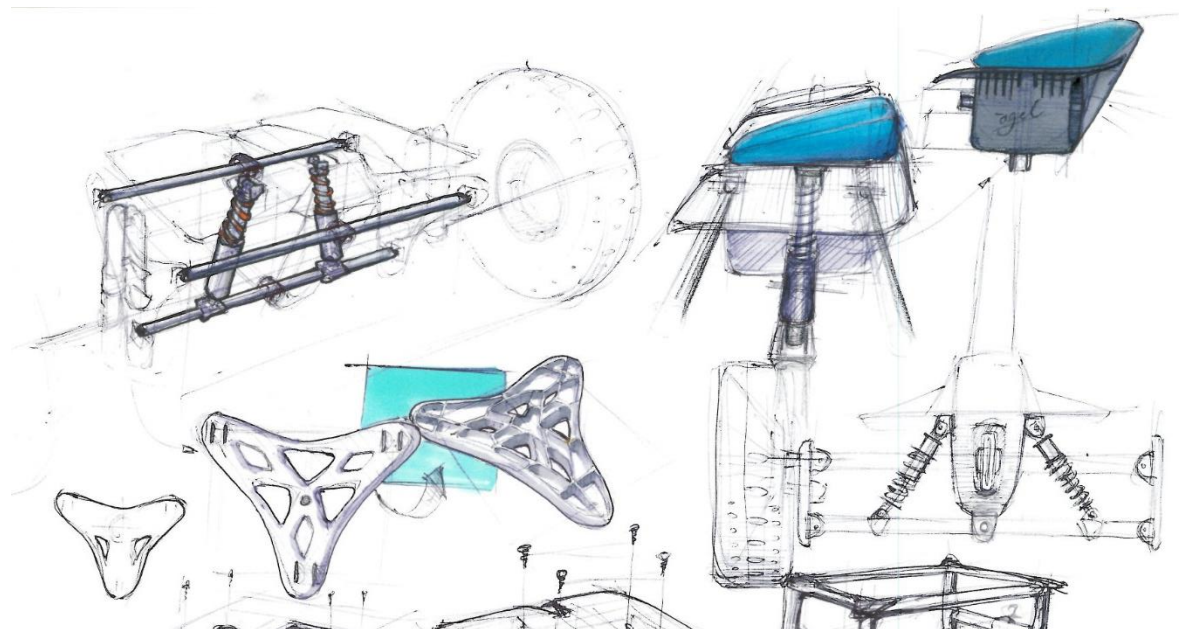


Figura 206: Barra lateral triangular i nervada

A mesura que es definia més el quadrilàter s'anava acorant la morfologia de la peça. A la Figura 207 s'aprecia que ja es comptava amb un forat passant per l'eix del motor HUB, amb dues orelles per articular les barres superiors i un forat roscat per a adjuntar-li una ròtula

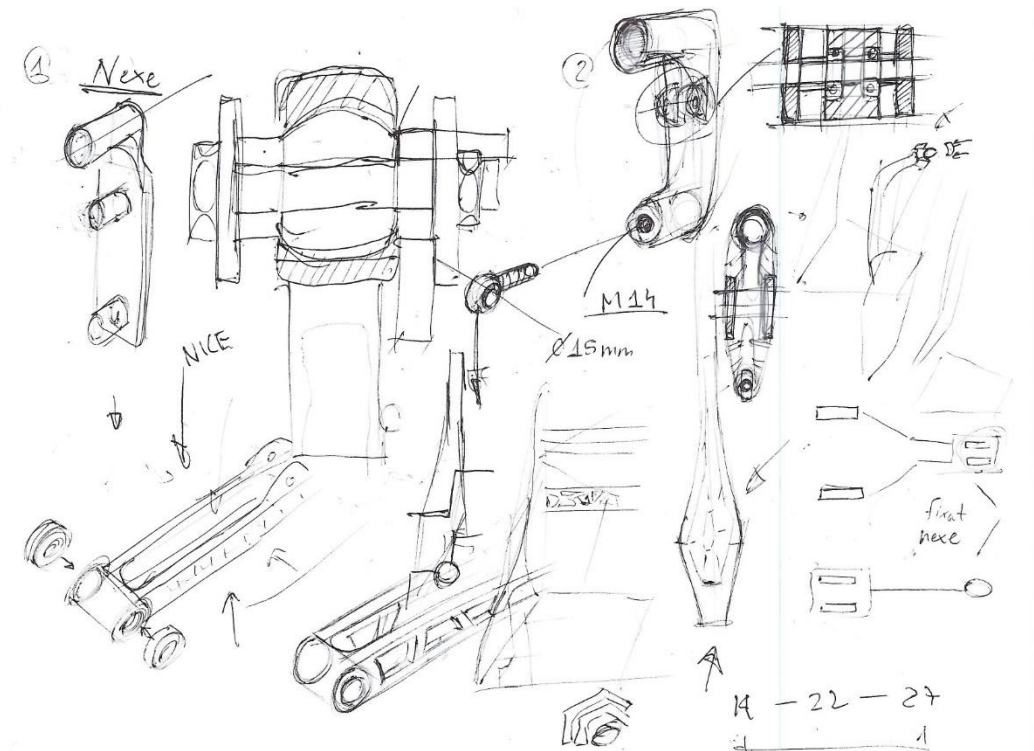


Figura 207: La barra lateral apropant-se a la solució definitiva

La versió definitiva de la barra va quedar definida a la sèrie d'esbossos de la Figura 208.

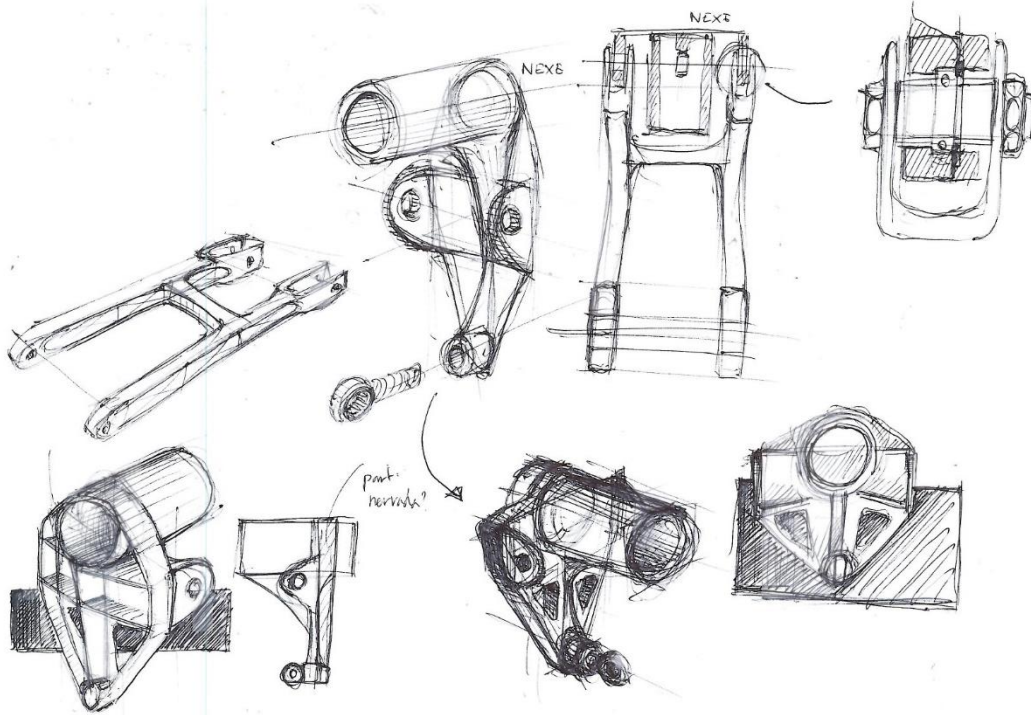


Figura 208: Definició de la peça

Es va reflexionar sobre la funcionalitat de la peça i es van plantejar altres maneres d'assolir la mateixa funció. En aquest cas l'equip es va inspirar en les barres laterals de la *Brudeli* (pàg. lxxx).

Tot i que la peça de la *Brudeli* és més simple, es va descartar copiar-la perquè és més feble que la dissenyada per l'equip.

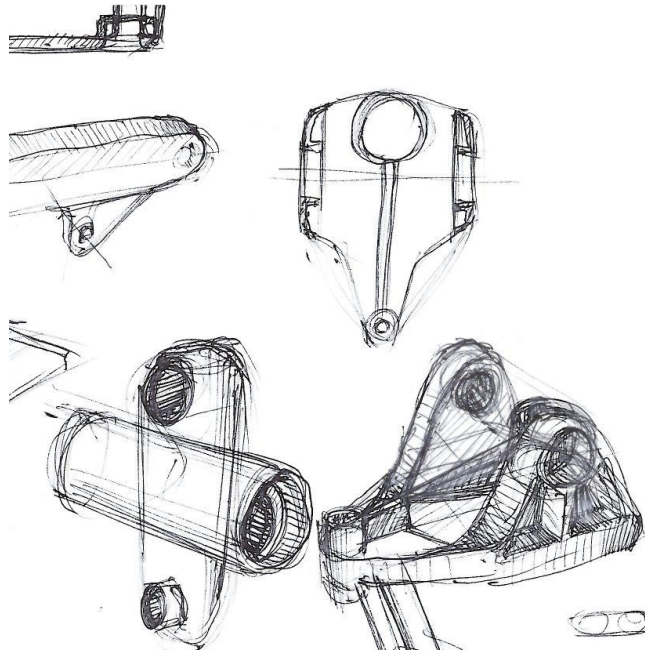


Figura 209: Plantejament d'altres opcions de barra

13.3.2.2 Estudis FEM

El primer estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar esforços forts. La hipòtesi de l'estudi és que la barra ha d'absorbir esforços després d'un salt; el quadrilàter s'ha tancat i la camisa de l'amortidor ha arribat al seu extrem.

Material: Alumini 6061 (T6)

Càrrega: 2000N aplicats al forat de l'eix del motor HUB i als allotjaments dels rodaments a les dues orelles superiors.

Part fixe: L'àrea roscada on queda cargolada la ròtula.

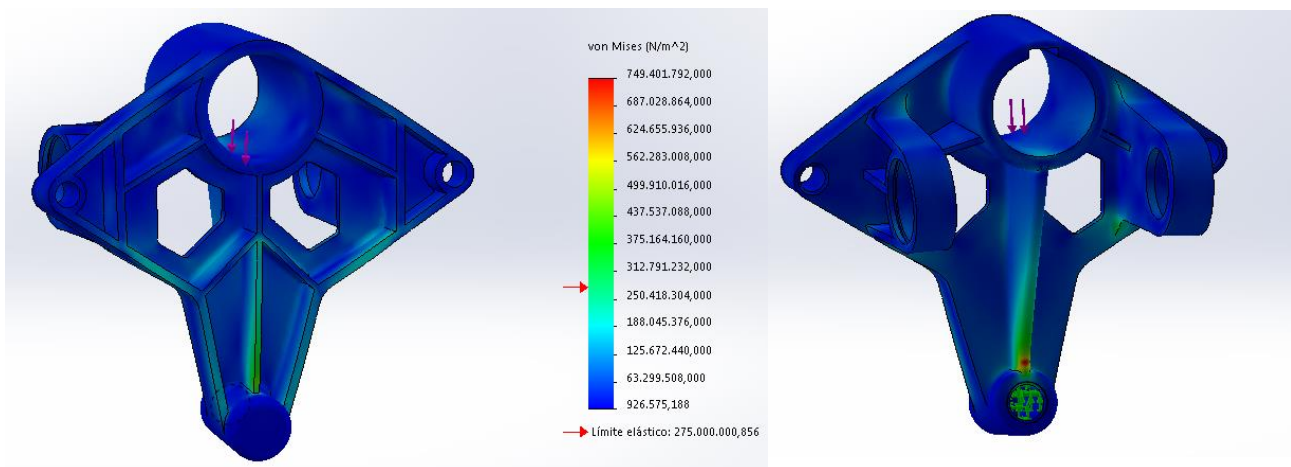


Figura 210: Primer estudi, es mostren les dues cares de la peça

La zona més carregada, on es concentren més tensions, és just en el punt d'inflexió del nervi. Es proposa una acció correctiva consistent en modificar-ne la geometria rectificand dit nervi.

Després d'aplicar el canvi (Figura 212) la peça pateix menys però segueix concentrant tensions. La següent acció correctiva és ampliar el nervi central a la part inferior.

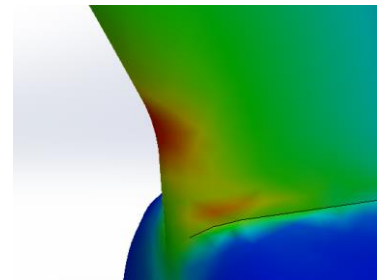


Figura 211: Ampliació del nervi on es concentren les tensions

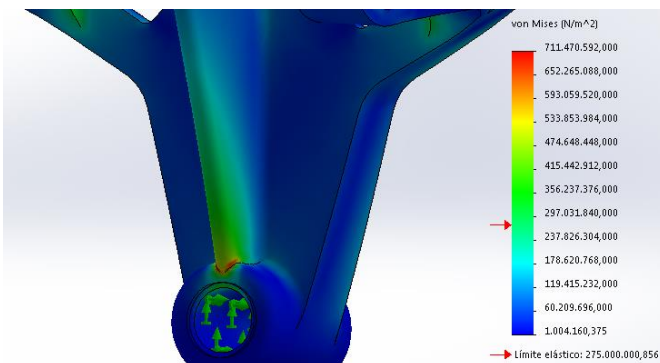


Figura 212: El final del nervi segueix concentrant tensió

La peça però segueix patint massa.

La següent hipòtesi de millora és connectar amb un nervi (a ambdós costats), les parts marcades a la Figura 213, que són les que més pateixen.

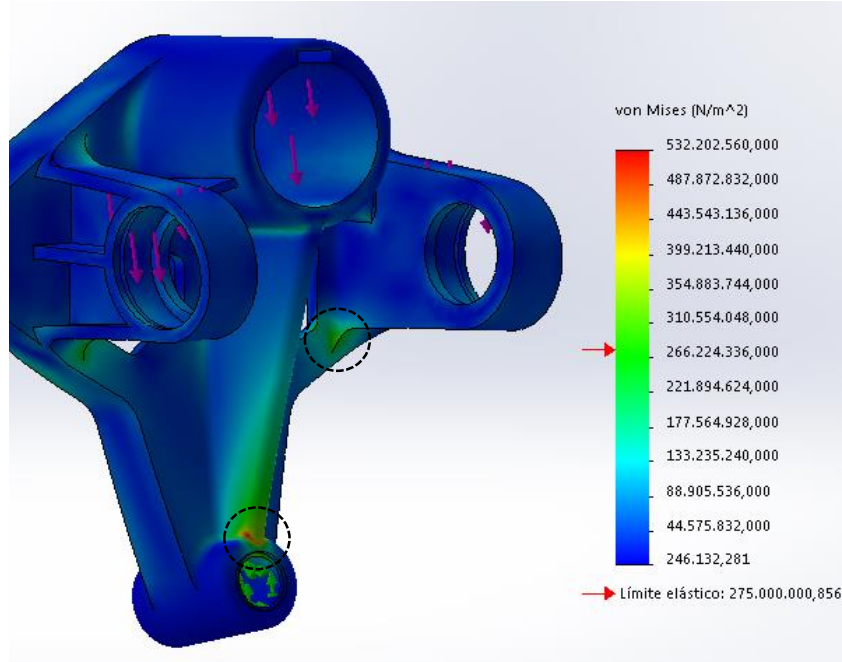


Figura 213: Parts que pateixen més tensió

Després de les mesures aplicades la peça queda molt reforçada (Figura 214). Només queden petites concentracions de tensions que es poden considerar negligibles

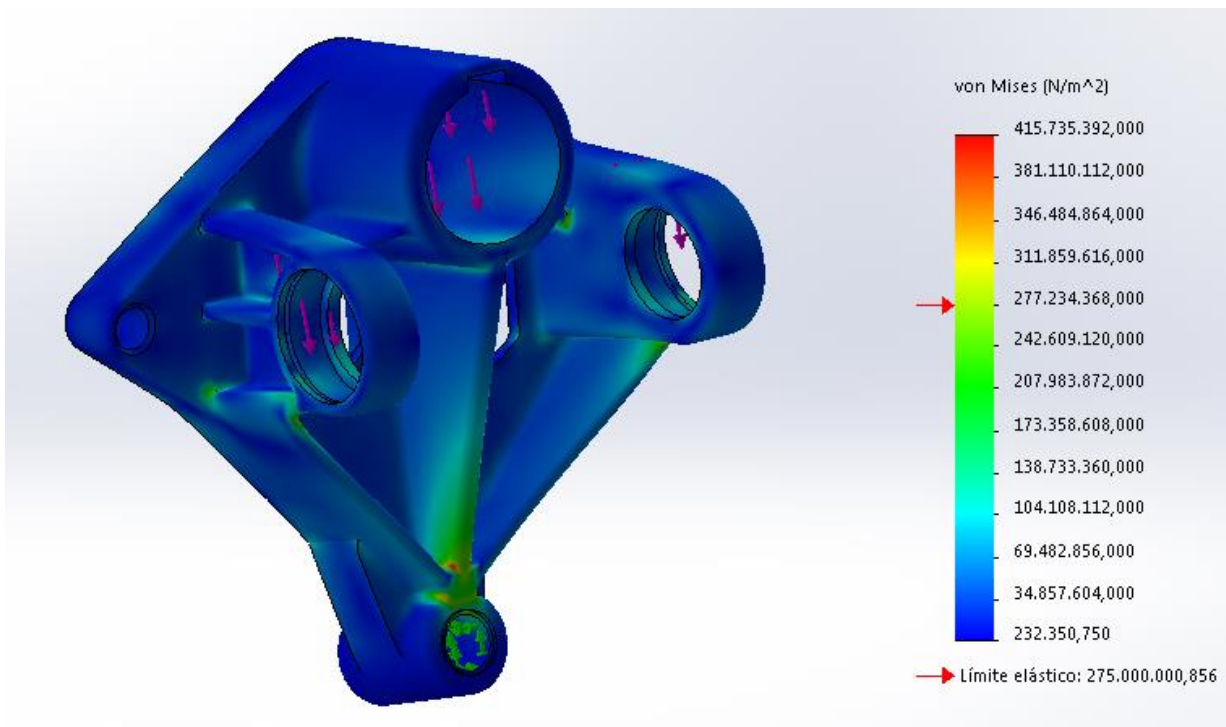


Figura 214: Nou estat de tensions després d'afegir nous nervis

A més, la deformació més gran que es produeix és d'1 mil·límetre a les parts més allunyades del forat roscat (Figura 215)

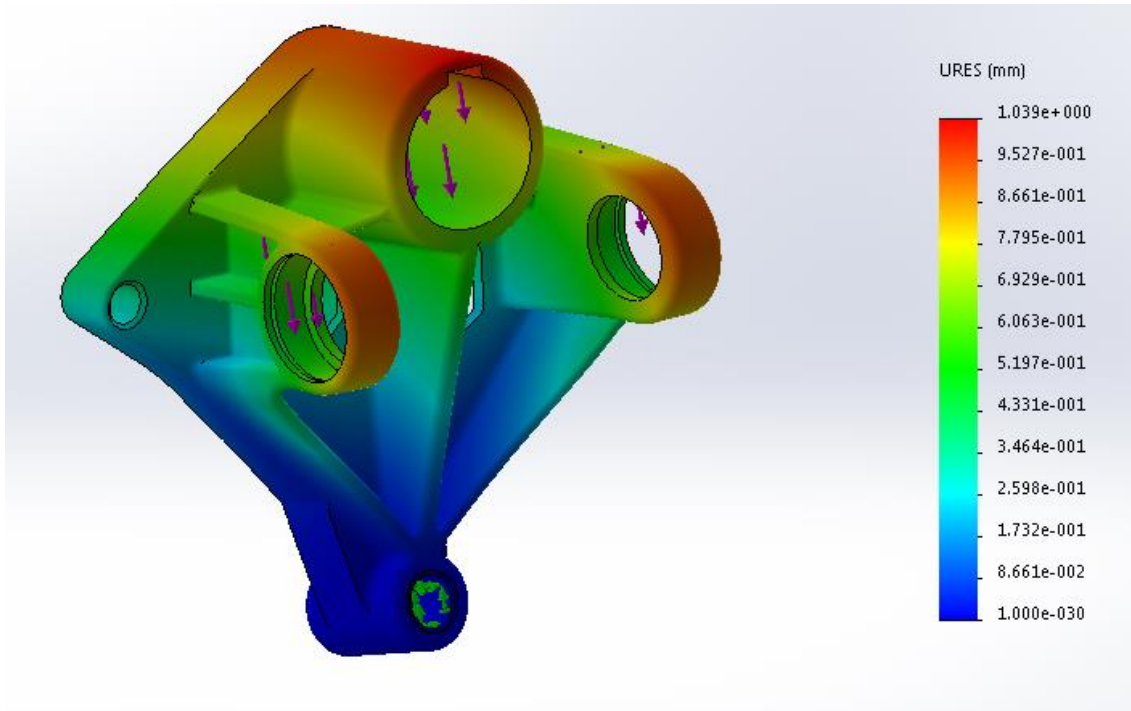


Figura 215: Deformacions de la última versió de la peça

Si es canvien les restriccions, zona fixa on abans hi havia càrregues i zona amb càrrega on abans era fixe el resultat és molt satisfactori, els punts que pateixen més tenen una tensió molt per sota del límit elàstic (Figura 216).

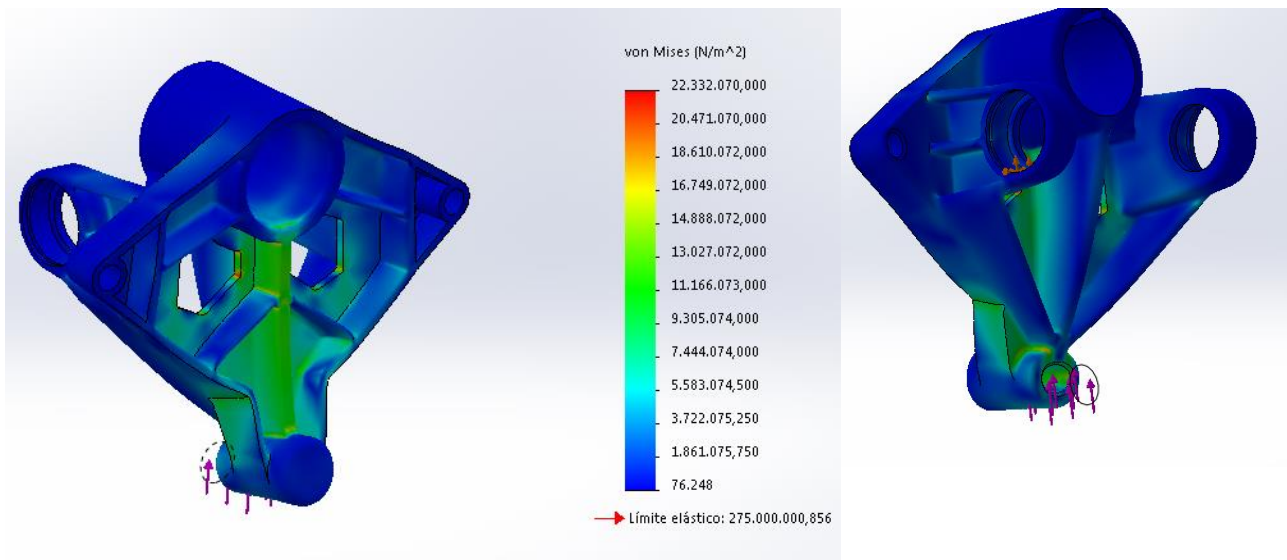


Figura 216: Tensions a les dues cares de la peça en el nou estudi

La deformació és pràcticament inexistent com s'aprecia a la Figura 217.

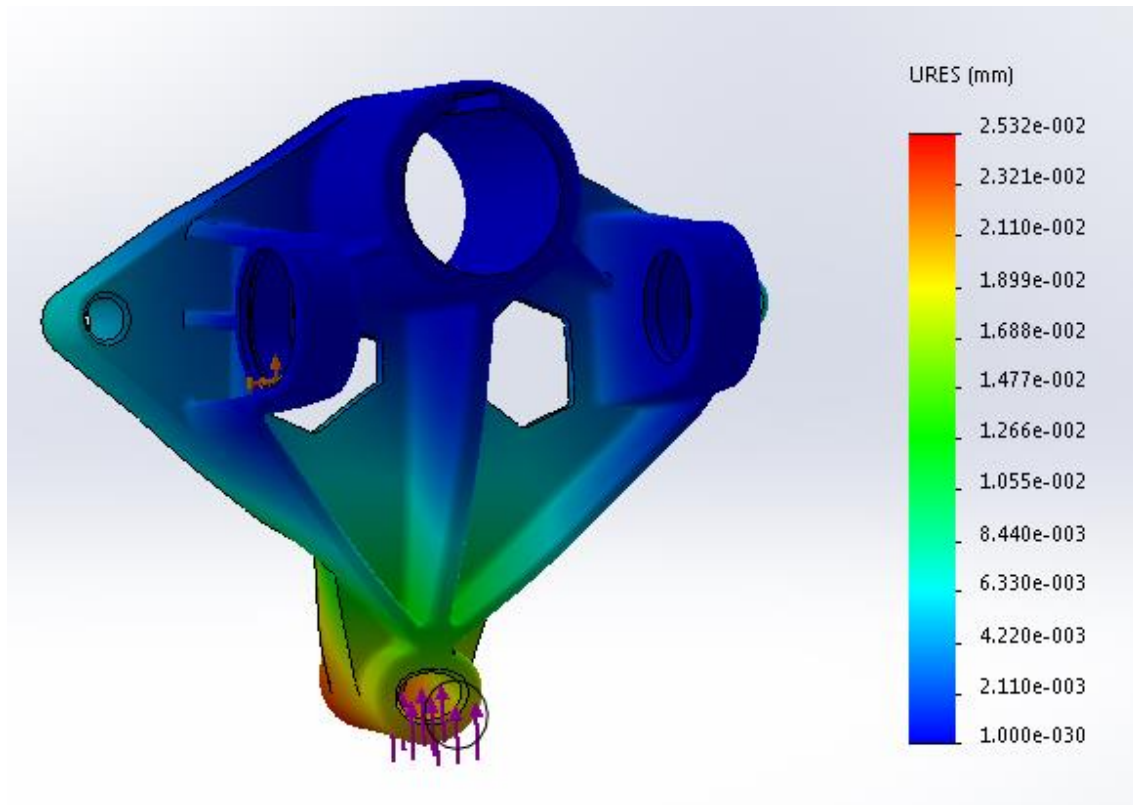


Figura 217: Deformacions en el nou estudi

El segon estudi efectuat simula el comportament del xaveter i com actua amb un moment flector efectuat per l'eix del motor HUB

Material: Alumini 6061 (T6)

Càrrega: 6N·m aplicats al la paret lateral del xaveter.

Part fixe: L'àrea roscada on queda cargolada la ròtula i les orelles superiors.

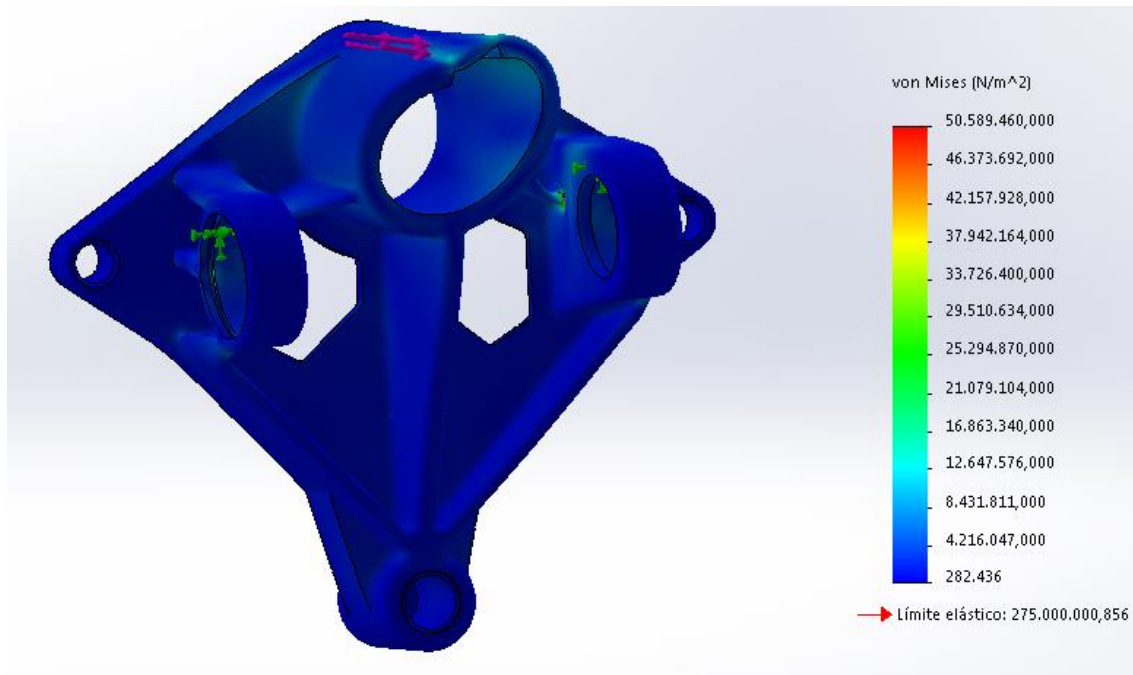
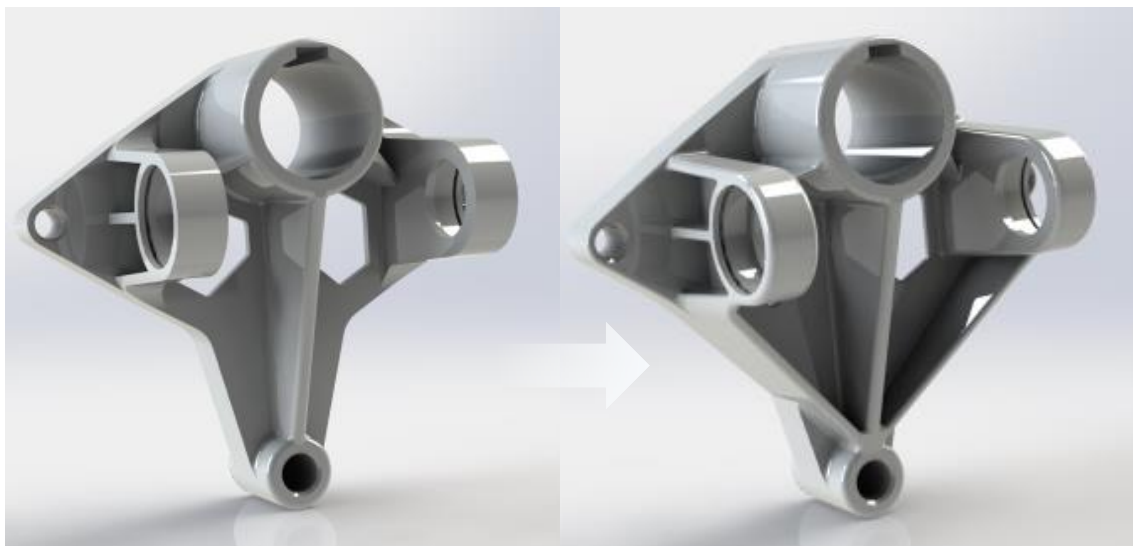


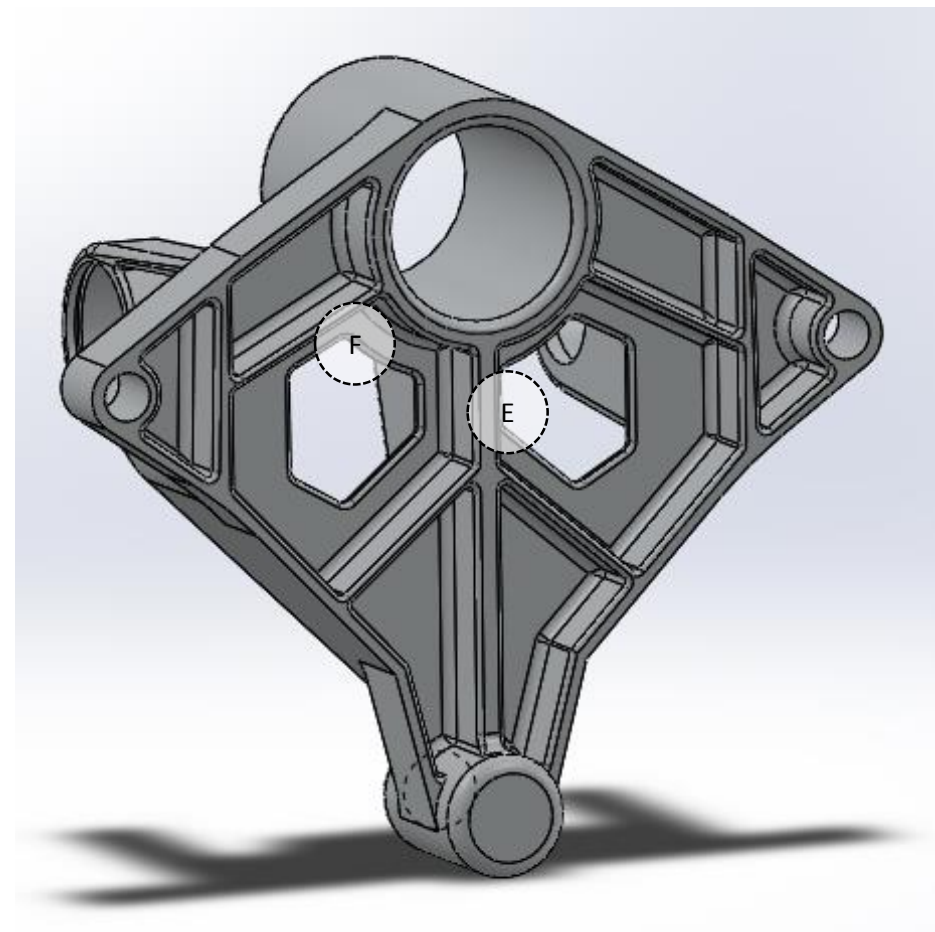
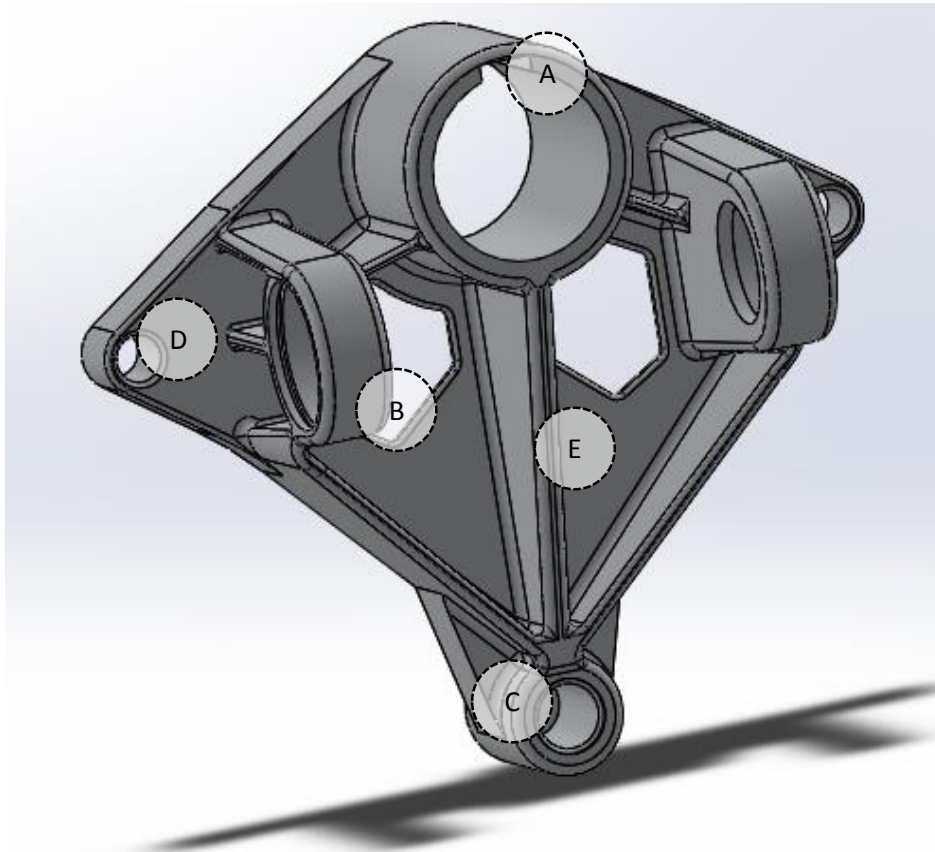
Figura 218: Tensions de la peça en aplicar moment torsor

Com s'observa a la Figura 218 la peça es veu sol·licitada molt per sota del límit elàstic, per tant es pot concloure que **n'hi ha prou amb una xaveta** per bloquejar la torsió relativa entre l'eix del motor HUB i la barra lateral.

L'abans i el després dels estudis FEM és el següent:



13.3.2.3 Característiques funcionals de la peça



- A: El forat passant allotja l'eix del Motor HUB, per evitar gir relatiu entre l'eix i el forat s'hi mecanitza un xaveter on s'hi introdueix una xaveta
- B: Les orelles de les Barres superiors estan dissenyades per allotjar un rodament cada una. També tenen una ranura per fixar-hi un anell *Segger* que bloqueja la posició del rodament.
- C: La part inferior de la peça és un tac amb una rosca cega mecanitzada. Està dissenyada per allotjar-hi el cargol d'una ròtula que es connecta amb les barres inferiors.
- D: Als dos extrems de la Barra lateral hi ha dos forats passants roscats. S'usen per fixar-hi el Parafang.
- E: Tota la part frontal i posterior de la peça té nervis dissenyats per mantenir la resistència de la peça i reduir-ne al màxim el pes.
- F: Els dos forats centrals de la peça es fan per estalviar material en una zona poc crucial pel que fa a la seva resistència.

13.3.3 Barra superior

La barra superior té com a única funció la de connectar el quadrilàter unint la Barra lateral amb el Xassís.

13.3.3.1 Ideació

Com que la barra està condicionada al tipus de distribució que segueix el quadrilàter als primers esbossos es van dissenyar unes barres superiors llargues que connectaven les dues barres laterals i en el punt central hi tenien l'allotjament per a un rodament que articulés el moviment.

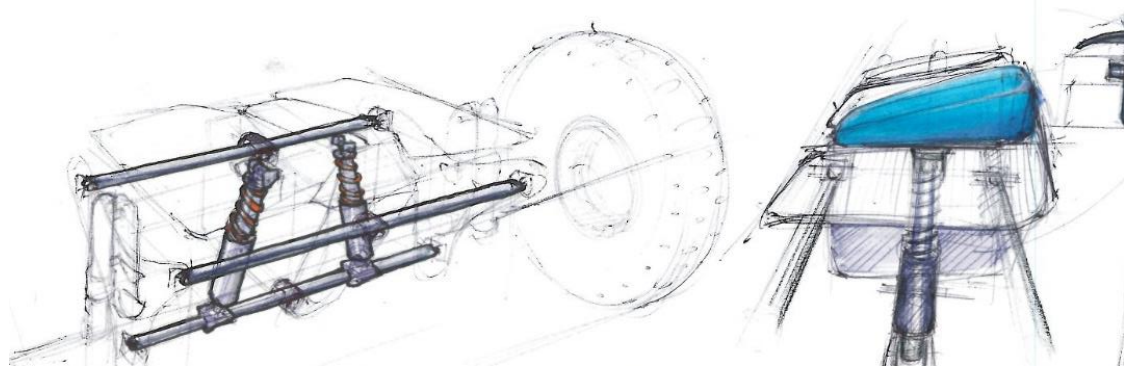


Figura 219: Primeres opcions de distribuir les barres

En un temps en que es va plantejar fer un xassís minimalista es va apostar per disposar una sola barra superior que es bifurqués per evitar xocar amb l'amortidor. La idea es va descartar.

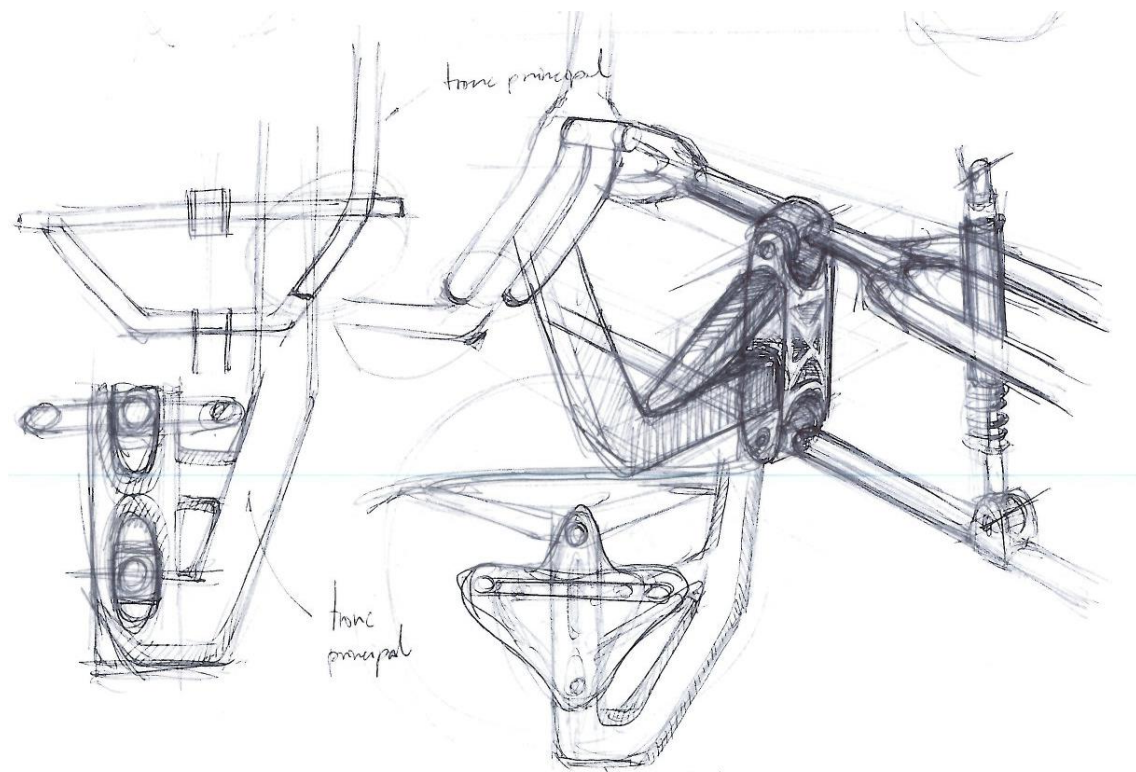


Figura 220: Altres opcions de barres superiors

Entrant en el detall de com havia de ser l'allotjament del rodament es van definir les possibilitats de com fixar-lo.

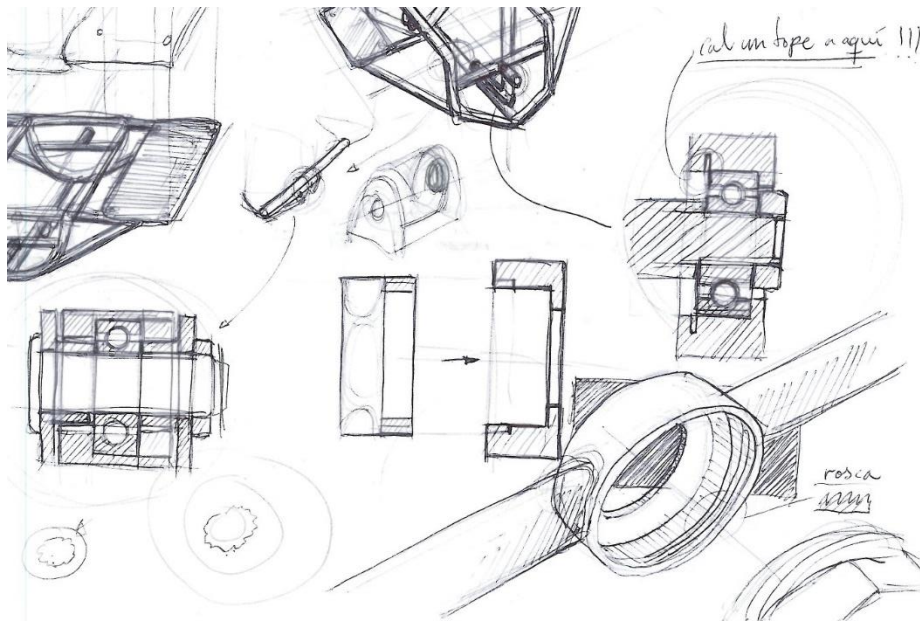


Figura 221: Opcions de fixació del rodament

El quadrilàter i el xassís ja estaven molt més definits quan es va plantejar posar ròtules a tots els punts d'articulació del quadrilàter i això va dur a l'equip a fer una barra superior amb forma d'"Y"; a cada extrem hi havia un tac de material roscat on se li adjuntaven les ròtules mascle.

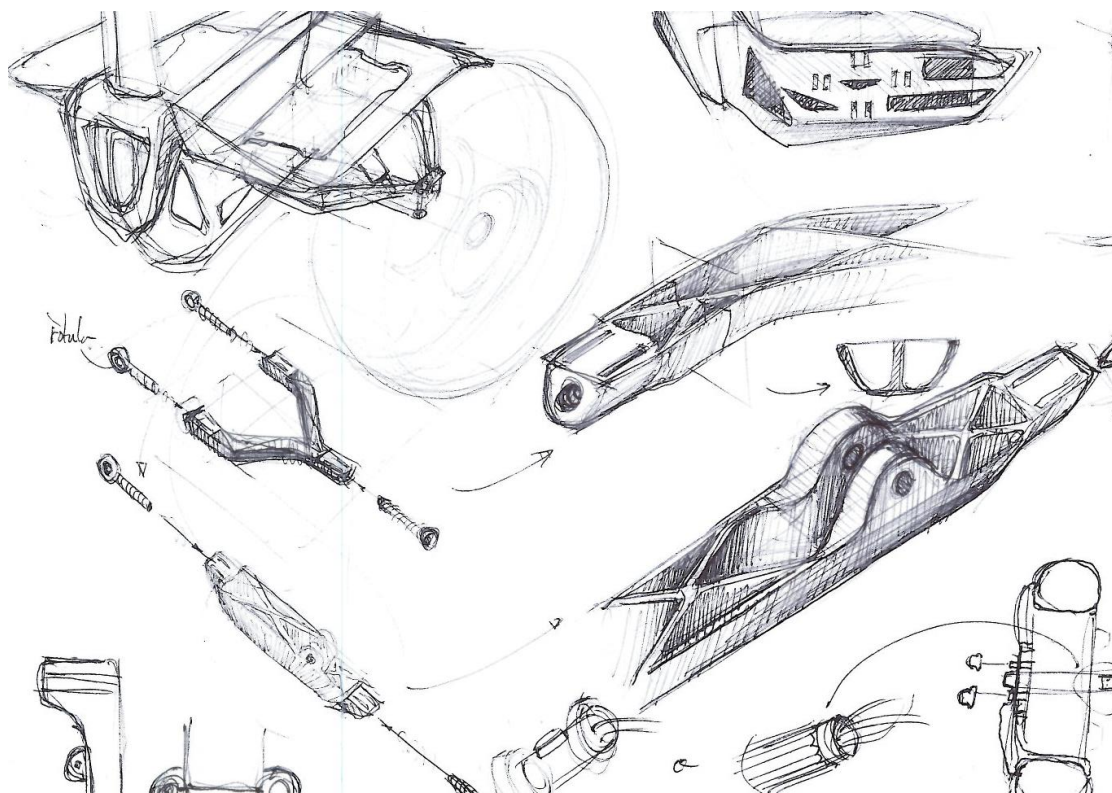


Figura 222: Disseny de les barres per allotjar ròtules als extrems

La opció es va descartar perquè es va creure que es donava massa joc de moviment al quadrilàter i podia espatllar l'experiència de conducció.

El següent pas va ser dissenyar una barra, que realment n'eren dues i quedaven unificades per un travesser. Posteriorment aquest últim disseny es va descartar pel risc que suposava que impedisís recorregut de l'esmorteïdor i perquè restava possibilitats en el procés de fabricació de la barra. A l'esbós s'aprecia que en aquest punt ja s'havia determinat la posició de tots els elements que permetien una correcta articulació (rodament, anell *Segger*, cargol, femella, etc.).

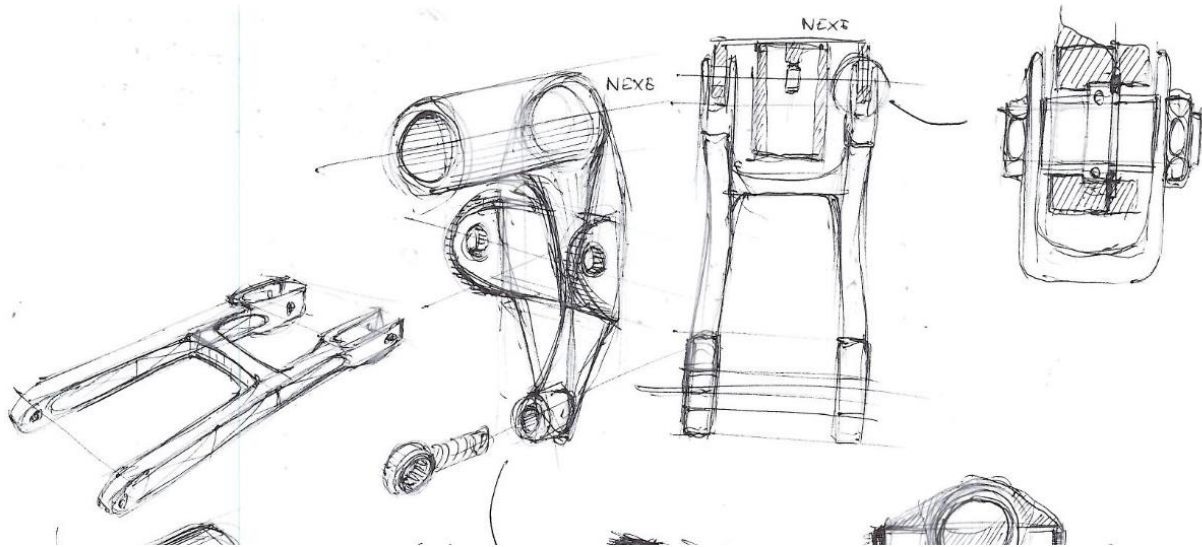


Figura 223: Doble barra superior

Havent tret el travesser es van plantejar dues barres (una simètrica de l'altra) amb un nervat interior i un perfil en forma de biga tipus "C". Aquesta acabava amb dues orelles destinades a quedar unides amb les orelles de la barra lateral.

La inspiració del nervat en creu va sortir de la barra posterior (basculant) de la KTM *Duke* (Figura 225). L'equip va considerar que era una solució molt estètica.

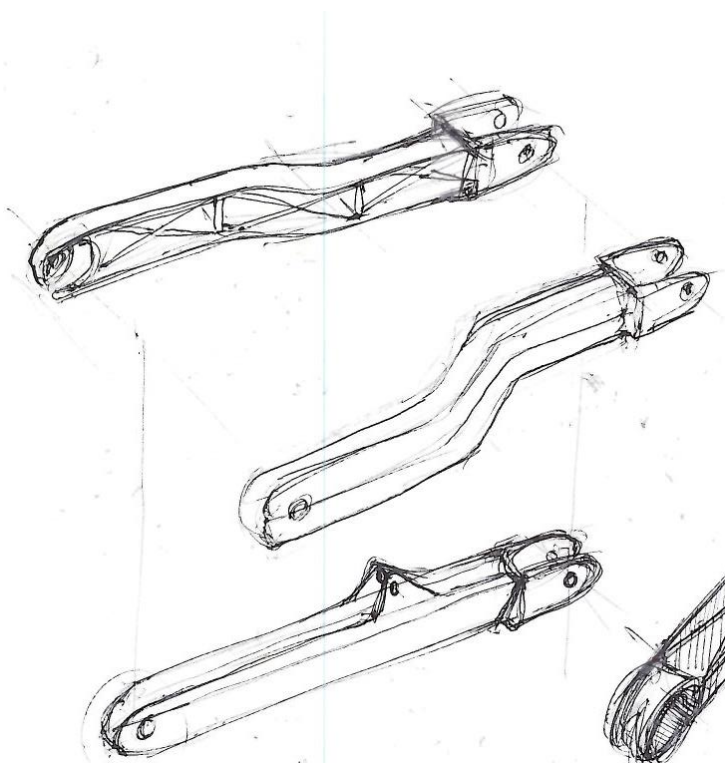


Figura 224: Últim disseny en paper de la barra superior



Figura 225: Estructura nervada del basculant de la KTM Duke

13.3.3.2 Estudis FEM

El primer estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar esforços forts. La hipòtesi de l'estudi és que la barra ha d'absorbir esforços després d'un salt; el quadrilàter s'ha tancat i la camisa de l'amortidor ha arribat al seu extrem.

Material: Alumini 6061 (T6)

Càrrega: 1000N aplicats als forats de l'eix (cargol) de les dues orelles que connecten amb la orella de la barra lateral.

Part fixe: Superfície de contacte amb el rodament.

En els primers estudis s'observa un comportament general bo de la peça exceptuant una de les columnes verticals que reforça la peça i el punt d'encreuament de dos nervis (detall a Figura 227). L'acció correctiva que es proposa, és ampliar el nervi problemàtic i enrasar els nervis més problemàtics amb la cara més externa de la peça.

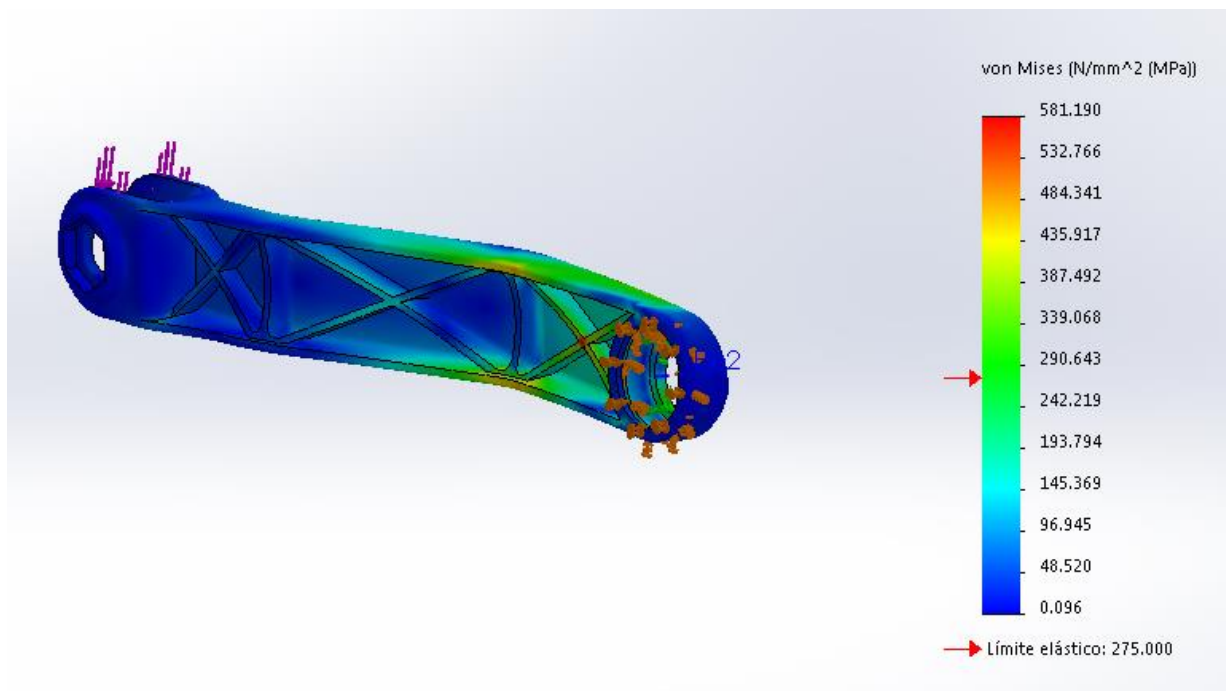


Figura 226: Primer estudi de tensions de la barra

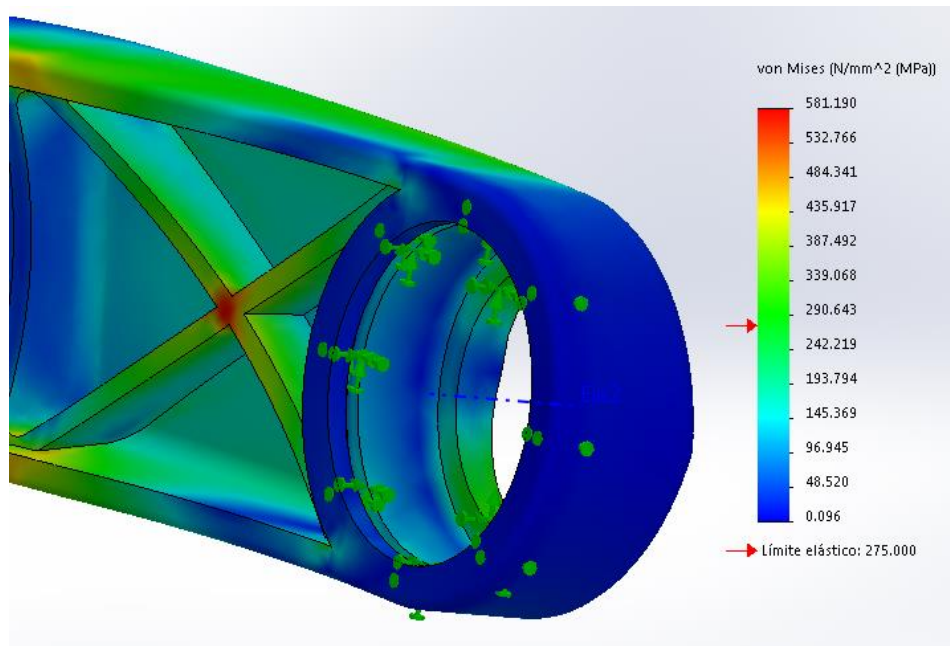


Figura 227: Detall del punt de concentració de tensions

Havent fet el canvi es pot apreciar una gran reducció de la tensió general de la peça però apareix un nou punt de concentració de tensions. Siguis com sigui, exceptuant certs punts de concentració, les tensions generals estan molt a prop del límit elàstic. A més la deformació màxima es de quasi 4 mm a l'extrem de la peça (Figura 229). Es proposa una següent acció correctiva que consisteix en augmentar el gruix general de la barra.

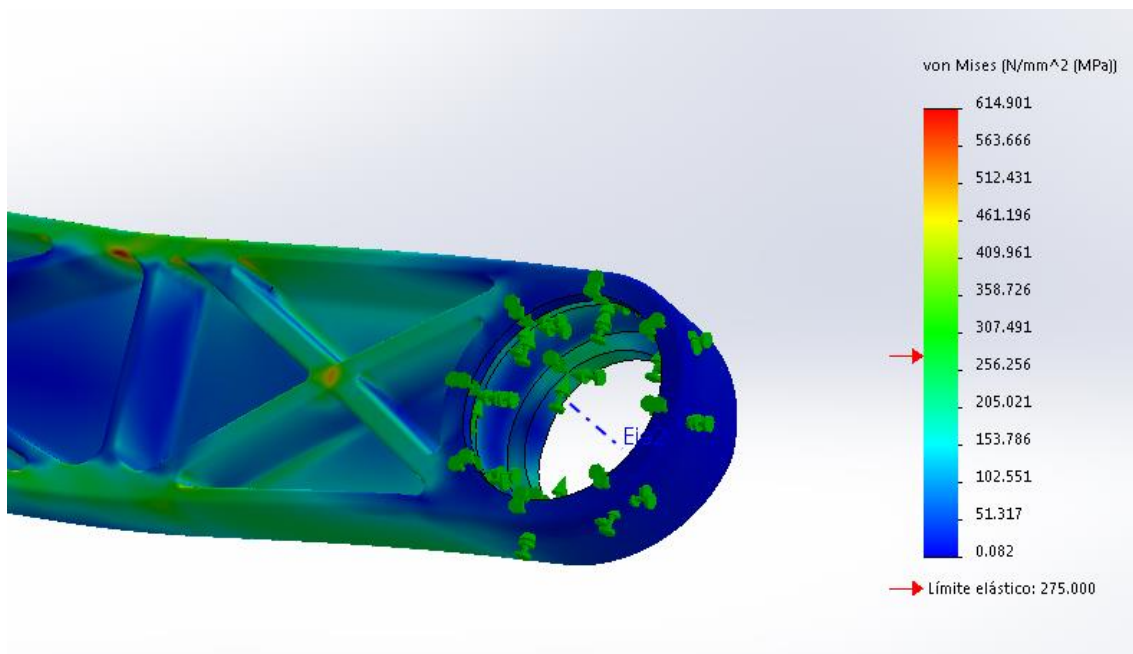


Figura 228: Zona de tensions després de la modificació dels nervis

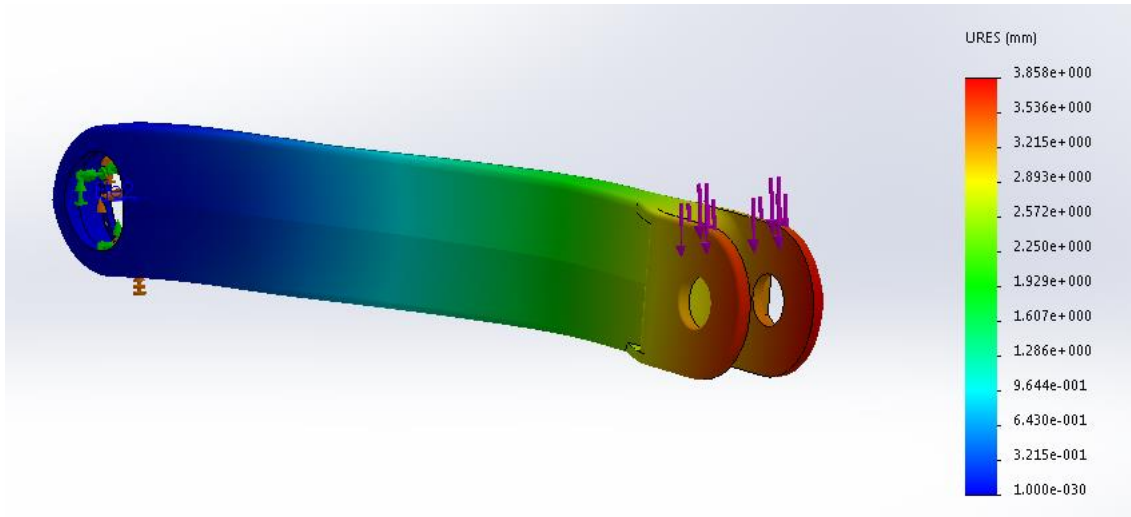


Figura 229: Deformacions després de la primera modificació

L'acció correctiva s'ha combinat amb un canvi del nervat. S'han eliminat els nervis verticals i s'han suprimit moltes concentracions de tensions.

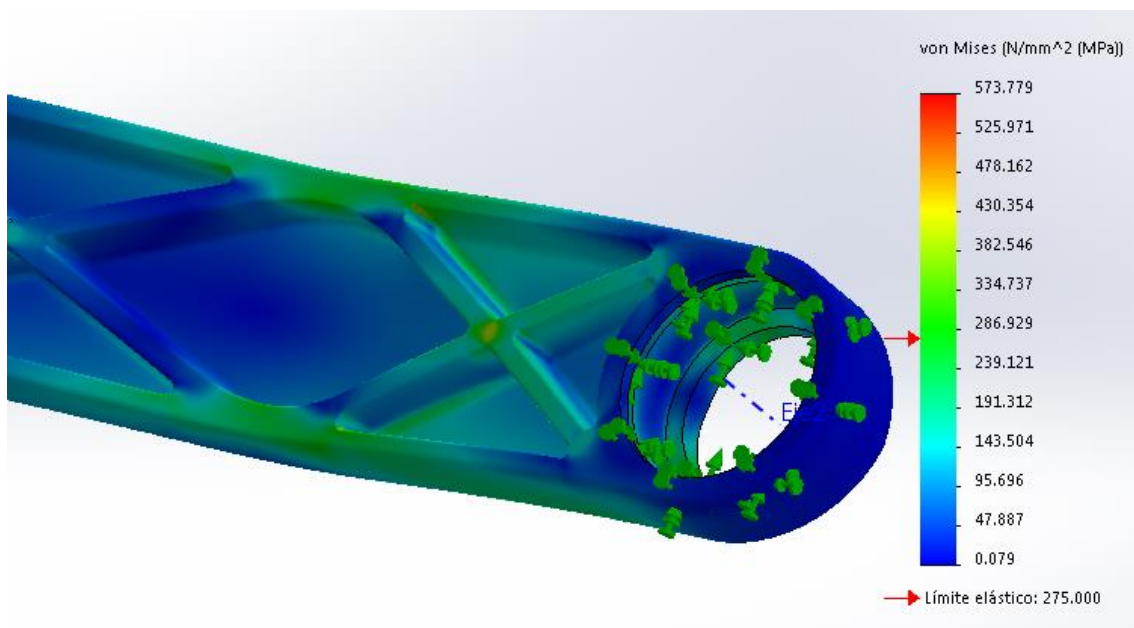


Figura 230: Tensions després del canvi de nervat i guix de la peça

El desplaçament màxim també queda reduït:

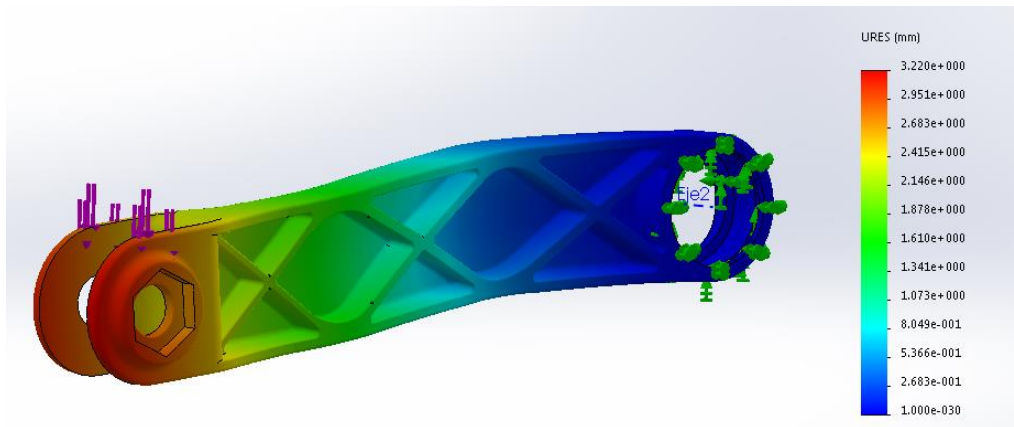
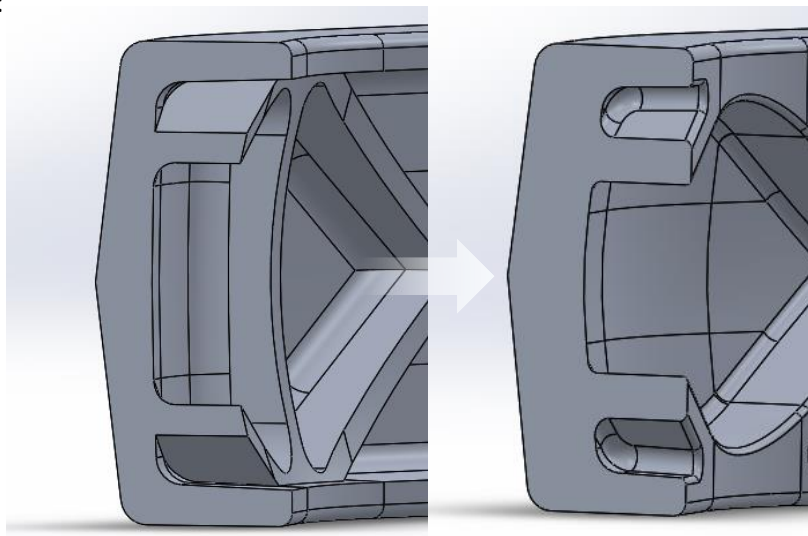


Figura 231: Desplaçaments de la peça del disseny final

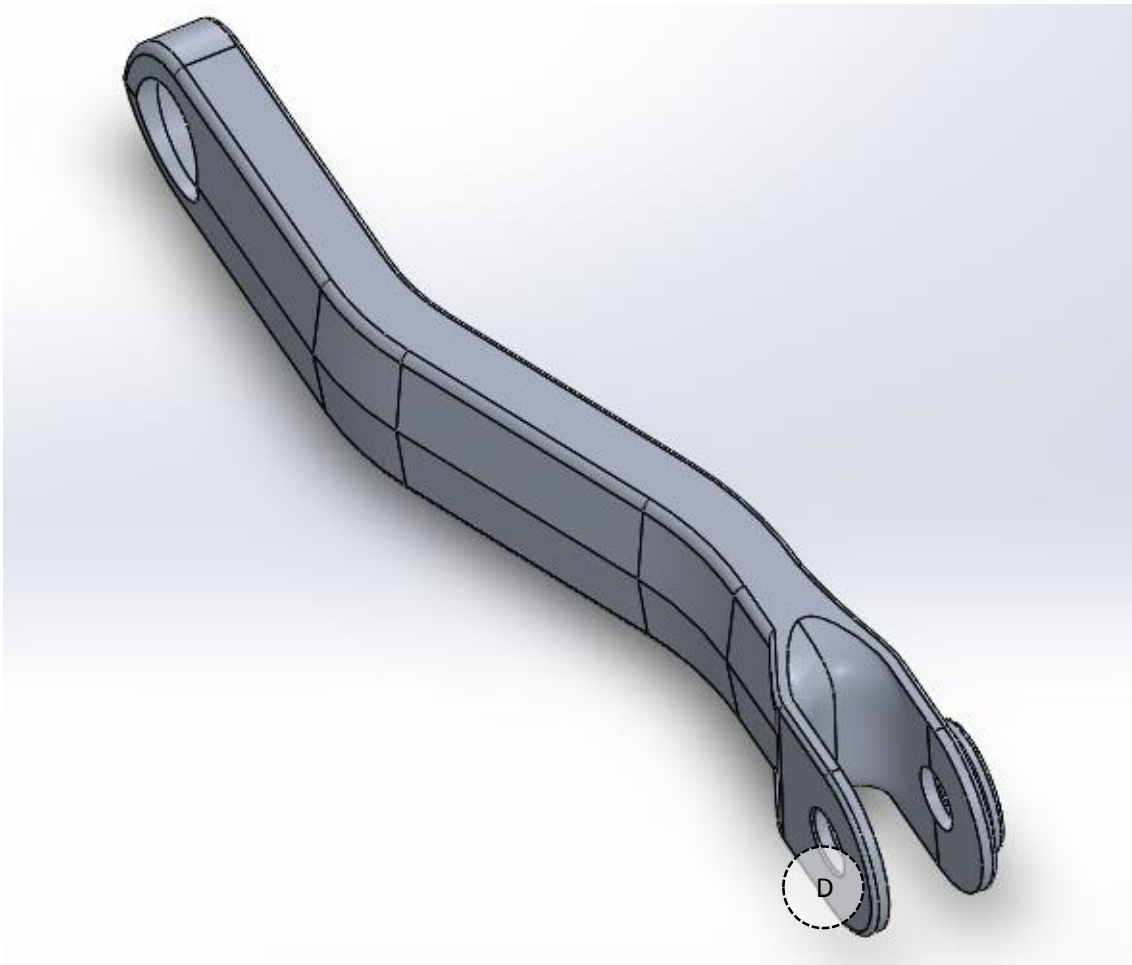
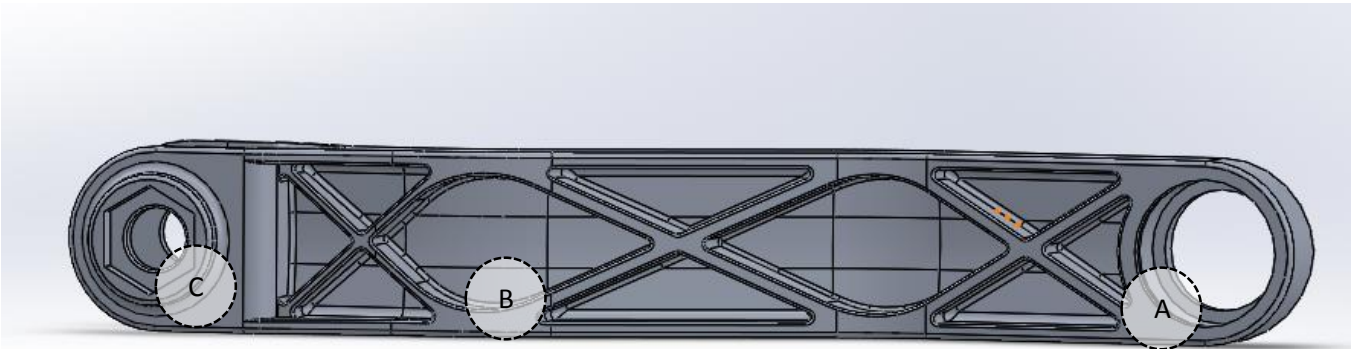
L'abans i el després dels estudis FEM és el següent:



El perfil de la peça ha canviat substancialment, tant els nervis com el perfil principal s'han fet més gruixuts:



13.3.3.3 Característiques funcionals de la peça



A: Allotjament pel rodament que connecta amb les orelles del xassís

B: Nervat de reforç de la barra

C: Forma hexagonal per bloquejar la femella que es col·loca per fixar el cargol que fa d'eix.

D: Les dues orelles s'adapten a les orelles de la barra lateral, el forat central centra el cargol.

13.3.4 Barra inferior

La barra inferior serveix per connectar el quadrilàter, unint la Barra lateral amb el Xassís, i per articular el moviment de l'amortidor. Aquesta barra es connecta amb la barra lateral mitjançant una ròtula.

13.3.4.1 Ideació

En un principi es va apostar per dissenyar una sola Barra inferior que connectés el xassís i la barra lateral a través de ròtules, a més un parell d'orelles articulaven el moviment de l'amortidor.

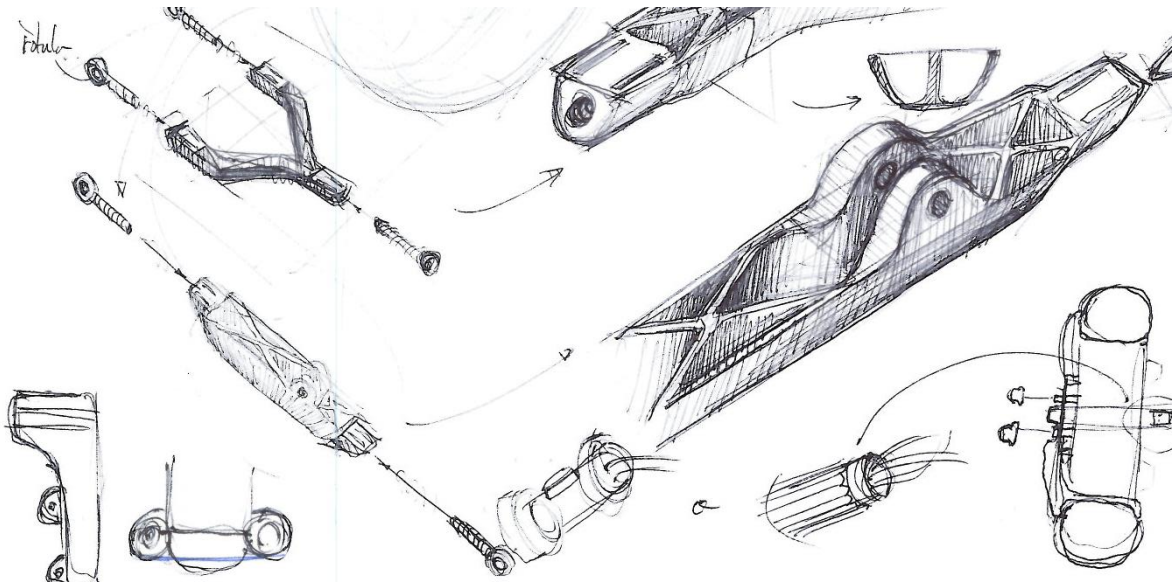


Figura 232: primeres opcions de barra inferior

Quan es va descartar posar ròtules en totes les articulacions del quadrilàter es va dissenyar una barra inferior que tenia en un extrem, l'allotjament per un rodament i a l'altre, dues orelles per agafar-se a la ròtula (Figura 234).

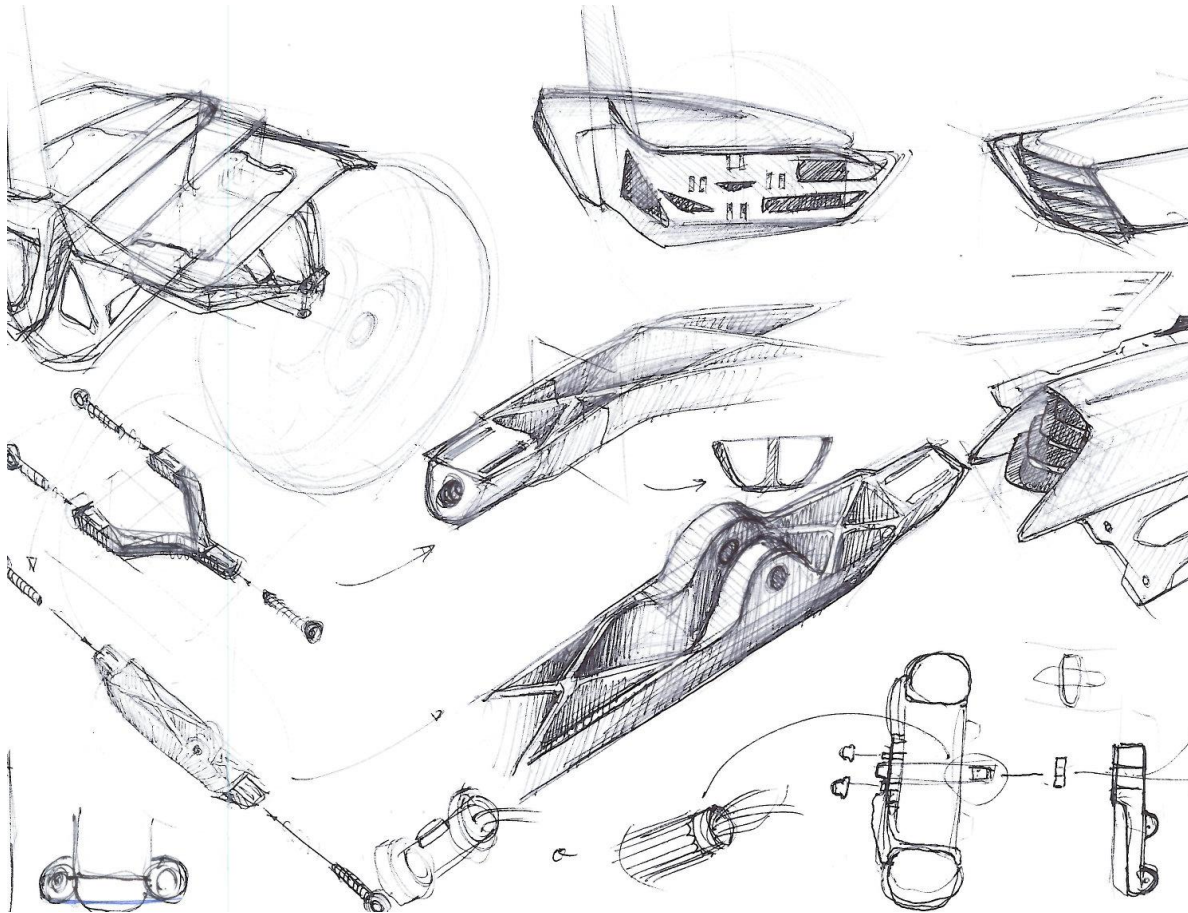


Figura 234: Altres dissenys de la barra inferior

Es va plantejar una opció en que la barra es bifurqués des de la unió amb la barra lateral (Figura 235). També es van estudiar els possibles perfils de la peça.

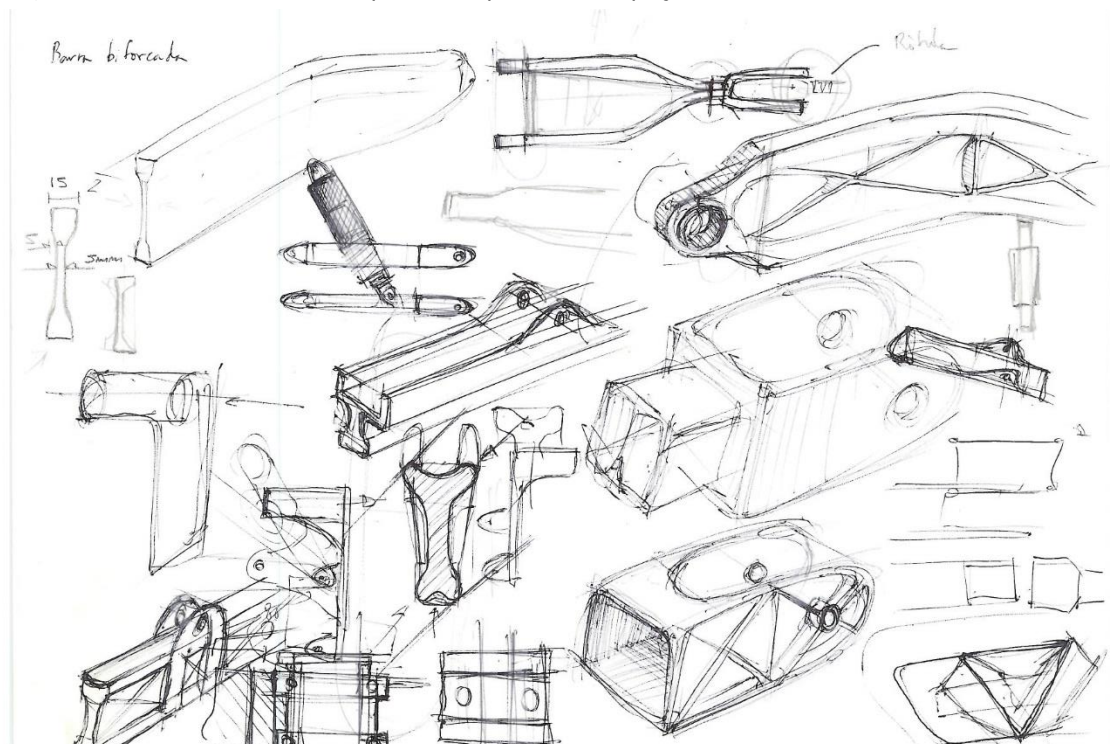


Figura 233: Es plantegen perfils i recorreguts de la barra

La última versió de la peça canviava per complert les formes que s'havien estipulat fins el moment. La posició òptima de l'amortidor col·locava el centre de rotació d'aquest per sota de la línia (imaginària) que es traça entre els altres dos centres de rotació de la barra. La barra, per tant, havia de fer una forma angular o s'havia d'afegir una orel·la que anés cap a baix. Es va optar per la primera opció, ja que fer un parell d'orelles que quedessin sota la barra obria la possibilitat que en un xoc amb un roc es destrossés la part inferior de l'amortidor.

El fet que l'articulació de l'amortidor quedés per sota de la barra obligava a col·locar dues barres simètriques perquè dit amortidor passés pel mig. La conseqüència de fer dues barres inferiors era que calia donar una forma especial a la barra de tal manera que s'acoblés perfectament al xassís i a la barra lateral.

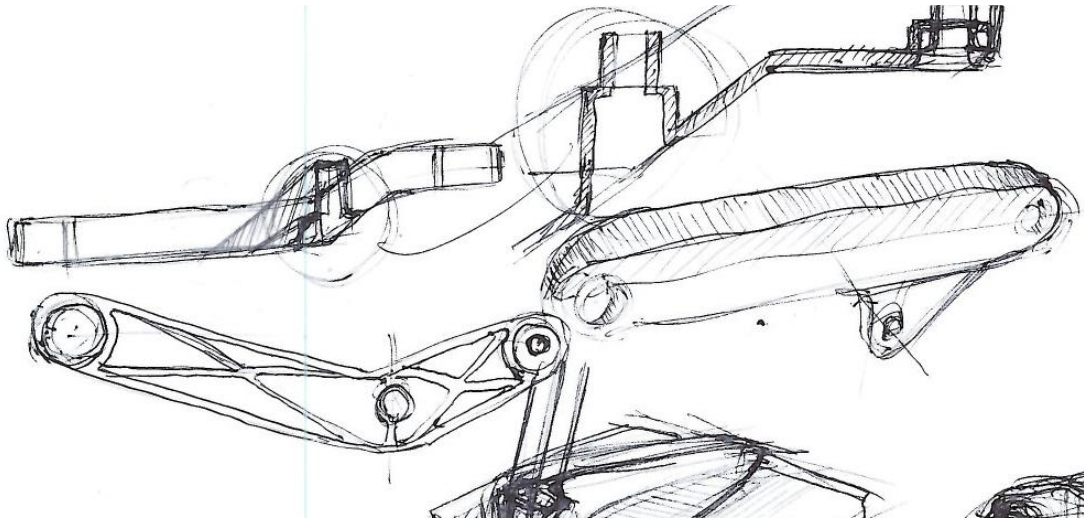


Figura 235: Últim disseny de la barra i estudis de la seva secció

13.3.4.2 Estudis FEM

L'estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar esforços forts. La hipòtesi de l'estudi és que la barra ha d'absorbir esforços després d'un salt; el quadrilàter s'ha tancat i la camisa de l'amortidor ha arribat al seu extrem.

Material: Alumini 6061 (T6)

Càrrega: 1000N aplicats al forat de l'eix (cargol) que queda connectat amb la ròtula.

Part fixe: Superfície de contacte amb el rodament.

Com s'aprecia a la Figura 237, la barra, en general es comporta bé, però hi ha un parell de punts on es concentren tensions (Figura 236)

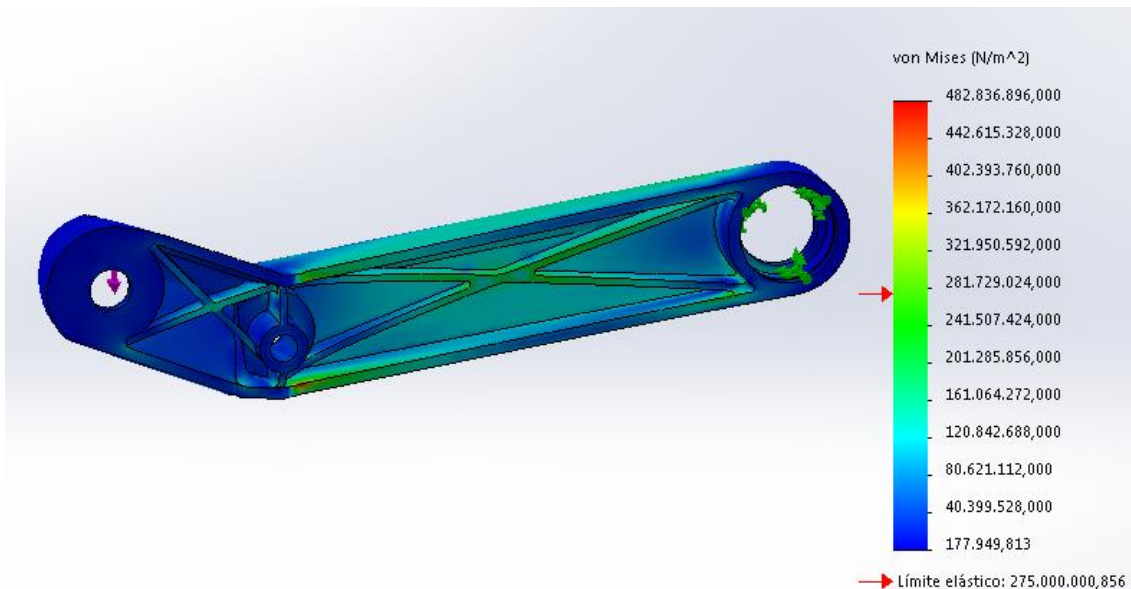


Figura 237: Estudi de tensions de la peça

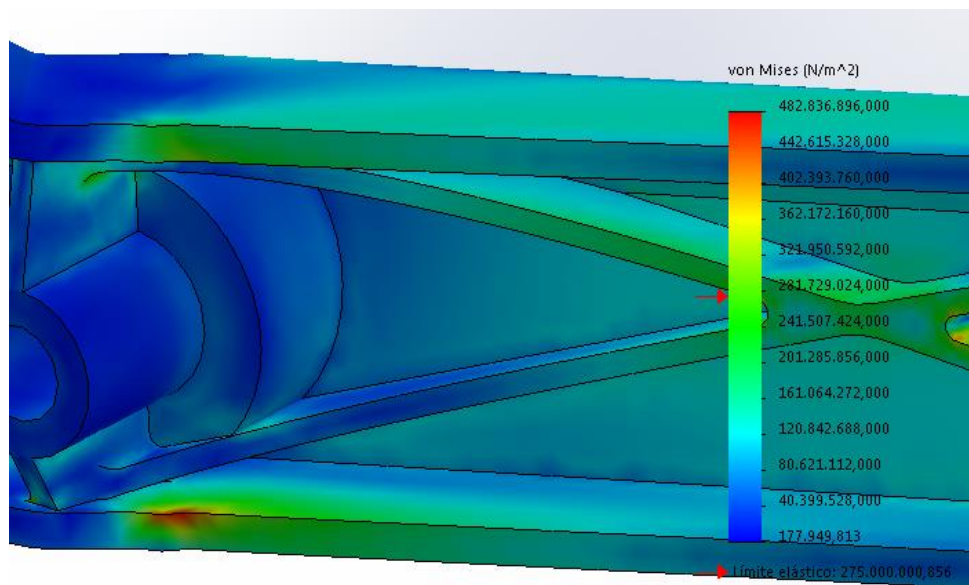


Figura 236: Detall de les tensions concentrades

La opció correctiva que es decideix, tenint en compte l'experiència de la barra superior, és ampliar el gruix general de la barra. Amb aquesta mesura, com s'aprecia a la Figura 238 la tensió màxima queda per sota del límit elàstic.

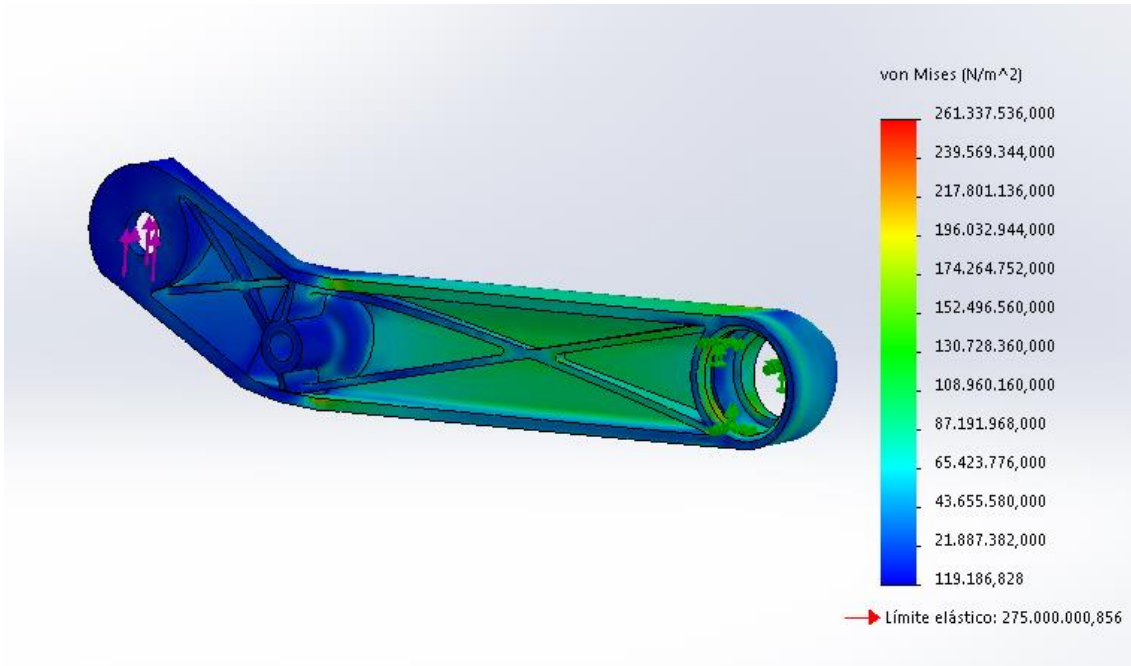
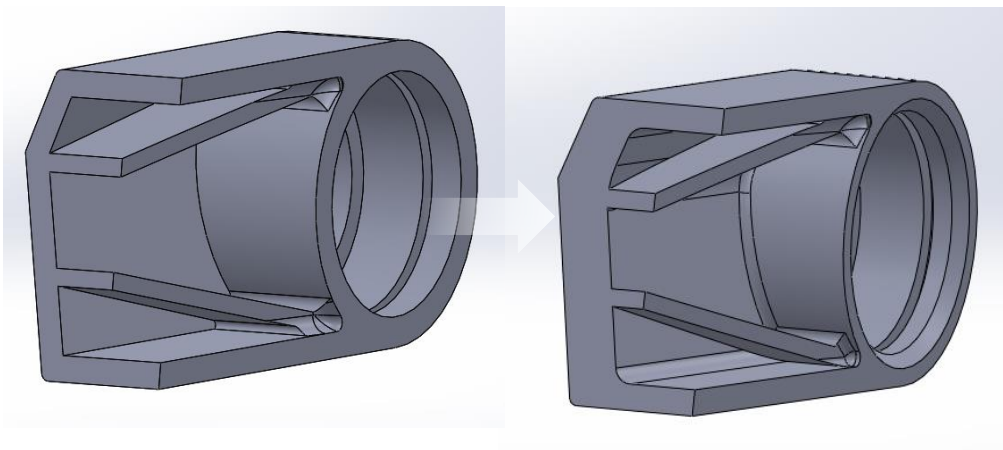
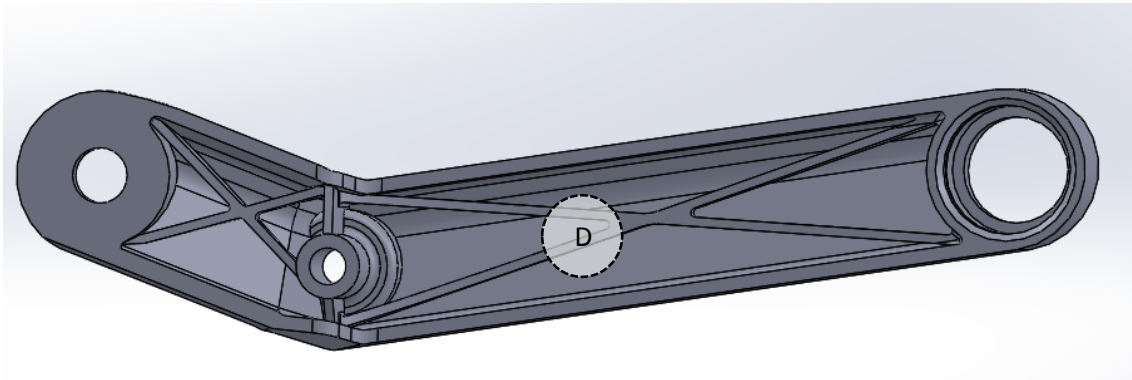
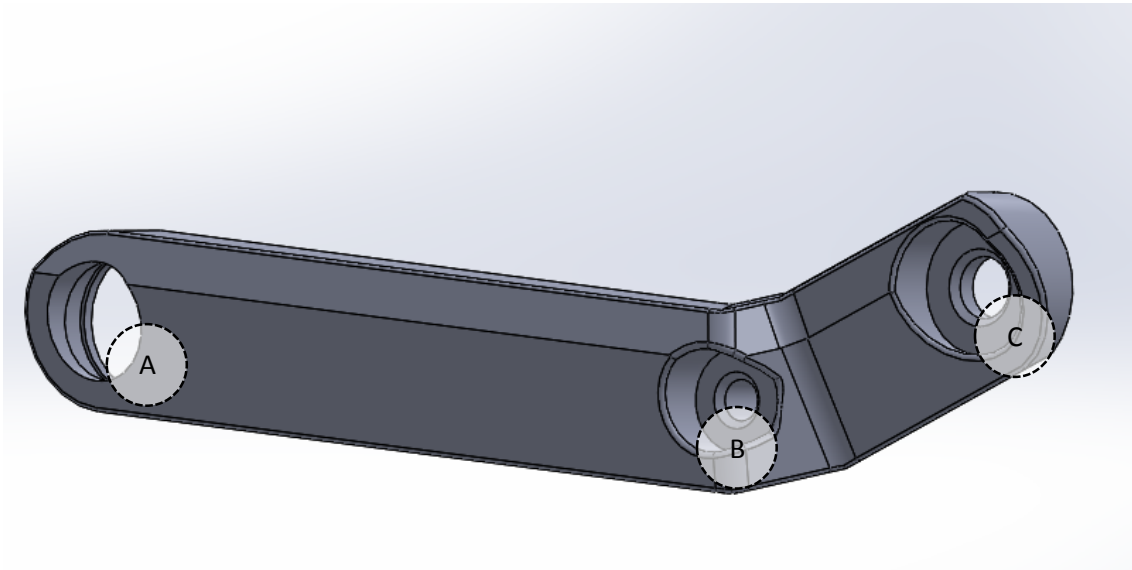


Figura 238: Estat de tensions després donar més gruix a la barra

L'abans i el després dels estudis FEM és el següent:



13.3.4.3 Característiques funcionals de la peça



A: Allotjament del rodament, compta amb una ranura per a poder introduir un anell *Seeger*.

B: Forat passant de l'eix que articula el moviment de l'amortidor en el seu extrem inferior. La superfície de contacte queda enfonsada per tal de no exposar massa el cargol o femella que s'hi adjunti.

C: Forat passant de l'eix que s'articula amb la ròtula. La paret de contacte també queda lleugerament enfonsada per no exposar la cabota del cargol o la femella.

D: Els nervats, com a la barra superior, (i inspirats en la *KTM Duke* (pàg. 232)), serveixen per reforçar la barra sense carregar-la massa en massa.

13.3.5 Amortidor

L'amortidor és un component que s'adquireix a un proveïdor (veure ANNEX J – DATASHEETS).
Queda articulat al parell d'orelles superiors del Xassís i a l'eix central de la Barra inferior.

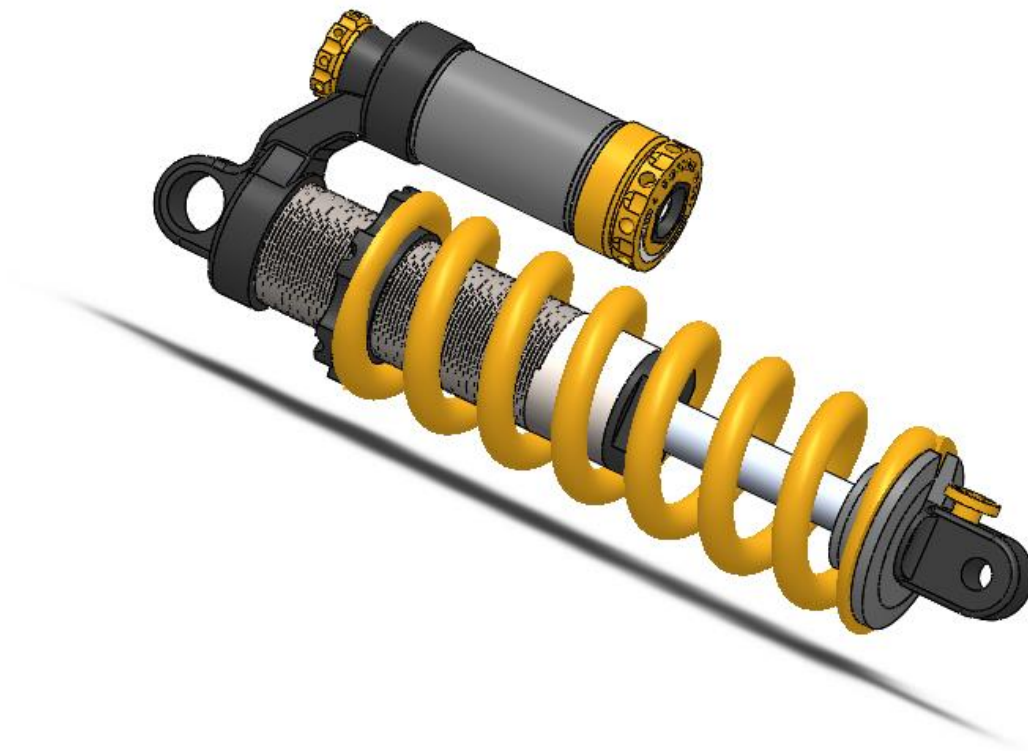


Figura 239: Amortidor del vehicle

SUBCONJUNT CARROSSERIA

CARROSSERIA BATERIES

PÀGINA 259

CARROSSERIA ELECTRÒNICA

PÀGINA 255

CAIXA ELECTRÒNICA

PÀGINA 266

LLUM POSTERIOR

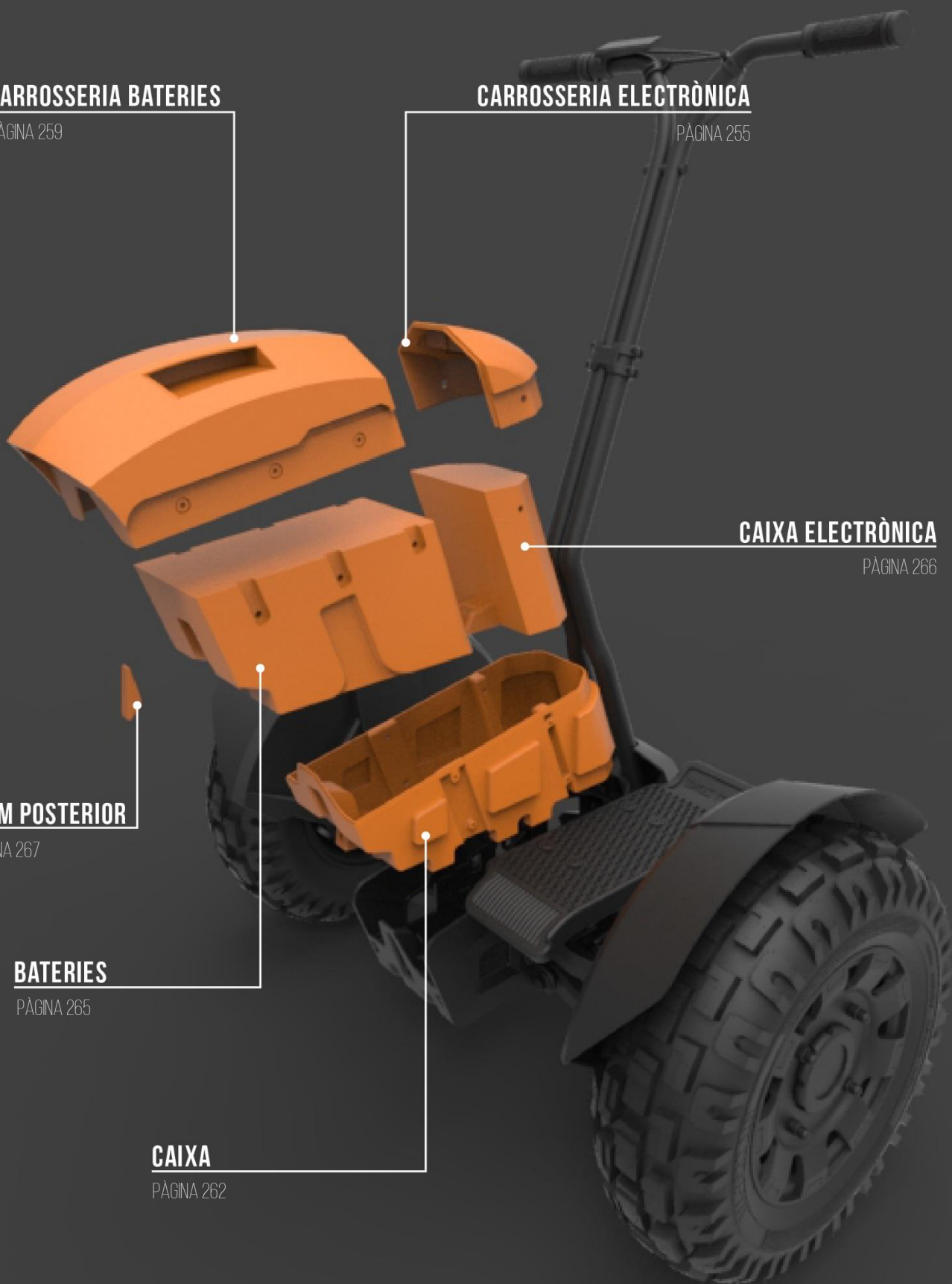
PÀGINA 267

BATERIES

PÀGINA 265

CAIXA

PÀGINA 262



13.4 Subconjunt carrosseria

El subconjunt carrosseria és com un paquet que engloba els components claus del vehicle: la bateria (el cor) i l'electrònica (el cervell). Consta de cinc parts que queden tancades de forma hermètica per evitar que es pugui filtrar aigua i malmeti la bateria. Les característiques principals del subconjunt són:

- El conjunt és estanc
- Prou resistent (veure estudis FEM) com per resistir el pes d'una persona que per error hi puja. A més exteriorment queda protegit pel Xassís que actua com a exo-esquelet.
- El subconjunt bateria + carrosseria electrònica està dissenyat per poder-se extreure i canviar per un altre de recanvi, amb la bateria carregada.
- És fàcil accedir a la Caixa electrònica, només cal treure el subconjunt de la bateria i descargolar els cargols que fixen la Carrosseria electrònica.
- La Caixa electrònica recull tots els components electrònics en un bloc plàstic. En cas d'averia només cal desconnectar totes les connexions exteriors (cable motor HUB, cable llum frontal, llum posterior) i extreure-la per reparar-la.
- En posició natural la caixa electrònica té una protuberància amb pestanyes de contacte que encaixa amb les pestanyes de la bateria per tal de poder efectuar l'alimentació.

13.4.1 Ideació

Els primers esbossos (Figura 240 i Figura 241) que es van fer eren sense restriccions pel que fa a la forma, molt lliures, però ja es plantejava la possibilitat de fer que la bateria fos extraïble de manera fàcil i ràpida.

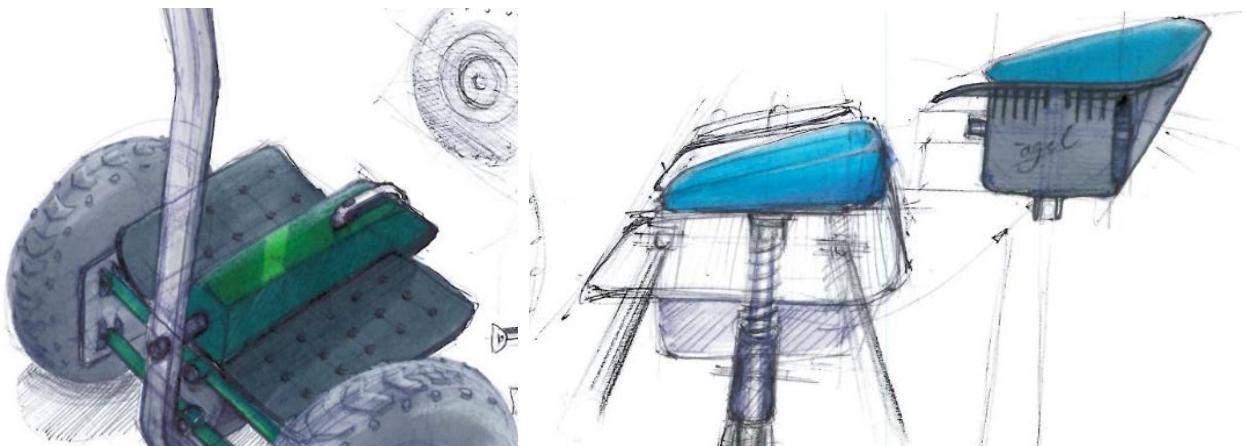


Figura 240: Primers esbossos on es contemplava la carrosseria, sèrie 1

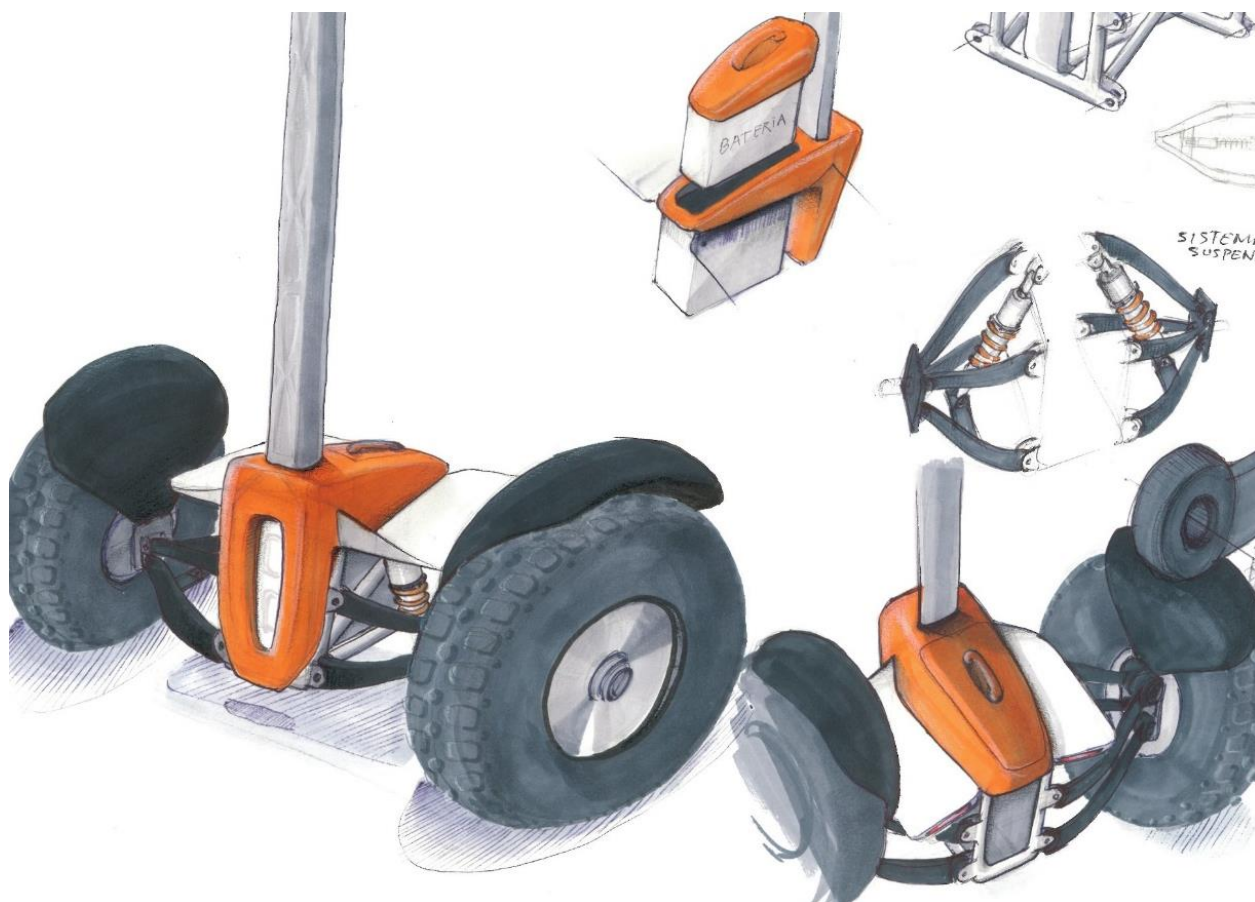


Figura 241: Primers esbossos on es contemplava la carrosseria, sèrie 2

Quan ja es tenia el xassís i el tronc del manillar modelats en 3D es va fer una sèrie llarga d'esbossos mostrant el perfil de la carrosseria i la llum sempre intentant fer conjunts que quedessin integrats estèticament. En molts ja es plantejaven opcions de com podien ser també les plataformes. També s'estudiaven les possibilitats de la corba de partició del subconjunt carrosseria per poder fer la bateria extraïble.

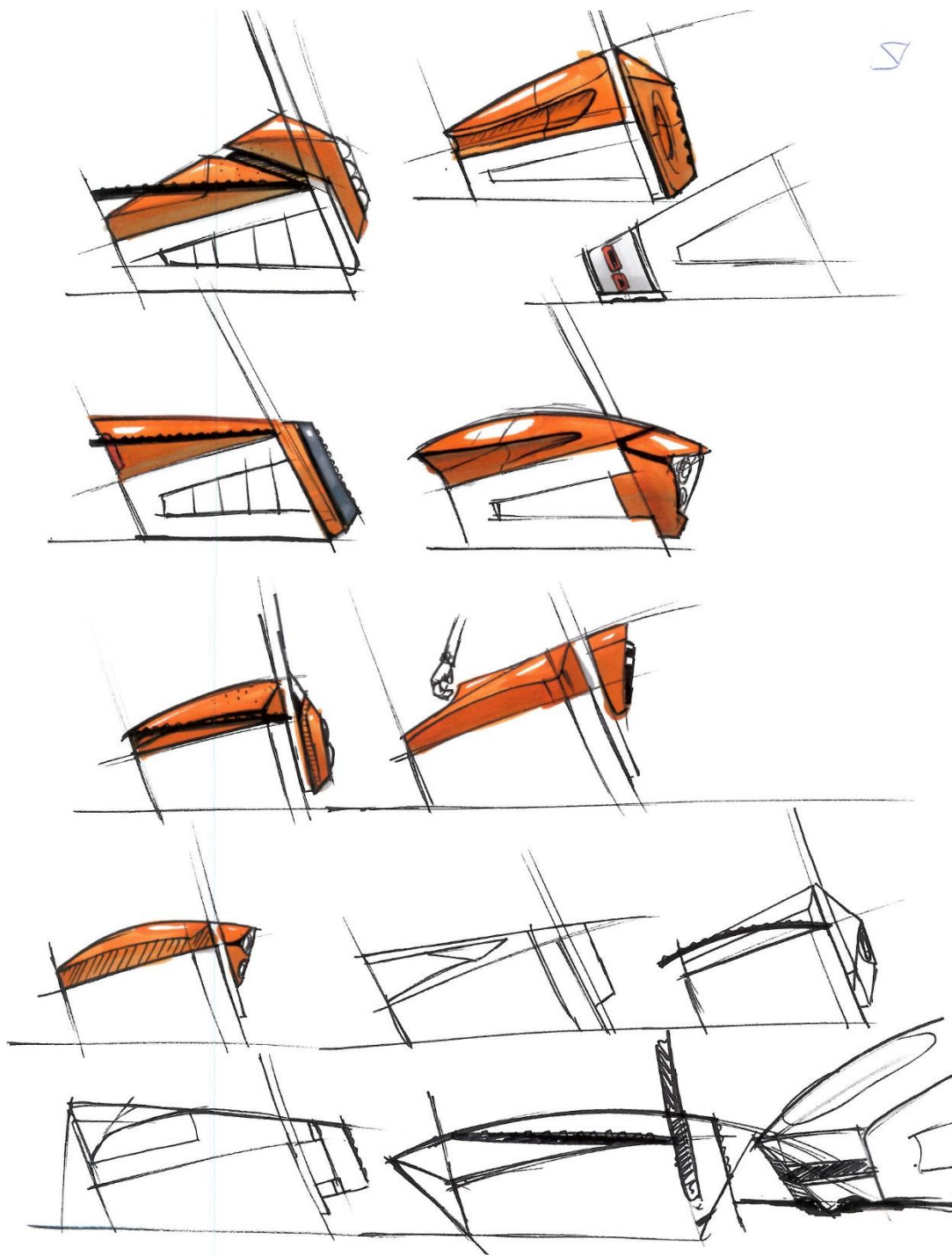


Figura 242: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie nº1

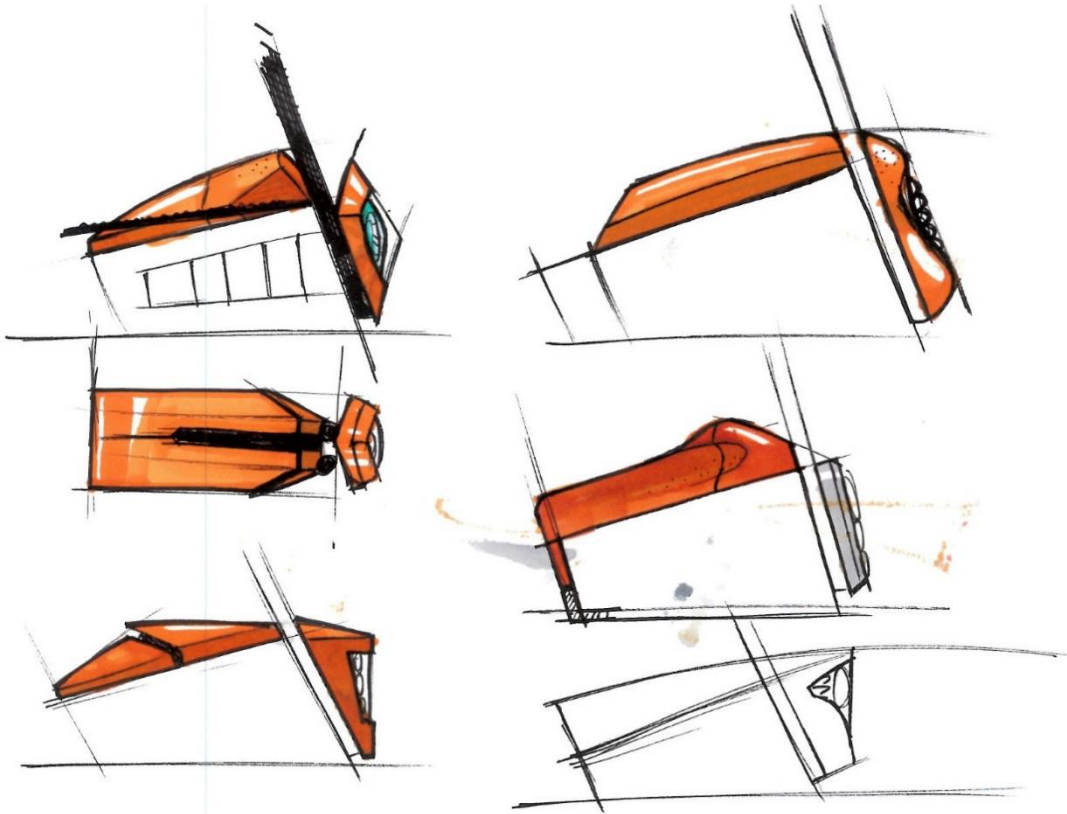


Figura 244: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie nº2

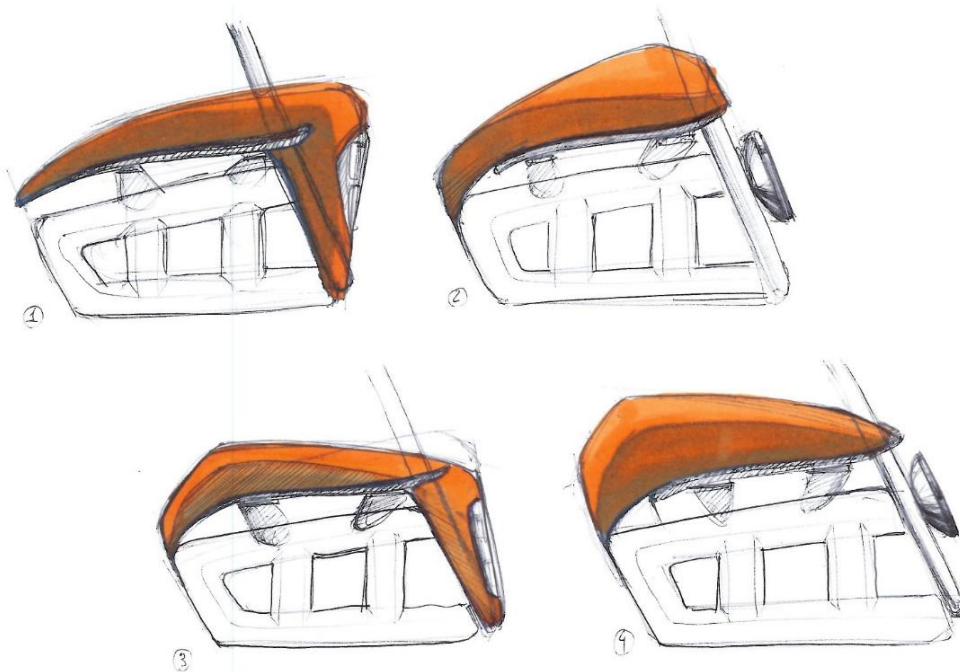


Figura 243: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie nº3

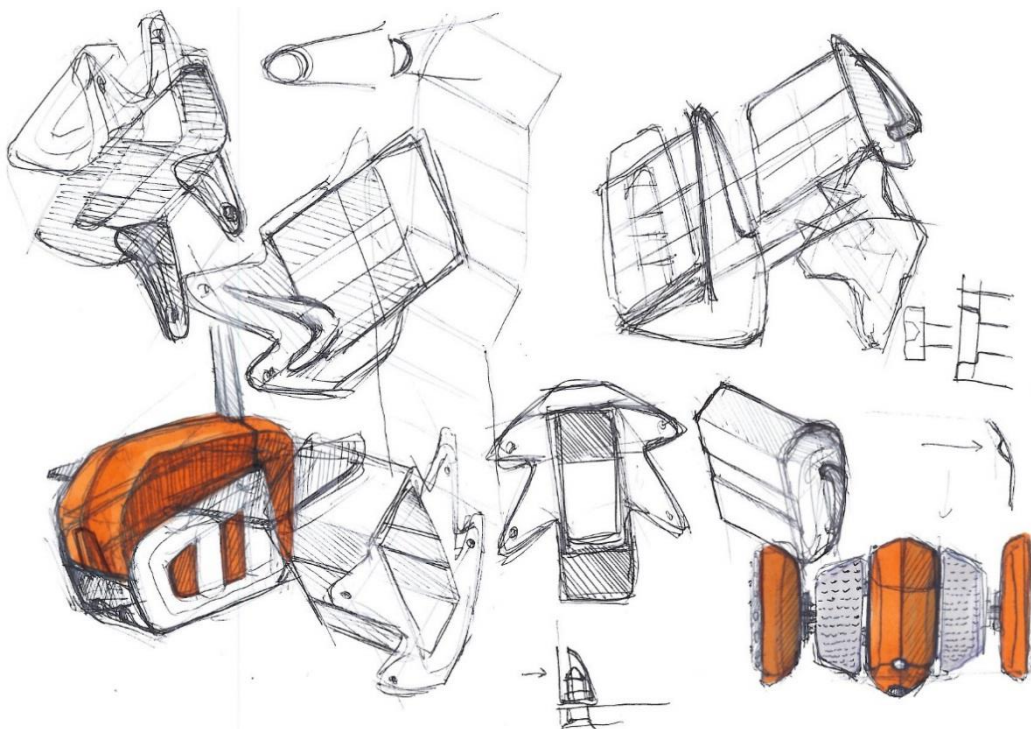


Figura 245: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie n°4

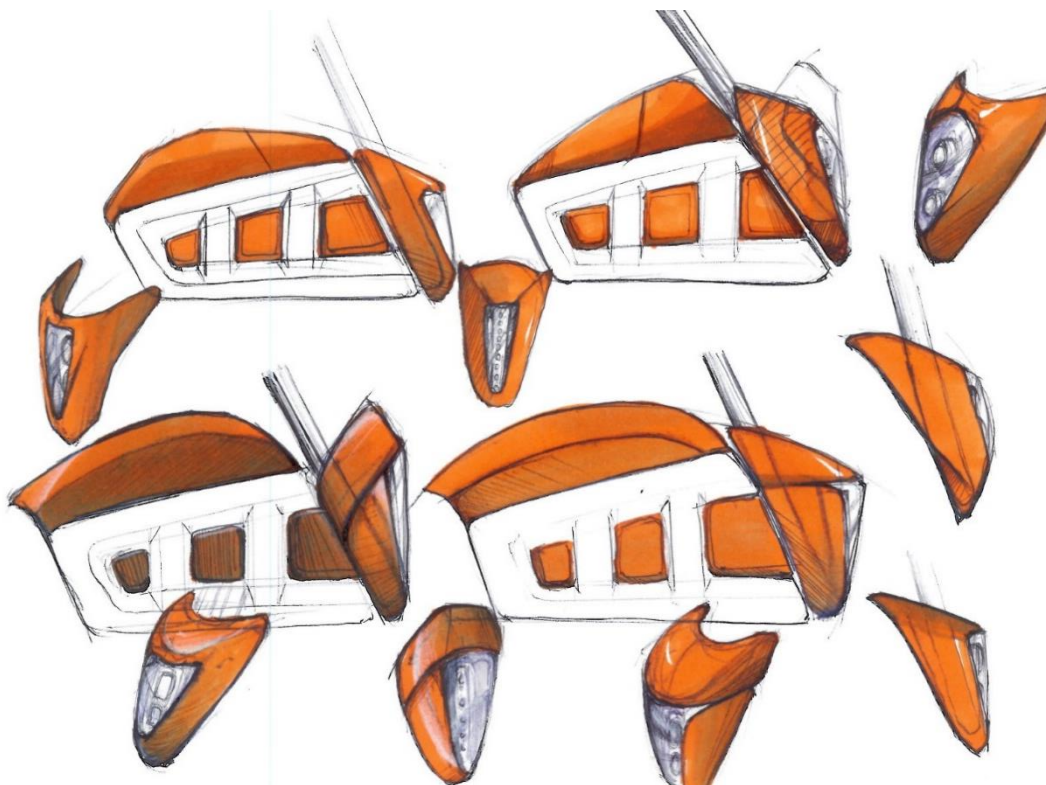


Figura 246: Esbossos de perfil de la carrosseria. Sèrie n°5



El procés de disseny de la carrosseria així com el de la llum frontal, pel fet de tractar-se d'una part del vehicle amb una alta càrrega estètica, es van complementar amb unes quantes sessions de modelatge de maquetes d'espuma de poliuretà. L'objectiu va ser crear alguns dels dissenys que s'havien plasmat en el paper, percebre el volum i estudiar les possibilitats estètiques. Les sessions van ser de gran utilitat i la morfologia de la carrosseria es va desenvolupar més enllà del que s'havia esbossat en paper

Figura 247: Procés de llimar

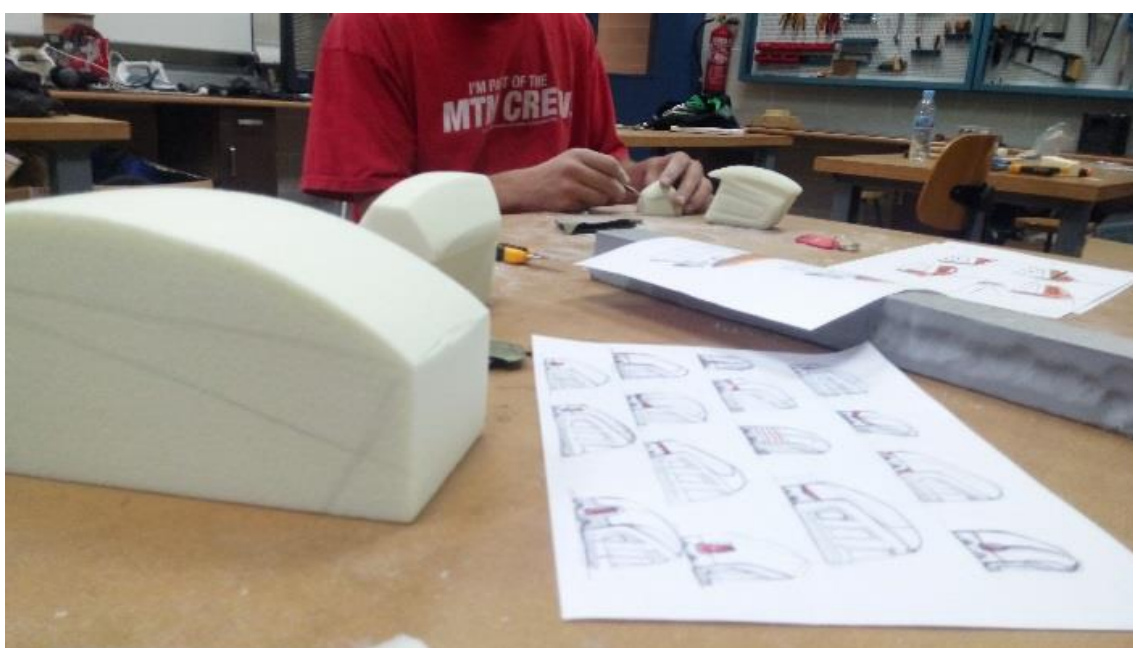


Figura 249: En procés....



Figura 248: Resultat de les sessions de maquetatge

13.4.2 Característiques del subconjunt

L'ordre de col·locació de les peces és el següent:

- La Caixa es fixa al xassís
- La Carrosseria de l'electrònica es fixa a la Caixa amb dos cargols. Entre les dos peces una junta d'aïllament dona estanqueïtat (Figura 251) .
- La Carrosseria de l'electrònica, unida a la bateria, queda encaixada a la Caixa amb un mecanisme de trinquet⁷. Fa frontera amb la Caixa i la Carrosseria de l'electrònica i el contacte estanc l'aconsegueix també, gràcies a una junta d'aïllament.

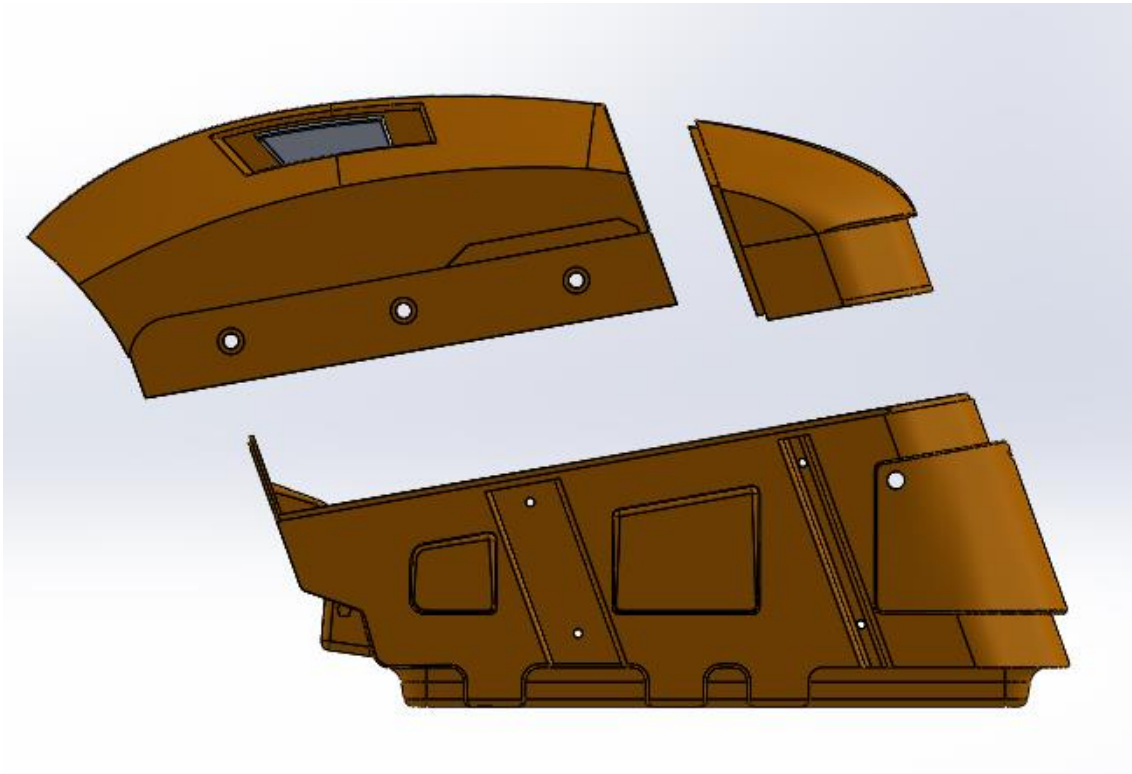


Figura 250: Conjunt de carrosseries plàstiques explosionades

⁷ El mecanisme de trinquet no s'ha desenvolupat per la complexitat tècnica que representa.

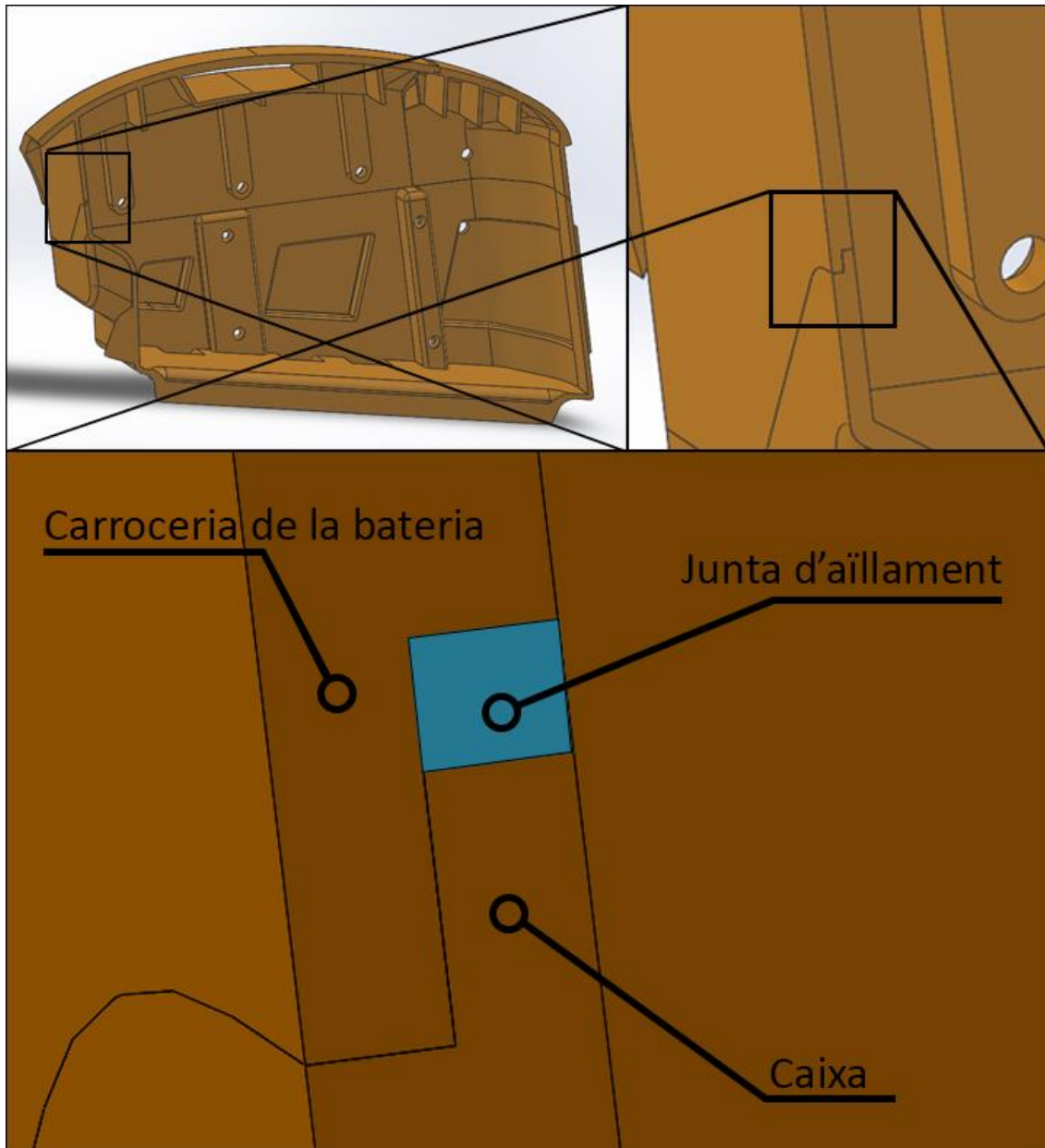


Figura 251: Zoom de la junta entre la Caixa i la Carrosseria de la bateria

La junta d'aïllament actua de tres maneres positives:

- Fa que el Subconjunt Carrosseries sigui realment estanc
- Evita vibracions relatives entre les diverses peces que encaixen
- Fa oposició alhora de col·locar el subconjunt bateria + carrosseria de la bateria fins que el trinquet s'allibera i bloqueja la unió.

13.4.3 Carrosseria electrònica

La carrosseria electrònica és una part del subconjunt carrosseria, té aquest nom perquè protegeix tota l'electrònica del vehicle.

13.4.3.1 Estudis FEM

L'estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar el pes de l'usuari en cas que aquest per error posés el peu sobre la carrosseria. En cap cas aquesta hauria de trencar-se perquè podria ferir a l'usuari i malmetre l'electrònica.

Material: ABS

Càrrega: 1000N aplicats al vèrtex de contacte amb la Carrosseria de la bateria.

Part fixe: Les dos superfícies de contacte amb els cargols que fixen la peça i les cares en contacte en l'encaix entre peces.

En la primera simulació la deformació màxima es situa als 17 mm a prop de la junta que llinda amb la Carrosseria de la bateria, un desplaçament considerable que cal reduir.

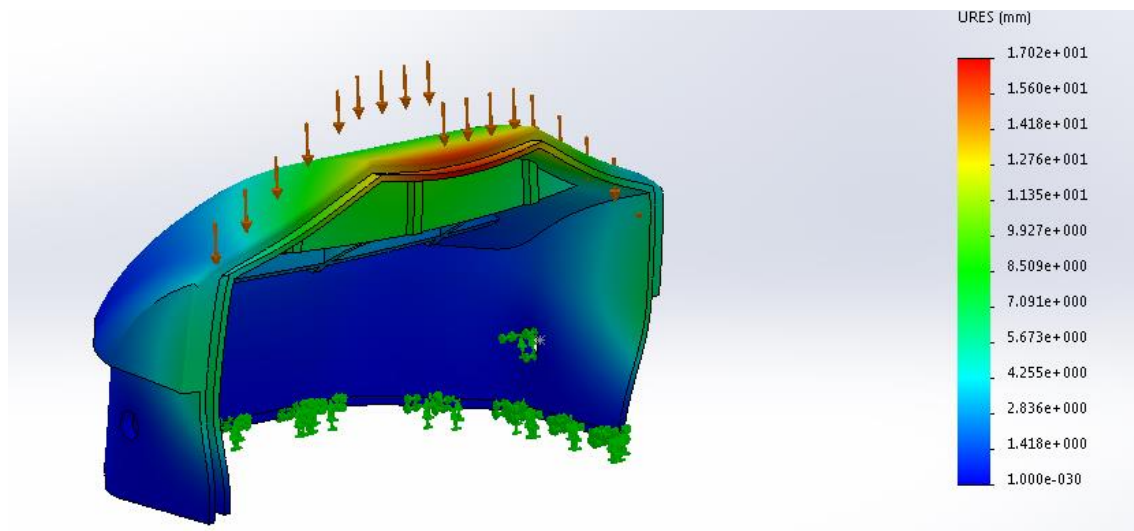


Figura 252: Deformacions del primer estudi

L'acció correctiva per disminuir la deformació consisteix en millorar la distribució dels nervis, sobretot apropant-los a la zona conflictiva. Dita millora comporta passar de 17mm a 6 mm. A la Figura 253 s'aprecien els resultats.

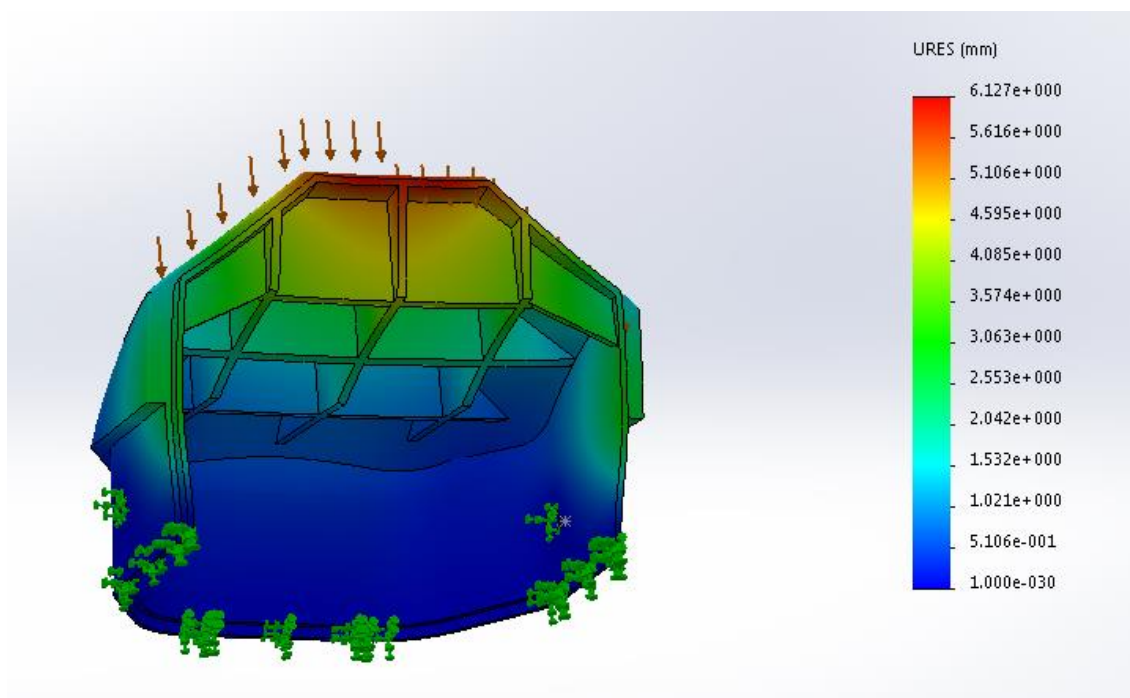
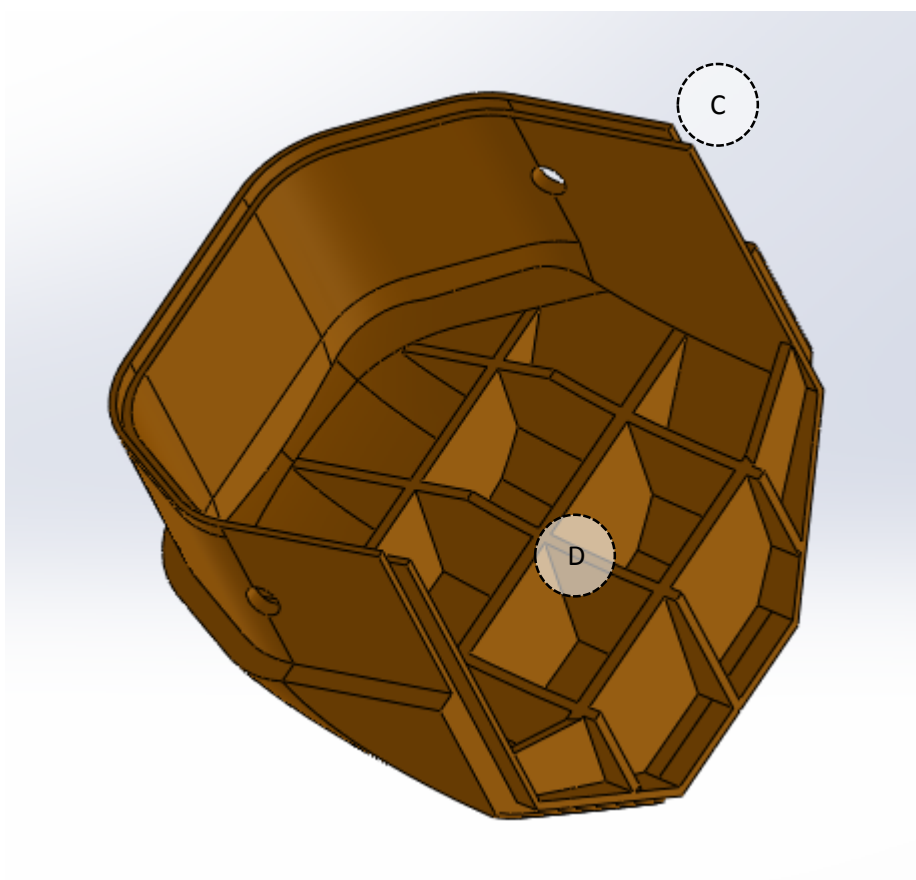
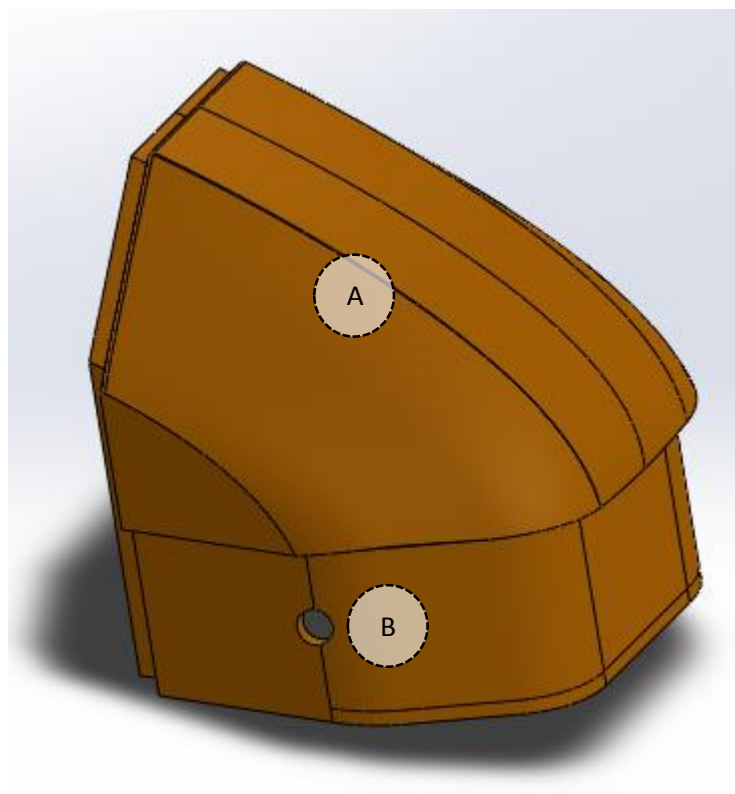


Figura 253: Deformacions del segon estudi

13.4.3.2 Característiques funcionals de la peça



- A: La superfície superior és part de la carrosseria i la seva funció és principalment estètica, de totes maneres, les formes arrodonides eviten grans concentracions de tensions.
- B: El forat passant permet que un cargol subjecti la carcassa i la caixa que conté l'electrònica.
- C: La forma esglaonada de tots els extrems de contacte amb la resta del subconjunt serveix per aconseguir un bon encaix entre peces i aconseguir que l'interior de les carcasses sigui estanc.
- D: El nervat garanteix la resistència de la peça en cas que, per error l'usuari hi pugui a sobre.

13.4.4 Carrosseria de la bateria

La carrosseria de la bateria és una part del subconjunt carrosseria, té aquest nom perquè va unida a la bateria. Està dissenyada per servir d'interfície a l'usuari per posar i treure la bateria amb facilitat.

13.4.4.1 Estudis FEM

L'estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar el pes de l'usuari en cas que aquest per error posés el peu sobre la carrosseria. En cap cas aquesta hauria de trencar-se perquè podria ferir a l'usuari i malmetre l'electrònica.

Material: ABS

Càrrega: 1000N aplicats al forat de l'eix (cargol) que queda connectat amb la ròtula.

Part fixe: Totes les cares en contacte en l'encaix entre peces (Xassís, Carrosseria de l'electrònica i Caixa).

La primera simulació (Figura 254) és suficient per veure que la peça és suficientment rígida, i on més pateix, a la part de les nanses per extreure la bateria, només es deforma 0,8mm. Per tant es conclou que la peça ja està ben dissenyada i no calen accions correctives.

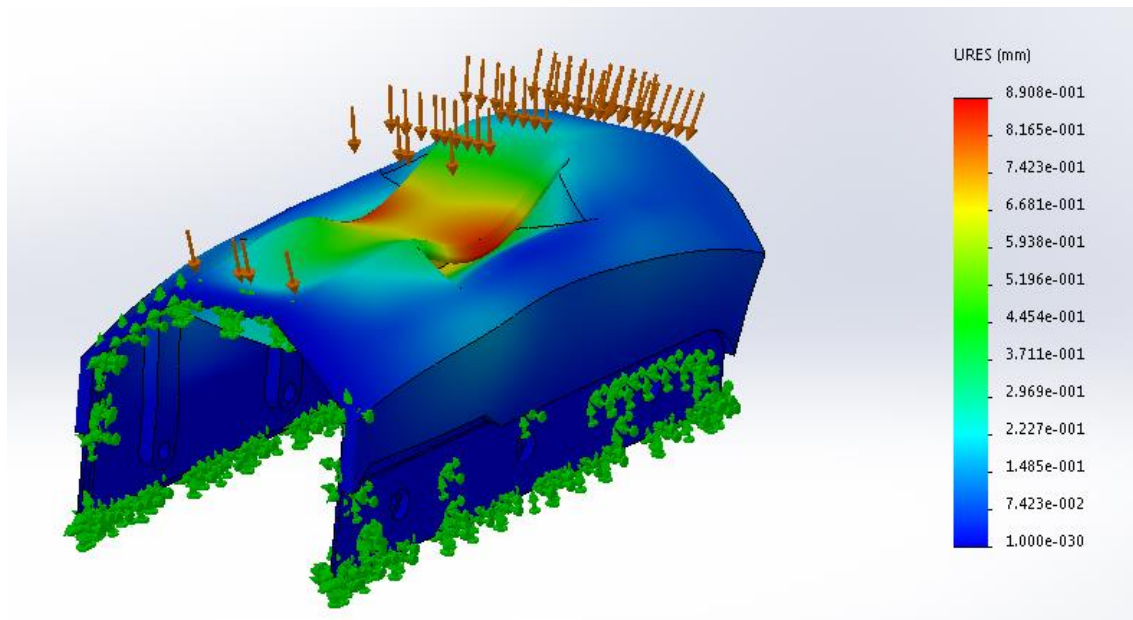
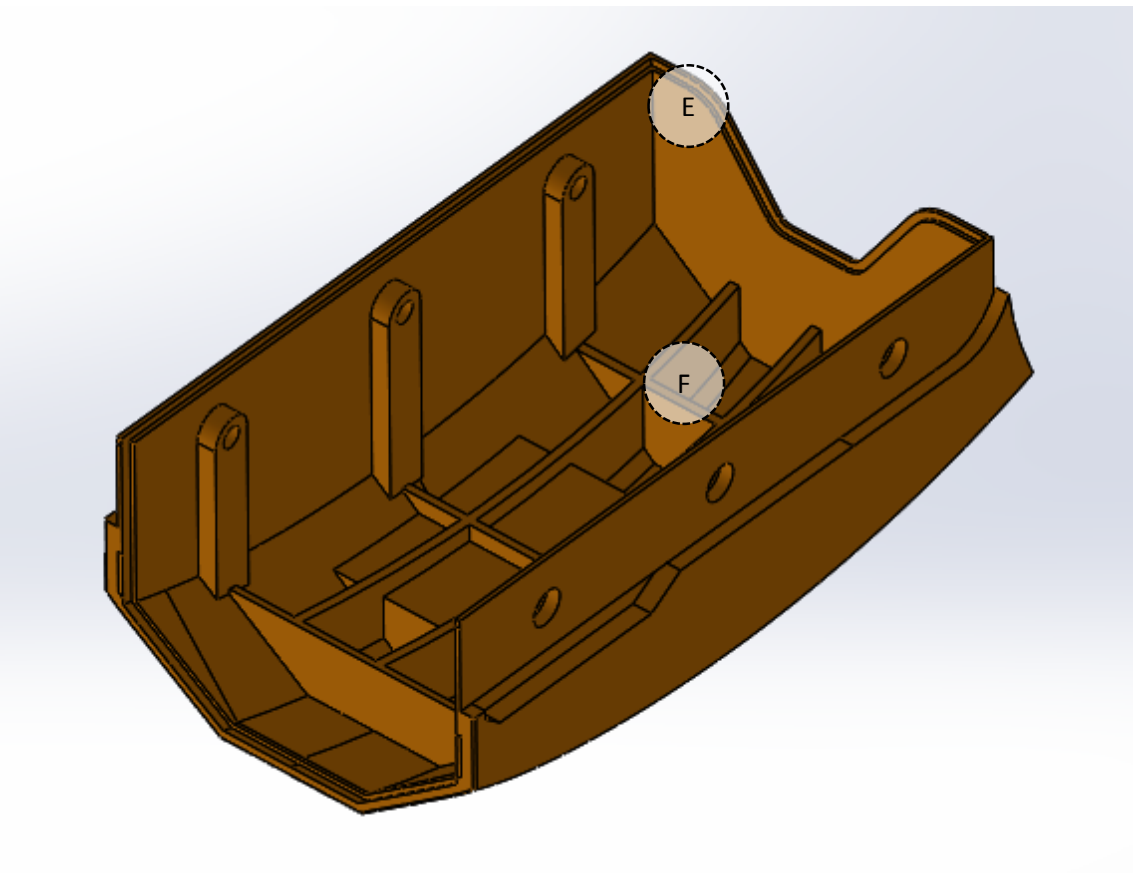
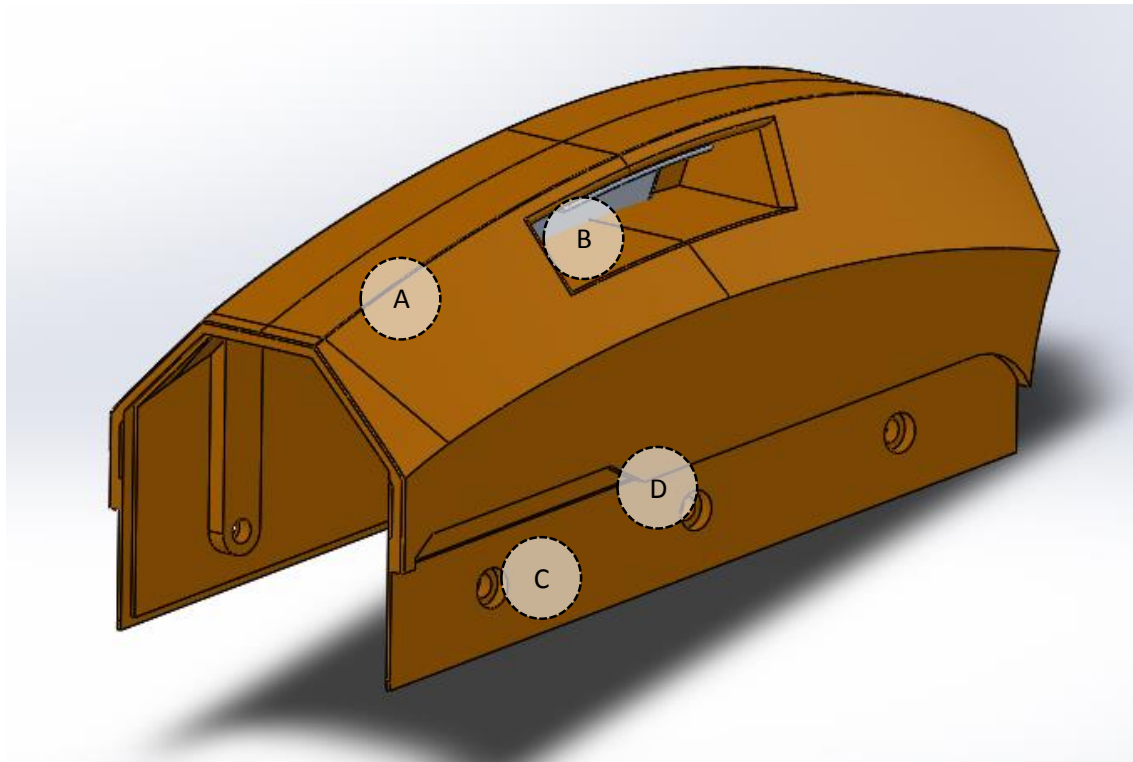


Figura 254: Primer estudi de deformacions

13.4.4.2 Característiques funcionals de la peça



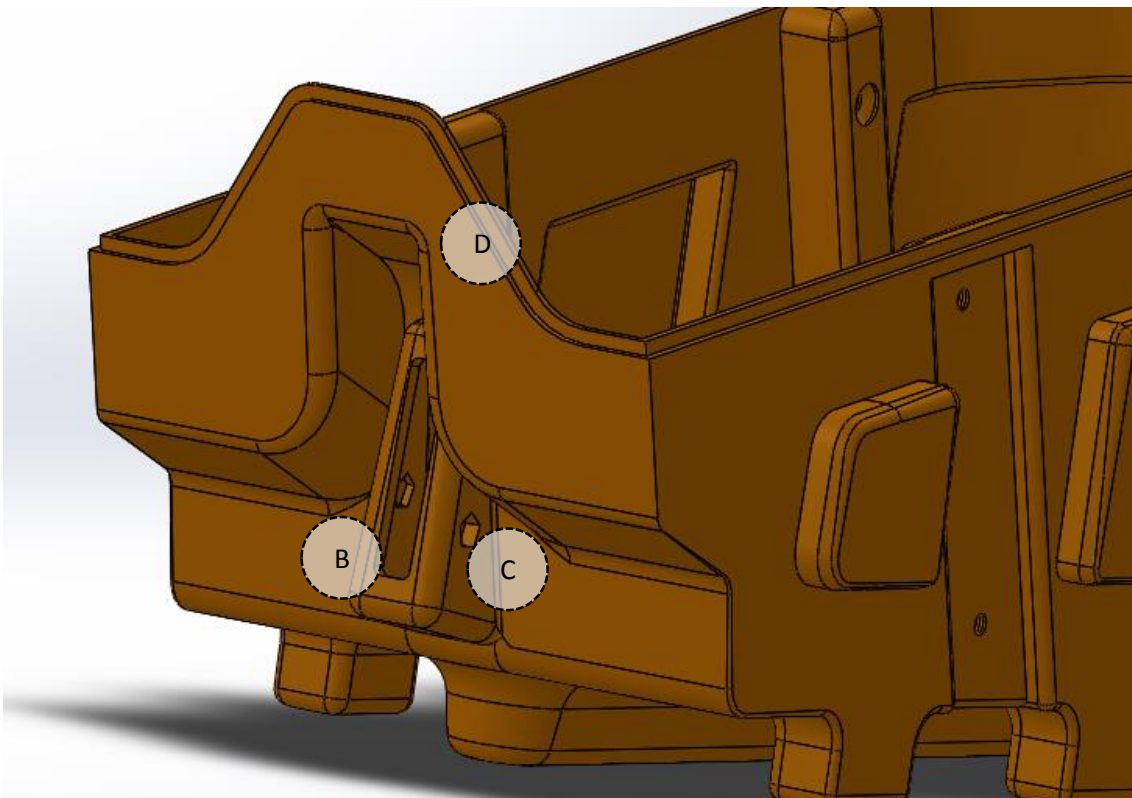
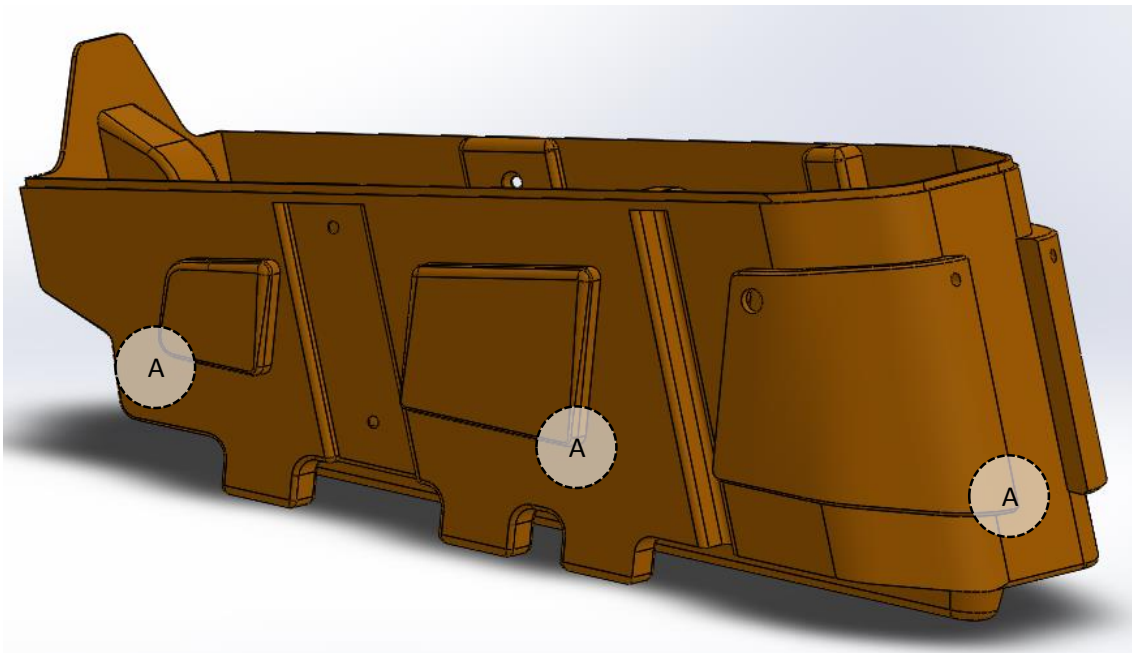
- A: La superfície exterior és part de la carrosseria i la seva funció és principalment estètica, de totes maneres, les formes arrodonides eviten grans concentracions de tensions.
- B: La palanca⁸ serveix per extreure el subconjunt bateria i carrosseria de la bateria.
- C: 6 forats passants, 3 a cada flanc permeten que 6 cargols fixin la peça amb la caixa de les bateries.
- D: La forma “retallada” fa encaix amb la geometria del xassís.
- E: La forma esglaonada de tots els extrems de contacte amb la resta del subconjunt serveix per aconseguir un bon encaix entre peces i aconseguir que l'interior de les carcasses sigui estanc.
- F: El nervat garanteix la resistència de la peça en cas que, per error l'usuari hi pugui a sobre.

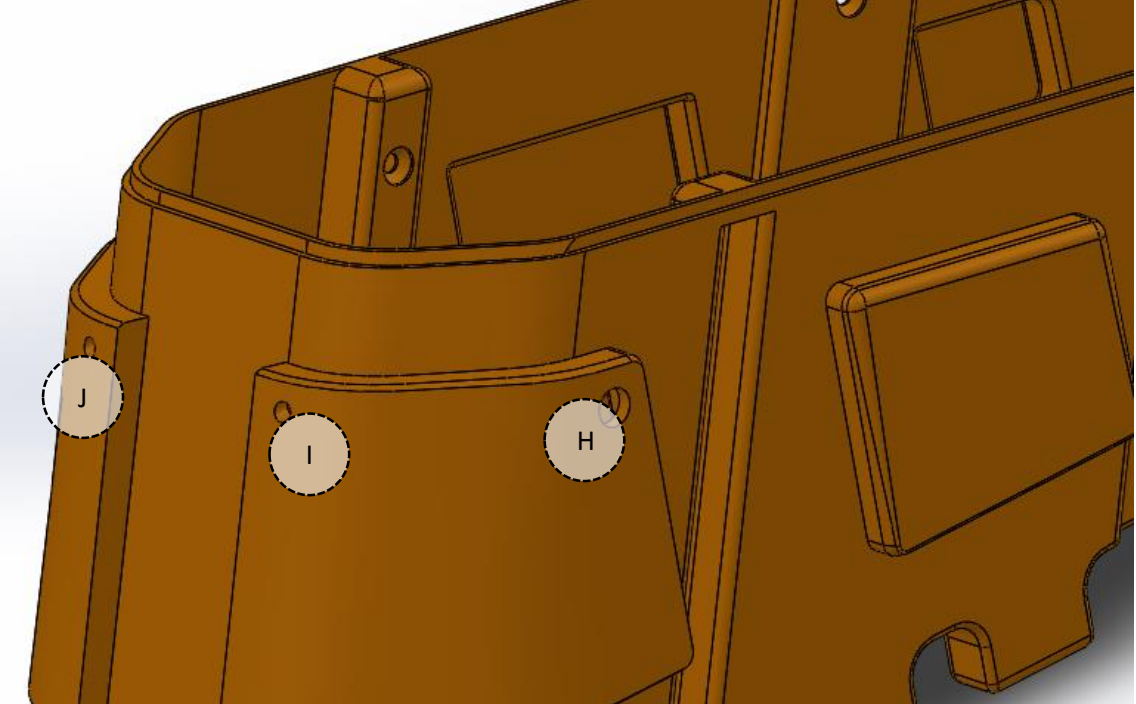
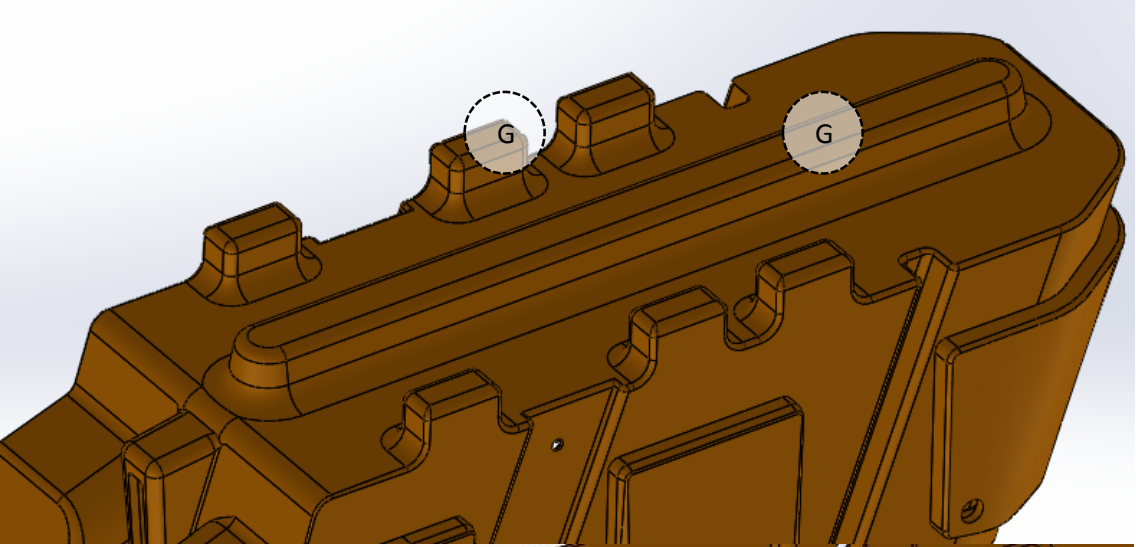
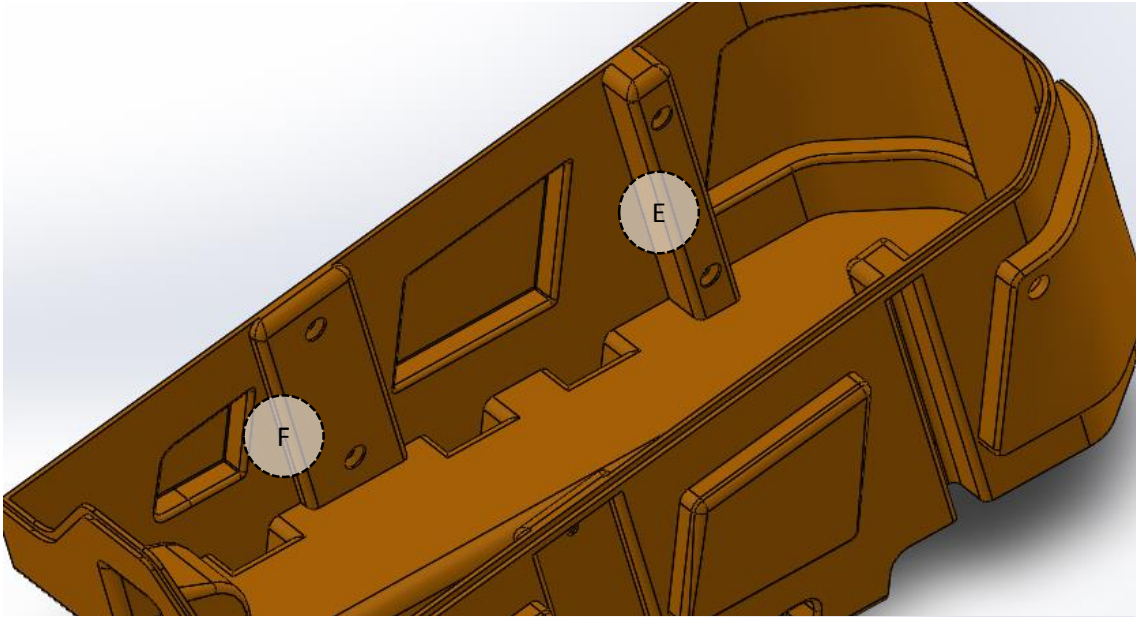
⁸ El mecanisme de la palanca no s'ha dissenyat tot i que s'ha pensat en la interacció amb l'usuari.

13.4.5 Caixa

La caixa és una part del subconjunt carrosseria, s'anomena caixa perquè allotja l'electrònica i la bateria. Aquesta peça es colla al xassís i a sobre hi van encaixades la carrosseria de l'electrònica i la de la bateria. És una peça protegida pel Xassís, per tant no s'han fet estudis FEM.

13.4.5.1 Característiques funcionals de la peça





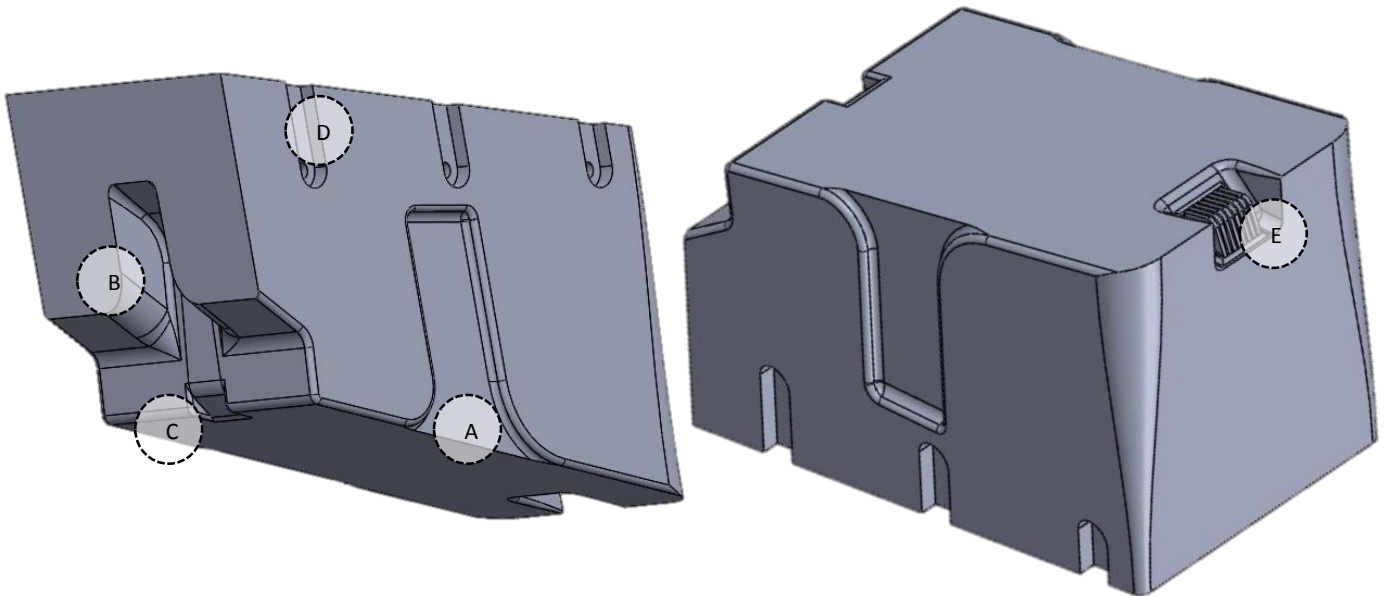
- A: 6 volums, 3 a cada costat, amb la contraforma del xassís permeten un encaix correcte entre els dos cossos. Els volums actuen de *Poka-Yoke* per evitar errors de muntatge.
- B: La forma que sobresurt, allotja el llum posterior. Que el llum quedi dins del subconjunt carrosseria permet fer estanca la frontera de la unió.
- C: Dues formes hexagonals "retallades" a la Caixa, permeten introduir inserts metàl·lics amb un forat roscat. Dit insert serveix per fixar la posició de la llum posterior.
- D: La forma esglaonada de tots els extrems de contacte amb la resta del subconjunt serveix per aconseguir un bon encaix entre peces i aconseguir que l'interior de les carcasses sigui estanc.
- E: Dues columnes a banda i banda fan de separador entre la caixa que conté l'electrònica i la que conté les bateries. A la columna, dos forats passants permeten fer passar dos cargols que fixen la peça al Xassís.
- F: Dues guies als dos costats interiors de la peça permeten una correcta col·locació de la Caixa de la bateria. Cada guia té dos forats passants que permeten la fixació de la peça al Xassís.
- G: Els volums de la base de la peça són els que contacten amb el Protector de les bateries i serveixen per aïllar les bateries d'un possible impacte. A més, el volum central permet el pas del cablejat de la llum posterior fins arribar al conjunt electrònic.
- H: Dos forats⁹ a banda i banda obren el camí perquè el cablejat arribi a cada motor HUB
- I: Un forat permet el pas del cablejat de la llum frontal
- J: L'altre forat permet fer passar el cablejat que va cap al Panell d'informació.

⁹ En els forats H, I i J per tal de mantenir l'estanqueïtat s'utilitzen passamurs

13.4.6 Bateries

Aquesta peça és la que engloba les bateries i va fixada a la carrosseria de les bateries. És una carcassa que s'adapta a tot l'entorn però és una *blackbox* pel que fa a l'interior, és a dir el model 3D és un bloc massís on no s'ha concretat els detalls de com s'haurien de disposar les bateries de ió-liti. Els detalls però exteriors es comenten a continuació.

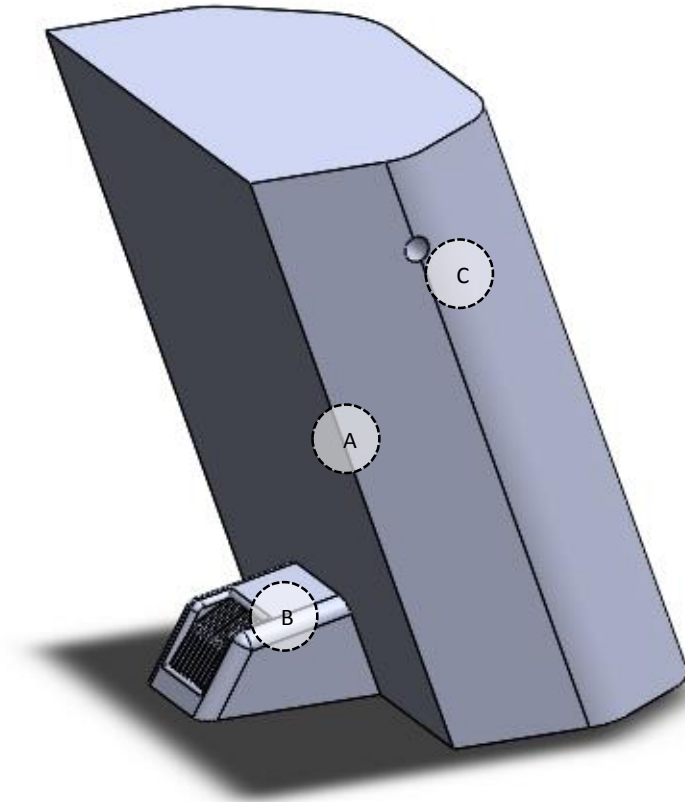
13.4.6.1 Característiques funcionals de la peça



- A: Dues guies a banda i banda guien a l'usuari a l'hora de col·locar la bateria dins la Caixa. Dites guies coincideixen amb les de la Caixa excepte a la part més inferior on s'hi ha fet un arrodoniment per augmentar la tolerància d'error en la col·locació.
- B: La morfologia d'aquesta part està pensada per adaptar-se als volums que allotgen la llum posterior.
- C: La identació d'aquesta part permet passar el cablejat de la llum posterior cap a la Caixa electrònica.
- D: Tres forats roscats a cada costat permeten fixar la Carrosseria electrònica amb la peça. Les columnes identades actuen com a *Poka-Yoke* per a una correcta i fàcil col·locació de muntatge.
- E: Les pestanyes d'aquesta part són les que connecten amb la Caixa electrònica i per on s'efectua el pas de corrent per permetre l'alimentació.

13.4.7 Caixa electrònica

Aquesta peça és l'element que recull tots els components electrònics necessaris per governar el vehicle. Igual que l'anterior, el detall de l'interior de la peça així com la distribució de components no està detallada, són una *blackbox*. A continuació es detalla la relació forma funció de l'exterior de la peça:



- A: La morfologia de la peça (obliqua) s'adapta a la geometria de la Caixa , la cara més ombrejada fa contacte amb el separador ("E", pàg. 265) d'aquesta.
- B: La morfologia de la protuberància així com les pestanyes metàl·liques encaixa amb la part "E" (pàg. 262) de la peça Bateria.
- C: Dos forats roscats a cada costat fixen la peça al Xassís, alhora que es fixa la Carrosseria electrònica.

13.4.8 Llum posterior

La llum posterior compleix dues funcions, la primera és la de senyalitzar la posició del vehicle i l'altre és la d'indicar una frenada.

13.4.8.1 Ideació

Per dissenyar la forma de la llum posterior s'han tingut en compte els *inputs* estètics rebuts gràcies al Moodboards de llums que l'equip s'ha generat. El procés d'*sketching* ha estat similar al de la llum frontal. S'ha fet una tirada llarga de possibilitats estètiques i s'ha triat el que més ha agradat a l'equip (encerclat a la Figura 255)

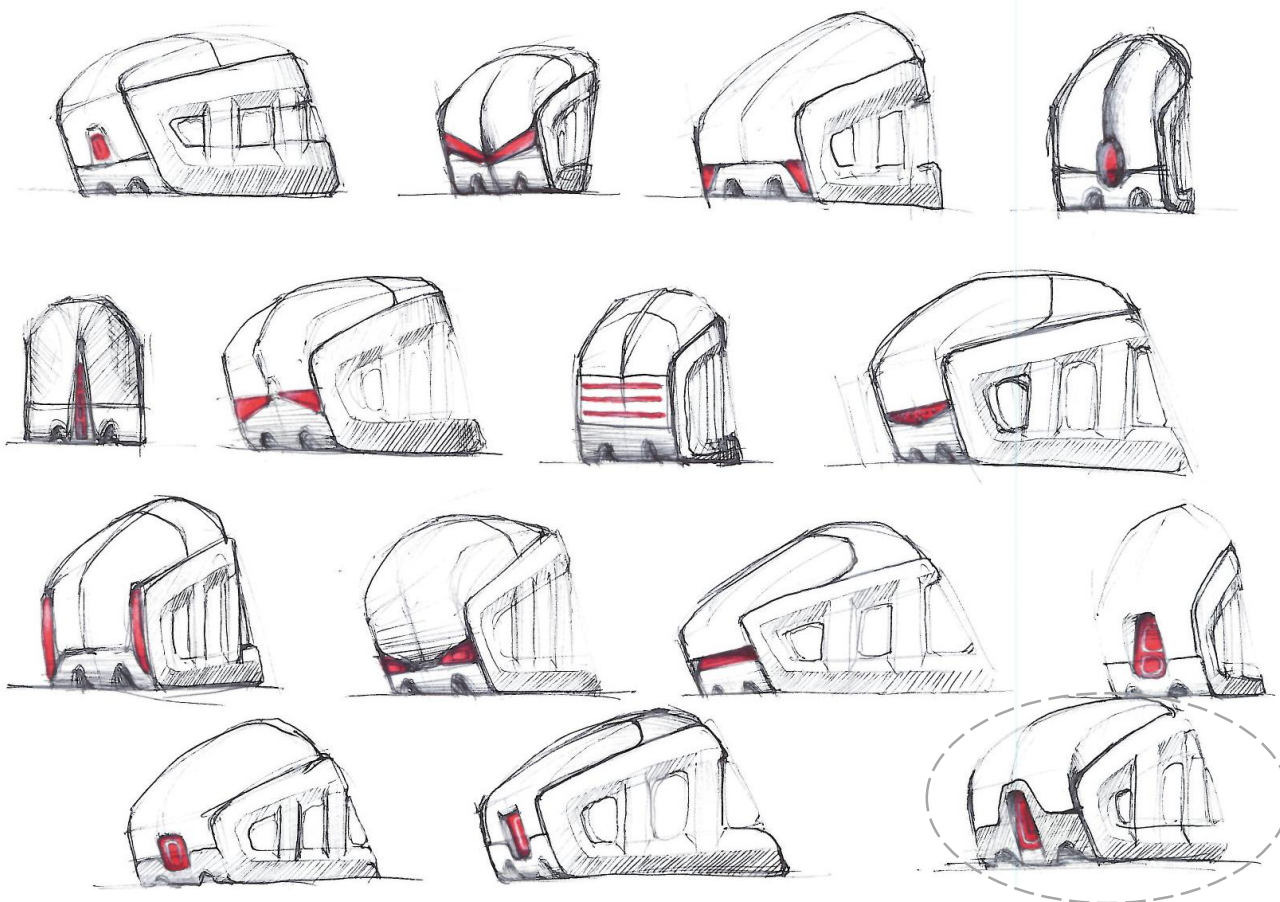
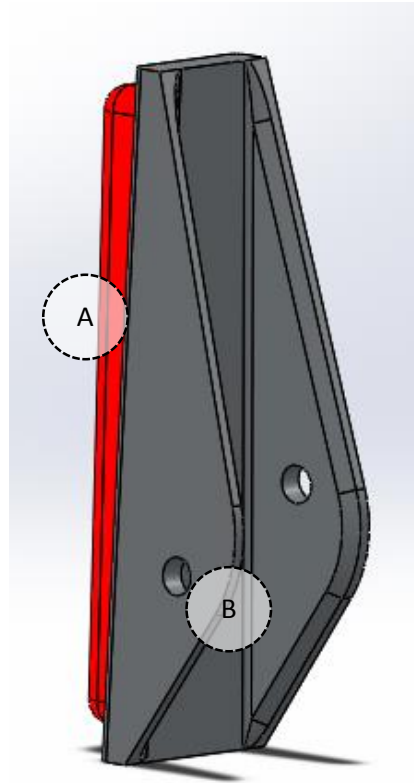


Figura 255: Sèrie d'*sketching* de la Llum posterior



- A: L'OLED adopta dos intensitats, una suau quan es circula de nit i una més forta sempre que es frena.
- B: Dos forats passants desalineats cargolen la xapa metàl·lica que encaixa amb l'allotjament del Llum posterior de la Caixa. Dits forats estan desalineats per evitar errors de muntatge (*Poka-Yoke*) i perquè quan ja s'ha cargolat un cargol la seva cabota no faci nosa al cargol restant.

SUBCONJUNT PLATAFORMES

SUPORT PLATAFORMES

PÀGINA 278

PLATAFORMES

PÀGINA 271



13.5 Subconjunt plataformes

Aquest subconjunt té com a objectiu servir de suport estable per l'usuari en la conducció del vehicle. És un dels punts d'interacció directe amb el conductor i ha de ser prou resistent per tal de garantir la seguretat de l'usuari.

Les característiques principals del subconjunt són:

- Unió de les plataformes al xassís.
- Estudi antropomètric i ergonòmic que defineixen el disseny (dimensionat) de les plataformes.

13.5.1 Plataformes

Es defineix com a plataforma la superfície encarregada de donar a l'usuari una base ferma on col·locar els peus. A l'apartat d'ergonomia (pàg. 181) es defineixen alguns dels aspectes a considerar alhora de dissenyar aquesta peça. Com que el procés de disseny evoluciona conforme el treball avança, a la secció a continuació apareixen esbossos fets abans de l'estudi ergonòmic.

13.5.1.1 Ideació

És difícil definir quin va ser el primer concepte de plataforma. Durant la fase de conceptualització (pàg. lxi) comencen els primers *sketchings*, en els que apareixen diferents conceptes de vehicles amb les seves respectives plataformes. Aquests són els que comencen a marcar la evolució posterior de la peça.

Un cop definida la orientació del producte amb el *mindmap* focal, es pot dir que comença la fase de disseny de la plataforma. Els esbossos i idees que es veuen a continuació són dels primers que van sorgir.

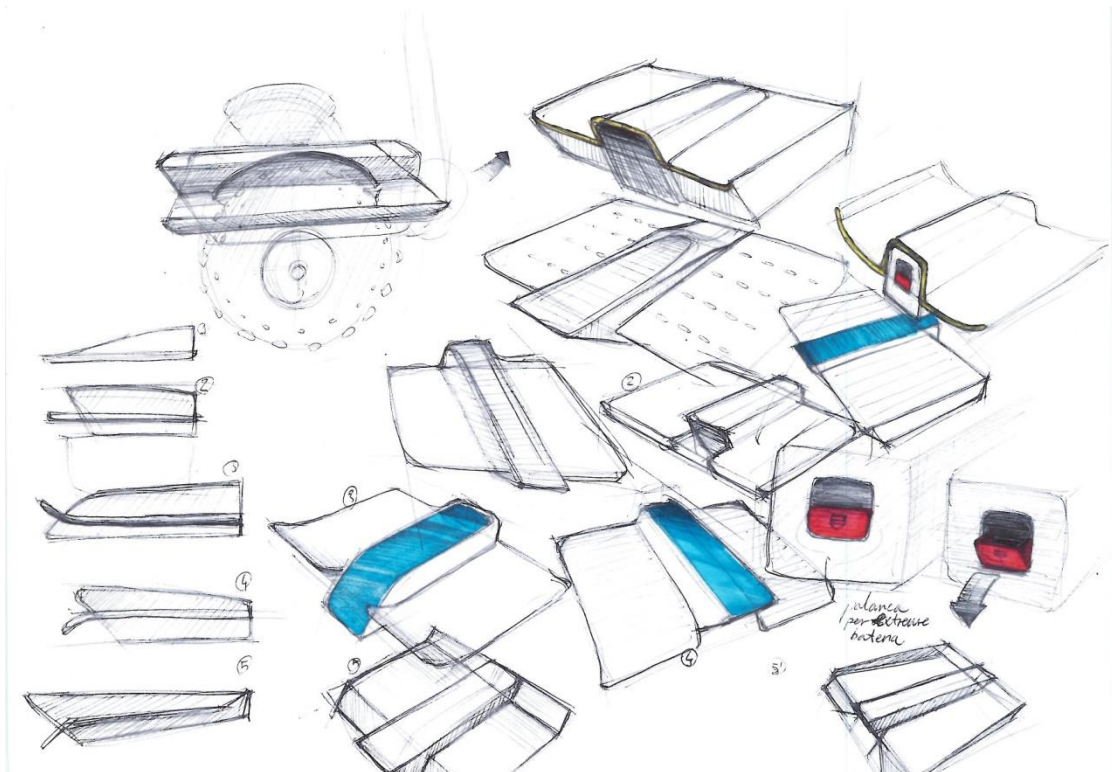


Figura 256: Esbós 1 plataformes

El més destacable de la Figura 257 és el dibuix en el que la plataforma cobreix tota la zona de la bateria unint en una sola peça l'espai destinat al peu dret i al peu esquerre. També es pot apreciar diferents comportaments tan a la part davantera, posterior i lateral de la peça.

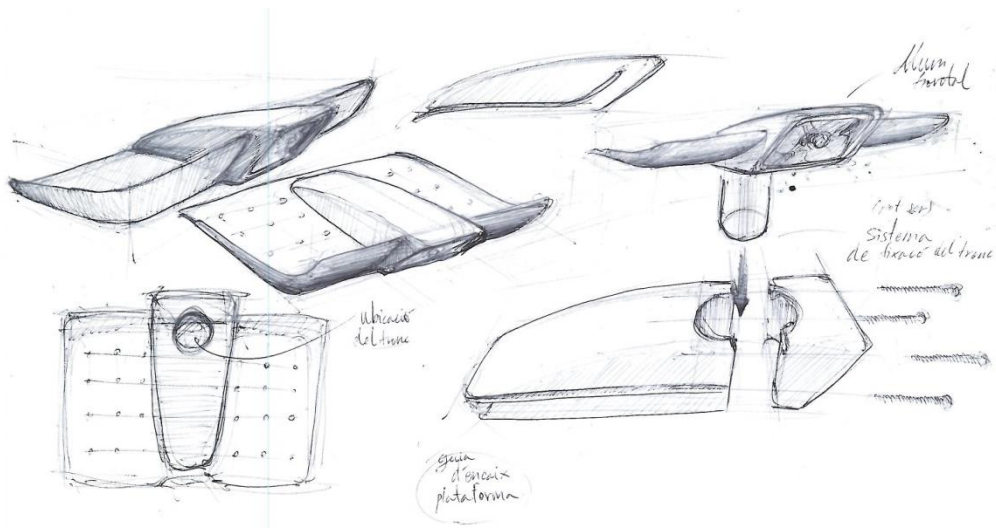


Figura 257: Esbós 2 plataforma

A la següent figura es poden apreciar aspectes com el nervat inferior de reforç de la peça i la col·locació de llums a la mateixa plataforma. També es plantegen plataformes que es prolonguen fins a fer de parafangs de les rodes.

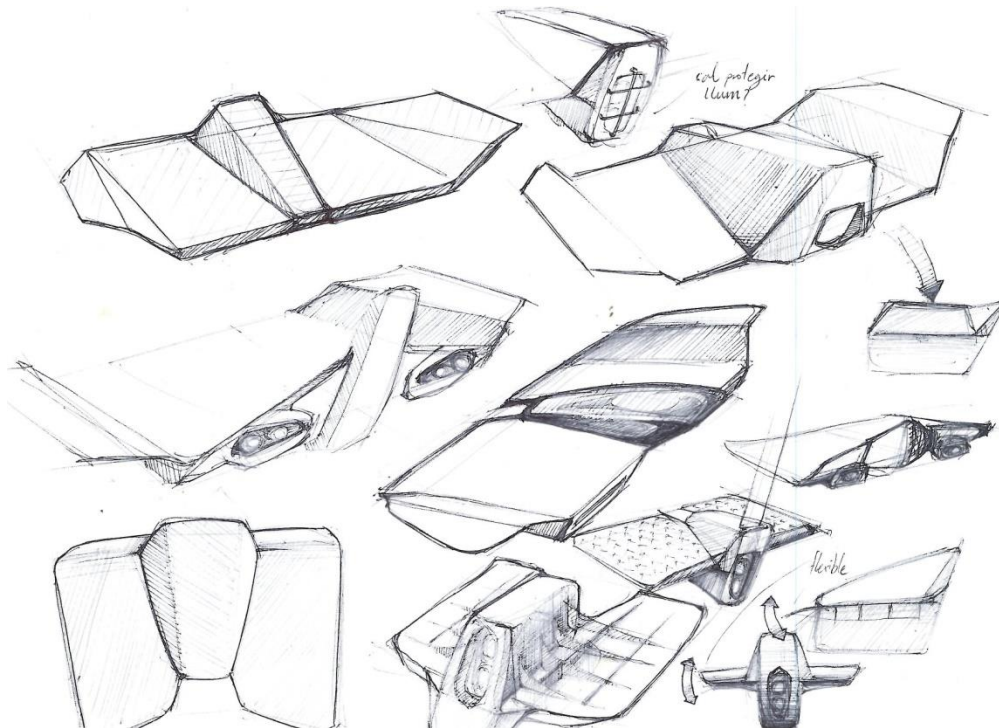


Figura 258: Esbós 3 plataforma

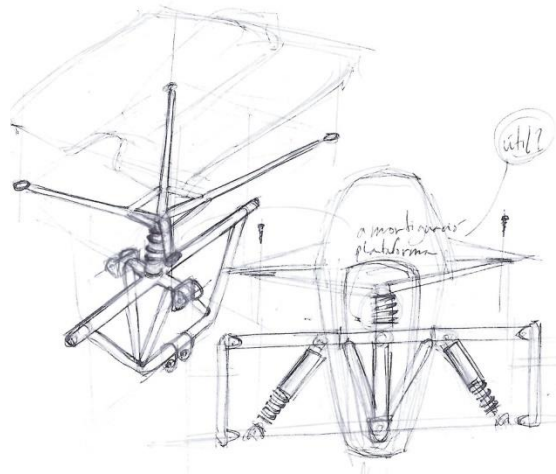


Figura 259: Esbós 4 plataforma

Un concepte interessant que va sorgir durant la conceptualització de la peça, va ser el de col·locar un amortidor només per la plataforma (Figura 259) El motiu d'aquest amortidor estava relacionat amb el punt en el que es trobava el treball. El sistema de gir aleshores no contemplava els dos quadrilàters (veure pàg. 186), pel que un impacte simultani a les dues rodes no podia ser amortit. De manera que es va proposar una tercer amortidor.

La evolució de la plataforma continua en una fase més madura del treball, en la que molts aspectes del vehicle ja havien estat resolts. Ja estaven definides les distribucions dels components interns, així com els quadrilàters i la interacció del usuari amb el vehicle. Amb això, es vol fer entendre, que van aparèixer noves restriccions de disseny no contemplades en les figures anteriors. D'aquesta manera la plataforma evoluciona fins a diferenciar dues meitats simètriques: una pel peu dret i l'altre pel peu esquerra.

El primer que es va fer va ser plantejar diferents formes des de una vista de planta (Figura 260).

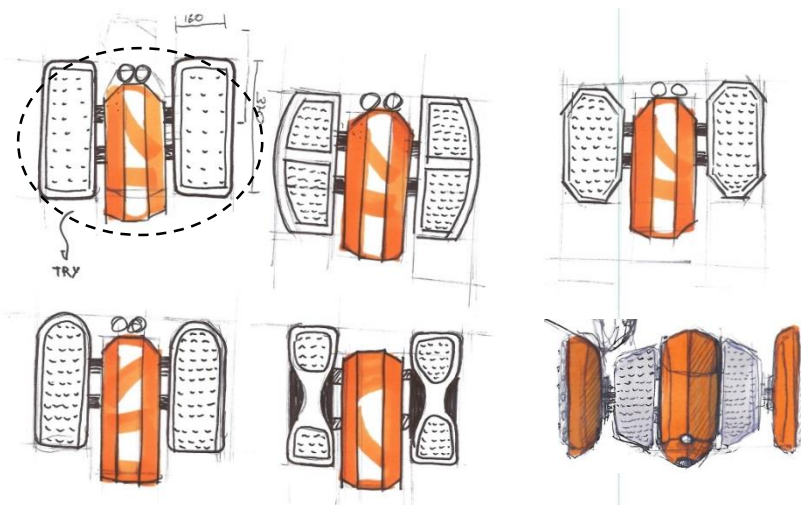


Figura 260: Esbossos 5 plataforma

El model seleccionat va estar el primer (encerclat a la Figura 260) amb el que es van realitzar alguns esbossos.

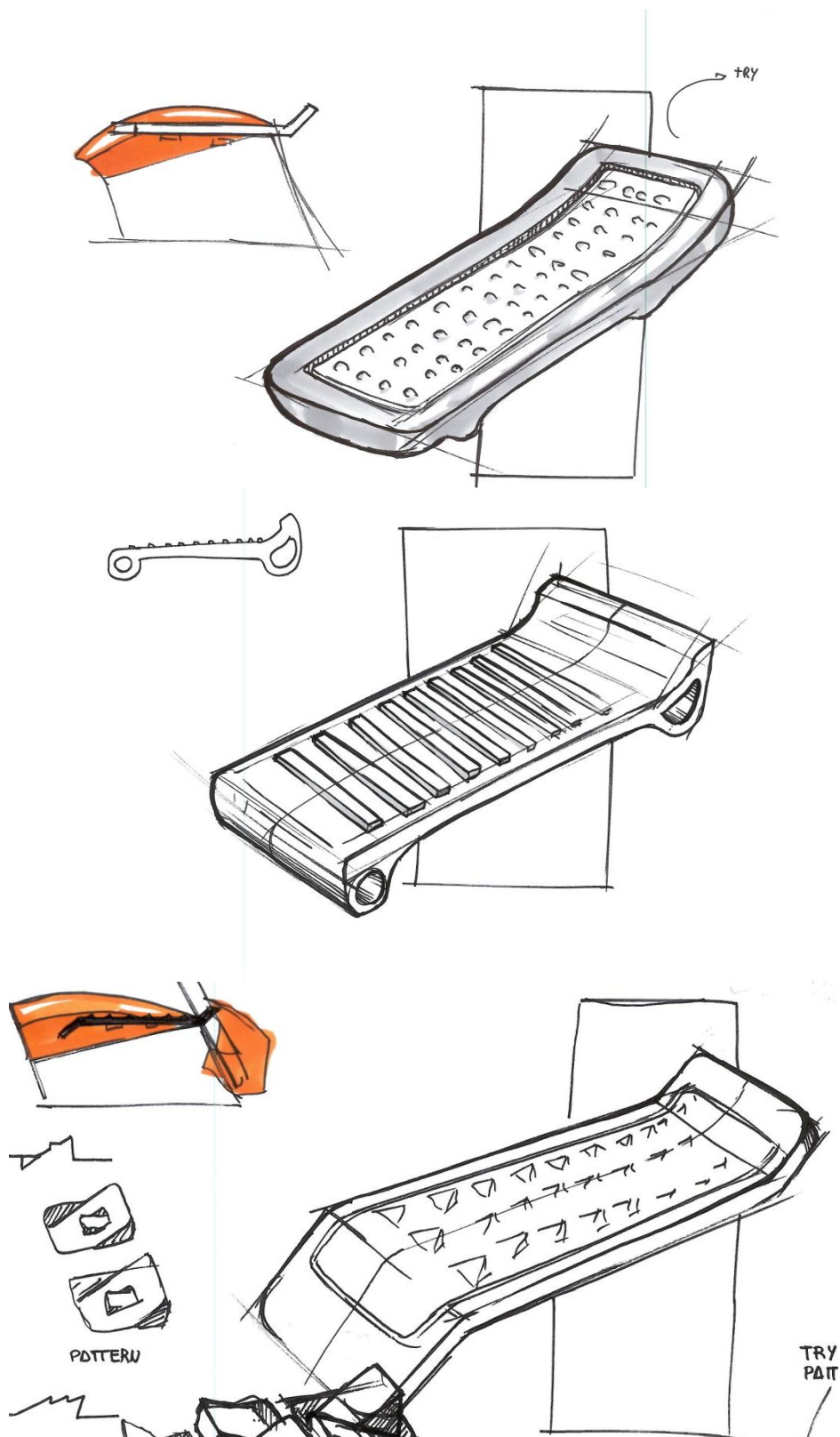


Figura 261: Esbossos 6 plataforma

Tal com s'havia plantejat al *Mindmap* focal i es comenta a l'apartat d'ergonomia (pàg. 181), per a que no es rellisqui el peu, es crea un patró per a la textura de la plataforma.

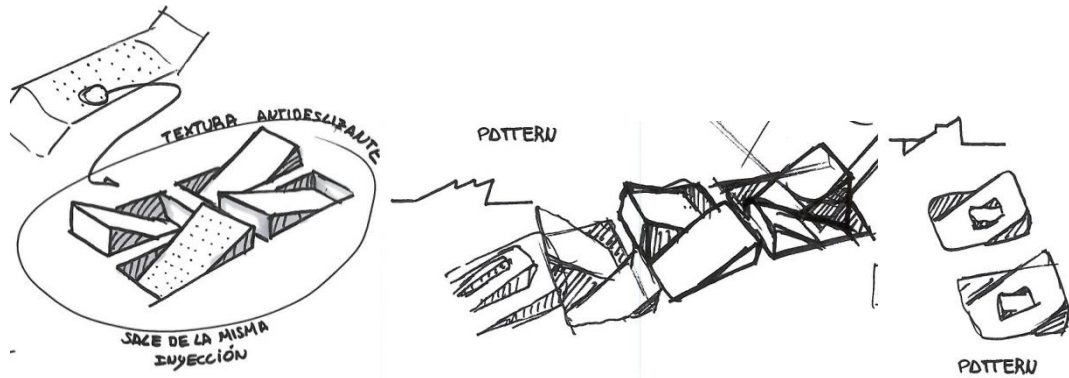


Figura 262: Esbossos del patró de textura de la plataforma

13.5.1.2 Estudi FEM

L'estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar el pes de l'usuari. Però en aquesta peça ha servit sobretot per decidir el material més adient d'entre tres candidats: PVC rígid, PP i ABS.

Càrrega: 500N aplicats a tota la superfície, a la qual s'ha hagut d'eliminar temporalment la textura d'adherència per a l'usuari. En cap cas afecta els resultats de l'estudi ja que es tracta d'un texturitzat molt superficial.

Part fixe: Totes les cares en contacte amb els cargols que fixen la plataforma al seu suport.

El resultat dels estudis aporten les següents dades:

Taula 6: Resultats obtinguts als estudis de la plataforma

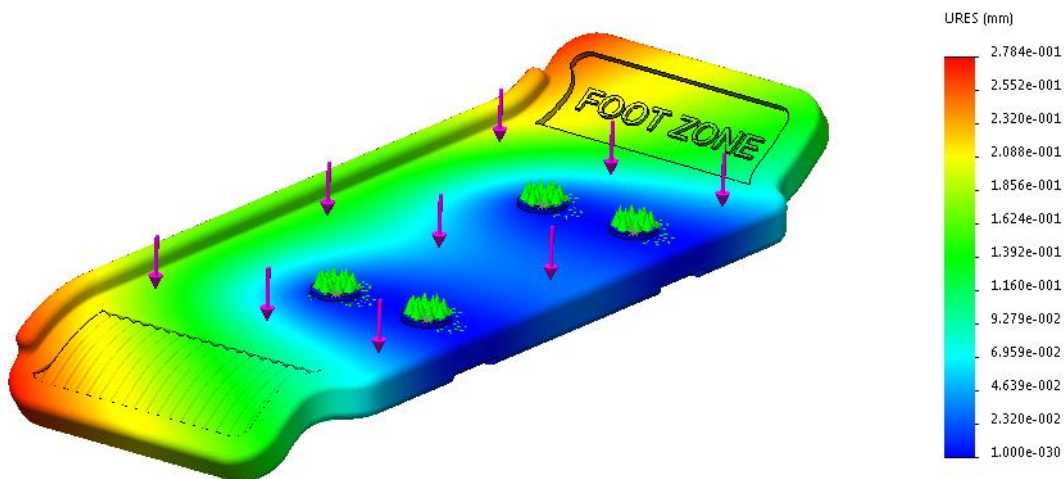


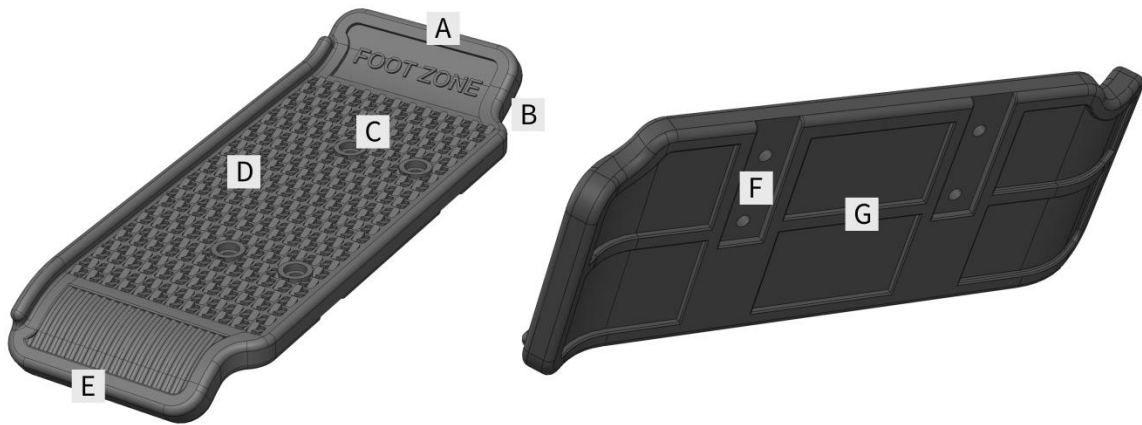
Figura 263: Estat de deformacions de la plataforma de Polipropilè (PP)

	PVC	PP	ABS
Tensions (Mpa)	39,96	36,52	38,67
Deformacions màximes (mm)	0,10	0,25	0,12

L'equip per tant, pren la decisió de realitzar la peça amb PP, que és el que acumula les tensions més baixes i es deforma més, tot i fer-ho d'una forma negligible.

Cal dir que la peça està una mica sobre-dimensionada, però al tractar-se de plàstic és preferible passar-se de llarg i evitar mals majors en el futur.

13.5.1.3 Característiques funcionals de la peça



- A: Inclinació a la zona davantera perquè el peu no es mogui endavant
- B: Forma per l'encaix de la plataforma amb el llum davanter
- C: Forats per als cargols que fixen la plataforma al suport
- D: Texturitzat que evita que el peu rellisqui
- E: Inclinació que minimitza l'error de la pujada de l'usuari
- F: Zona en la que es posiciona el suport. (*Poka-Yoke*)
- G: Nervat inferior de la plataforma

13.5.2 Suport plataformes

Aquesta peça es desenvolupa en una fase molt avançada del treball. Aquest factor és important per comprendre la solució final adoptada.

La funció principal del suport de les plataformes és la d'unir les Plataformes al Xassís. És una peça completament estructural, doncs ha de ser resistent i capaç de suportar esforços. Per aquest motiu la peça ha estat sotmesa a estudis d'elements finits amb l'objectiu d'aconseguir un bon disseny. Aquests estudis s'exposen més endavant en un subapartat d'aquesta secció.

13.5.2.1 Ideació

Cal anotar que la primera peça dissenyada del vehicle, va ser el xassís. Durant aquella fase, era difícil saber com serien totes les peces i com s'unirien. Per aquest motiu la unió de les plataformes es va anar arrossegant i no va estar definida en aquell moment. Amb el que ens trobem doncs, és que al no haver visualitzat prèviament aquesta part durant el disseny del bastidor, arribats a aquest punt del projecte, les plataformes no podien anar directament subjectades al xassís. La solució doncs era la de crear una nova peça, el Suport de les plataformes.

La primera solució que es va platejar va ser mitjançant dues peces unides amb cargols a l'interior del xassís (Fig. X). En aquest punt els components interns encara no estaven definits. Aquesta opció va ser descartada per que es menjava espai de la part central i es volia trobar una solució millor.

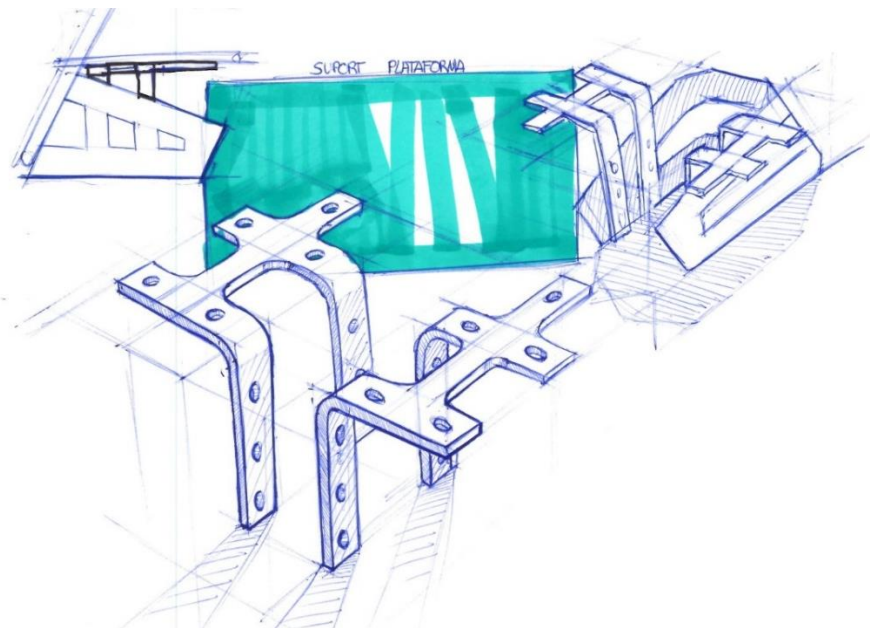


Figura 264: Esbós 1 del suport de les plataformes

Es va evolucionar doncs, a una sola peça que aniria unida a la part superior del xassís mitjançant cargols. Aquesta peça s'adaptaria a la inclinació del bastidor i quedaria paral·lela al terra. El més interessant però es el forat a la zona central per on s'introduirien i extraurien les bateries.

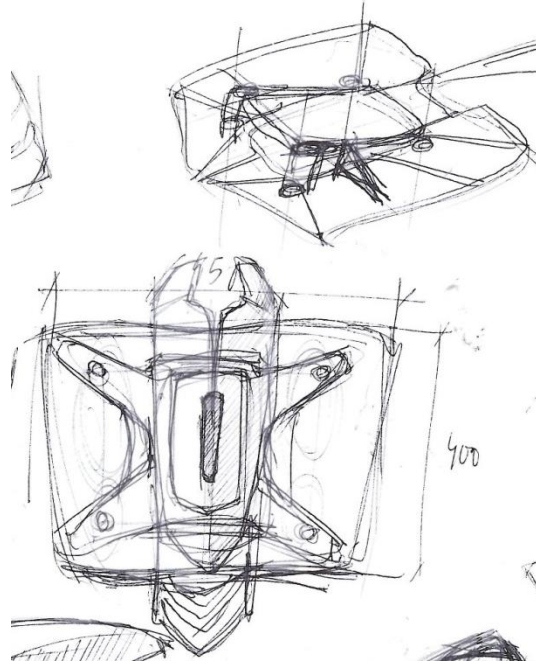


Figura 265: Esbós 2 del suport de les plataformes

La següent idea és una millora de la anterior. Mitjançant una planxa metàl·lica i un procés d'embotició s'aconseguiria una peça amb quatre braços d'unió per a les plataformes i una caixa central en la que s'hi allotjarien les bateries. Del mateix procés sortirien les guies que ajudarien al posicionament de la font d'alimentació. Aquesta opció es va considerar poc resistent i conseqüentment es va descartar.

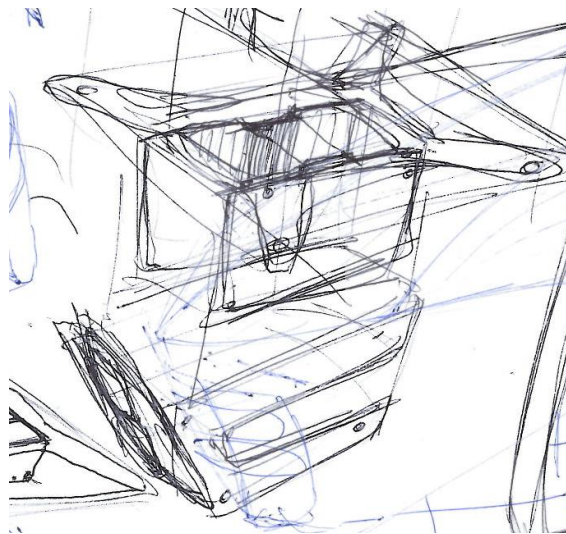


Figura 266: Esbós 3 del suport de les plataformes

Ens apropem a la idea final. La següent proposta consistia en una sola peça. Aquesta tenia quatre braços units dos a dos i roscats al xassís, però que a més a més, mitjançant un pont s'unien tots quatre. S'aconseguia una major rigidesa del conjunt i es millorava el comportament del xassís debat la possible flexió provocada pel pes del usuari. Aquesta permetia l'extracció de la bateria. Es va optar però per una solució més simple.

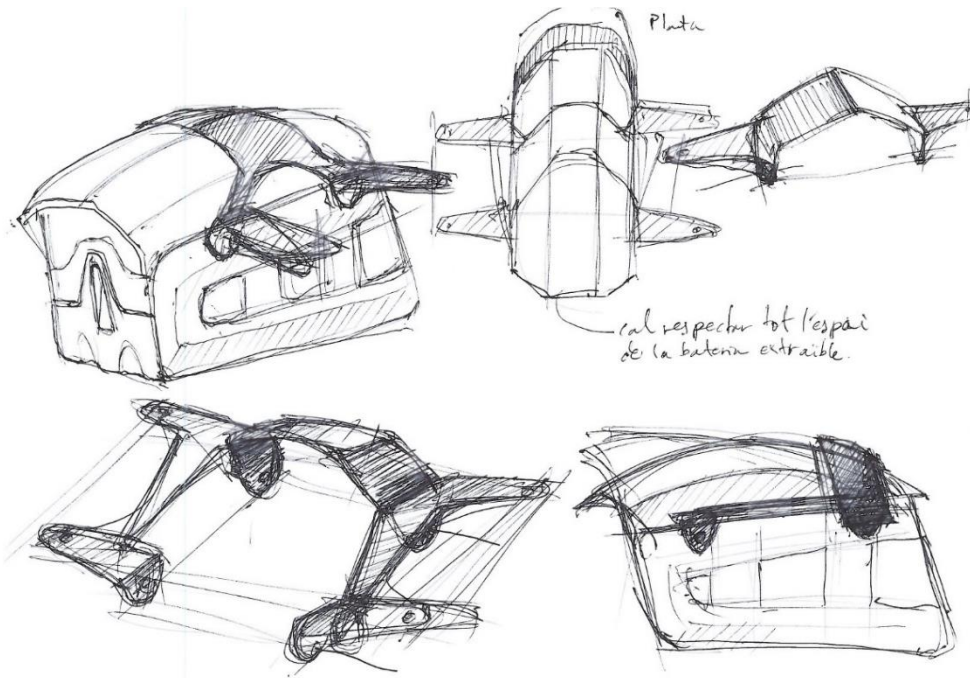


Figura 267: Esbós 4 del suport de les plataformes

La opció per la que es va optar va ser la següent:

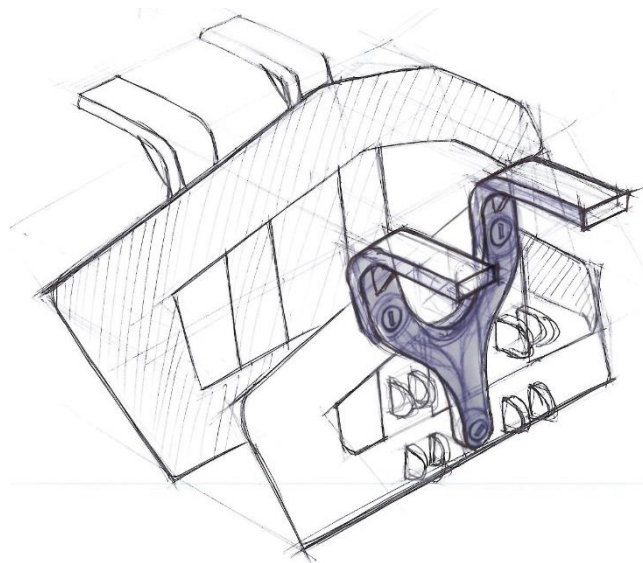


Figura 268: Esbós 5 del suport de les plataformes

Aquesta estructura consta de dues peces independents i simètriques que es col·loquen a cada banda del xassís. Aquesta opció no és la definitiva, ja que el seu muntatge no és possible, degut a que el cargol inferior topa amb les femelles que collen la Barra superior a les orelles. La modificació resultant consisteix en treure dues potes de la part inferior que es subjectin a les columnes del xassís.

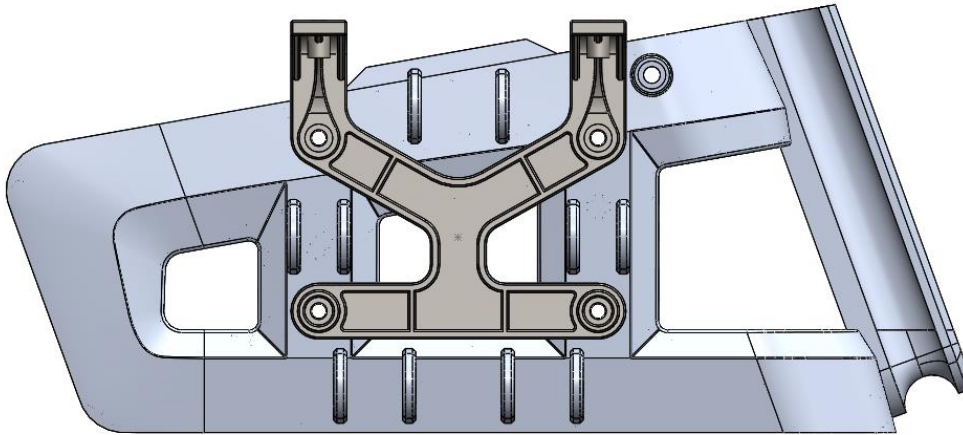


Figura 269 Suport de les plataformes definitiu

13.5.2.2 Estudis FEM

L'estudi d'elements finits per al suport de les plataformes el conformen una sèrie d'anàlisis d'iguals característiques:

1. **Punts de geometria fixe:** zones on es localitzen els cargols d'unió amb el xassís.

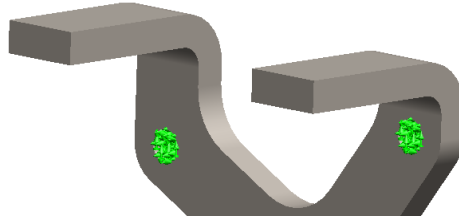


Figura 270: Punts de fixació

2. **Punts d'aplicació dels esforços:** zona de contacte entre la plataforma i el suport.

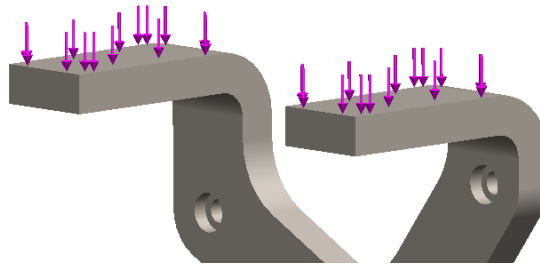


Figura 271: Sol·licitacions exteriors

Per a la força s'ha considerat el pes de la persona i el pes del producte que en conjunt arribarien a uns 200 kg. Se li ha aplicat doncs un factor de seguretat 3, ja que és una peça sotmesa a molta fatiga, exposada a l'aire lliure i el nivell de incertesa dels esforços als quals podria ser sotmesa es elevat. D'aquesta manera obtenim que tota la plataforma podrà rebre 6000N de força màxima. Com que aquests 6000N es repartiran en les dues plataformes independents, cada peça podrà rebre 3000N de força.

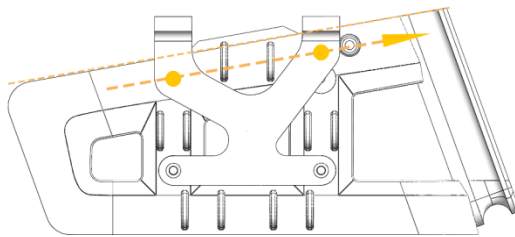
3. **Mallat:** per al mallat s'ha utilitzat un que s'adapti a la geometria i a la curvatura de la peça, *solidworks* tria la mida de malla més òptima.
4. **Material:** Acer 4340 .

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	205000	N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.285	N/D
Módulo cortante	80000	N/mm ²
Densidad de masa	7850	kg/m ³
Límite de tracción	745	N/mm ²
Límite de compresión		N/mm ²
Límite elástico	470	N/mm ²
Coefficiente de expansión térmica	1.23e-005	/K
Conductividad térmica	44.5	W/(m·K)
Calor específico	475	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

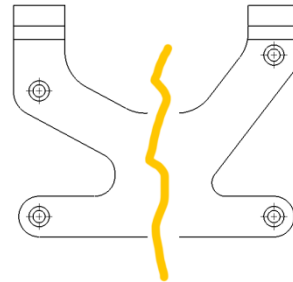
Figura 272 Propietats del material

a) Primer estudi

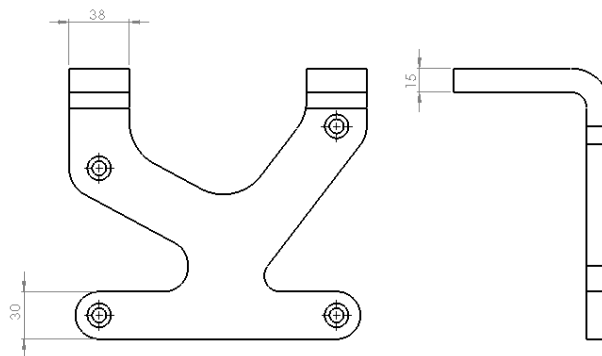
Per a la realització d'aquest primer estudi es parteix d'un volum sobredimensionat amb les següents **característiques**:



Forats amb direccionalitat igual que el xassís



Asimetria



Seccions variables i espessor de 15mm

Els **resultats** obtinguts es veuen a continuació:

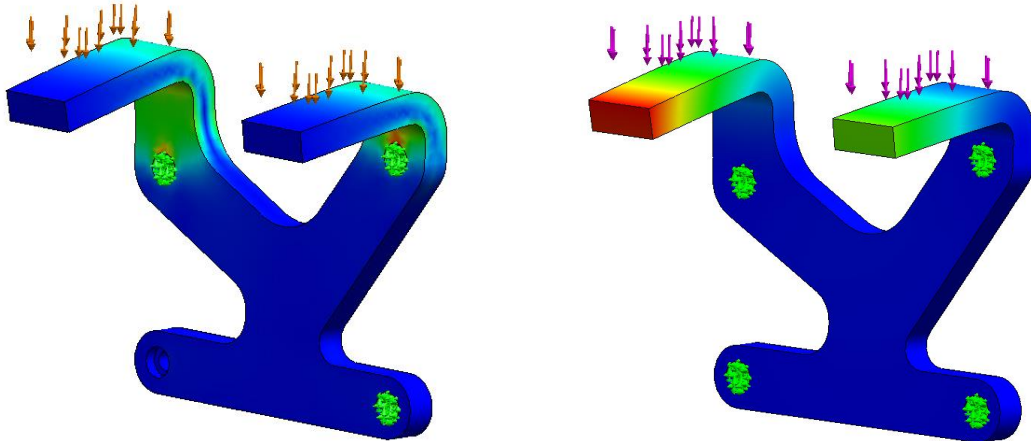


Figura 273: D'esquerra a dreta, tensions i deformacions de la peça

Tensions màximes	Deformacions màximes
111 MPa	0.24 mm

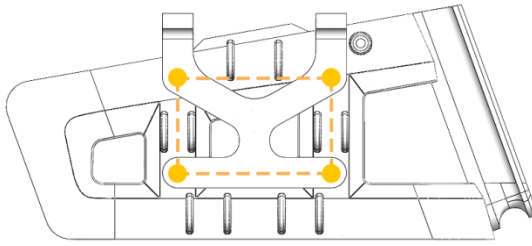
Taula 7: Resultats del primer estudi

Com es veu a la figura 93 les tensions màximes es concentren en els punts d'unió superior, pel que s'ha de aconseguir repartir els esforços. Les sol·licitacions rebudes són quatre vegades més petites que les que pot suportar el material, pel que es pot reduir material.

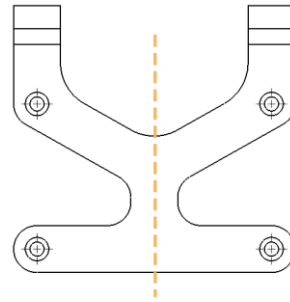
En quant a les deformacions, la asimetria de la peça provoca majors desplaçaments a un dels braços.

b) Segon estudi

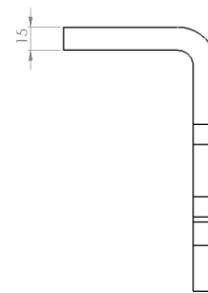
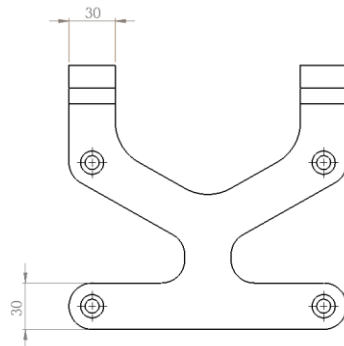
Els canvis principals aplicats han estat:



Alineació dels forats entre ells



Simetria



Seccions constants i espessor de 15mm

L'objectiu d'aquests canvis ha estat igualar les tensions entre tots dos braços, i reduir la quantitat de material.

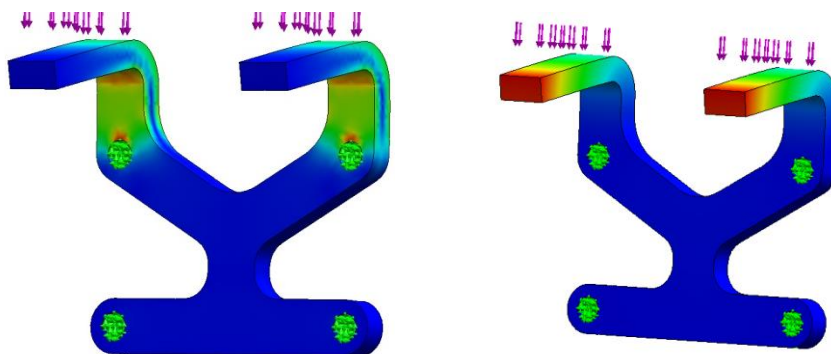


Figura 274: D'esquerra a dreta, tensions i deformacions de la peça

Al reduir la secció apareixen més concentracions de tensió a la zona de curvatura, tot i així encara s'està molt lluny de la deformació plàstica del material.

Al igualar la geometria dels braços s'igualen les deformacions i s'aconsegueix que el desplaçament sigui el mateix per als dos.

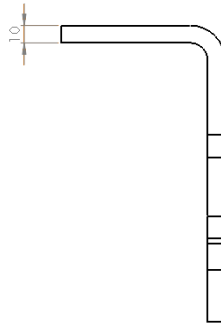
Els **resultats** obtinguts no difereixen molt dels anteriors.

Tensions màximes	Deformacions màximes
116 MPa	0.34 mm

Taula 8: Resultats del segon estudi

c) Tercer estudi

En el següent estudi l'únic canvi aplicat ha estat la reducció d'espessor.



Reducció del gruix a 10mm

Aquest canvi he estat el més significatiu, el canvi de gruix és el que més repercussions comporta. Tot i així les tensions màximes es troben per sota del límit elàstic.

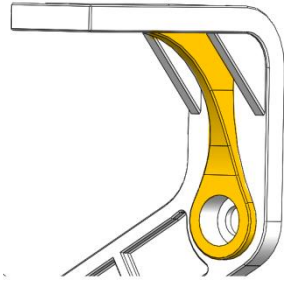
Els resultats obtinguts han estat els següents:

Tensions màximes	Deformacions màximes
238 MPa	0.96 mm

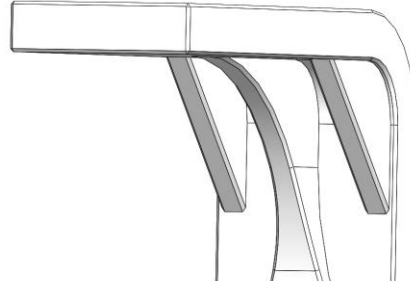
Taula 9: Resultats del tercer estudi

d) Quart estudi

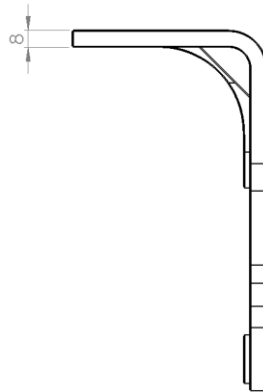
En el darrer estudi s'obté la peça final. Les característiques que la defineixen són les següents:



Nervi central connectat amb la zona del
cargol



Tres nervis a cada braç



Espessor de 8mm

Amb el nervat s'aconsegueix repartir les tensions i s'evita que la peça flecti en excés, i rodejant el forat passant amb un petit nervi que es connecta amb el nervi principal es disminueixen les concentracions de tensions i una distribució més uniforme de les sol·licitacions.

Els resultats són els desitjats.

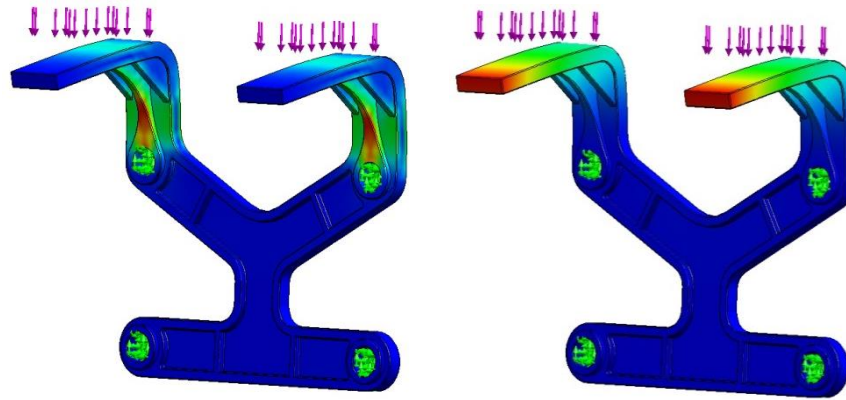


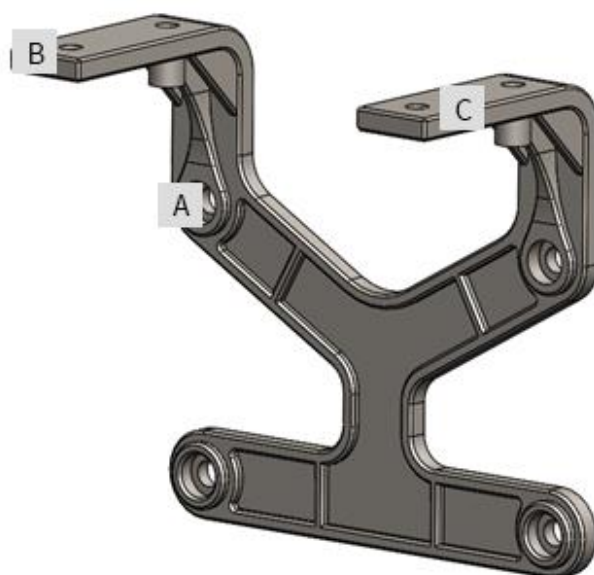
Figura 275: D'esquerra a dreta, tensions i deformacions de la peça

Tot hi que les tensions augmenten respecte el cas anterior, les deformacions disminueixen gracies als nervis. Seguim estan lluny del límit elàstic, però un disminució de secció farà créixer en excés els desplaçaments.

Tensions màximes	Deformacions màximes
269 MPa	0.66 mm

Taula 10: Resultats del quart estudi

13.5.2.3 Característiques funcionals de la peça



- A: Forats dels cargols de subjecció del suport de la plataforma al xassís.
- B: Forats dels cargols de subjecció de la plataforma al suport.
- C: Braços on es recolza la plataforma.

SUBCONJUNT TRONC

TENSOR

PÀGINA 305

PANEL·L D'INFORMACIÓ

PÀGINA 307



PUNYS

PÀGINA 306

MANILLAR/PART MÒBIL

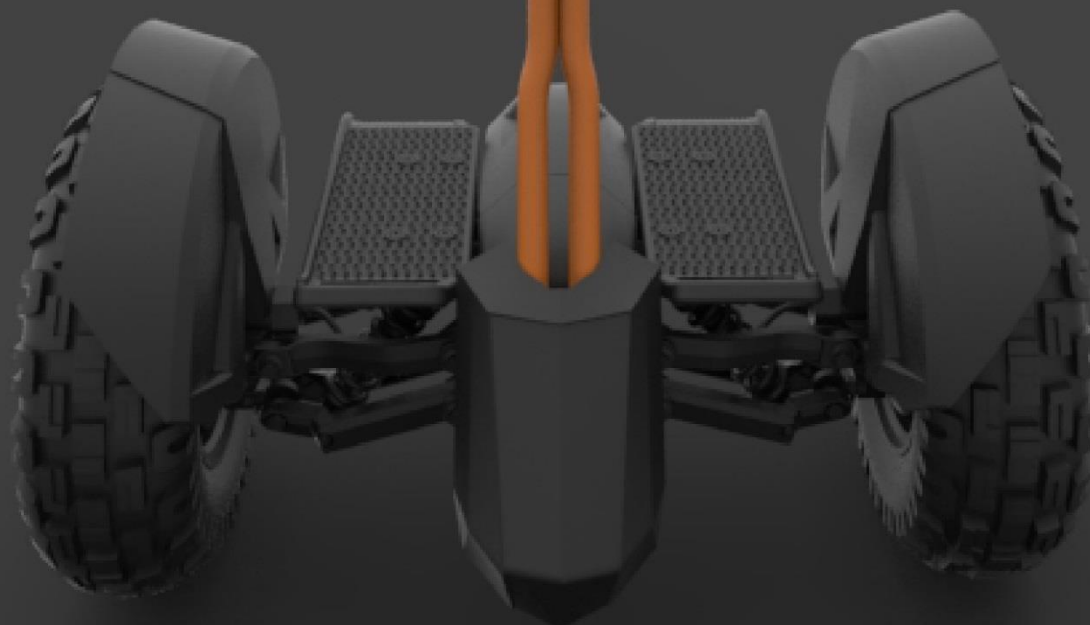
PÀGINA 303

MORDASSA

PÀGINA 300

PART FIXA DEL TRONC

PÀGINA 298



13.6 Subconjunt tronc

El tronc té com a objectiu donar seguretat a l'usuari a l'hora de conduir el vehicle i realitzar maniobres. En cap moment esdevé l'element principal de gir, per això les seves característiques poden diferir dels productes del mercat.

Les característiques del conjunt són:

- Està format per tubs metàl·lics que simplifiquen el sistema i faciliten el seu muntatge i procés de fabricació.
- La part fixe del tronc s'uneixen al xassís amb un cordó de soldadura.
- El llum frontal va directament subjectat a la tija.
- La seva geometria s'adapta a la fisonomia del xassís.
- L'alçada del manillar és regulable.
- La postura de l'usuari sempre és l'adient gràcies a la direccionalitat de la tija (pàgina x).

13.6.1 Ideació

Abans de començar la fase de *sketching* era important marcar-se les bases del que es volia aconseguir. Es va realitzar un petit *briefing* per a tenir unes pautes i unes restriccions. Algunes de les decisions van ser: fer-lo amb un **aspecte mecànic i agressiu**, que fos **lleuger i es pogués regular l'alçada**.

El primer aspecte a atacar va ser el mecanisme de regulació (Figura 276). Es pretenia mostrar el texturitzant del material, els reforços i la interacció entre els components, intentant no ocultar res: emfatitzant l'aspecte mecànic.

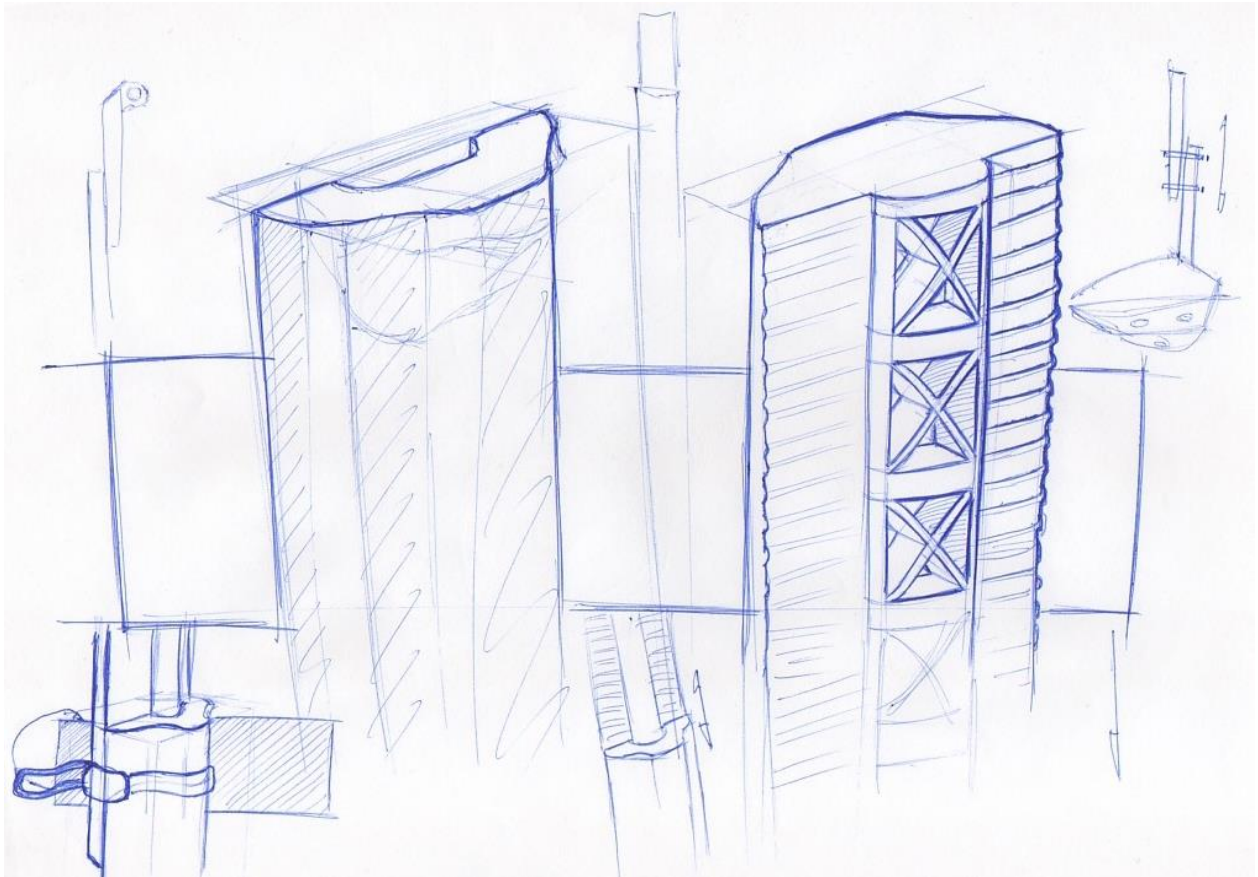


Figura 276: Primera sessió d'sketching del Subconjunt tronc

Es va plantejar aconseguir que el manillar fos regulable amb dues guies laterals que permetien el moviment d'un cos central que acabava amb dit manillar (Figura 277). La opció va ser descartada per la complexitat i la quantitat de peces que s'haurien d'utilitzar.

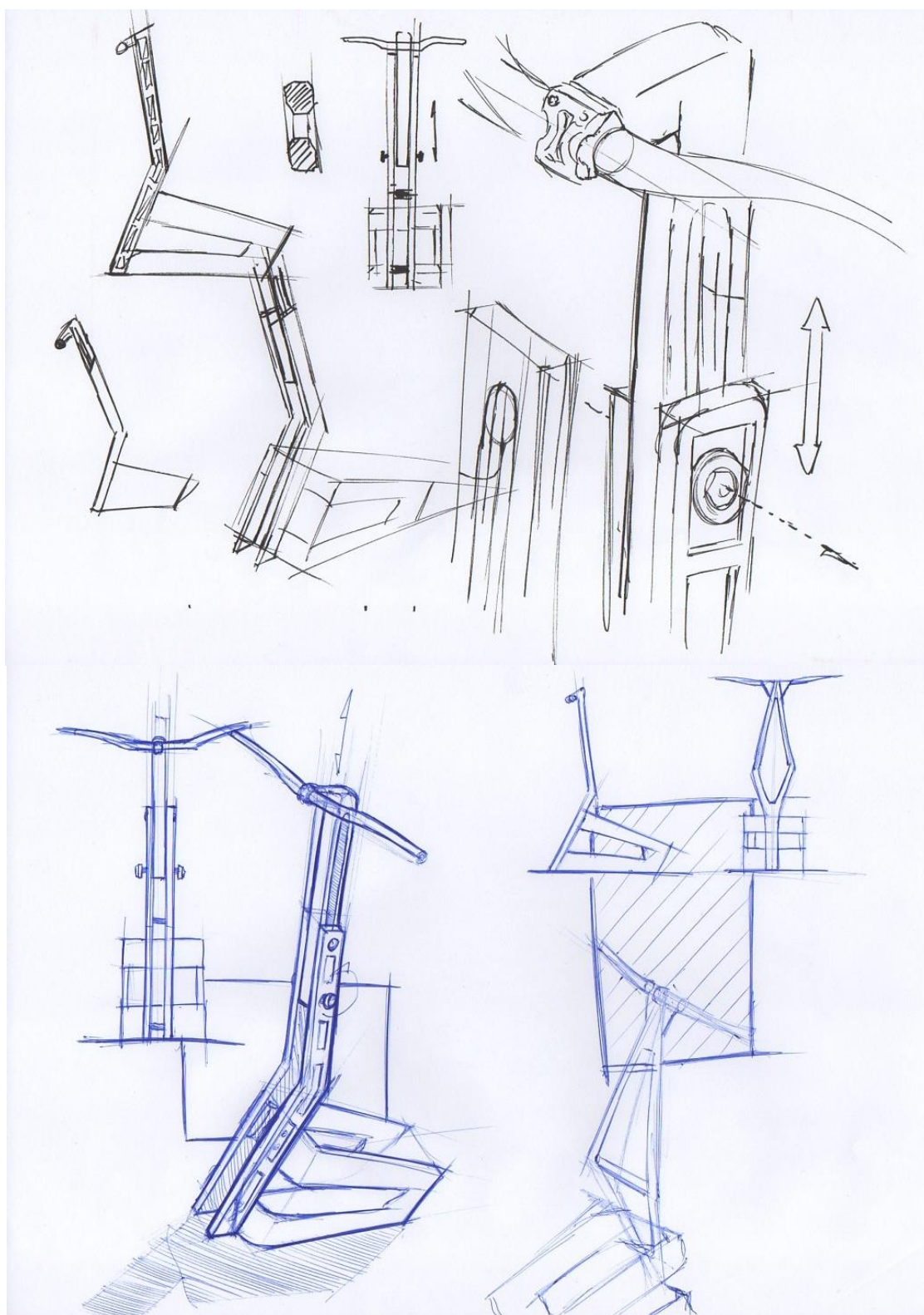


Figura 277: Segona sessió d'sketching del Subconjunt tronc

Aquest concepte es va explotar una mica i es va intentar simplificar el mecanisme. Aquest cop, la part unida al xassís era un perfil buit i el tronc mòbil unit al manillar era el que es desplaçava de forma telescòpica (Figura 278). Es va començar a jugar amb un aspecte més estructural semblant als perfils de biga.

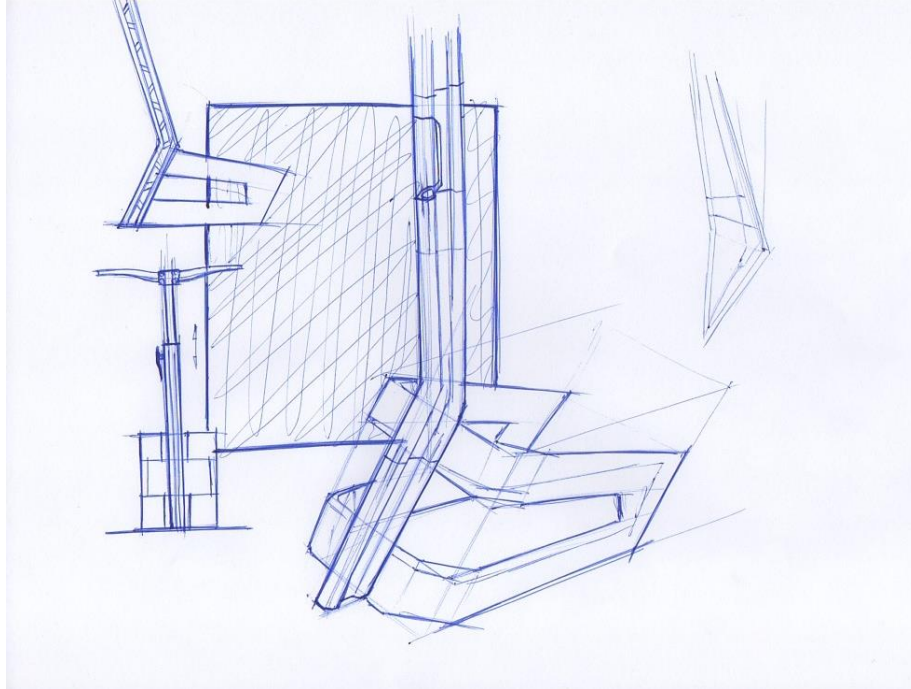


Figura 278: Tercera sessió d'sketching del Subconjunt tronc

A la següent figura el perfil extruït és la peça mòbil. Això va permetre jugar amb les formes de la zona fixa per a donar un altre aspecte.

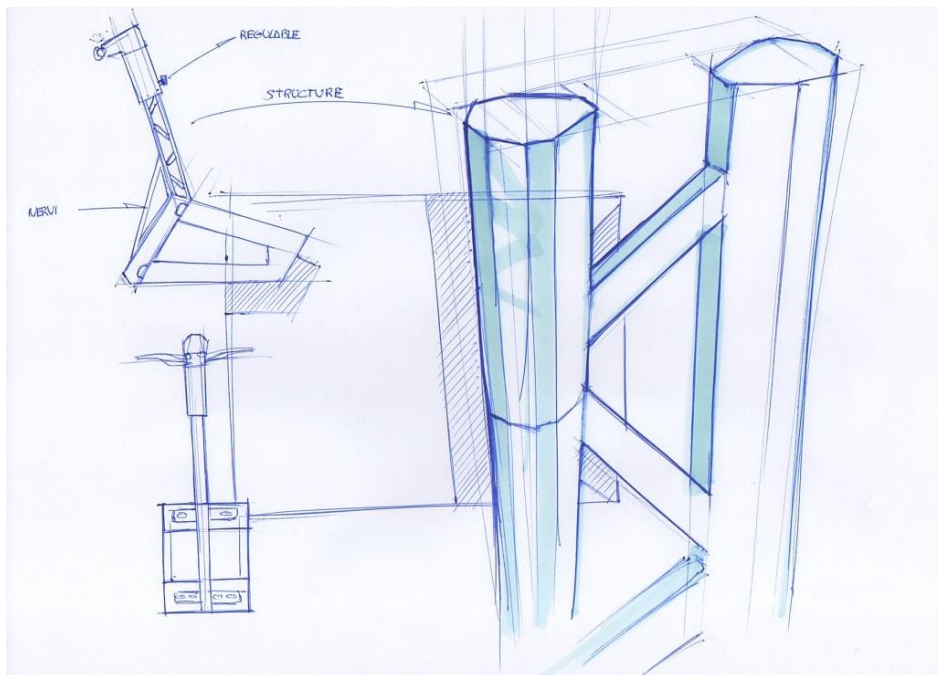


Figura 279: Quarta sessió d'sketching del Subconjunt tronc

Va ser doncs quan es va passar al modelat, amb l'objectiu de visualitzar quin era el comportament estètic de la forma quan s'unia al xassís. No va ser per a res l'esperat.

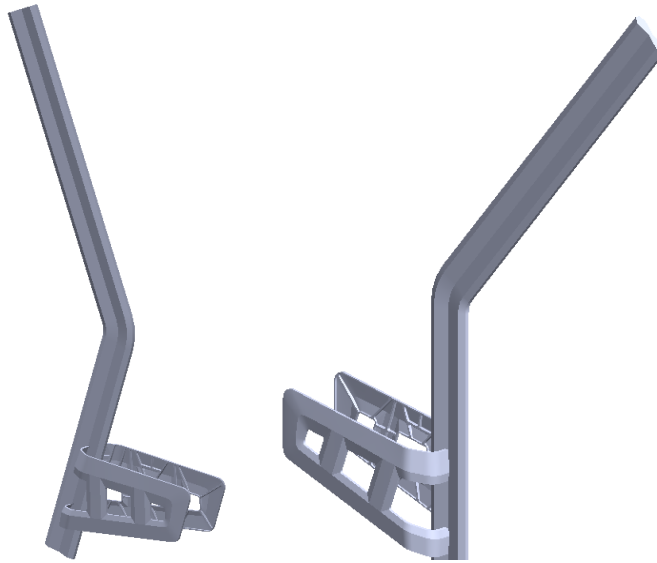


Figura 280: Primer modelat del concepte

La orientació i la proporció amplada-gruix no estaven ven focalitzades, per tant es va seguir esbossant. Finalment es va arribar al següent concepte:

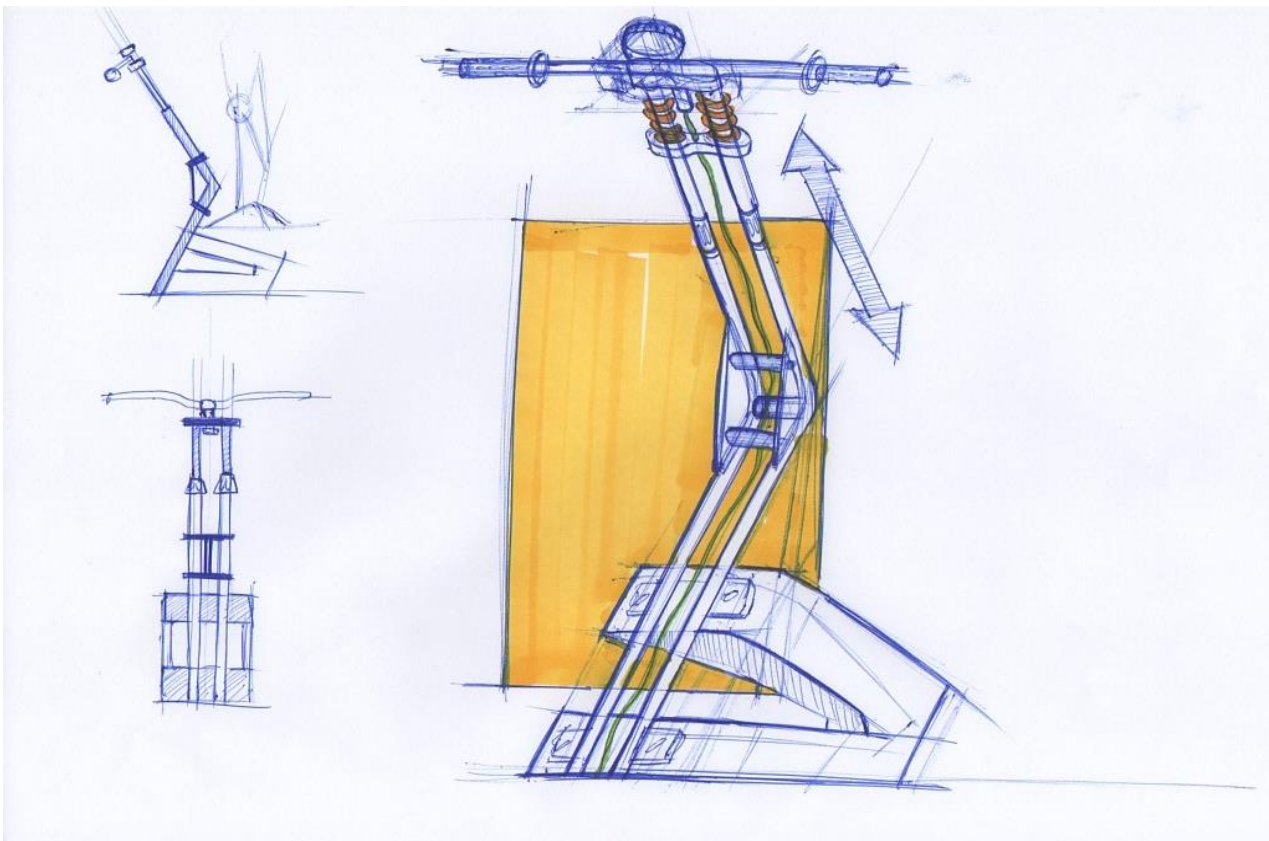


Figura 281: Cinquena sessió d'sketching del Subconjunt tronc

En aquesta última idea s'utilitzen perfils tubulars per a compondre tan el tronc fix com el mòbil. L'espai buit central li dona lleugeresa i els tubs són perfectes per a realitzar un moviment prismàtic.

Darrerament es planteja unir el tub principal, per a donar més rigidesa i estalviar en elements estructurals.

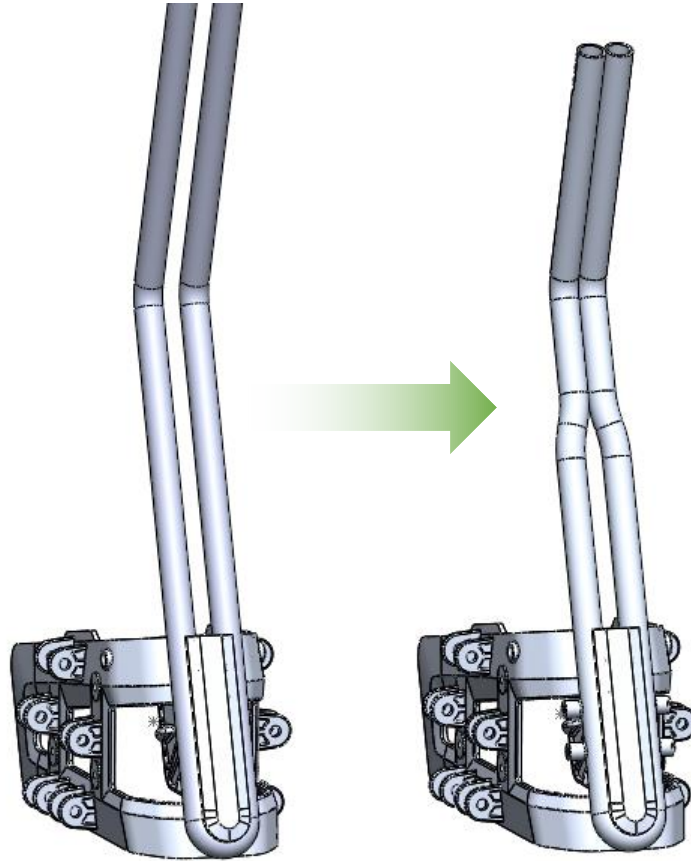


Figura 282: Evolució del model de tubs separats a tubs units

Per últim es van desenvolupar dos camins per a la subjecció del manillar:

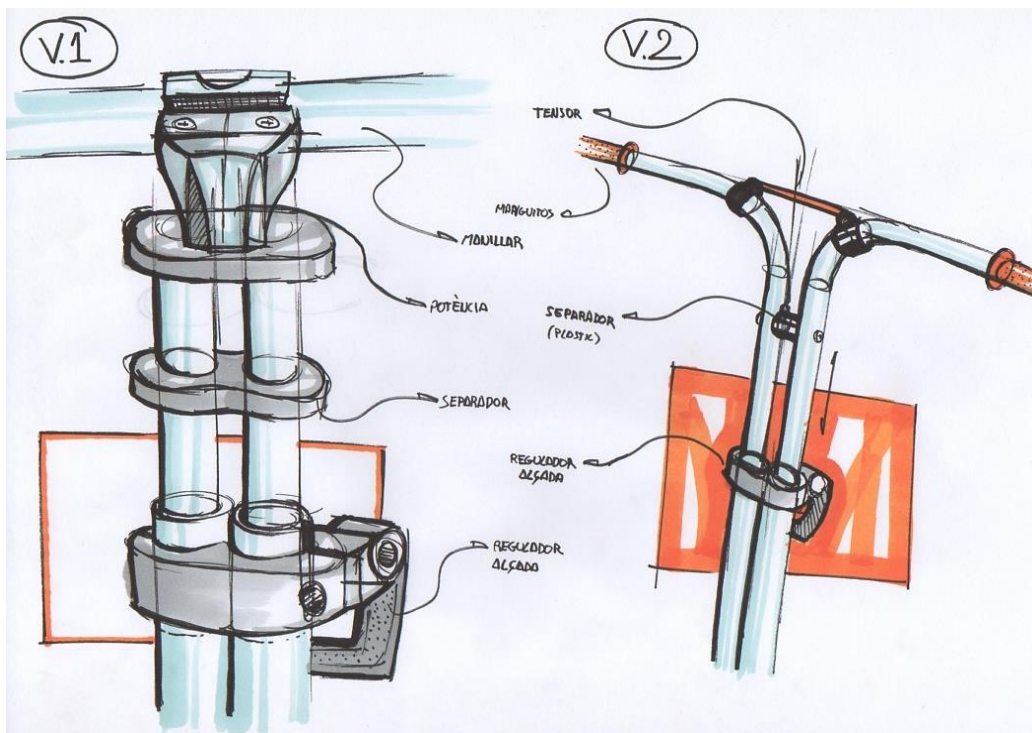


Figura 283: Esbossos per a la subjecció del manillar

A l'esquerra de la Figura 283 es veu com els tubs prismàtics acaben amb una potència en la que es subjecta el manillar, a la de la dreta els mateixos tubs es converteixen en el manillar en obrir-se en direccions oposades.

13.6.2 Part fixa del tronc (Tronc fix)

El tronc fix, que a la part inferior es doblega dibuixant una "U", permet un muntatge ràpid i sense errors, ja que la seva col·locació només es pot efectuar d'una manera. És important que aquesta peça sigui introduïda abans d'unir les dues meitats del xassís de manera que el seu muntatge sigui possible.

Primer es col·loquen les dues meitats del xassís desplegat per l'espai entre els tubs i després es giren 90°. Finalment es col·loca el tub a la seva posició i s'aplica el cordó de soldadura (Figura 285).

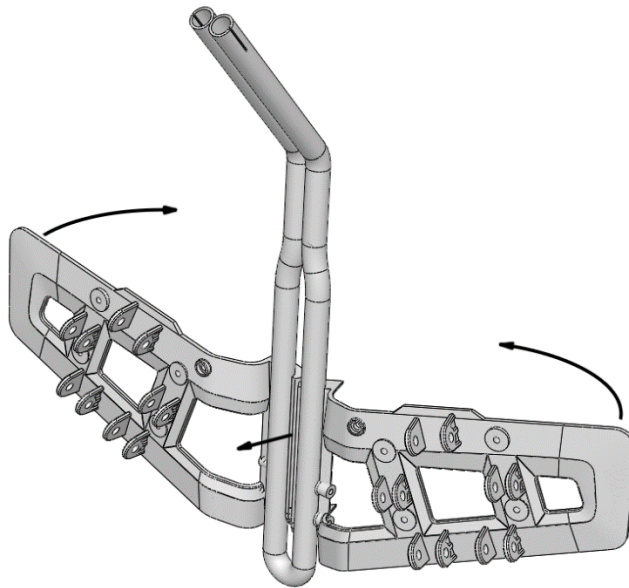


Figura 284: Muntatge de la barra al xassís

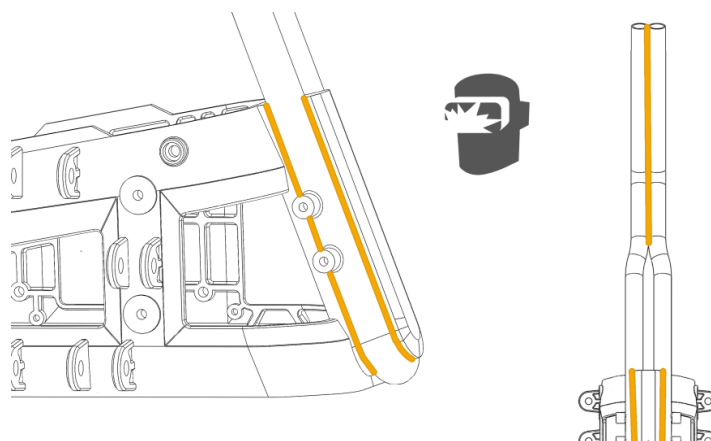


Figura 285: Zones on s'aplica cordó de soldadura

Per a la fixació del llum frontal s'han afegit uns tacs metàl·lics soldats al tub. Aquests tenen el suficient gruix com per a que el cargol quedi ben roscat.

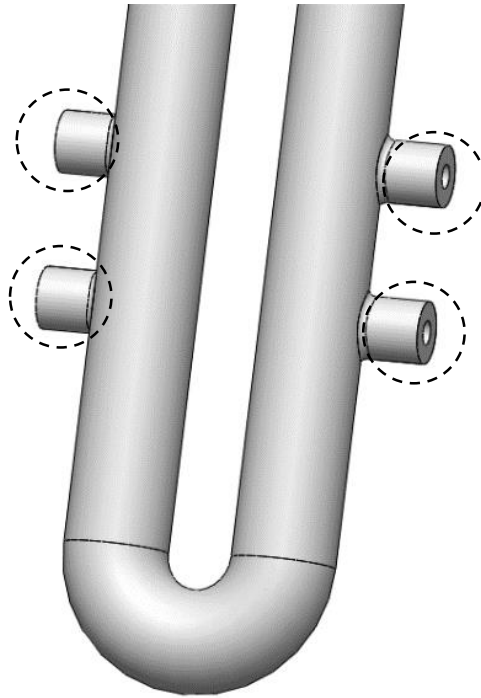


Figura 286: Inserts que possibiliten la fixació del llum frontal

Les ranures de la part superior de la barra fixe permeten la compressió del tub i com a conseqüència la fixació o alliberació de la part mòbil.

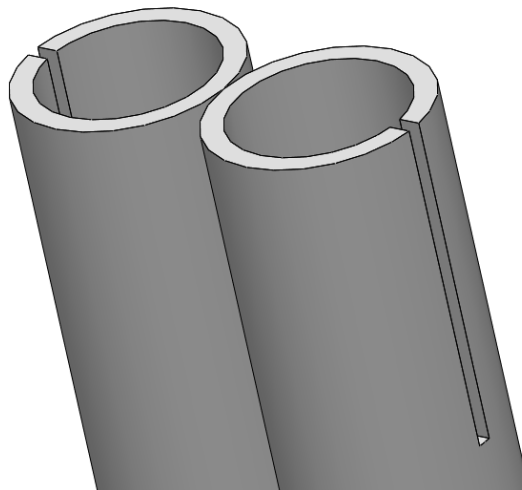


Figura 287: Ranures de la part fixe del tronc

13.6.3 Mordassa

Aquest element és el que permet l'alliberament o fixació del tronc mòbil del manillar. Primerament es pretenia que l'usuari pogués ajustar-ho sense haver de necessitar cap eina. Per aconseguir-ho es va pensar en els sistemes que utilitzen el seients de les bicicletes.



Figura 288: Mordassa de bicicleta

El tronc fix però, necessita comprimir dos tubs per fixar el tronc mòbil, pel que el sistema hauria de tenir dues palanques que s'accionessin a l'hora. Es proposava el següent (Figura 289):

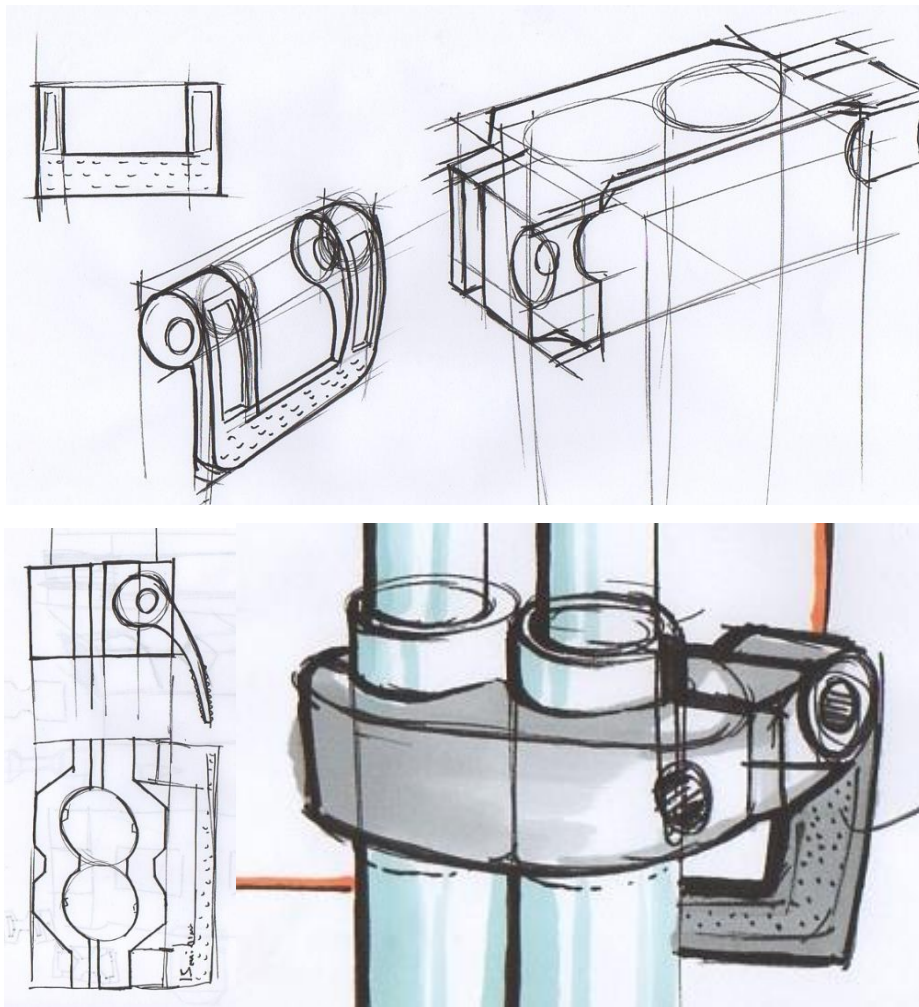


Figura 289: Esbossos de la mordassa

Es va comprendre però que no era necessari. El producte que s'estava plantejant estava enfocat a un ús personal, l'usuari que el compri serà l'usuari que l'utilitzi. Un cop ajustada l'alçada adequada no serà necessari canviar-la. Tot i així l'usuari sempre podrà utilitzar una eina per a fer-ho en cas que cedeixi el seu vehicle a algú.

Per a la morfologia del component s'han pres com a referència les potències de bicicleta (Figura 290)



Figura 290: Potències de bicicleta

Finalment el resultat arribat es el que es veu a la següent figura.



Figura 291: Disseny final de la mordassa

Perquè la peça es col·loqui en la posició correcta unes petites pestanyes obliguen a col·locar-la sempre en la mateixa posició.

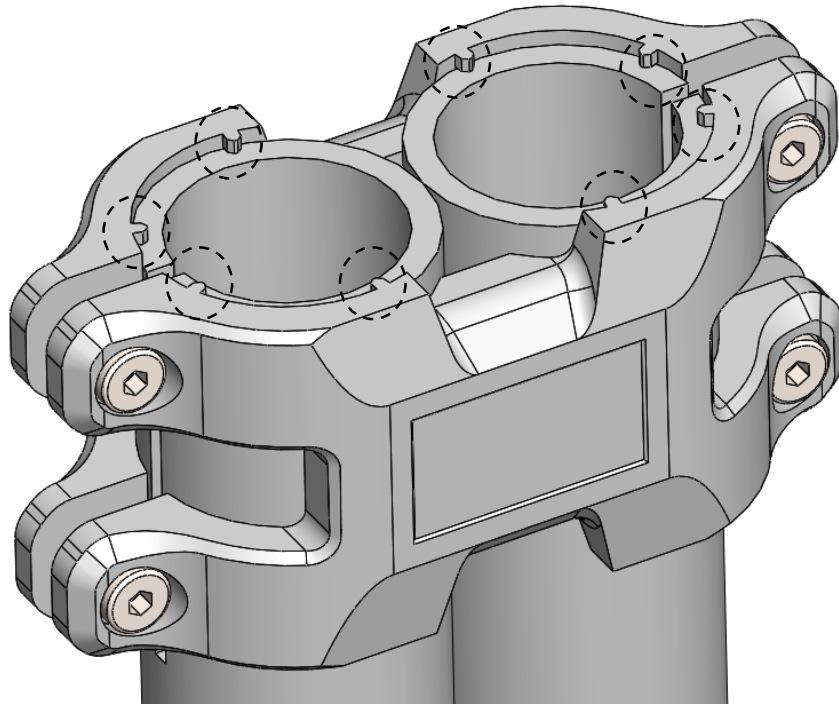


Figura 292: Detall de pestanyes de la potència (encerclades)

13.6.4 Manillar/Part mòbil (Tronc Mòbil)

Per a simplificar el sistema, els mateixos tubs que possibiliten el moviment prismàtic i la regulació d'alçada, esdevenen el manillar. Aquest sistema però requereix de dos elements: un separador i un tensor. El primer (Figura 293) uneix ambdues barres i evita moviment independentment mentre que el segon (Figura 294) reforça el manillar per la zona més dèbil i evita que es doblegui.

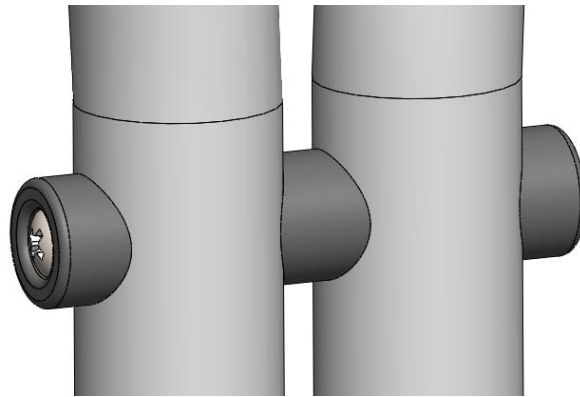


Figura 293: Separador de les barres del manillar

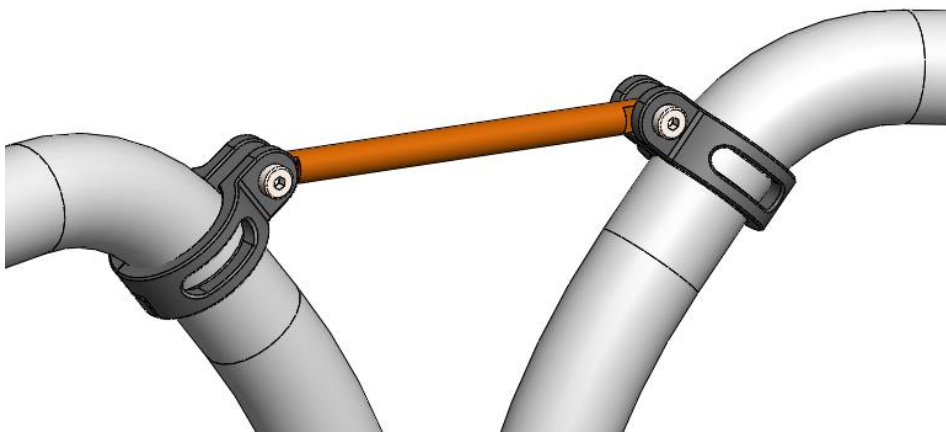


Figura 294: Tensor

Per fer possible la col·locació del tensor la curvatura del tronc mòbil no podia ser continua, sinó que havia de tenir un tram recte on posicionar el tensor per al seu correcte funcionament.

El desplaçament prismàtic s'aconsegueix gràcies a la diferencia de diàmetres entre els tubs. La part mòbil té un diàmetre inferior a la fixa.



Figura 295: Posició mínima i màxima del manillar

Després de realitzar l'estudi antropomètric i ergonòmic (pàg. 179) es van estudiar les possibles inclinacions del manillar i el que comportaven.

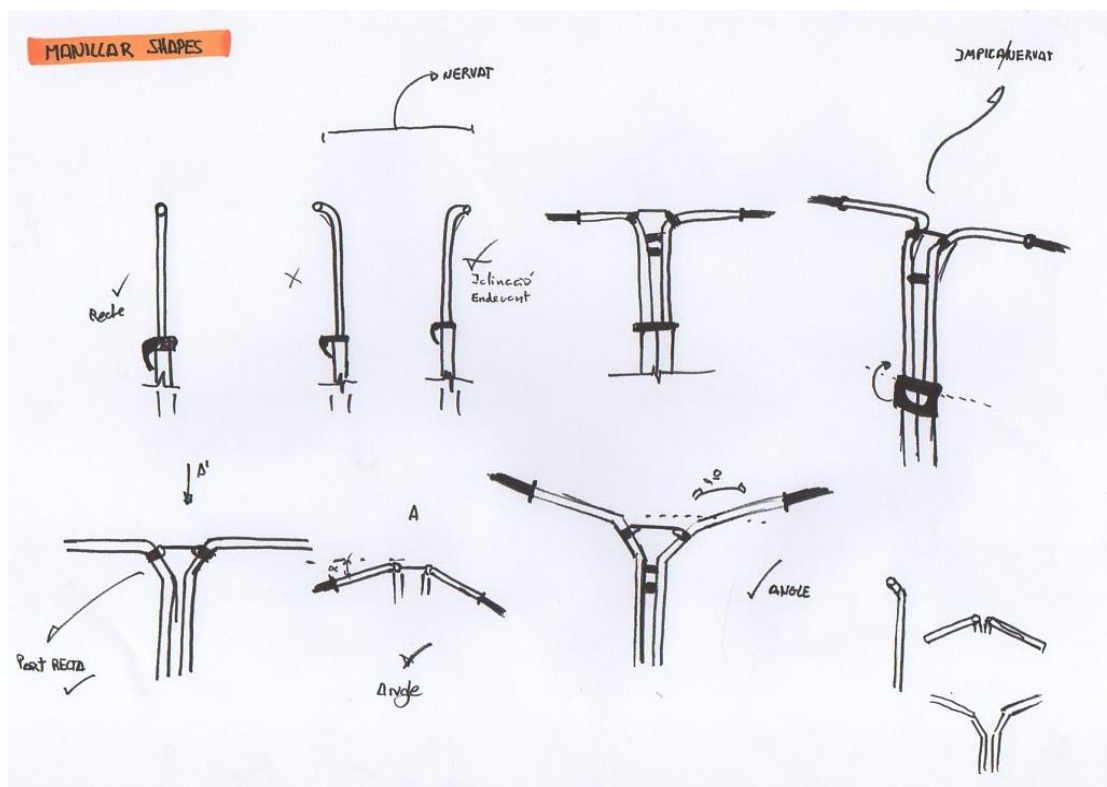


Figura 296: Estudi formal del manillar

Es van definir les dues inclinacions en planta i alçat de l'aparat d'ergonomia, així com es van descartar algunes formes pel fet de que debilitarien l'estructura.

13.6.5 Tensor

Com s'ha comentat aquest conjunt evita que el manillar es doblegui. Està format per dues peces: les anelles, que es subjecten al manillar mitjançant un cargol; i el tensor, que connecta les dues anelles.

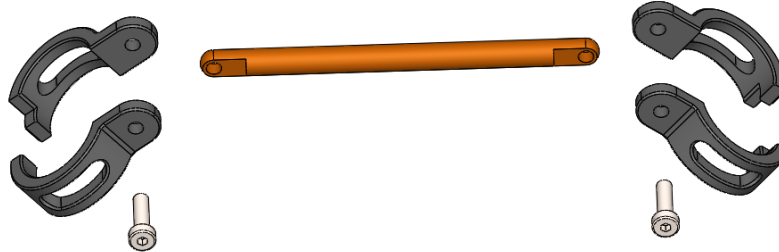


Figura 297: Explosionat del tensor

13.6.6 Punys

Són els elements on l'usuari s'agafa i han de proporcionar una bona adherència. Aquests elements s'obtenen directament d'un proveïdor.



Figura 298: Punys

13.6.7 Panell d'informació

Aquest component serà l'encarregat de proporcionar la informació del vehicle a l'usuari. Serà l'element a partir del qual l'usuari executarà les funcions disponibles del vehicle, com apagar-lo, encendre'l i activar els llums. A través del panell rebrà tota la informació necessària per a fer un ús correcte i poder utilitzar el vehicle amb seguretat, convertint-se en la interfície de comunicació entre el vehicle i l'usuari.

Un cop conegudes les funcions i requeriments del dispositiu es va passar a una fase conceptual. Existeixen moltes maneres de mostrar informació, pel que primer cal fer un procés d'aproximació. Al següent esbós (Figura 299) es poden veure les primeres propostes formals, de mostra d'informació, on es va plantejar utilitzar panells analògics, panells electrònics i panells combinat. Primerament es volia col·locar el panell a la zona central, cosa que obligaria a l'usuari ha deixar anar el manillar per a accedir al panell.

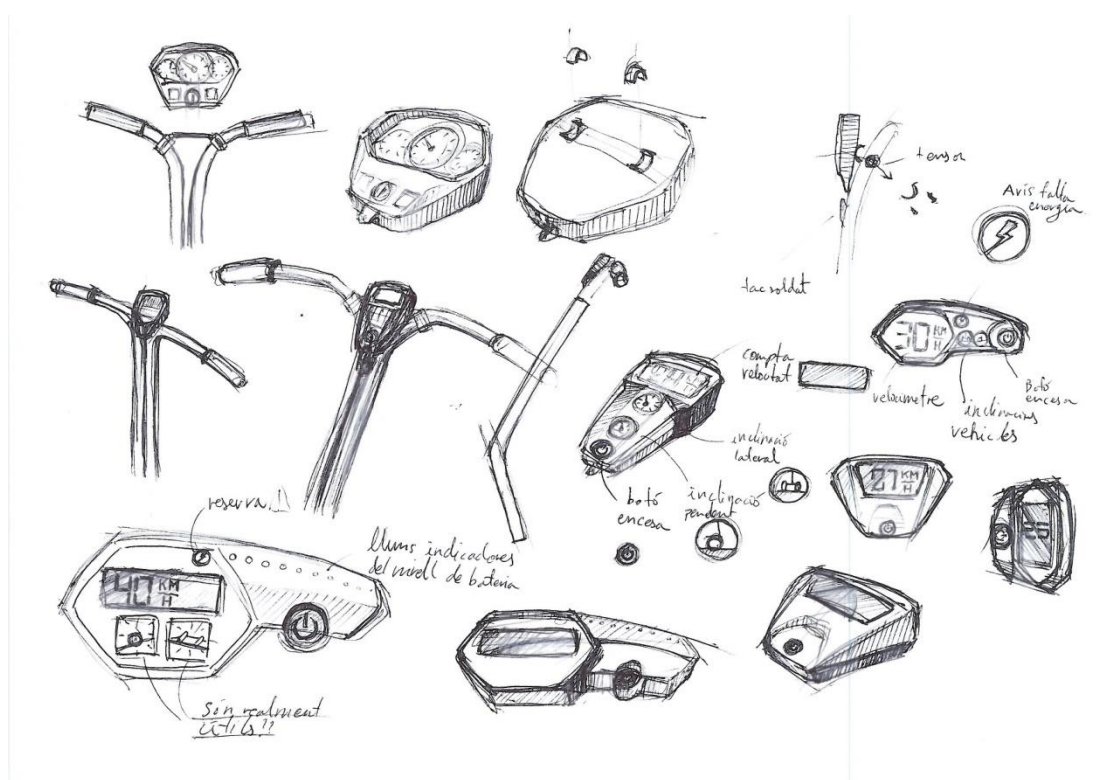


Figura 299: Primers sessió d'esbossos del panell d'informació

A continuació es va adoptar una distribució més ergonòmica, en la que el panell anava col·locat just al costat del puny, permetent a l'usuari controlar el panell amb només el dit polze. La opció

final triada va ser un panell electrònic amb un *display*. Els dibuixos a continuació estan tots basats en aquests dos conceptes (Figura 300)

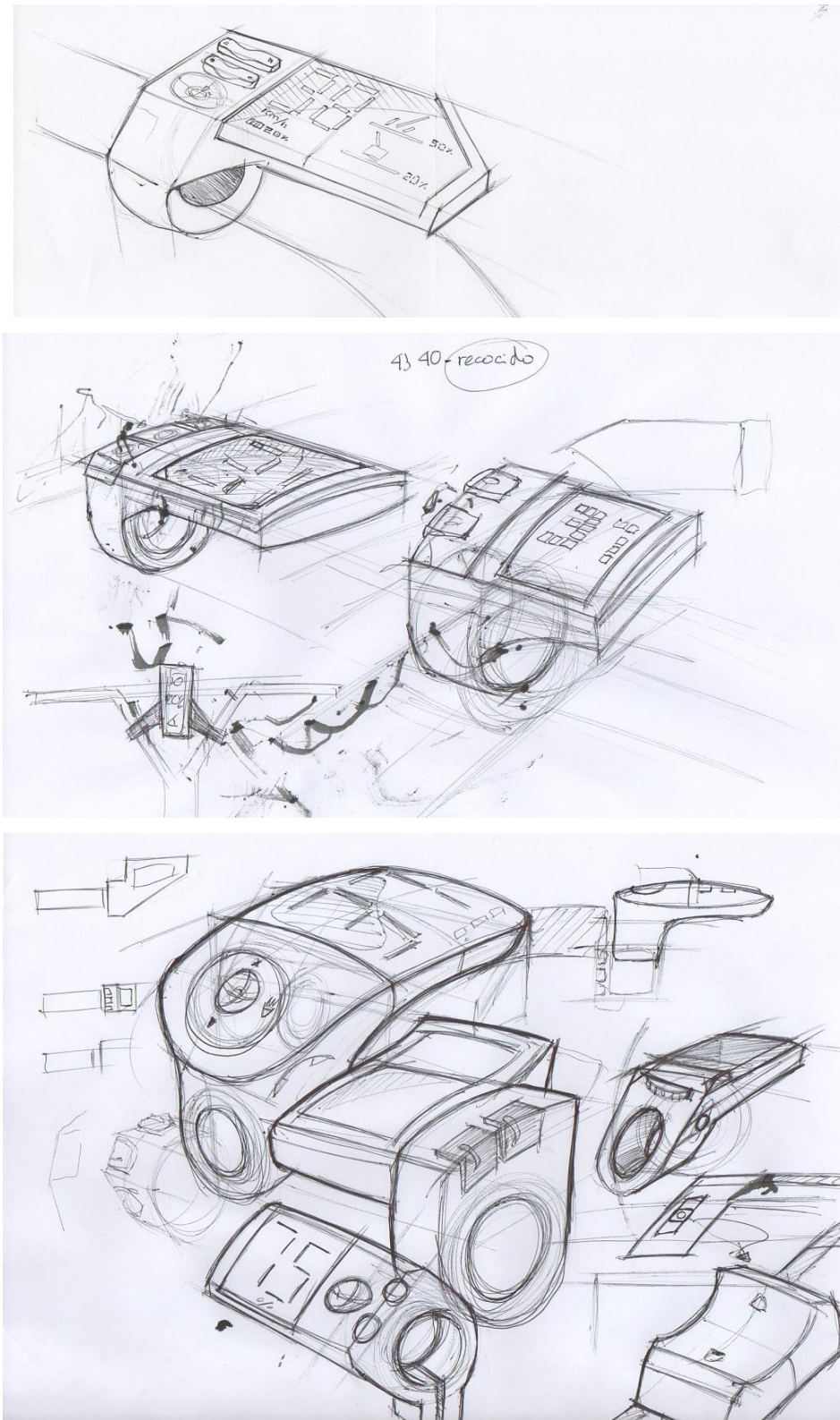


Figura 300: Segona sessió d'esbossos del panell d'informació

Finalment es va arribar a la proposta final que es pot veure a l'esbós següent (Figura 301).

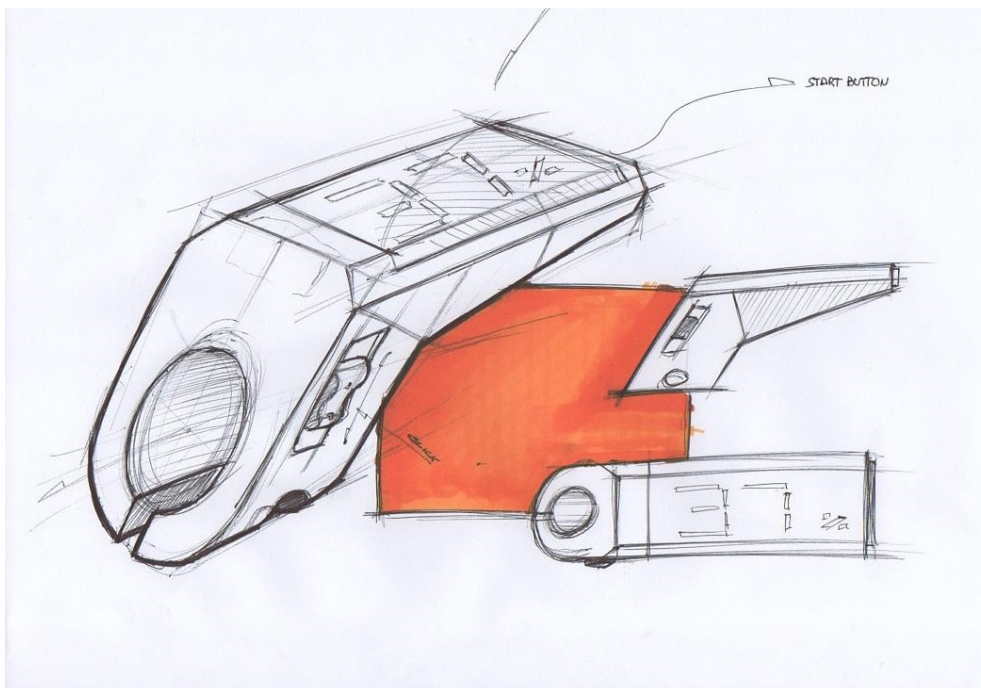
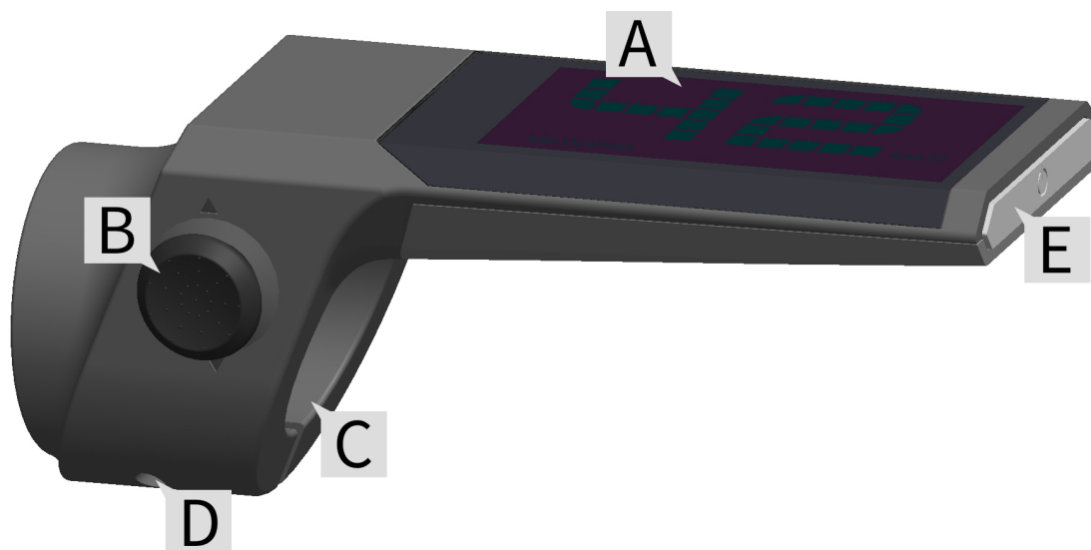


Figura 301: Disseny definitiu esbossat del panell d'informació

13.6.7.1 Característiques funcionals del gadget



- A: Display: a la pantalla es mostra tota la informació del vehicle.
- B: *Joystick* de control: permet la interacció amb el panell i el vehicle. El *joystick* té quatre moviments: amunt i avall, permet canviar la informació que es mostra en el panell; dreta esquerra, permet canviar, activar i desactivar els llums; clic, permet accedir al panell d'ajustos. Totes les accions que es realitzin quedaran reflectides a la pantalla. S'ha col·locat a un lateral del manillar amb l'objectiu de controlar-lo còmodament amb el dit polze
- C: Forat de contacte amb el manillar.
- D: Forat del cargol per ajustar el panell de control al manillar.
- E: Botó per encendre i apagar el vehicle. S'ha decidit col·locar-lo en el lateral oposat al puny, per motius de seguretat, d'aquesta manera el boto no es premerà de manera involuntària.

El dispositiu es connecta a les bateries del vehicle mitjançant cablejat. Aquest passa per l'interior del tronc i té la longitud suficient per a que el manillar estigui a la màxima alçada. Això significa que una part del mateix haurà de estar en la part exterior del tronc per tal d'evitar pinçaments a causa del moviment del manillar.

13.6.7.2 Gràfiques dels panells d'informació

- Indicador que avisa quan el vehicle esta llest i per tant l'usuari pot pujar (Figura 302).

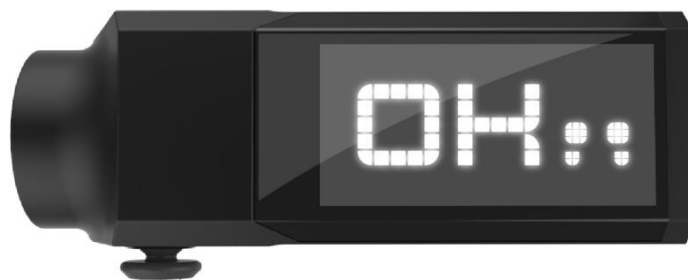


Figura 302: Gràfica d'avís

- Panell d'informació de la velocitat, on es mostra la velocitat, les unitats i la secció en la que es troba (Figura 303).



Figura 303: Gràfica de velocitat

- Panell d'informació de la bateria, on es mostra el nivell de la bateria i el consum que se està realitzant (Figura 304).



Figura 304: Gràfica d'informació de la bateria

- Panell d'informació de la inclinació del vehicle, on es mostra la inclinació en el gir i la inclinació en l'avenç i el retrocés (Figura 305).



Figura 305: Gràfica d'informació de la inclinació

SUBCONJUNT RODA

PARAFANG

PÀGINA 314

LLANTA

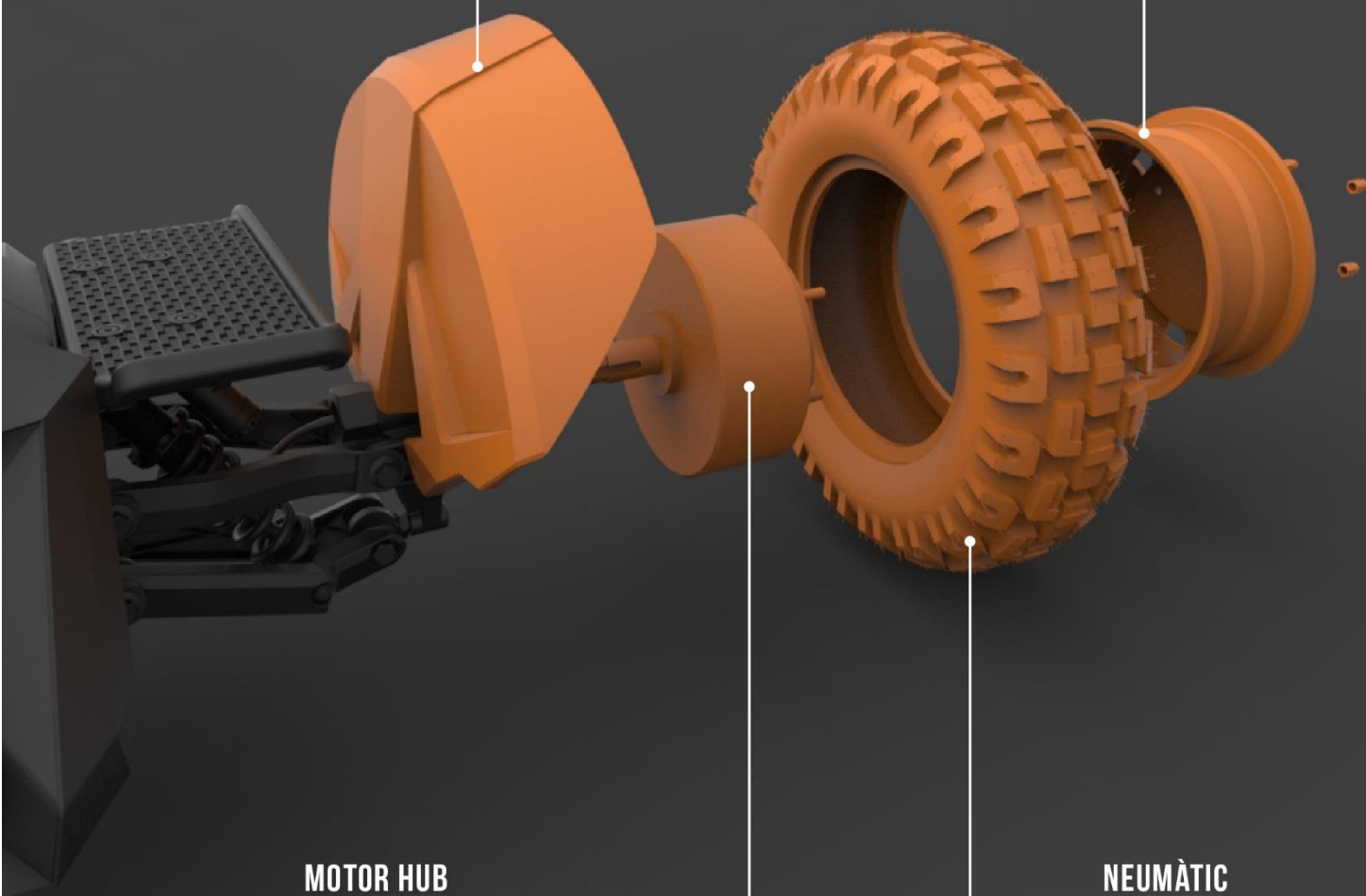
PÀGINA 321

MOTOR HUB

PÀGINA 326

NEUMÀTIC

PÀGINA 325



13.7 Subconjunt roda

El motor del vehicle es localitza a les rodes. S'utilitzen motors HUB per impulsar el vehicle, simplificant el sistema i estalviant espai per a les bateries.

Les característiques del conjunt són:

- El motor Hub es fixa directament a la llanta.
- Ús de neumàtics tot terreny
- El Parafang té una funció secundària que consisteix en donar seguretat a l'usuari impedint que pugui entra en contacte amb elles.
- Tots els components queden units a la Barra lateral que s'uneix al quadrilàter articulat.

13.7.1 Parafang

L'objectiu del parafang, com el seu propi nom indica és protegir l'usuari del fang, terra, sorra i qualsevol element que estigui al terra i la roda pugui aixecar. Aquesta funció sobretot es du a terme en motos i bicicletes, en canvi, en els vehicles tipus Segway cal protegir l'usuari de la possibilitat de fer-se mal amb la roda, ja que les rodes queden



Figura 306: El parafang recull part de la terra que llença la roda

als laterals de l'usuari. En el cas del vehicle dissenyat, pensat per a una conducció agressiva i esportiva, la possibilitat de fer-se mal amb la roda és més alta. Per aquest motiu el parafang cobreix un ampli espai del lateral de la roda, concretament un 50% de l'àrea que ocupa, cal tenir en compte que l'usuari està alçat 25 mil·límetres respecte les barres superiors i que les plataformes on es col·loca estan dotades de proteccions laterals.

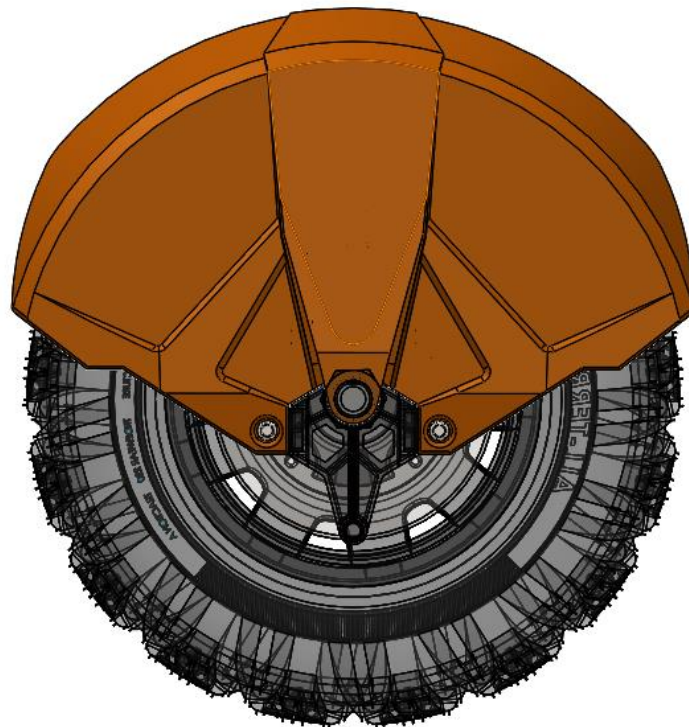


Figura 307: El parafang cobreix un 50 % de la roda

13.7.1.1 Ideació

El procés que 'ha seguit per aquesta peça té diversos antecedents:

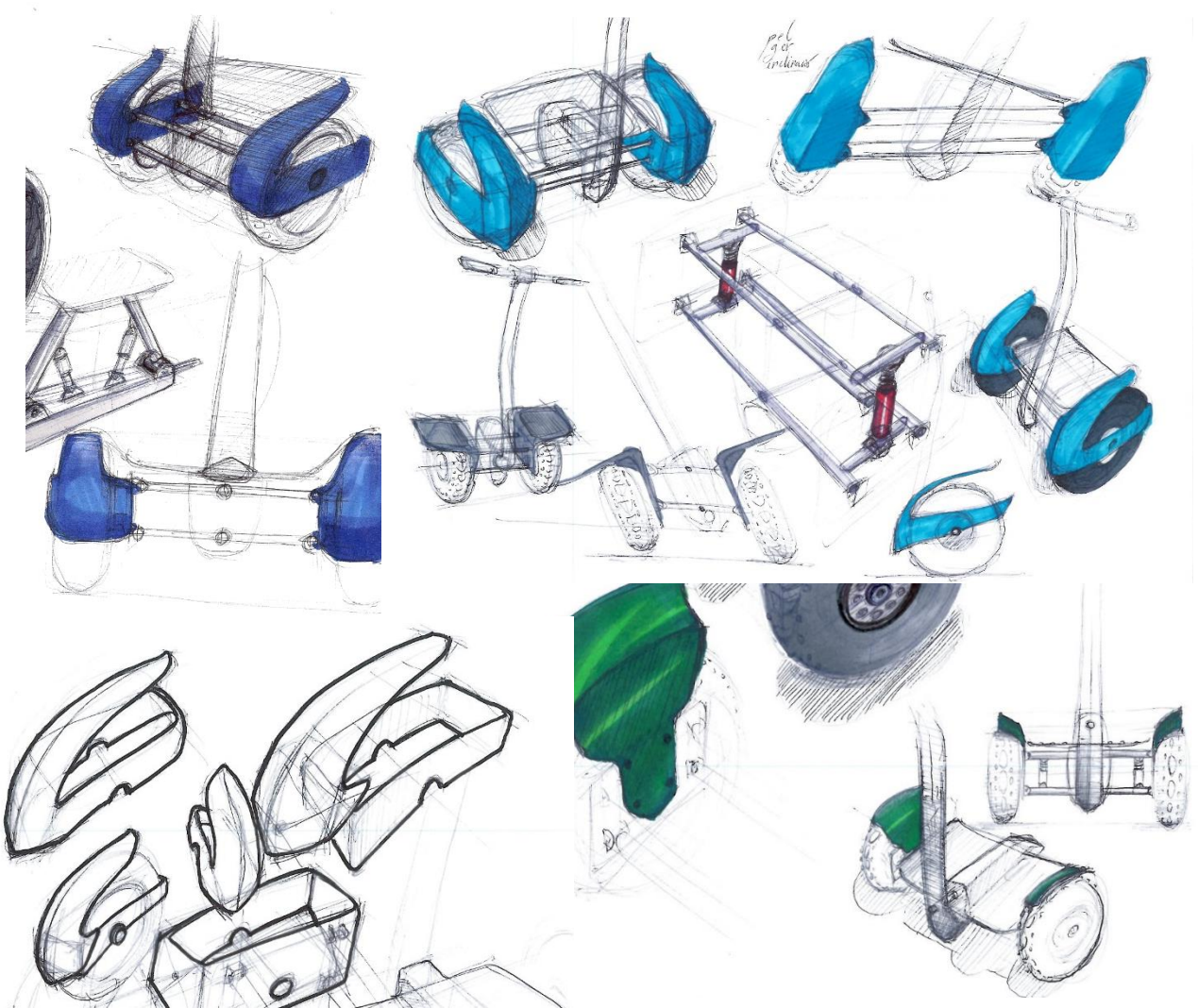


Figura 308: Diversos esbossos de la primera fase d'ideació.

En un inici es va plantejar la possibilitat que la barra lateral del quadrilàter articulat envoltés la roda, que quedés agafada a ambdós flancs i a més fes la funció de protegir l'usuari. Més endavant van sortir alguns esbossos molt similars al que ha acabat sent el parafang modelat en 3D.

El treball d'ideació d'aquesta peça no es va reprendre fins que el vehicle pràcticament ja estava tot dissenyat ja que la peça havia d'adaptar-se a un munt de restriccions d'altres peces. El procés d'sketching que es va seguir va consistir sobretot en determinar l'acabat estètic del nervís de reforç (Figura 309).

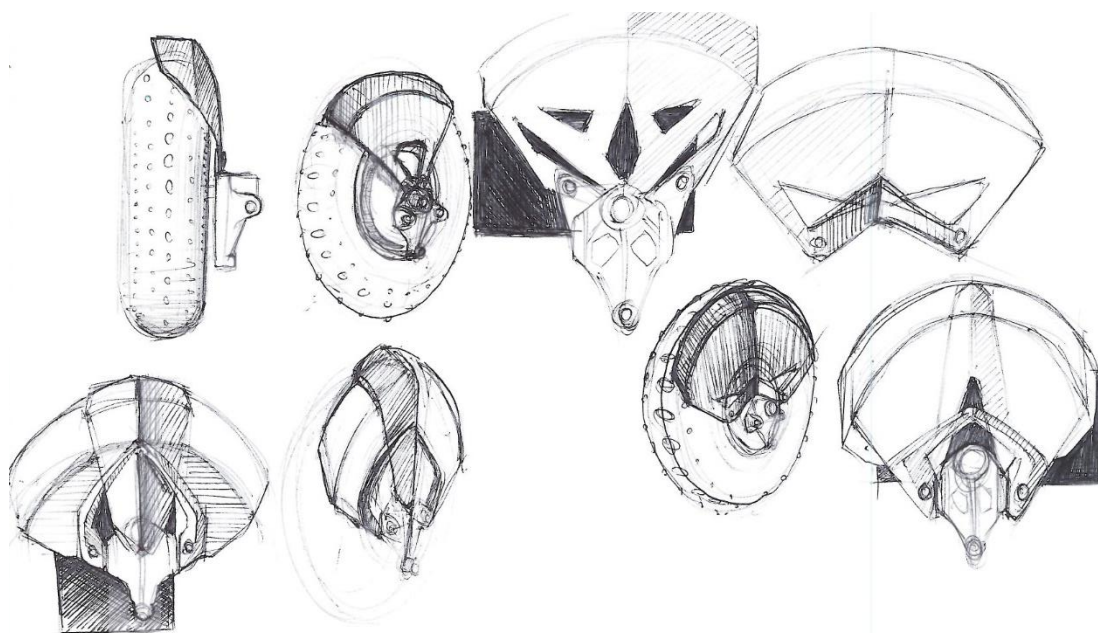


Figura 309: Esbossos del parafang, centrats en les possibilitats estètiques

13.7.1.2 Estudis FEM

L'estudi s'ha fet per verificar que la morfologia de la peça és adequada per suportar un pas en fals de l'usuari, suposant que hi posa un peu per error. En cap cas el parafang hauria de xocar amb la roda en moviment.

Material: ABS PC

Càrrega: 500N aplicats al forat de l'eix (cargol) que queda connectat amb la ròtula.

Part fixe: Totes les superfícies de contacte amb els cargols i les femelles que fixen la peça a la barra lateral.

Com s'aprecia a la figura, la deformació màxima és de casi 60 mm i la distància entre el pneumàtic i el parafang és de 35mm

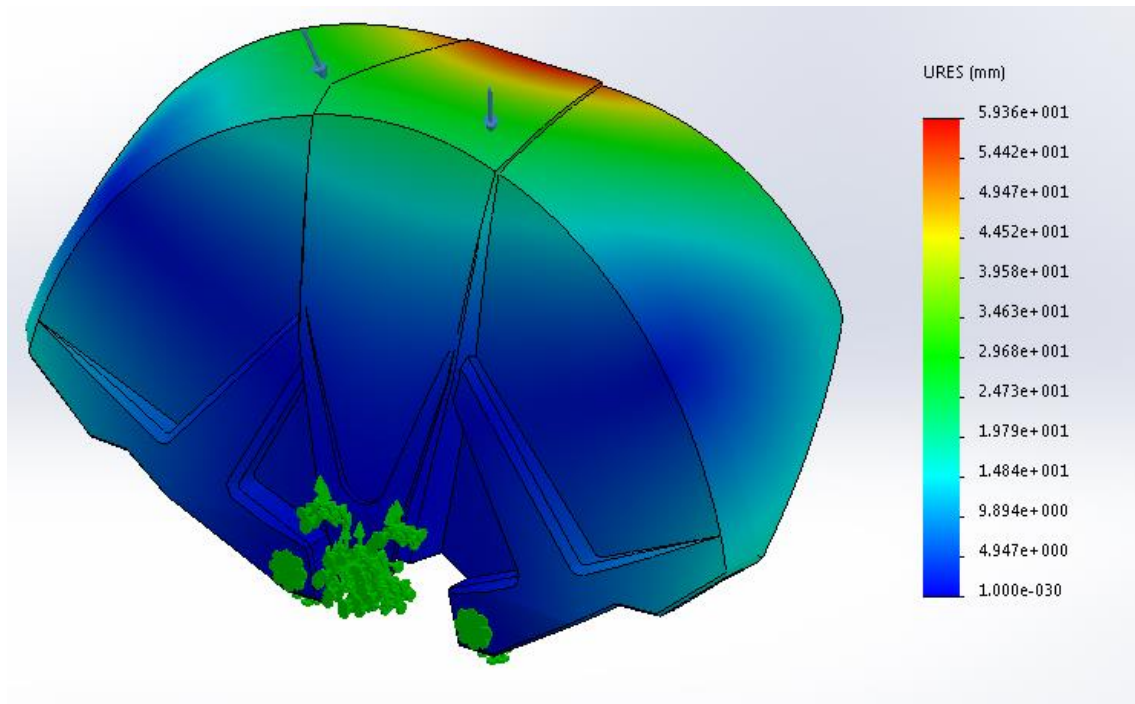


Figura 310: Deformació del parafang al primer estudi

Cal, per tant, un nervat per garantir que el parafang no toqui amb la roda. S'ha estudiat on es concentren les tensions i s'han posat nervis allà on la peça pateix més. Amb l'acció correctiva es passa, com s'aprecia a la Figura 311, de 60mm de deformació a 20mm. A la Figura 312 s'aprecia el nervat i el repartiment de les tensions. Només en algunes parts dels nervis s'acumulen tensions de fins a 38 Mpa.

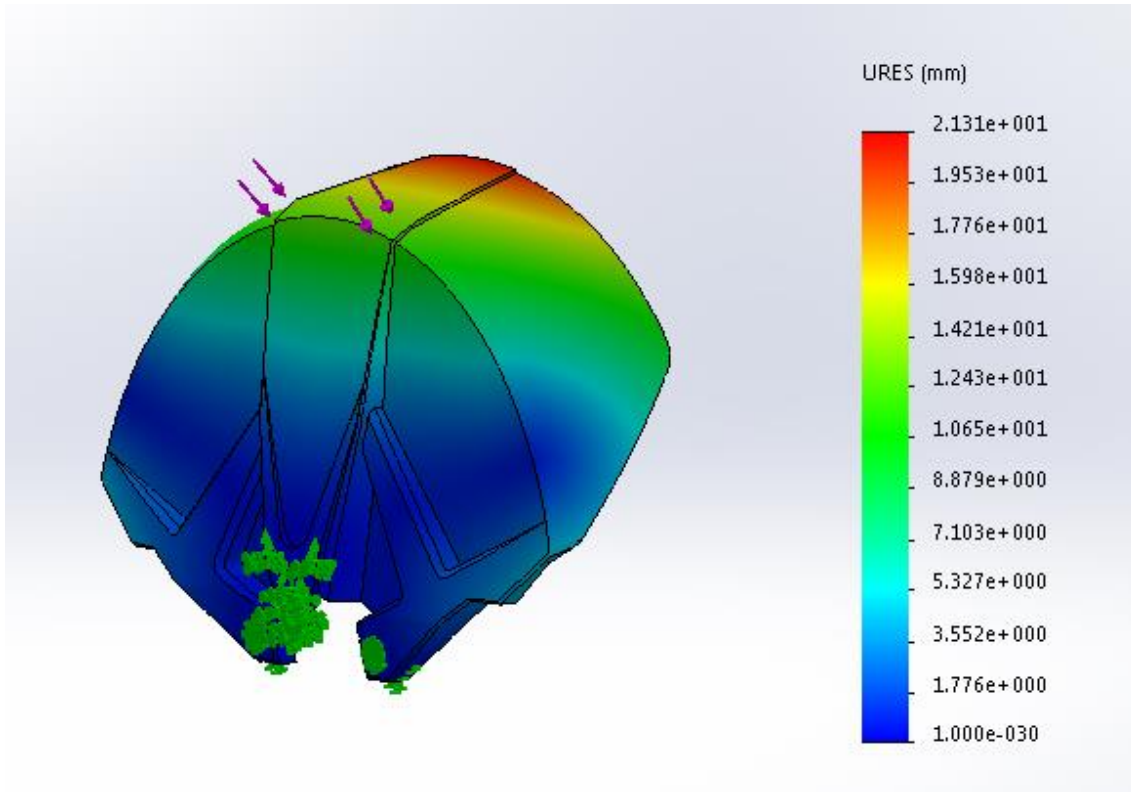


Figura 311: Deformacions després de nervar l'estructura

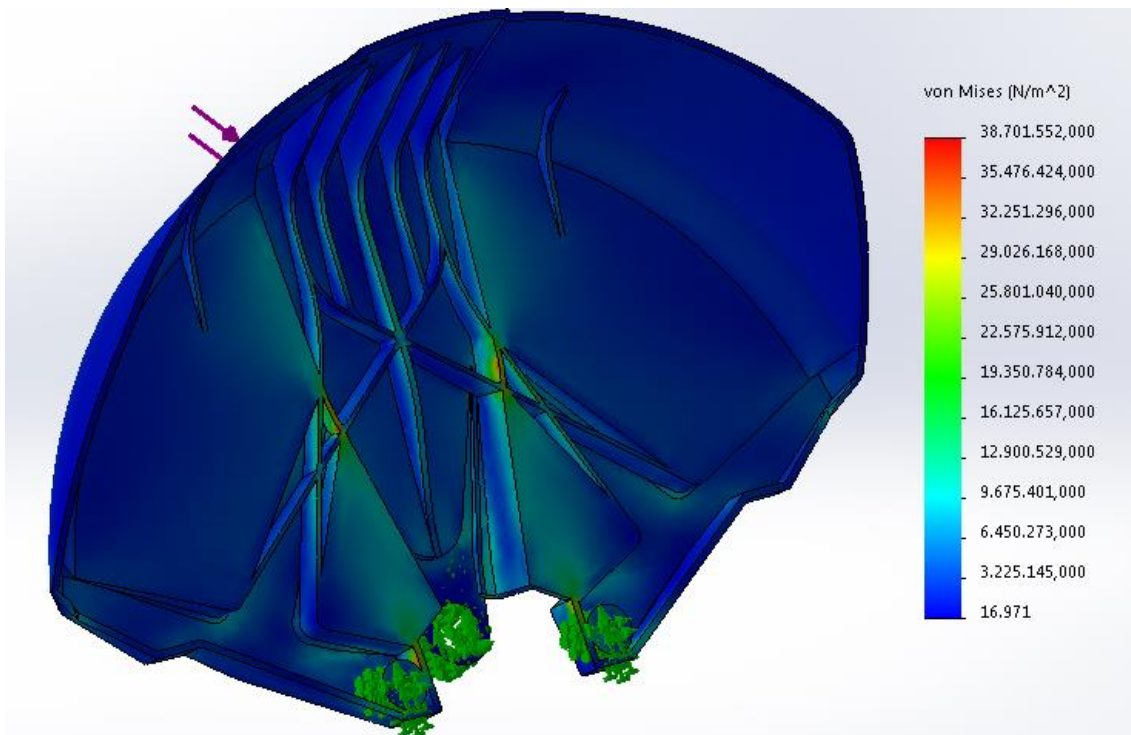
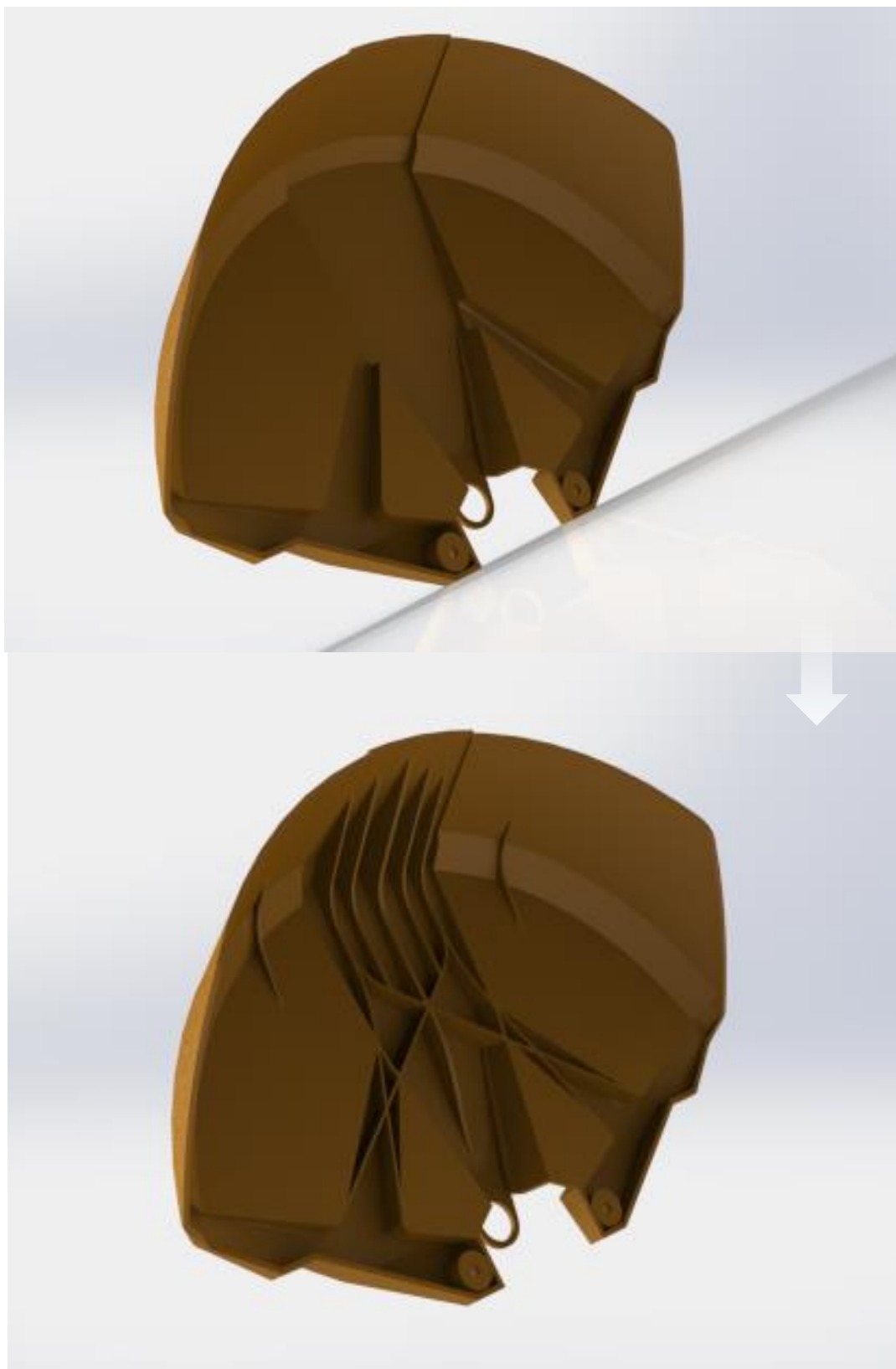
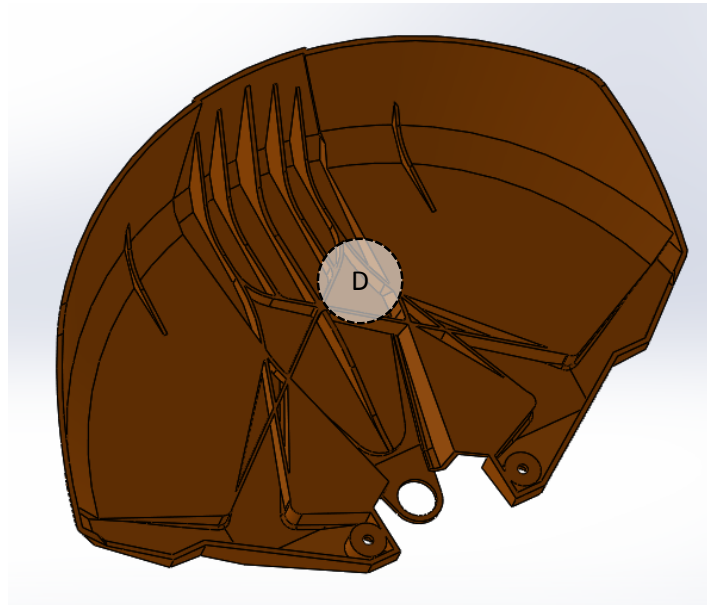
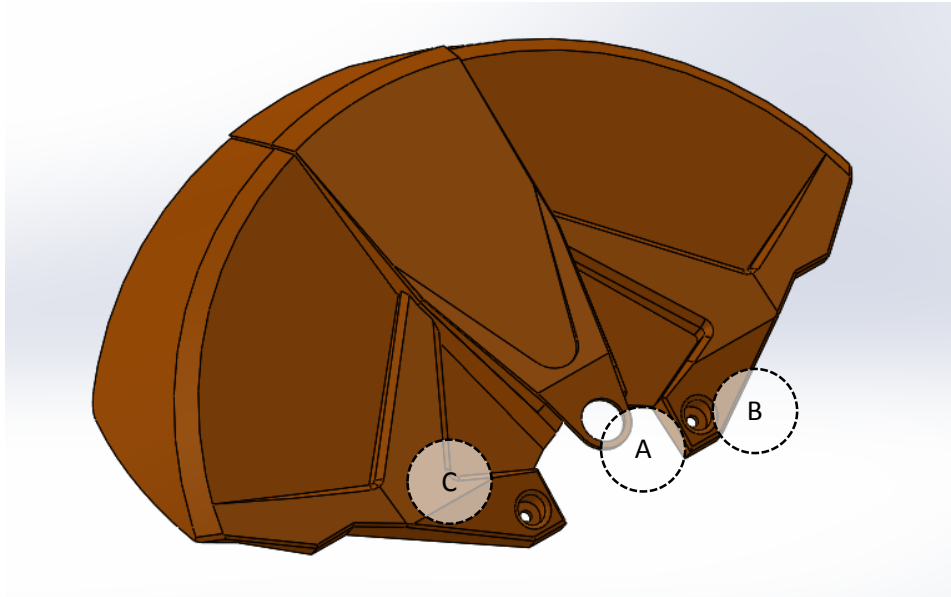


Figura 312: Tensions del Parafangs nervat

L'abans i el després dels estudis FEM és el següent:



13.7.1.3 Característiques funcionals de la peça



- A: El forat passant és del diàmetre de l'eix roscat del motor HUB, és un dels tres punts d'ancoratge del parafang. Aquesta part s'agafa amb la mateixa femella que uneix la barra lateral i el motor HUB.
- B: Dos forats passants permeten que el parafang acabi de collar-se a la barra lateral. Aquests queden amagats per tal que el cargol que si enrosca es mantingui protegit.
- C: Tot el sistema de nervis exteriors té la funcionalitat de reforçar el parafang dotant-lo de rigidesa. Les formes de dits nervis també doten al parafang de caràcter esportiu.
- D: El nervat interior treballa juntament amb l'exterior i reforça la rigidesa de l'estructura.

13.7.2 Llanta

Les llantes s'han dissenyat com a elements estructurals que s'adaptessin a la perfecció al motor HUB tret d'un proveïdor.

13.7.2.1 Ideació

El procés de disseny de les llantes s'ha iniciat amb una pluja d'idees plasmades en el paper. Per això s'han realitzat múltiples circumferències que s'han anat omplint amb diferents possibilitats.

El que s'aconsegueix és tenir a un simple cop d'ull moltes possibilitats i poder decidir si funcionen millor radis parells o imparells, molts o pocs, talls interiors en els radis, combinacions de formes, formes rectes o circulars, entre d'altres.

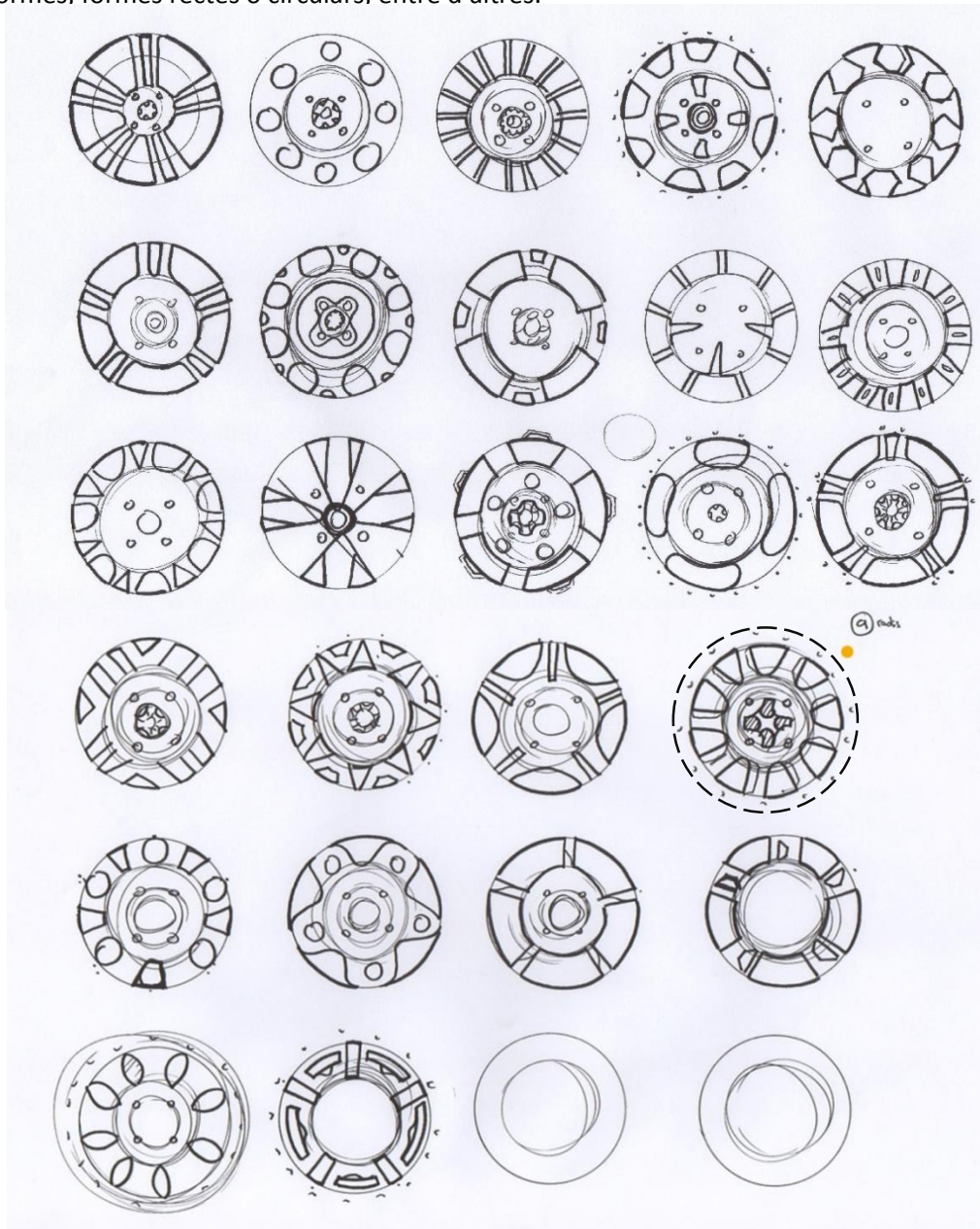


Figura 313: Sessió d'esbossos de llantes en mode pluja d'idees

El primer a destacar és la longitud dels radis. El motor HUB triat limita la distribució dels radis i per això es tria una composició dels radis al voltant dels cargols de subjecció.

Les formés rectes funcionen millor pel que es vol transmetre i es considera la possibilitat de jugar amb diferents textures i colors dins de la llanta o dins de cada radi.

Conjuntament amb el procés anterior es fa una recerca d'aquells detalls interessants aplicats als dissenys existents. El *moodboard* ens serveix d'ajuda:



Posteriorment es fa una composició amb el neumàtic modelat per veure quines són les llantes que millor s'hi adapten.



Figura 314: Diverses llantes muntades al pneumàtic modelat en 3D

Les llantes amb pocs radis i amb molt espai funcionen bé amb el pneumàtic, però el motor HUB ens obliga a seguir models com el primer (Figura 314).

Arribats a aquest punt es passa a una segona fase de sketching, i es desenvolupen nous models centrats en el dibuix encerclat a la

Figura 313.

En aquest esbossos (Figura 315) es juga amb els talls (pintats en gris) que emfatitzen les formes de la llanta. Es proven també diferents distribucions per a aplicar detalls de color amb l'objectiu d'aconseguir esportivitat en el model. El model escollit és l'encerclat.

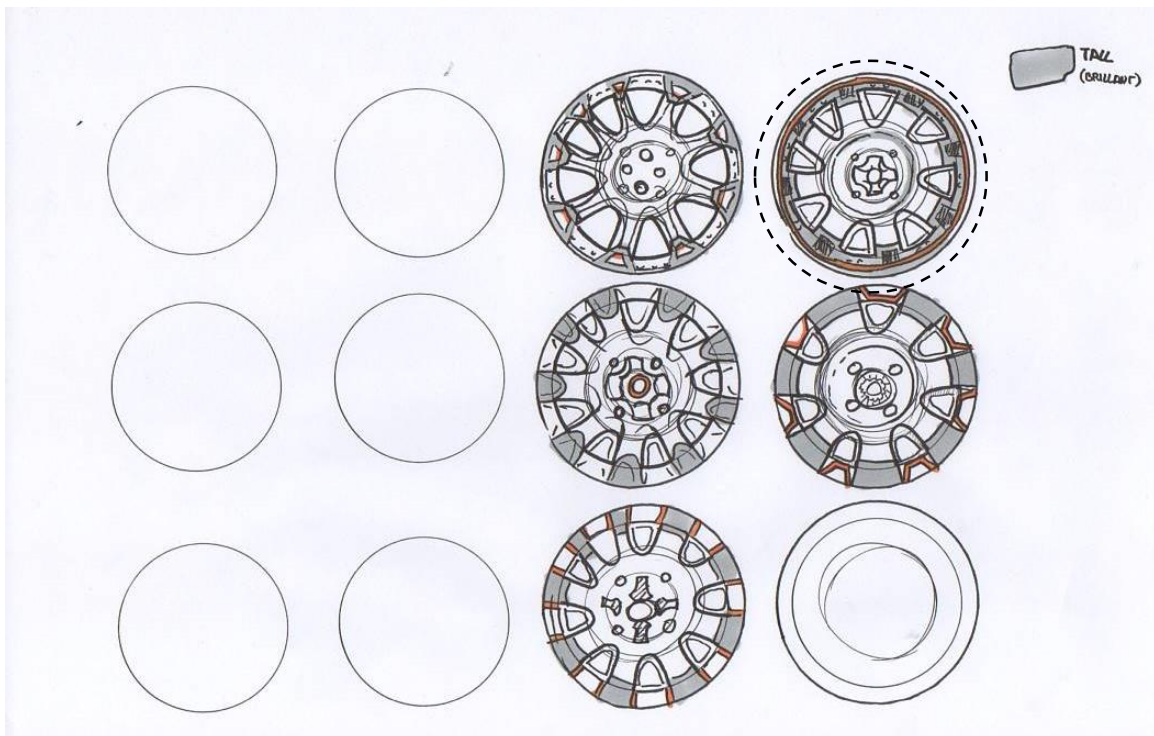
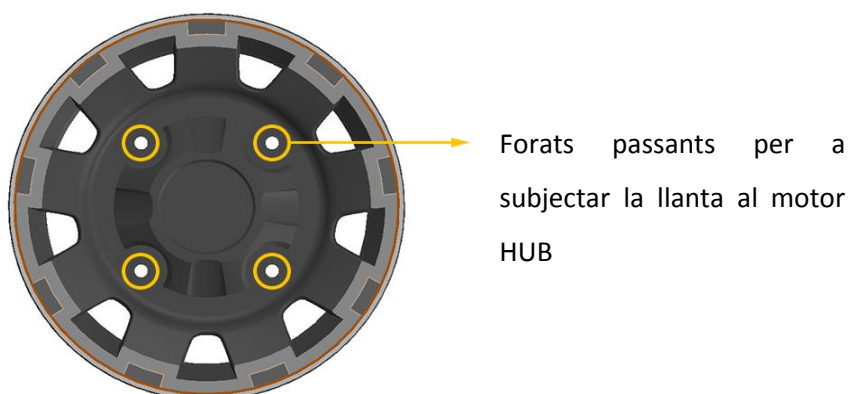


Figura 315: Sketching de possibilitats de llantes tipus tot terreny

13.7.2.2 Característiques funcionals de la peça



13.7.2.3 Variacions formals

Per acabar de definir les llantes, es realitzen petites variacions i s'estudia quin es el seu comportament estètic al aplicar llums i textures.



Figura 316: Variacions formals de la llanta

13.7.3 Neumàtic

El neumàtic està dissenyat per ser tot terreny i per encaixar amb la llanta projectada per l'equip.

Se n'ha fet dues versions, les quals el que varia és el tipus i la distribució dels tacs.



Figura 318: Neumàtic 1 del vehicle



Figura 318: Neumàtic 2 del vehicle

13.7.4 Motor HUB

El motor HUB és un component que s'adquireix d'un proveïdor (veure ANNEX J – DATASHEETS). Les úniques operacions que es fan a la peça són dos mecanitzats: Un roscat des de la cara més allunyada de l'eix i un xaveter per poder introduir una xaveta i fixar el motor.

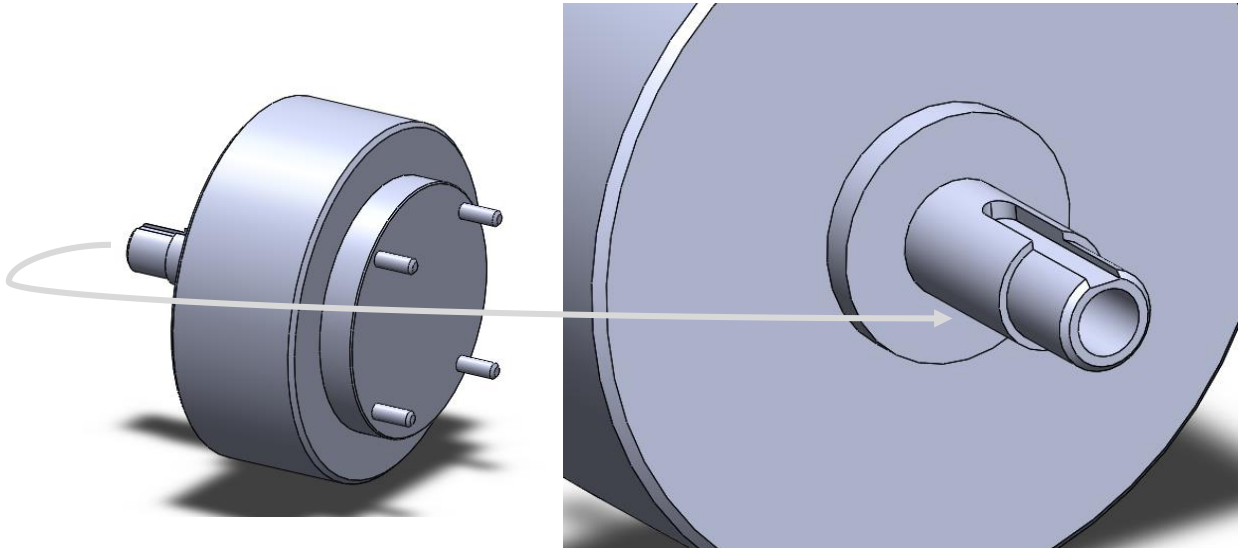


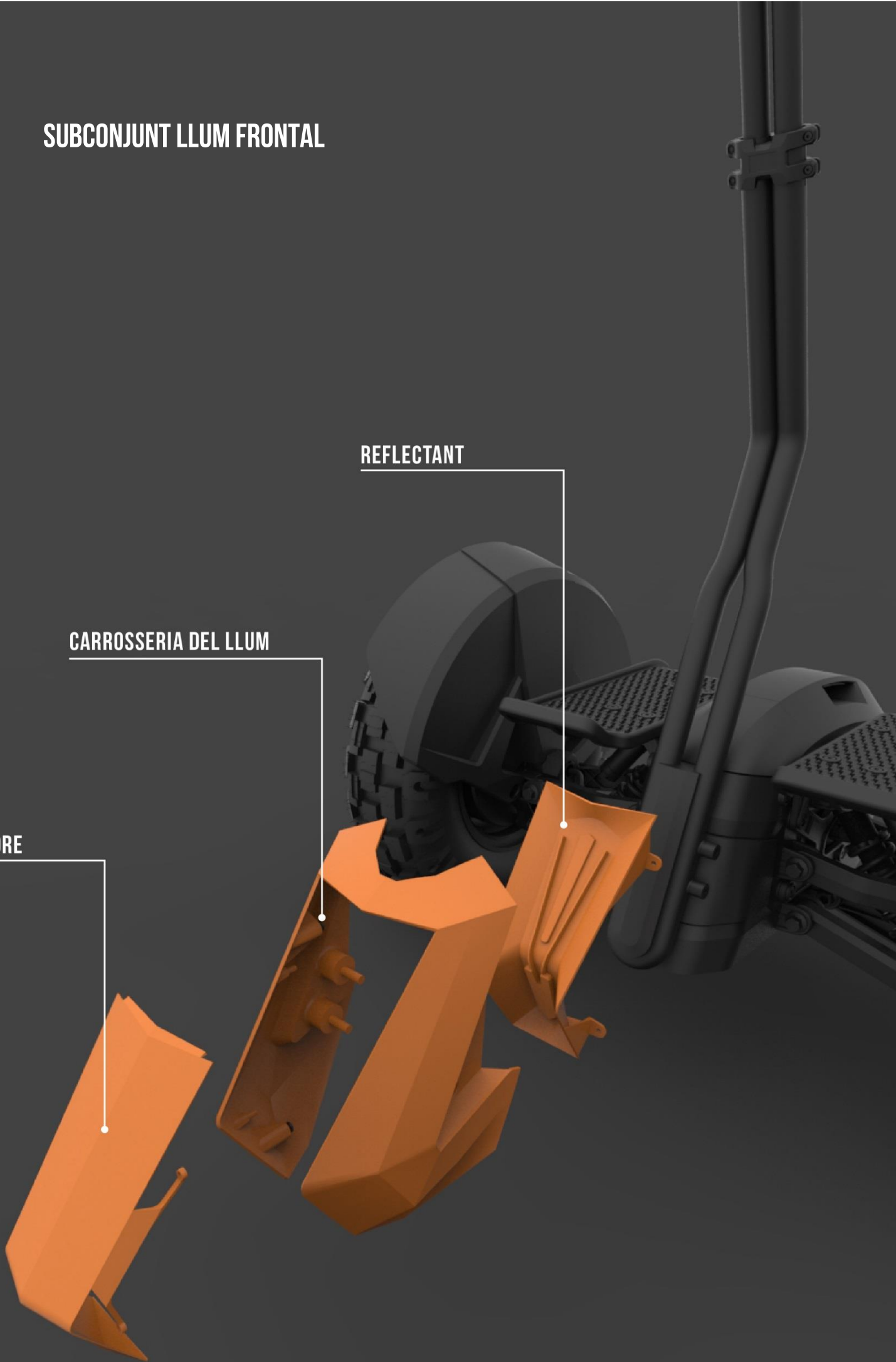
Figura 319: A l'eix se li fan dos mecanitzats

SUBCONJUNT LLUM FRONTAL

VIDRE

CARROSSERIA DEL LLUM

REFLECTANT



13.8 Subconjunt llum frontal

La llum frontal dóna al vehicle la capacitat de competir o circular de nit. A més és un component estètic que dona mol caràcter als vehicles en general. Els llums frontals són com la mirada de la màquina. Pel que fa a l'aspecte s'han estudiat molt els referents plasmats al *Moodboard* de llums.

13.8.1 Ideació

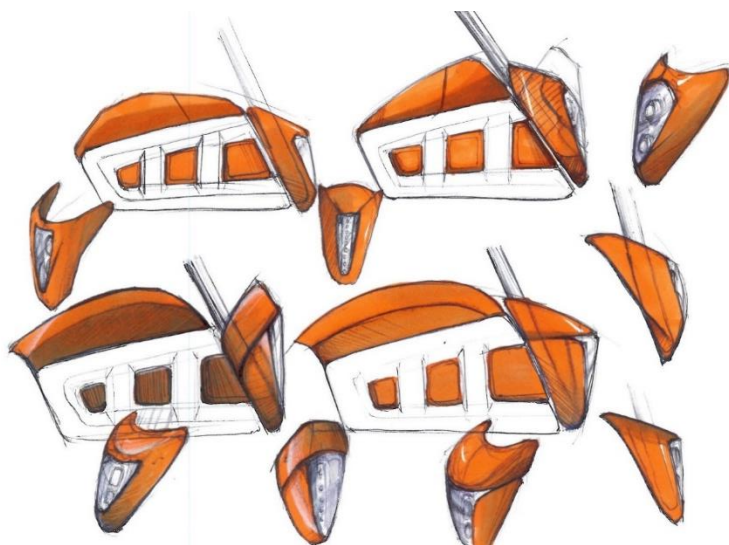


Figura 321: Sèrie d'esbossos de llums frontals i carrosseries.

El procés de disseny de la llum s'ha basat sobretot en principis estètics (influenciats pels Moodboards de llum) i el que s'ha intentat ha estat fer un esforç d'inventiva, i intentar general diversos models per estudiar les possibilitats d'encaix amb les carrosseries (Figura 321). El procés de dissenyat va seguir amb una sessió de models per poder decidir el model que funcionava més bé. El model seleccionat per l'equip és l'encerclat a la Figura 320.

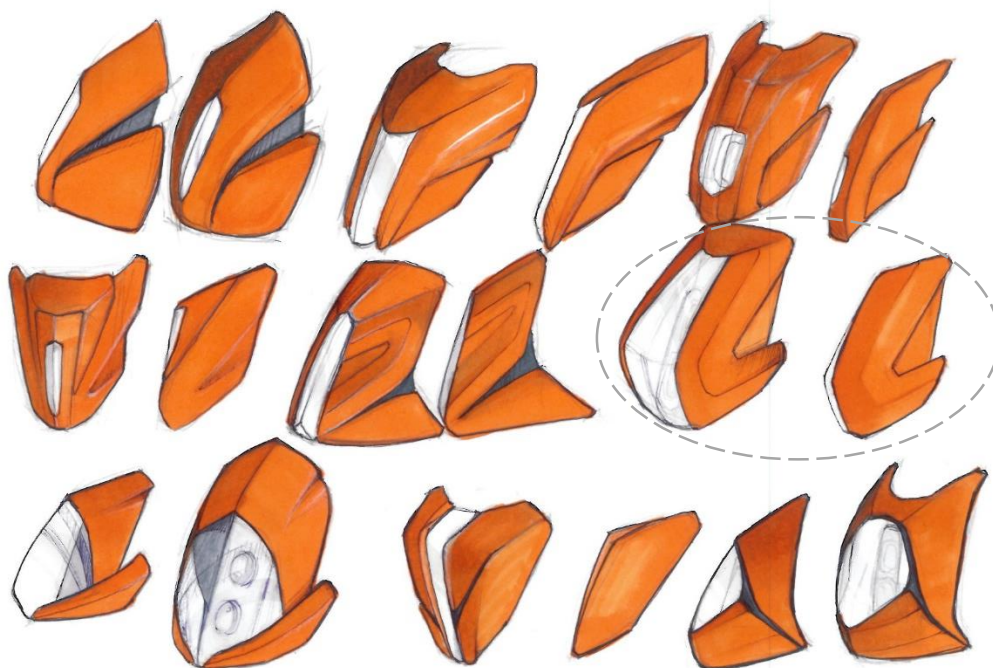


Figura 320: Sèrie d'esbossos en perfil i perspectiva de possibles models

Amb el modelat 3D de carrosseria del llum es va passar a dissenyar possibles distribucions de LED's o OLED's.

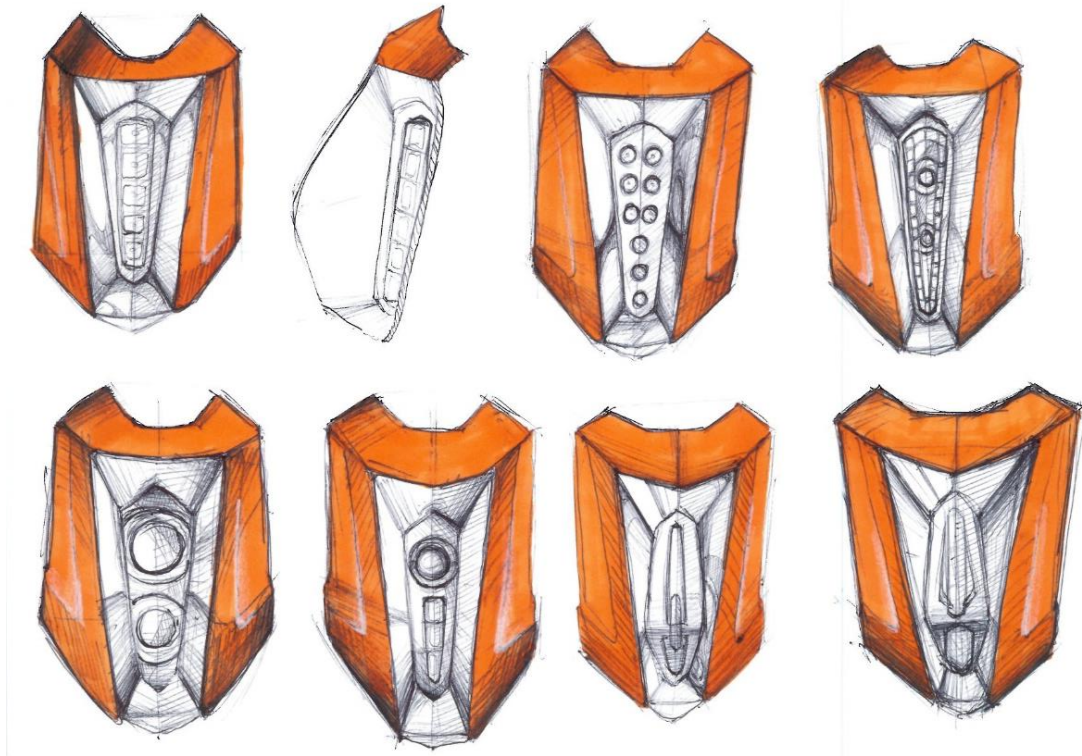
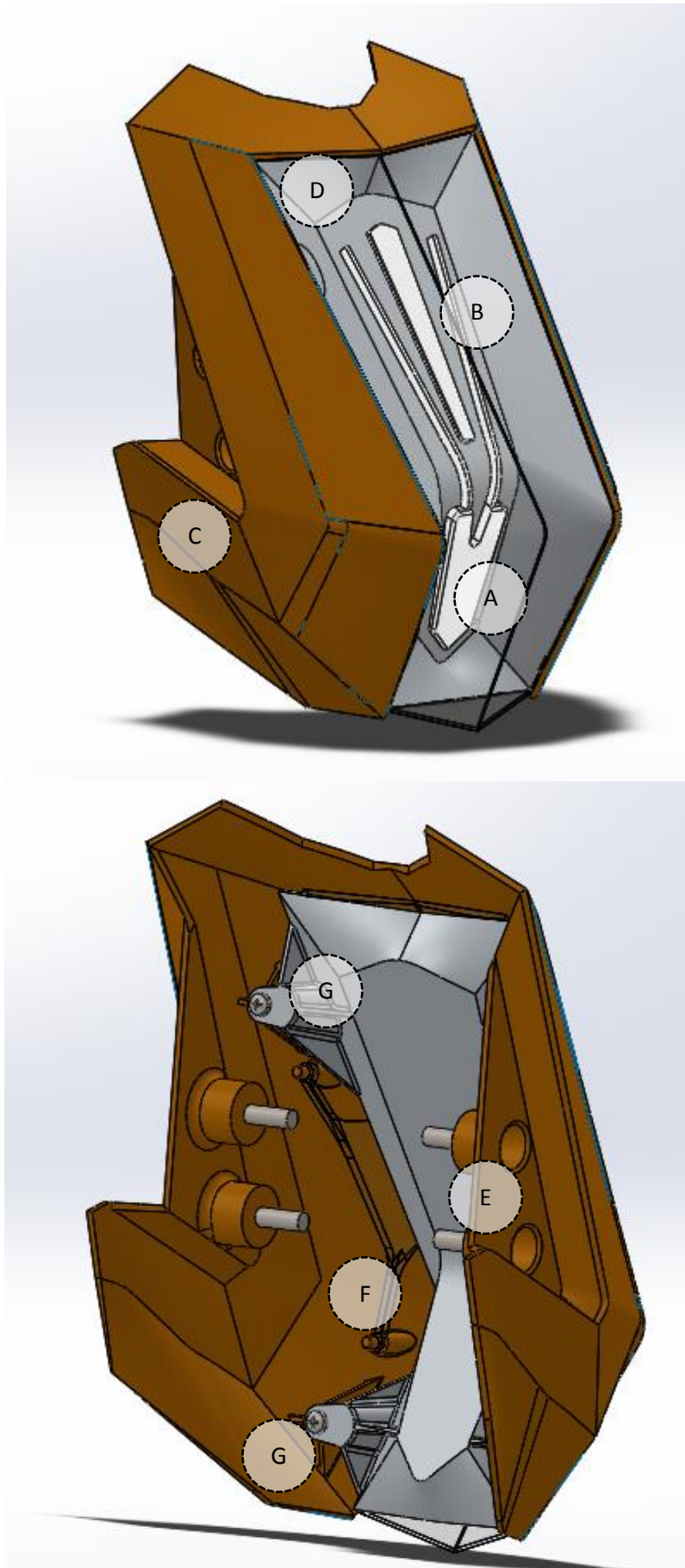


Figura 322: Sessió d'esbossos de les possibilitats formals dels LED's

13.8.2 Característiques funcionals del subconjunt

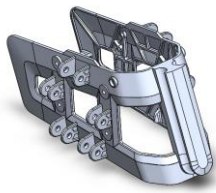


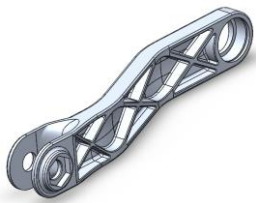
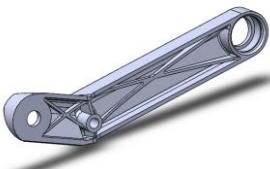
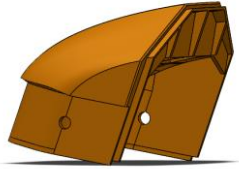
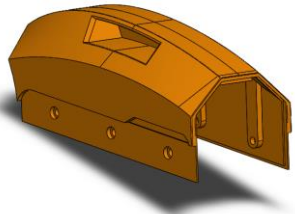
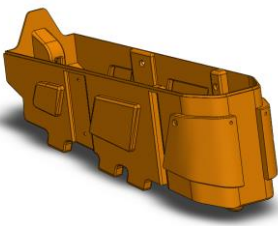




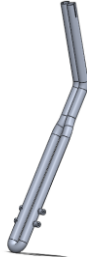

- A: LED focal, encarada cap al terra
- B: OLED's d'il·luminació ambient, enfocats més amunt que el LED focal
- C: Carcassa exterior de la llum, aporta una funció estètica.
- D: Vidre frontal, que és un policarbonat de protecció dels LED's.
- E: Quatre forats passants a la carcassa allotgen quatre cargols que s'enrosquen als tacs del Tronc fix.
- F: Quatre pius repartits a la part interior de la carcassa permeten el centrat del vidre (policarbonat) de protecció dels LED's.
- G: El Reflectant va agafat per cargols a quatre cantonades de la carcassa on hi ha suports amb inserts metàl·lics roscats.

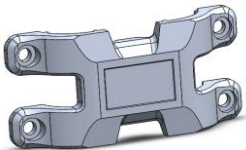
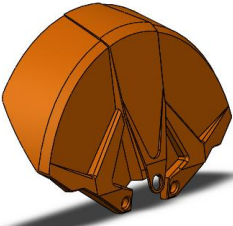

Capítol 14



MATERIALS I PROCESSOS DE FABRICACIÓ

A continuació es fa una proposta de quins podrien ser els materials i el processos de producció de les peces que ha dissenyat l'equip. Cal aclarir, però, que l'objectiu del treball no s'ha centrat en aspectes de l'enginyeria dels materials o enginyeria industrial (pel que fa a processos). El procés de disseny i conceptualització del vehicle és el que ha pres més pes al treball per tant aquest apartat s'inclou per demostrar que en el disseny de cada peça s'han tingut en compte els processos de fabricació i que gràcies als estudis FEM, i altres criteris adquirits, s'ha assignat un material a cada peça.

			
Nom	Xassís	Protector de les bateries	Barra lateral
Material	Alumini 6061	Xapa d'acer	Alumini 6061
Processos	Fundició en conquilla , mecanitzat i soldat	Dues estampacions i mecanitzat	Fundició en conquilla i mecanitzat
			
Nom	Barra superior	Barra inferior	Carrosseria electrònica
Material	Alumini 6061	Alumini 6061	ABS
Processos	Fundició en conquilla i mecanitzat	Fundició en conquilla i mecanitzat	Injecció de plàstic
			
Nom	Carrosseria de la bateria	Caixa	Plataforma
Material	ABS	PP	PP
Processos	Injecció de plàstic	Moldeig per bufat	Injecció de plàstic

			
Nom	Suport de la plataforma	Tronc fix	Tronc mòbil/Manillar
Material	Acer 4340	Alumini	Alumini
Processos	Estampació i mecanitzat	Extrusió i plegat de tubs soldat i mecanitzat	Extrusió i plegat de tubs

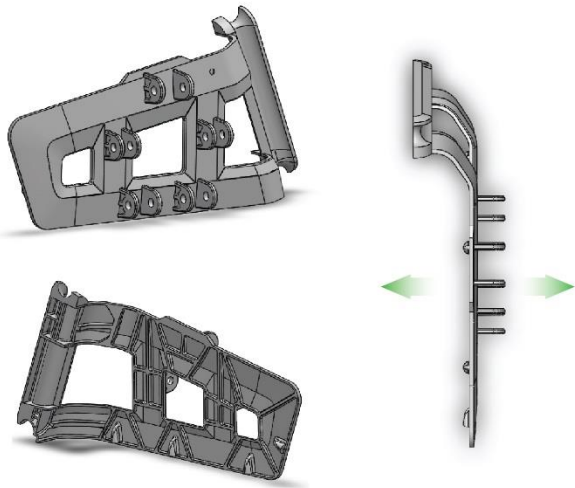
			
Nom	Mordassa	Parafang	Vidre
Material	Acer	ABS-PC	Policarbonat
Processos	Estampació i mecanitzat	Injecció de plàstic	Injecció de plàstic

			
Nom	Carrosseria del llum	Reflectant	
Material	ABS	ABS cromat	
Processos	Injecció de plàstic	Injecció de plàstic	

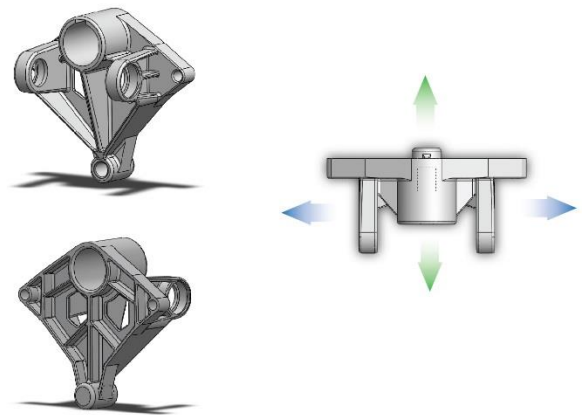
A continuació es detalla el desemmotllament de les peces que es fabriquen en algun procés que implica un motlle, o són de fundició d'alumini en conquilla o d'injecció de plàstic. Amb fletxes verdes s'il·lustren les direccions del desemmotllament del motlle, i amb fletxes blaves les dels *noys*. **Avís:** hi ha peces que cal fer dues parts simètriques per tal que es puguin desemmotllar correctament i es respecti la geometria dissenyada.

El patró de la taula és el següent: es mostren dues perspectives representatives de la peça que s'emmotlla i al costat un punt de vista ortogonal adient per assenyalar les direccions de desemmotllament.

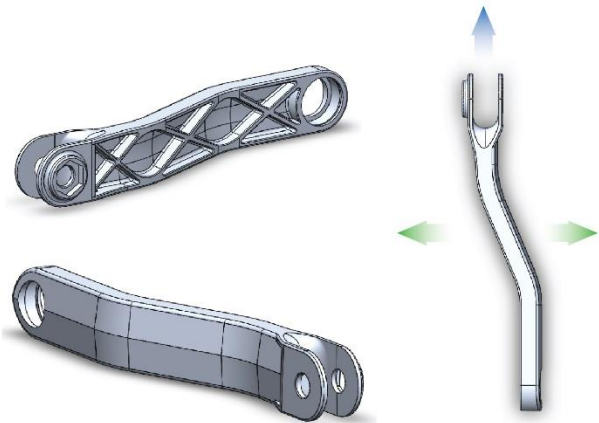
Xassis



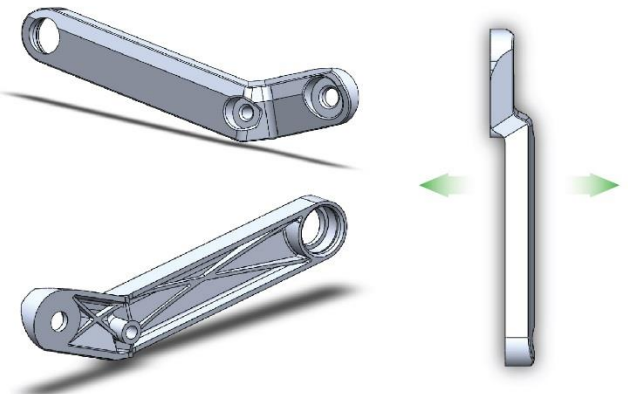
Barra lateral



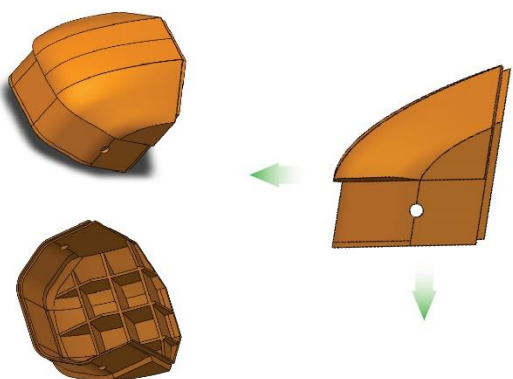
Barra superior



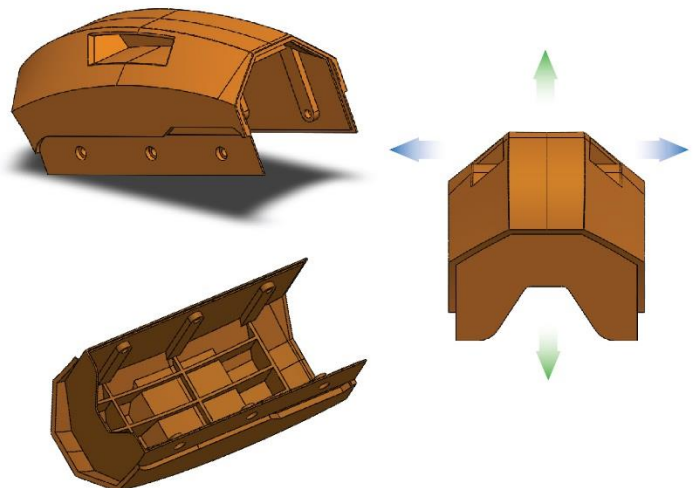
Barra inferior



Carroceria electrònica



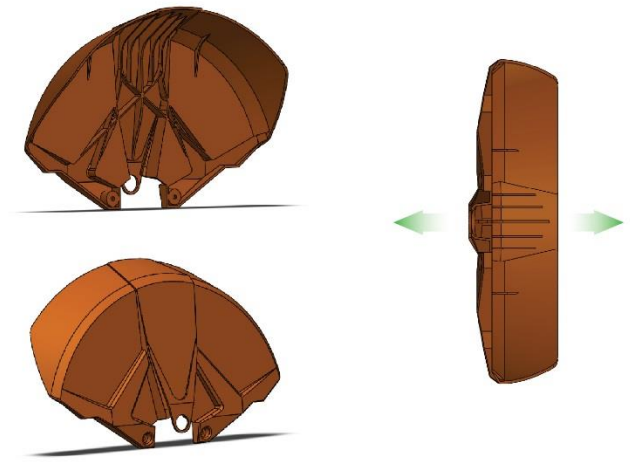
Carroceria bateries



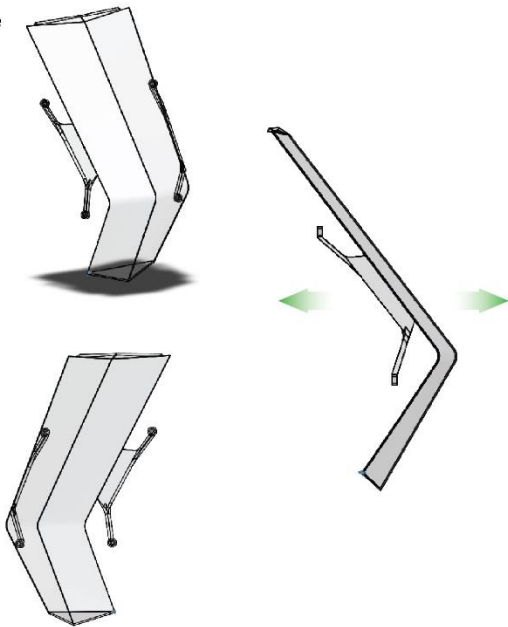
Plataforma



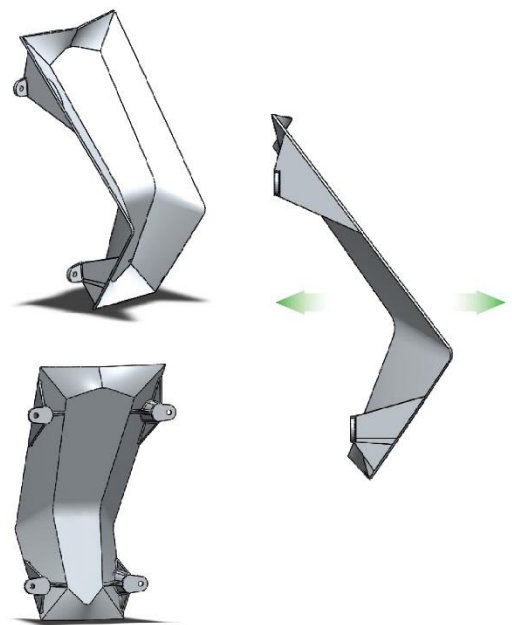
Parafang



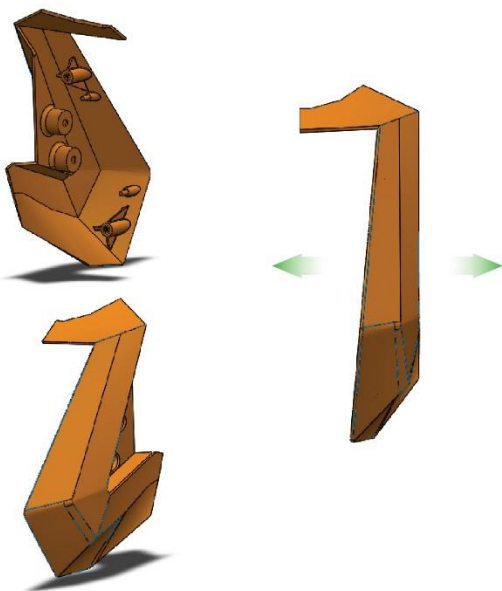
Vidre



Reflectant



Carrosseria del llum



Llegenda

▲ Direcció de desemmotllament del motlle

▲ Direcció de desemmotllament del noyo

Capítol 15

ESTÈTICA

15.1 Manual d'identitat

A la següent secció es reflecteixen els elements visuals que corresponen a la marca del producte ÀGIL. Qualsevol element que no s'ajusti a les pautes especificades no correspondrà a la marca.

15.1.1 Logotip



A la pàgina lxxxvi es poden trobar els esbossos previs al logotip definitiu

15.1.2 Colorimetria

El Logotip sempre es presentarà en blanc i negre.

Els colors pretenen donar formalitat i serietat a la marca intentant fugir de colors que puguin fer-li perdre força en les aplicacions.

CMYK: C=0, M=0, Y=0, K=0

RGB: R=255, G=255, B=255

HEX: # FFFFFFFF

CMYK: C=0, M=0, Y=0, K=100

RGB: R=0, G=0, B=0

HEX: #000000

15.1.3 Tipografia

La tipografia que acompanyarà totes les creativitats serà la *Bebas Neue*. És una tipografia només en lletres majúscules que només s'utilitzarà en els eslògans i frases de reforç. Es de la classe *condensed*.

ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ
0123456789 /?!(%&

15.1.4 Marges de seguretat

Els marges de seguretat de la marca seran equivalents a l'accent de la A.
D'aquesta manera s'impossibilita l'entrada d'elements que no pertanyin a la marca i que puguin dificultar la seva llegibilitat.



15.1.5 Usos correctes del logotip



Logotip centrat en la imatge o document.



Logotip en el marge superior esquerra de la imatge o document.



Blocs de continguts fora del marge de seguretat.

15.1.6 Usos Incorrectes del logotip



No respectar les proporcions establertes.

Que el color de fons coincideixi amb el marge exterior del logotip

Blocs de continguts dintre del marge de seguretat.



Ús de colors no especificats

15.1.7 Imatges emprades

A les imatges que s'utilitzin en la presentació del producte, sempre hi apareixerà el producte en un terreny sorrenc, rocós o boscos.

El logotip podrà anar centrat o al marge superior esquerra segons convingui.

A la part inferior dreta apareixerà un tall en la imatge de color blanc, on es col·locarà la frase de reforç. La tipografia haurà de ser de la tonalitat més abundant en la imatge.

Per tal de integrar tot el conjunt part de la imatge haurà de ocupar la zona blanca, ja sigui per efectes que facin entrar el terreny a dins, o fent que el vehicle tingui part en aquesta zona.



15.2 Color & Trim

L'elecció de la combinació de colors i texturitzats pot resultar a vegades complexa. L'objectiu d'aquest procés consisteix en veure quins són els acabats possibles que pot tenir el producte dissenyat. De manera que aquest pas, esdevé normalment un dels últims en la fase de disseny. Tot hi així es pot tenir una idea preconcebuda en la fase de conceptualització, pel que es pot dir que tot i ser un dels últims passos, és quelcom que va evolucionant i es va definint al llarg d'un projecte.

Un cop es va definir amb la fase de conceptualització (pàg. **¡Error! Marcador no definido.**) el sector cap a on es dirigia el producte, es va assignar l'objectiu d'aconseguir un aspecte agressiu i esportiu. A partir d'aquí ja es va poder començar el Color & Trim. Amb el moodboard (pàg. lxxix) es van extreure algunes imatges referents (Figura 323):

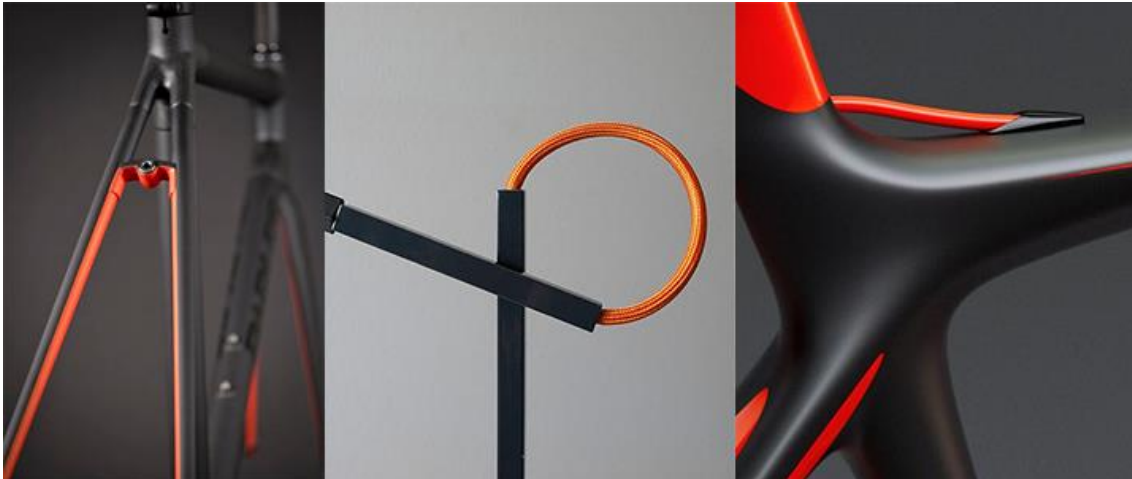


Figura 323: Imatges referents per al color & trim

A continuació es poden veure algunes combinacions amb les que s'han jugat. Si es volen veure més possibilitats, es poden trobar a la pàgina xc de l'annex.

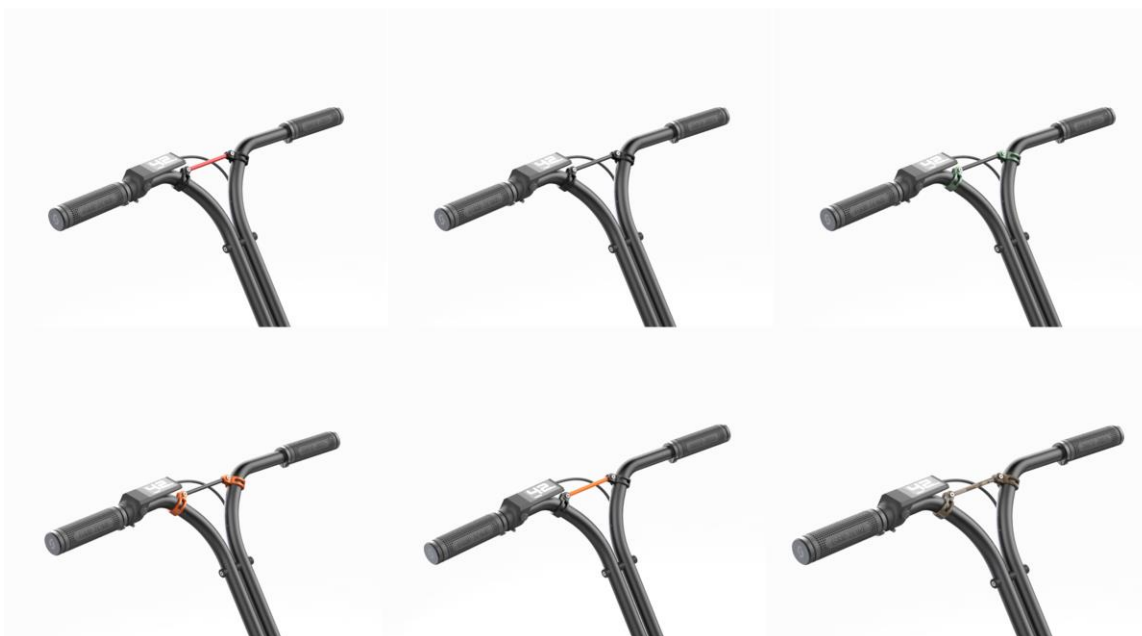
- Carrosseries:



- Tronc



- Tensor



- Punys



- Llantes



- Calcomanies



En aquest apartat només s'exposen les possibilitats, si es vol veure el resultat final es pot veure al següent apartat.

15.3 Presentació del producte

Tot el treball realitzat es presenta en aquest apartat, on es poden veure les característiques del producte i el resultat final assolit.

- Variacions de l'Àgil
- Detalls
- Mobilitat
- Usuari
- Explosionat



























ALL-TERRAIN

VENTUS S1 evo

KIA

HANKOOK

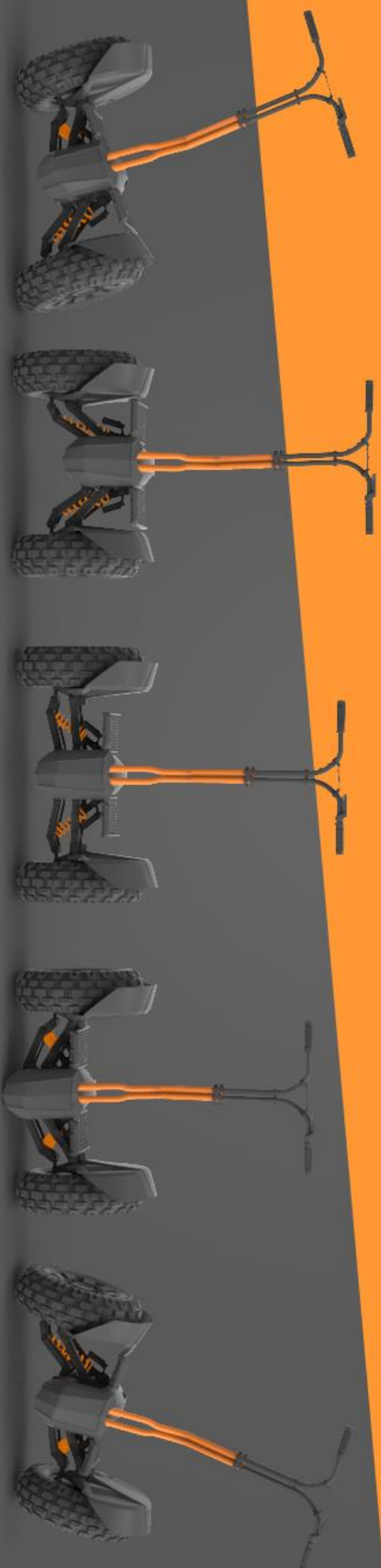
P185/75R14 8 MANUFACTURE

TREADWEAR 220 TRACTION A

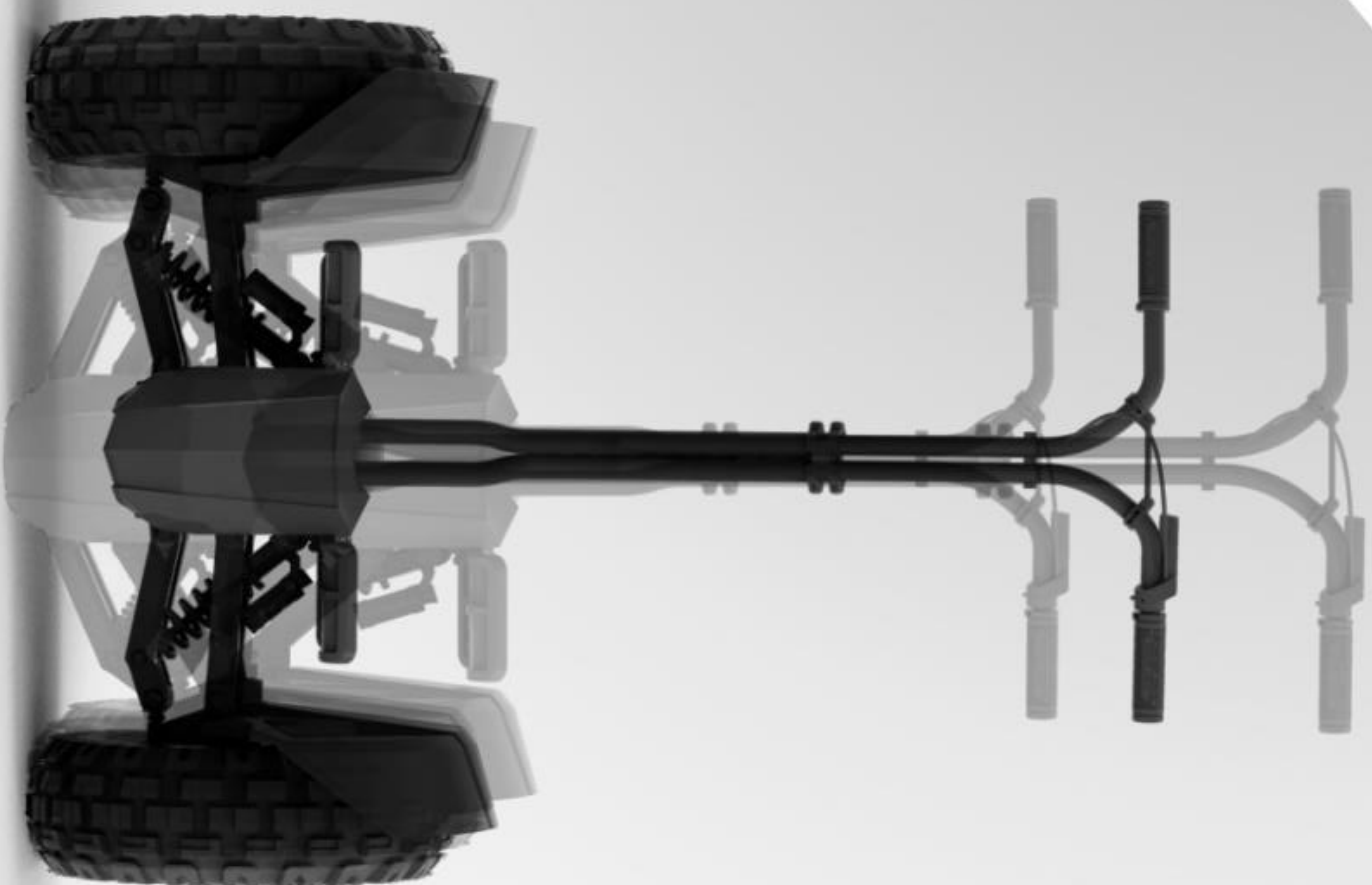
DOT AABE OH R 813



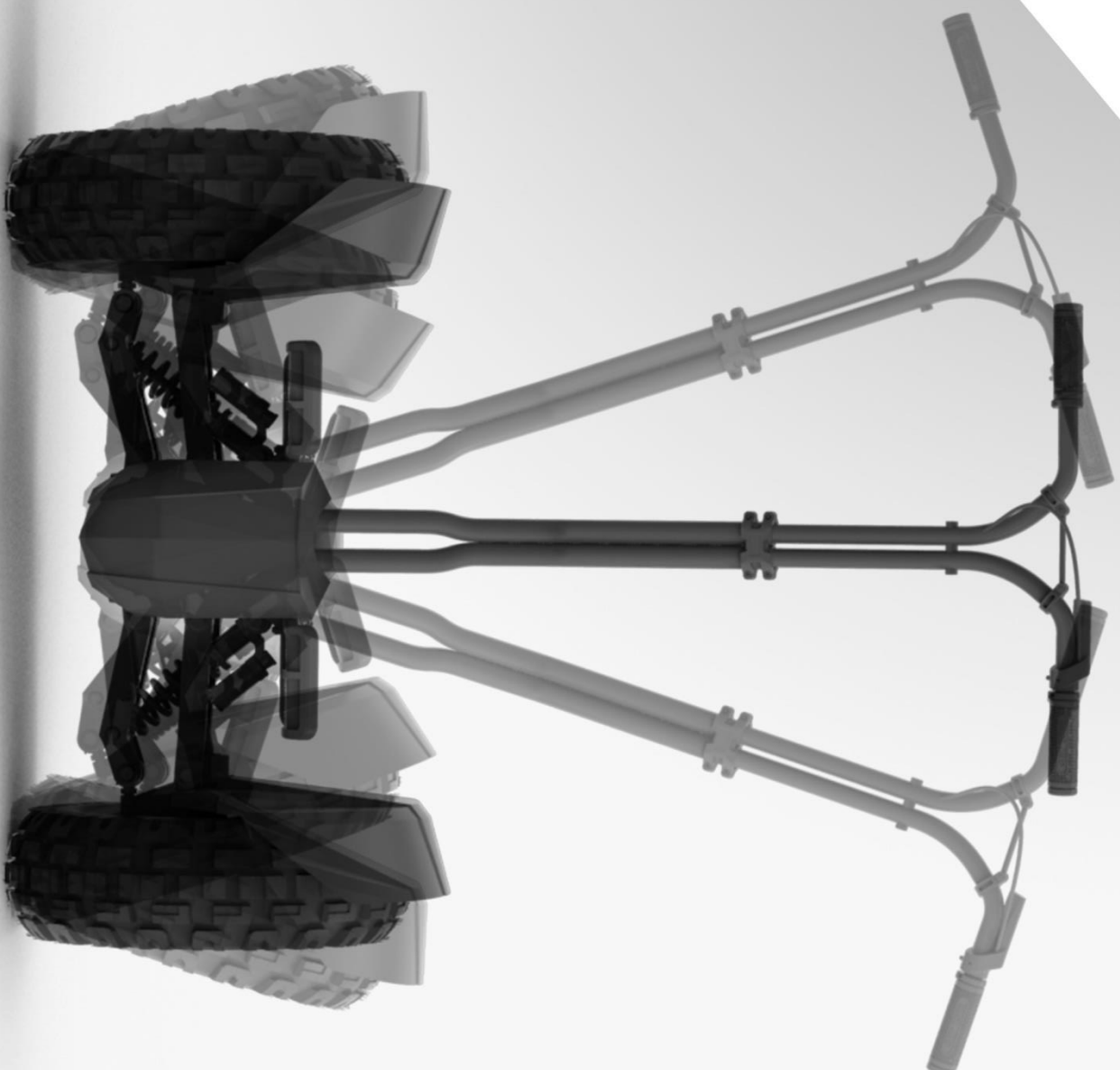
MOBILITAT DE L'ÀGIL



AMORTIMENT D'UN SALT



INCLINACIÓ PER GIRAR



ÀGILE



SEGWAY X2







TRIL



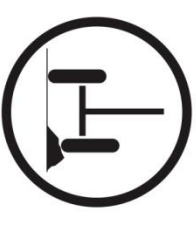
SURT DEL GAMÍ ESTABLERI

ÀGIL

GIR AMB INCLINACIÓ



AMORTIGUACIÓ INDEPENDENT
A CADA RODA



VEHICLE ELÈCTRIC



BATERIA INTERCANVIABLE



LLUM FRONTAL





245 **PIECES**

Capítol 16

RETROSPECTIVA

Un cop es dona per acabada la feina de construcció, és l'hora de fer balanç; cal mesurar l'èxit en l'encert del disseny definitiu i per fer-ho s'utilitzen dues eines: el DAFO (a nivell intern) i feedback de potencials usuaris o altres enginyers (a nivell extern).

16.1 DAFO

A continuació es recullen, segons la opinió de l'equip de dissenyadors, les Debilitats, Amenaces, Fortaleses i Oportunitats de l'Àgil, el vehicle dissenyat.

DEBILITATS <ul style="list-style-type: none">• Vehicle car (molt important)• No apte per circular per ciutat• Plataformes altes• Amplada general del vehicle• Estètica desproporcionada• Experiència de conducció no testejada• Llum frontal baix• Baixa portabilitat	AMENACES <ul style="list-style-type: none">• Finançament difícil de trobar• Poca acceptació
FORTALESES <ul style="list-style-type: none">• Bateria intercanviable• Caixa electrònica fàcil de treure per reparar qualsevol component• Capacitat d'amortir impactes• Gir intuïtiu controlat amb la posició del cos• Rodes amortiguades independentment• Panell d'informació intuïtiu• Manillar regulable• Llums	OPORTUNITATS <ul style="list-style-type: none">• Auge de l'automoció sostenible amb vehicles elèctrics• Tractes comercials amb empreses fortes del món del motor• Únic per les seves característiques al mercat• Noves experiències per als usuaris

16.1.1 Conclusions del DAFO

L'Àgil és un vehicle experimental/conceptual que per tal de dur-lo a una producció real caldria un gran esforç per convèncer alguna empresa del món de l'automoció amb capacitat per invertir. En cas que cap d'elles no el pogués produir caldria replantejar el disseny i fer-lo molt menys industrial, fent per exemple, peces que no comportin ser emmotllades.

La majoria de debilitats del vehicle són conseqüència directa de les fortaleses, dels aspectes pels quals s'ha apostat. Altres però, han sigut errors de disseny que en futures iteracions es podrien solucionar fàcilment.

Un dels majors riscos de l'Àgil és l'acceptació que pugui tenir entre el públic potencial pel fet de combinar tecnologies del món de la competició i del sistema d'auto-balanceig Segway. Caldria un període de proves del vehicle, ajustar-lo al màxim als requeriments de competició i demostrar després amb campanyes publicitàries i d'influència les seves bondats.

16.2 *Feedback* de potencials usuaris

Per l'equip resulta molt interessant conèixer la opinió de possibles usuaris de l'Àgil, o d'altres que no ho siguin però puguin tenir una visió crítica gràcies la seva formació: perquè són enginyers, o amants del món del motor i coneixen prou coses com per aportar *feedback*.

La importància d'obtenir dit *feedback* és la de poder plantejar futures millores, en cas que el projecte es seguís desenvolupant i l'Àgil s'arribés a produir.

L'estructura que s'ha seguit en totes les entrevistes ha consistit en mostrar imatges de presentació del producte i demanar que els enquestats fossin crítics amb el que veien. Cadascú en fa una interpretació i en funció del que comenta s'interpel·la més o menys, però s'ha mirat de deixar deduir sol a l'enquestat alhora que se l'ha esperonat en ser crític ja que els comentaris crítics són els que aporten més valor de cara a millorar el vehicle.

Opinió d'un esportista extrem que practica BMX i Esquí *freeride* i *freestyle*

“Penso que pot ser molt divertit, el que passa es que ja saps que a nosaltres ens agrada portar això una mica a l'extrem i no se fins a quin punt ho podríem portar això. És a dir, anant per camins normalets o fent una mica el burro per la ciutat sí, però no sé si m'atreveria a baixar per alguna trialera o a fer salts amb això.

Entenc que quan està en contacte amb el terra funcioni bé, però quan estàs volant per l'aire tot és una mica diferent.

Una altra cosa a tenir en compte seria el pes també, que com més pesa algo que tens als peus mes difícil és controlar el salt, passa una mica com amb els esquis. És important tenir uns motors potents per compensar el pes del vehicle.

Crec que per algun lloc pla i tal sí que m'hi sentiria segur, però estèticament, el fet que només tingui dos rodes al mateix eix horitzontal.. em fa una mica de cosa.

En general mola mola!, Si aconseguíssiu un bon sistema d'estabilitat que et fes sentir segur a sobre per a qualsevol tipus de sòl o pendent, estaria mooooolt pepino”

Pel que fa a estètica comenta:

“El vehicle té pinta de ser algo robust i amb força, amb unes bones rodes. Però a la vegada flexible i fàcil de fer servir a l'hora de girar i tal. El del camuflatge militar cunde molt”

16.2.1 Altres opinions de diversos entrevistats

1

“La veritat el render es veu molt bé. Com a amant de l’offroad trobo que està molt “fino” i que seria interessant, però també penso que no sé com seria d’estable a l’hora de ficar-lo en camins i tal. Seria interesant provar-ne un de veritat.

Per mi seria un plaer ser el pilot de proves (jajajaja)

Quina utilitat té? O sigui a qui estaria enfocat? Veig que per exemple és per fotre canya, rollo rutes per la montaña com si fos una bici o una moto d’enduro

Li faltaria potser més protecció davantera, Empunyadures, una barra/paraxocs com els quads de competició... Els parafangs els trobo una mica massa baixos.

Trobo també que si te’n vas de morros estàs condemnat!”

2

“Crec que s’ha d’anar amb cura amb el material de les plataformes i evitar les vibracions. És fàcil canviar la roda en cas de punxar?

Queda protegida la part inferior del vehicle?

És possible que al inclinar-se que alguna part del vehicle faci tope i es faci malbé el mecanisme?”

3

“Si és per anar per camins no hauria d’anar més protegit contra grava, fang, branques...?, m’imagino alguna cosa de l’estil del Segway Vespa on es va més protegit, no caldria que fos tan gran, però.”

4

“La veritat és que crec que la idea de les suspensions que es tombin tipo les motos es una bona idea, ja que li dona estabilitat a l’hora d’agafar les corbes, i molta més inèrcia agafant les corbes amb molta mes velocitat i seguretat, evita que puguis bolcar.

El disseny del manillar al ser dues barres de ferro li dona visualment rigidesa al no haver posat cap protector de plastic que es pugui trencar. El vidre del llum frontal jo el protegiria amb alguna reixeta!”

5

“El vehicle hauria de tenir l’eix de la roda una mica més alt. Si només gira el manillar faltaria control. Les carroceries jo les faria de fibra de carboni sinó, amb quatre salts el plàstic queda tot trencat, aquest producte és de gamma alta, s’ha d’oferir qualitat!”

6

“Em sembla una passada! Felicitats per la feina. Si es produeix el vull provar. L'èstètica m'agrada!”

7

“La idea és súper guapa. El disseny rollo militar li dona un toc més extrem encara. Però el tronc ja aguanta? El veig molt primet.”

8

“Com a vehicle sembla molt “pepino”! I que pot anar per qualsevol terreny i això és bo!

Va amb xofa? O és elèctric?”

9

“Com queda protegit l'usuari de fang o pluja?

El vehicle està homologat?”

10

“Per ser un prototip està súper bé!”

11

“A cada plataforma hi caben 3 peus! La part de sota es veu molt gran.”

12

“El control del vehicle seria com esquiar.”

13

“El llum de davant es veu molt gros. Potser amb un simple foc quedaria millor.”

14

“A mi em recorda un tallagespes o un estri de jardí.”

15

“Està desproporcionada la part inferior respecte el manillar.”

16

"No entenc perquè el tronc té dos tubs, això pot comportar vibracions innecessàries."

17

"El color taronja el veig més seriós, en canvi no m'agrada l'acabat militar."

18

"Mola moltíssim, he flipat."

19

"Es podria posar una protecció a les mans per no menjar-te les branques dels arbres"

20

"Jo la plataforma la pujaria del darrera per que no es pugui escapar el peu "

21

"Guapíssim i m'encanta la pintura! El podria provar? Es podria derrapar?"

22

"És xulo! Molt minimalista, m'agrada!"

23

"Per fer freeride per la muntanya em sembla collonut, per les rodes grans que té, els parafangs i el grip dels peus. Però a nivell estètic faria que tronc fos més robust... Sembla que s'hagi de trencar! De totes maneres està molt currat, de veritat, felicitats!"

24

"El llum frontal trobo que queda massa exposat! El vidre es podria trencar."

Capítol 17

PRESSUPOST

En aquest capítol es presenta un breu estudi econòmic del projecte. Les dades mostrades a continuació s'han calculat tenint en compte un salari mitja d'un enginyer, establint el cost per hora en 15€/hora.

En aquesta primera taula es mostren els costos de materials derivats de la realització d'aquest projecte:

Quantitat	Material	Cost unitari	Cost total
1	Arduino Mega	39,33 €	39,33 €
1	CAN BUS Shield	44,47 €	44,47 €
1	MPU-6050	3,15 €	3,15 €
1	Mòdul Bluetooth	8,06 €	8,06 €
2	Motors	0,00 €	0,00 €
2	Molles	3,80 €	7,60 €
1	Tub PVC 32mm 1m	2,11 €	2,11 €
1	Tub PVC 25mm 1m	1,36 €	1,36 €
2	Perfils MECALUX 2m	5,65 €	11,30 €
1	Taulell DM	8,89 €	8,89 €
1	Varis electrònics	9,54 €	9,54 €
1	Varis mecànica	4,32 €	4,32 €
15	TOTAL		140,13 €

A continuació, es troba la taula referent als costos humans derivats de l'elaboració del projecte:

Hores	Concepte	Cost total
60	Documentació	900,00 €
260	Simulació	3.900,00 €
180	Programació	2.700,00 €
40	Depuració	600,00 €
40	Muntatge	600,00 €
232	Experimentació	3.480,00 €
80	Estudi mercat	1.200,00 €
160	Conceptualització	2.400,00 €
40	Verificació del concepte	600,00 €
56	Dimensionat	840,00 €
400	Desenvolupament peces	6.000,00 €
40	Renderitzats	600,00 €
192	Redacció	2.880,00 €
1780	TOTAL	26.700,00 €

Finalment, es troba la taula resum dels costos totals del projecte:

Concepte	Cost total
Total Material	140,13 €
Total recurs humà	26.700,00 €
TOTAL	26.840,13 €

Capítol 18

CONCLUSIONS

En aquest capítol es detallen les conclusions extretes durant la realització d'aquest Treball Final de Grau. A continuació, es troben les conclusions obtingudes per part de l'equip electrònic:

- A partir de l'estratègia de control utilitzada en aquest projecte s'ha aconseguit obtenir un controlador capaç d'estabilitzar el sistema i que permet realitzar control de posició. El control obtingut és suficientment acurat per tal de portar les variables d'estat al valor desitjat un cop està el vehicle en funcionament. El resultats obtinguts a partir de les simulacions dels diagrames de blocs a *Simulink* i la seva execució a *MATLAB* permeten extreure unes valoracions satisfactòries ja que la robustesa del controlador permet realitzar un control adequat quan oscil·len algunes de les variables.
- Previ a l'execució al microcontrolador del control calculat s'han realitzat proves mitjançant un aplicatiu creat a *Labview* on, comprovant els resultats de l'animació 3D amb els obtinguts un cop implementat al prototip, s'ha pogut evidenciar que aquesta aplicació permet tenir una idea de la brusquedat i qualitat del controlador calculat.
- En quant a la implementació del control, prèviament es va realitzar un petit estudi de mercat que ha servit per a determinar el hardware necessari per a complir amb les necessitats exigides pels programes i codis realitzats i conèixer els components més comuns a aplicacions similars.
- Un cop seleccionats tots els components, es va decidir construir una petita placa electrònica modular que contingues tots els elements necessaris pel correcte funcionament del prototip i que ha suposat una millora en la facilitat de connexió de tot el hardware.
- Mitjançant la implementació del controlador calculat a Arduino i les proves realitzades amb el prototip funcional s'han obtingut uns resultats satisfactoris en quant al controlador calculat i l'estabilitat del sistema.
- Tot i no ser un dels objectius principals del projecte, s'ha trobat adient la realització d'una aplicació a Android on es pogués realitzar un seguiment de les dades en temps real mitjançant *Bluetooth* a més de realitzar un control de posició del vehicle.
- A causa de la limitada potència que oferien els motors cedits per a la realització d'aquest projecte no s'han pogut assolir certs reptes marcats com el control integral i el control de posició, tant des del propi codi d'Arduino com des de l'aplicació mòbil esmentada anteriorment. Tot i això, s'ha comprovat com el controlador calculat permetia ambdós mètodes de control.
- Per finalitzar, comentar que per a la realització del present projecte s'han aplicat una sèrie de conceptes i coneixements adquirits durant els estudis del Grau en Enginyeria

Electrònica Industrial i Automàtica, a més d'altres coneixements més avançats, principalment sobre teoria de control, com sistemes no lineals i la seva linealització. Un cop finalitzat el projecte es pot determinar que el resultat ha estat satisfactori i que s'han complert els objectius marcats al inici d'aquest.

A continuació, es detallen les conclusions del Treball Final de Grau pel que fa als enginyers de disseny industrial:

- L'equip de disseny després d'haver-se *empapat* dels productes d'auto-balanceig existents i haver elaborat el *Mindmap* general, va quedar frustrat pel fet de no saber trobar cap necessitat real o social que pogués ser resolta dissenyant algun producte que incorporés la tecnologia "Segway". En cap cas, dita tecnologia, ajudava a solucionar problemes reals de disseny detectats. La solució que més va agradar va ser apostar per millorar l'experiència de conducció del conegut vehicle, i indagar en les possibilitats de disseny, però per això es va haver de renunciar a l'objectiu inicial d'aconseguir resoldre un problema real.
- S'han complert els requisits del briefing. S'ha aconseguit desenvolupar un vehicle tot terreny que es creu que incrementa exponencialment l'experiència de conducció respecte la que ofereix el Segway X2, la versió "tot terreny" de la marca americana.
- L'equip, un cop ha donat per finalitzat el disseny de l'Àgil, s'ha adonat de la gran dificultat que suposa realitzar un projecte d'aquestes característiques on normalment intervenen tants perfils enginyerils diferents. La gestió de tots aquest perfils per a què la feina de cada un d'ells conflueixi en el mateix punt és crucial per a què el resultat final sigui l'esperat en la fase de concepció de la idea.

En les empreses d'automoció els equips són molt grans. L'equip, tot i comptar amb pocs components (comparativament), s'ha trobat amb certes dificultats alhora de gestionar l'avenç del projecte i aconseguir que tots els passos de disseny servissin per la correcte execució.

- El procés de disseny de l'Àgil ha funcionat a mesura que s'anaven restringint paràmetres variables. Per exemple: quan s'havia definit el Xassís, es van poder dissenyar les peces que hi tenien connexió. Això, al final ha desembocat a una sèrie de petits entrebancs i problemes de disseny que ha calgut resoldre com s'ha pogut.

L'ideal hagués estat des de bon principi haver considerat tots el paràmetres per evitar problemes futurs.

A nivell estètic, el procés evolutiu del vehicle també s'ha vist afectat per aquest procediment. A l'equip li hagués agradat aconseguir un resultat molt més homogeni estructurat per esbossos que marquessin el rumb de disseny.

El problema d'aquest disseny utòpic és que des del primer moment s'han de contemplar tots els problemes enginyerils que es puguin trobar en el futur.

- L'equip ha consolidat algunes de les tècniques de disseny ensenyades al llarg de la carrera com el *brainstorming*, el *mindmap* i la utilització de *moodboards*.
- S'han usat en el treball coneixements apresos sobretot a les assignatures de Disseny i Prototip de Motlles i Matrius i Disseny de Mecanismes.
- De forma autònoma, l'equip s'ha esperonat per millorar les habilitats tècniques en els camps de l'*sketching* i el modelatge 3D i que aquests contribuïssin en la qualitat final del treball.
- Els dos components de l'equip de disseny han sigut crítics en tots els passos del procés de treball. La sinceritat mútua ha funcionat a mode de filtre per aconseguir que cada avenç es fes en la direcció correcta.
- La compenetració ha estat clau per aconseguir avançar en una mateixa direcció i poder optimitzar els recursos temporals i de *software*, i suplir les carències individuals. A més, al llarg del treball hi ha hagut un procés d'aprenentatge mutu de coneixements de disseny.
- Entre els dos components de l'equip de disseny s'ha establert una relació de sana competitivitat, un fet que ha nodrit sobretot els moments de concepció del vehicle així com de les peces que el componen.

18.1 Millores

Un cop finalitzat el projecte i fent una retrospectiva de tota la feina realitzada s'han trobat certs punts on es podrien aplicar millores de cara al futur:

- La implementació del gir, que no s'ha pogut dur a terme per problemes de temps, ja que la part de simulació ha pres una gran part del temps disponible per a la realització del projecte. En aquesta millora, només és necessària la part de programació a partir de la lectura que s'obté del potenciòmetre ja instal·lat al prototip funcional.
- Com s'ha repetit varies vegades en la memòria, els motors utilitzats en aquest projecte han suposat un problema a l'hora de la implementació. Caldria, doncs, en aquest cas, l'obtenció d'uns nous motors amb una potència i un parell majors.

- Referent al controlador, es podrien dedicar més hores a la recerca d'uns pols més òptims per a un menor ús de recursos i per a la consecució d'un sistema més suau en front a les pertorbacions.
- Tot i que la intenció de la construcció del prototip funcional era simplement per a realitzar proves durant la implementació del controlador, es podrien millorar certs aspectes d'aquest com les cantonades afilades o un aspecte visual més elaborat.
- Finalment, una última millora que es podria considerar seria referent a la placa electrònica, aquesta, soldada ara, a una placa de prototipatge milloraria la seva seguretat i compactabilitat al dissenyar una placa electrònica amb el programa *Altium* per soldar-hi tots els components definitius.

El temps de disseny del producte ha tingut una durada limitada. Arribats aquest punt l'equip es veu en condicions de ser crític en els aspectes on les solucions podrien haver-se desenvolupat millor i on s'ha pogut aprofundir prou. El DAFO i el *feedback* dels usuaris recollits a l'apartat de retrospectiva (pàgina 370) han sigut eines útils per fer autocrítica.

- El conjunt de peces de la part inferior del vehicle respecte el tronc del manillar estan desproporcionades. Caldria o bé augmentar el diàmetre del tub del tronc, o reduir la quantitat de carrosseries que hi ha a la part inferior, o afegir una carrosseria (purament estètica) que augmentés la presència del Tronc, o concebre de zero un tronc completament diferent.
- El llum frontal és massa gran i pren massa pes visual a la part frontal del vehicle, caldria modelar altres opcions i verificar la millora en l'encaix estètic.
- El llum frontal també queda massa baix, i podria ser problemàtic en la conducció, s'ha de tenir en compte que l'Àgil avança inclinant-se endavant. Cal un disseny de llum nou que contempli els aspectes estètics anomenats anteriorment i quedi més elevat que el Xassís.
- No s'ha desenvolupat el mecanisme de trinquet que permet fixar les bateries i alliberar-les quan s'han d'extreure per canviar-les. S'han plantejat opcions però l'elevat grau de complexitat tècnica i la manca d'experiència en disseny de mecanismes ha impedit trobar una solució vàlida. Tot i així, s'ha dissenyat el concepte, i l'experiència de l'usuari a l'hora de treure les bateries. La solució adient passa per un extens estudi de possibilitats i la possible intervenció d'algun enginyer amb experiència mecànica.

- El sistema de palanques que acciona el trinquet s'hauria de dissenyar comptant de no trencar l'estanqueïtat del Subconjunt Carrosseries.
- El Xassís s'hauria d'haver integrat més bé amb el Tronc i el Suport de les plataformes, i es podria haver arribat a una solució més simple amb menys peces.
- Caldria fer una reproducció del mecanisme d'esmoreïment del vehicle per a verificar-ne el seu comportament.
- Caldria corroborar el bon funcionament del *joystick* de control del Panell d'Informació i millorar-lo en cas que no fos l'esperat.

Capítol 19

AGRAÏMENTS

A Pau Martí per haver donat suport i haver sigut l'encarregat de tutoritzar el projecte.

A Balduí Blanqué per haver ajudat en alguns punts clau del desenvolupament, resoldre els dubtes sobre motors i haver-se implicat en el projecte.

A Cristóbal Raya per haver resolt dubtes generals de programació i hardware.

A Francisco Ruiz per haver resolt dubtes referents a equacions i modelat del sistema físic.

A l'equip Segway España de Sabadell per haver facilitat informació, haver-nos ensenyat els components del vehicle i haver-nos deixat conduir-ne un.

A en Juanjo Aliau Pons per tot el suport en aspectes de disseny i resolució de dubtes concrets en els moments en que ha calgut contrastar les idees de l'equip de disseny amb les d'un expert.

A la Marta Musté pel suport que ha aportat en els dubtes alhora de fer estudis FEM.

A Xavi Peñarroya i altres entrevistats per aportar feedback valuosíssim per a futures evolucions del disseny o la construcció física de l'Àgil.

A la família pel seu suport incondicional al llarg dels quatre mesos.

Capítol 20

BIBLIOGRAFIA

Pau Martí Colom. Apunts de l'assignatura Enginyeria de Control:

- *Sistemes lineals en temps continu*
- *Sistemes lineals en temps discret*
- *Sistemes lineals en temps discret Exercicis*
- *Sistemes lineals en temps continu Exercicis*

Pau Martí Colom. Apunts de l'assignatura Sistemes avançats de control:

- *Advanced Control Systems*
- *Advanced Control Systems – Problems*

PREGUNTAS Y RESPUESTAS: ¿Qué legislación afecta al Segway? [en línia]. [Consulta: 27 març 2015].

Disponible a: <http://www.seguridadpublica.es/2012/01/preguntas-y-respuestas-¿que-legislacion-afecta-a-los-segway/>

MATLAB Documentation – MathWorks España [en línia]. [Consulta: 10 març 2015].

Disponible a: <http://es.mathworks.com/help/matlab/>

Módulo LabVIEW Control Design and Simulation – NI [en línia]. [Consulta: 16 abril 2015].

Disponible a: <http://www.ni.com/labview/cd-sim/esa/>

Mit App Inventor - Grupos de google [en línia]. [Consulta: 4 maig 2015].

Disponible a: <https://groups.google.com/forum/#!forum/mitappinventortest>

Antonio Carmona Benjumea. Datos antropométricos de la población laboral española, 14-2001, p. 22-35.

Capítol 21

ANNEXOS

21.1 ANNEX A – PROGRAMES EMPRATS

21.1.1 *MATLAB i Simulink*

21.1.1.1 *Què és MATLAB?*

MATLAB és un llenguatge de programació d'alt nivell i un entorn interactiu que permet fer càlculs amb matrius i vectors de forma fàcil, fer tot tipus de càlculs numèrics, representació de dades i creació de models matemàtics i algorismes. A més, *MATLAB* disposa d'un entorn de programació gràfica anomenat *Simulink* i una sèrie de *toolbox* orientades a fer funcions molt específiques com ara el tractament d'imatges i la visió artificial o l'anàlisi de les dades del bus CAN d'un vehicle o fins i tot la identificació de models a partir d'una sèrie de mesures a la sortida d'una planta.

21.1.1.2 *Per a què s'ha fet servir MATLAB?*

Durant el desenvolupament d'aquest projecte l'entorn que s'ha fet servir ha estat la versió *2013b*, des d'un primer moment s'ha fet servir l'eina per a obtenir el model en espai d'estats de la planta linealitzant les seves equacions i posteriorment poder simular diferents entrades i perturbacions al sistema creat. Aquestes simulacions han servit per a desenvolupar els controlador del sistema real veient com responia el model i creant posteriorment un model a *Simulink* que correspongués a la versió sense linealitzar, per poder fer proves més properes a la realitat.

21.1.1.3 *Com es fa servir MATLAB?*

Un cop instal·lat l'entorn només cal obrir *Matlab2013b.exe* per començar a treballar, un cop obert es te una finestra similar a la que es mostra a continuació.

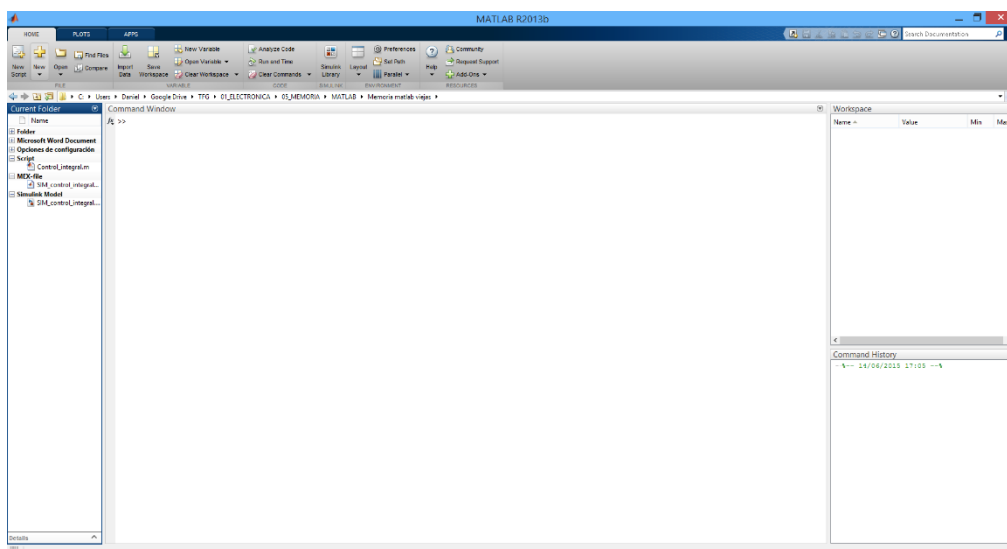


Figura 324 Finestra principal de MATLAB

A l'esquerra de la figura es pot veure el *Current folder*, que és el navegador de fitxers per poder obrir els diferents *scripts* i models creats directament des del programa. A la dreta es pot veure el *Workspace*, que es allà on es mostren les diferents variables emmagatzemades durant la sessió i els seus corresponents valors i tipus de variable. Finalment, a la part inferior dreta es pot veure el *Command History* que emmagatzema les funcions executades en ordre d'execució.

Per a fer operacions, aquestes s'han d'escriure al *Command Window*, que és la finestra principal que es pot veure al centre del programa. Com seria molt complex anar escrivint cada vegada tota la sèrie de funcions que es volen executar existeix la possibilitat de crear un fitxer amb el codi que es vol executar, són els anomenats *scripts*, per crear-ne un de nou, només, cal clicar a la creu daurada que té escrit *New*, en aquest moment s'obté una nova finestra sobre el propi *Command Window* on es pot programar el codi que es desitja executar.

Tal i com es pot veure a la següent figura, hi ha obert un script amb el nom *Control_integral.m*, sobre aquest *Script* s'han programat una sèrie de funcions. Per tal d'executar aquest script i veure els resultats s'ha de fer clic sobre la pestanya *editor* i fer clic posteriorment a la fletxa verd que té escrit *Run*, en aquest moment *MATLAB* comença a executar tot el codi i es pot veure com van sortint tots els resultats a la *Command Window*, a més, tal i com s'ha esmentat, aquests resultats de variables emmagatzemades van omplint el *Workspace* i les funcions executades queden registrades al *Command History*.

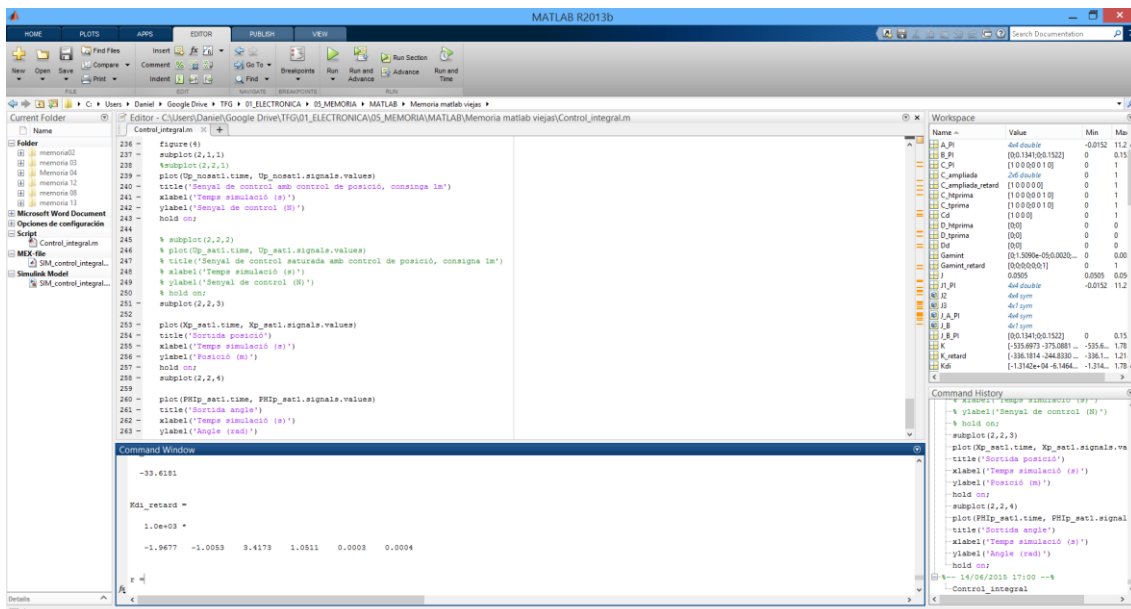


Figura 325 Finestra principal de MATLAB amb editor de Scripts obert

21.1.1.4 Consideracions a tenir en compte a l'hora de fer servir MATLAB

MATLAB disposa d'una sèrie de funcions que es poden fer servir en qualsevol cas i son útils per a qualsevol tipus de simulació i càlcul. Les funcions i instruccions es mostren a continuació.

- *Clear all*: Serveix per a netejar l'entorn, és a dir, eliminar tots els resultats obtinguts i netejar el *Workspace*.

- *Close all*: Serveix per a tancar totes les finestres de gràfiques i altres finestres corresponents a resultats de l'execució del propi *script*.

- *Clc*: Serveix per a netejar la pantalla, és a dir, borra tot allò que havia quedat escrit a la *Command Window*, com ara les funcions executades i resultats.

- Un ";" després d'una funció: Quan s'executa una funció ja sigui en un *script* o directament a la *Command Window* el programa retorna automàticament el resultat i el mostra per pantalla a la *Command Window*, si no es vol mostrar el resultat escriure el punt i coma després evita que succeeixi.

- *Help*: es fa servir per veure l'ajuda sobre el programa en general o un funció específica, per exemple, si s'escriu "*help acker*", MATLAB retorna la informació referent a la funció d'Ackermann.

- Escriure "%" davant o darrera una funció: El símbol del percentatge permet comentar una línia de codi, ja sigui per evitar que s'executi una funció, quan es posa davant d'aquesta, o per fer un comentari sobre el codi i fer aquest més comprensible.

Algunes funcions útils de cara a simular amb *Simulink* i mostrar resultats directament sobre MATLAB son la funció *OPEN('nom del fitxer a obrir')* i *SIM('nom del fitxer a simular')*, que permeten obrir i simular models de *Simulink* un cop guardats a la mateixa carpeta que el codi desenvolupat sobre el *script*.

21.1.1.5 Què és Simulink?

Simulink és una eina disponible per defecte a MATLAB, aquesta eina permet realitzar esquemes de control i fer diferents funcions dintre un entorn gràfic i intuïtiu, *Simulink* disposa de diferents llibreries que van des de blocs per a disseny de circuits elèctrics i electrònics, passant per blocs de funcions amb la transformada de Laplace i transformada Z fins a espai d'estats, adquisició de dades i instrumentació virtual i fins i tot, blocs per a simulacions de sistemes en tres dimensions.

21.1.1.6 Per a què s'ha fet servir Simulink?

En el transcurs del projecte s'ha fet servir l'entorn gràfic *Simulink* per crear un model de la planta no lineal i poder simular de forma més fiable el sistema en llaç tancat, s'ha fet servir per desenvolupar els diferents entorns de simulació per a model en continu, en discret, en discret amb retard, en discret amb control integral i en discret amb un control de posició. A més, s'ha fet servir per a poder veure si els diferents esquemes i controladors dissenyats eren estables o no. D'altra banda, ha estat útil de cara a poder mostrar les sortides del sistema i les accions de control de forma gràfica i senzilla.

21.1.1.7 Com es fa servir Simulink?

Per obrir l'entorn *Simulink* cal fer clic a la pestanya *Home* del propi *MATLAB* i dintre d'aquesta clicar a *Simulink Library*, en aquest moment s'obrirà una nova finestra corresponent al navegador i buscador de funcions de *Simulink*, que es representen en forma de blocs per a l'entorn gràfic.

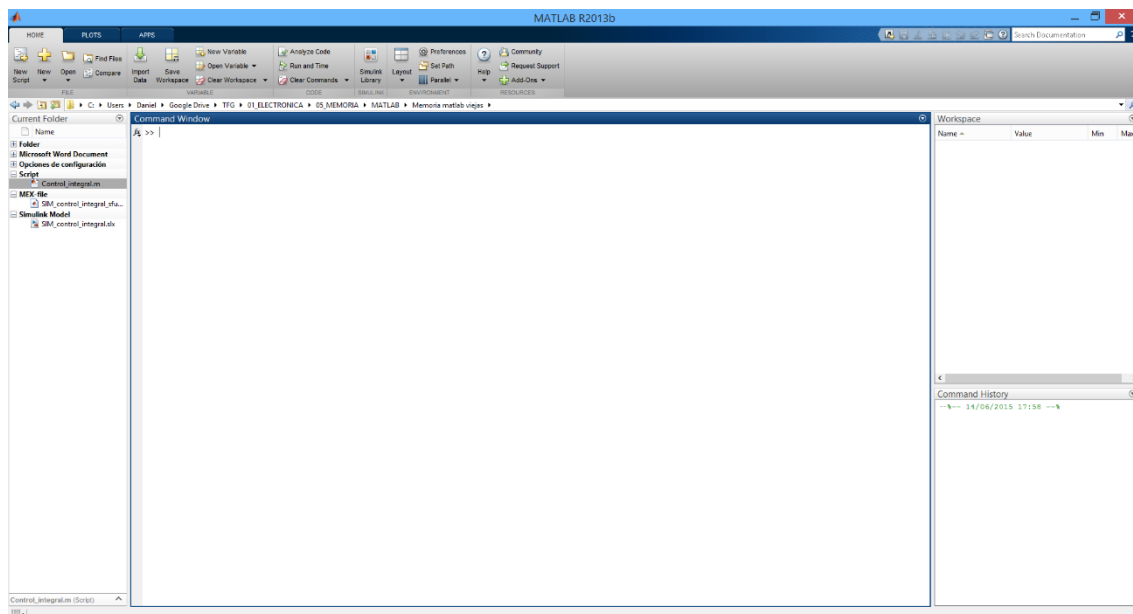


Figura 326 Finestra principal de MATLAB per obrir Simulink

La finestra resultant té aquest aspecte (Figura 327) i consta d'una part de navegació a l'esquerra on es poden seleccionar les diferents categories de blocs, un cop clicada una categoria a la part dreta es mostren els blocs disponibles. D'altra banda, si no es sap a quina categoria buscar però es coneix el nom del bloc necessari es pot fer servir el buscador que es troba sobre el navegador de categories.

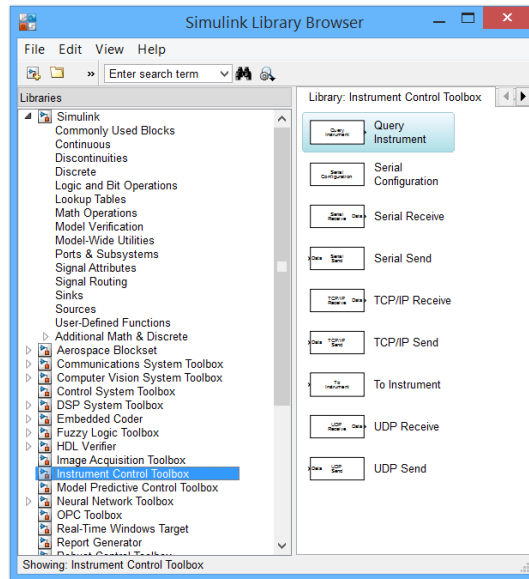


Figura 327 Finestra de navegador de llibreries de Simulink

Per poder realitzar qualsevol esquema primer cal obrir una nova finestra de *Simulink*, per tal de obrir-la cal fer clic sobre la primera icona de l'esquerra del *Simulink Library Browser*, en aquest moment s'obrirà una finestra en blanc sobre la qual es poden arrossegar els diferents blocs del navegador de blocs i crear un circuit, esquema de control, etc. La finestra nova és la següent:

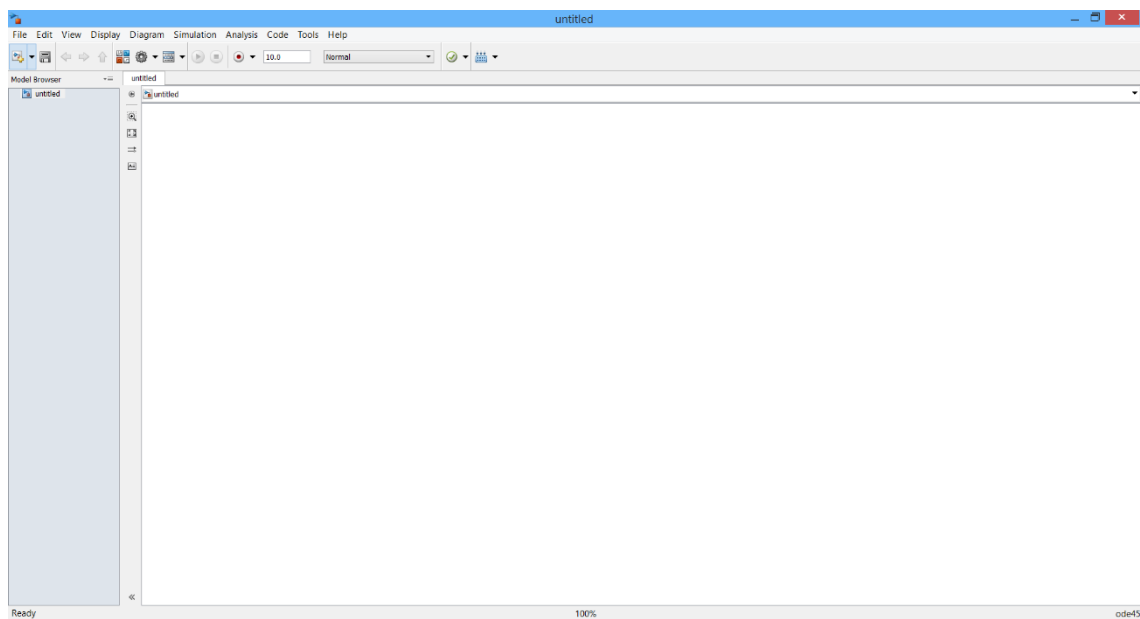


Figura 328 Finestra principal de Simulink sense cap esquema

Un cop arrossegats els blocs desitjats des del *Simulink Library Browser* i units entre ells queda quelcom semblant a la figura següent:

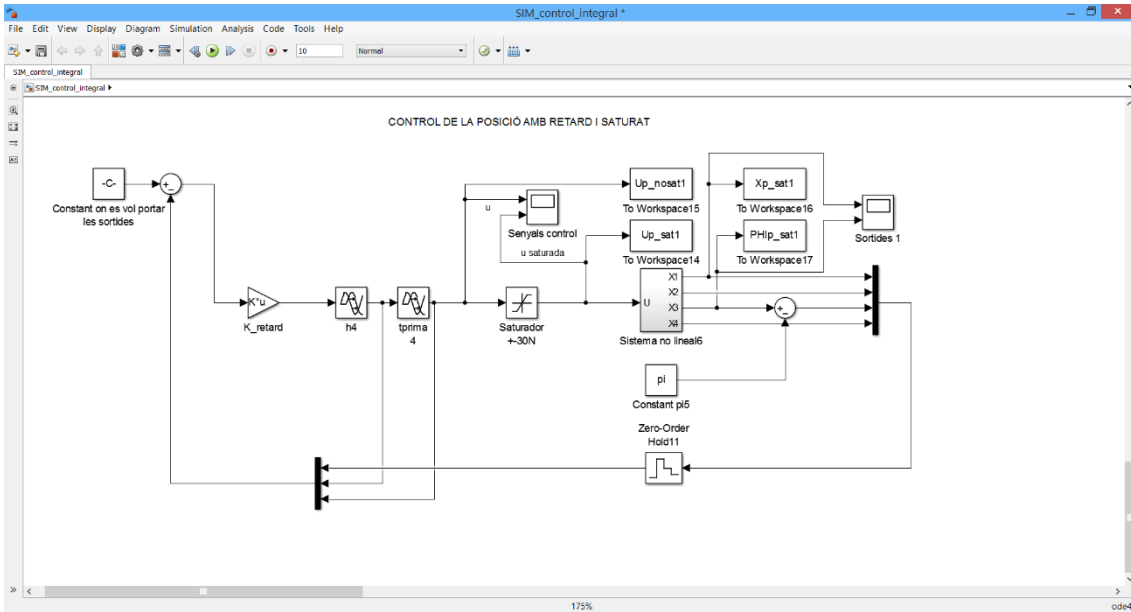


Figura 329 Finestra principal de Simulink amb un esquema obert

Un cop plantejat l'esquema només cal configurar la simulació i els diferents blocs si es desitja. Per configurar els blocs només cal fer doble clic a cadascun d'ells i seleccionar les opcions desitjades, en fer doble clic als blocs apareix una nova finestra corresponent a les opcions del bloc, per exemple si es fa clic al bloc que rep el nom de "h4", es pot veure la següent finestra:

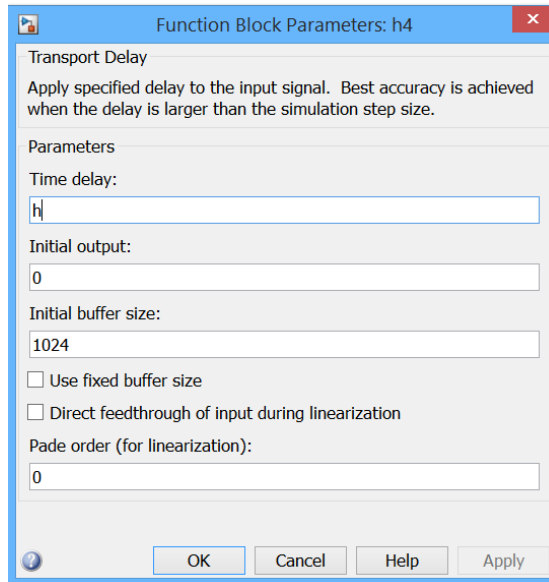


Figura 330 Finestra de paràmetres d'un bloc, en aquest cas un Transport Delay

De forma que configurant totes els blocs només queda simular, abans però, cal escollir el temps de simulació, que es fixa sota la pestanya de *Tools* (en aquest cas 10 segons) i fer clic sobre el botó de *Start* en color verd, en aquest moment es simula l'esquema i si no hi ha cap error es poden veure els resultats.

Per a veure els resultats ,en cas de fer servir *Scopes*, només cal fer doble clic sobre el propi *Scope* o si pel contrari es fan servir blocs *To Workspace* es poden fer diferents operacions des d'un *Script* o el propi *MATLAB* i posteriorment mostrar el resultat.

En cas de fer servir un *Scope*, com es el cas de "Sortides 1" el resultat quedaria de la següent forma:

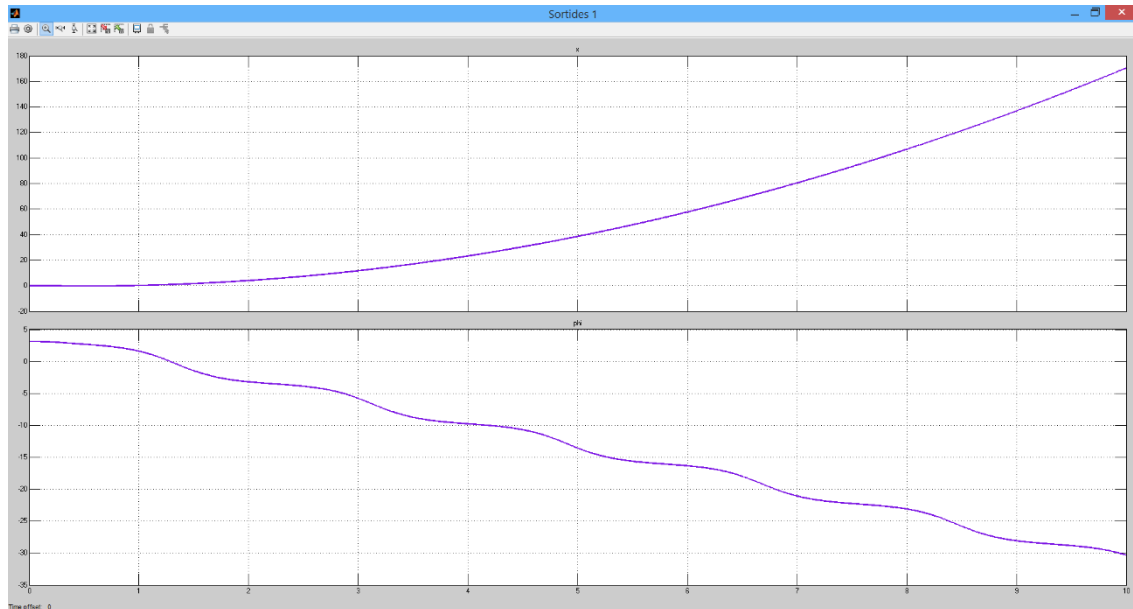


Figura 331 Finestra de gràfiques de Simulink, dades enregistrades per un Scope

D'altra banda, fent servir les variables del *Workspace* i creant una gràfica, es poden fer coses més complexes com incrustar varies gràfiques i editar amb facilitat els títols, la mostra següent es fa a partir de les dades enviades al *Workspace* des de *Simulink*.

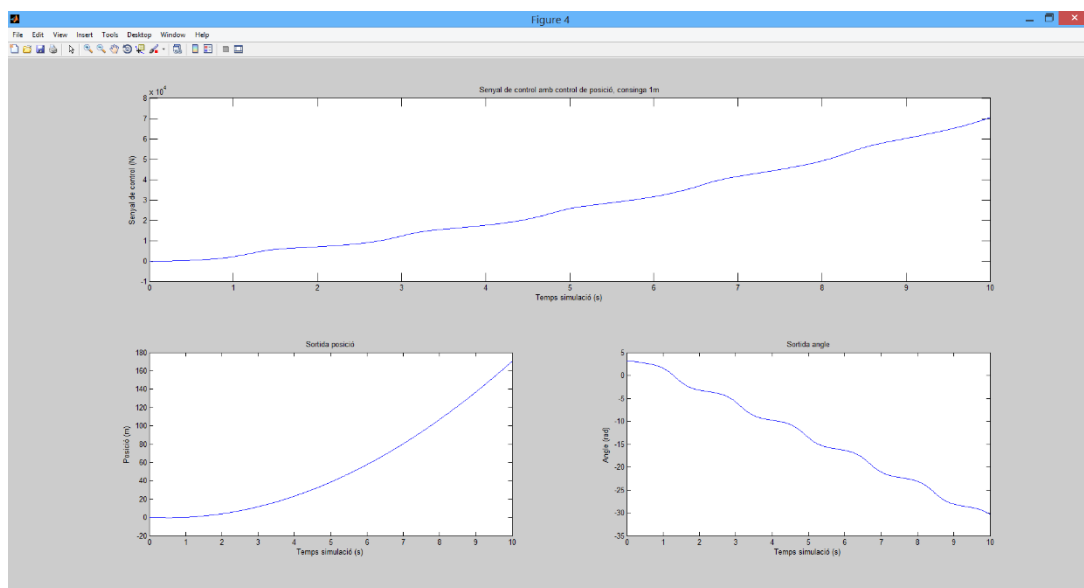


Figura 332 Finestra de gràfiques de MATLAB, dades enregistrades al workspace i mostrades amb la funció plot()

21.1.2 LABVIEW

21.1.2.1 Què és LABVIEW?

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench) és una aplicació que mitjançant llenguatge de programació gràfic permet el disseny de sistemes d'adquisició de dades, instrumentació i control. *Labview* és, alhora, compatible amb eines de desenvolupament similars i pot treballar amb programes d'una altra àrea d'aplicació, com per exemple *MATLAB*. Té l'avantatge que permet una fàcil integració amb maquinari, específicament amb targetes de mesurament, adquisició i processament de dades.

21.1.2.2 Per a què s'ha fet servir?

El programa de *National Instruments Labview 2010* ha estat utilitzat en aquest projecte per tal de realitzar una simulació gràfica del controlador dissenyat prèviament a *MATLAB* seguint la mateixa estructura de control, i ajudant així a veure d'una manera més intuïtiva el comportament d'un vehicle similar al prototip real aplicant-li el control.

21.1.2.3 Com es fa servir?

Labview té dos pantalles principals en les quals s'ha de programar i dissenyar la interfície. Per una banda, trobem el panell frontal on es dissenyarà el que finalment es veurà en l'arxiu executable de l'aplicació (finestra de la dreta) i per altra banda el diagrama de blocs on s'anirà introduint tots els blocs que formaran la programació gràfica d'aquest projecte (finestra de l'esquerra).

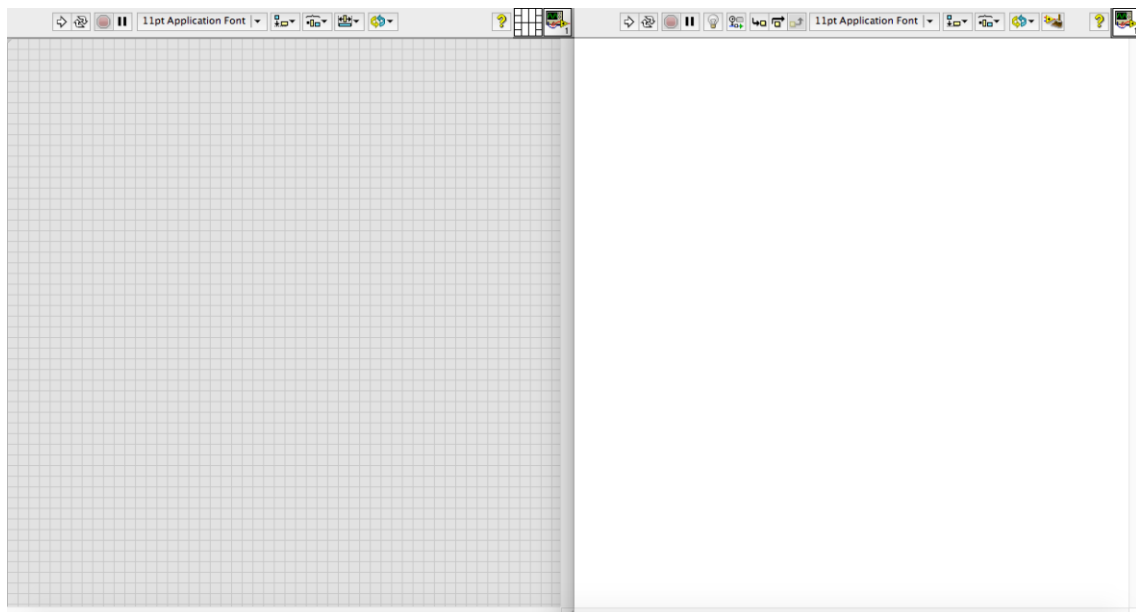


Figura 333 Panell frontal (Esquerra) i Diagrama de blocs (Dreta)

El panell frontal permet incloure elements de control que apareixeran en aquest i també el seu bloc corresponent al diagrama de blocs per la seva gestió o programació. La inclusió d'aquests elements es fa mitjançant paletes que en el cas del panell frontal son les següents.

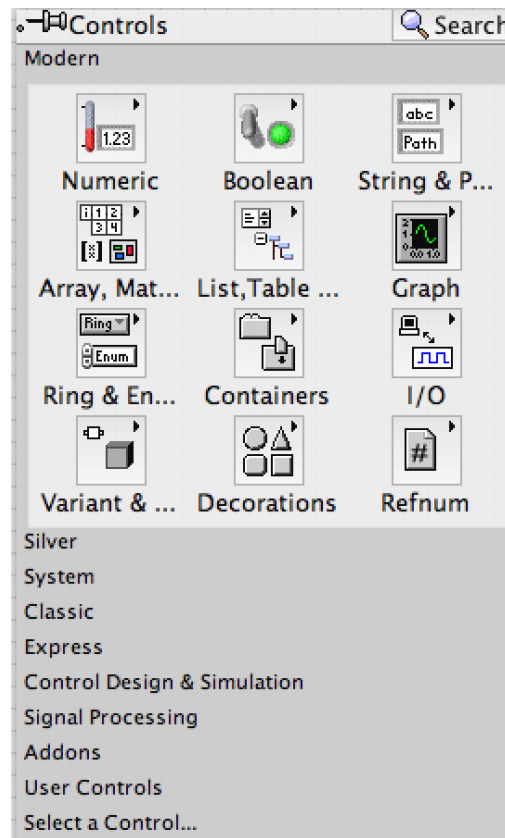


Figura 334 Paletes del Panell frontal

En el cas del diagrama de blocs, el funcionament és similar, tots els elements que es vagin introduint en aquest apareixeran al panell frontal en la forma corresponent siguin gràfics, botons, indicadors, controls, etc. D'igual forma que al panell frontal, al diagrama de blocs es disposa d'unes altres paletes que son les següents:

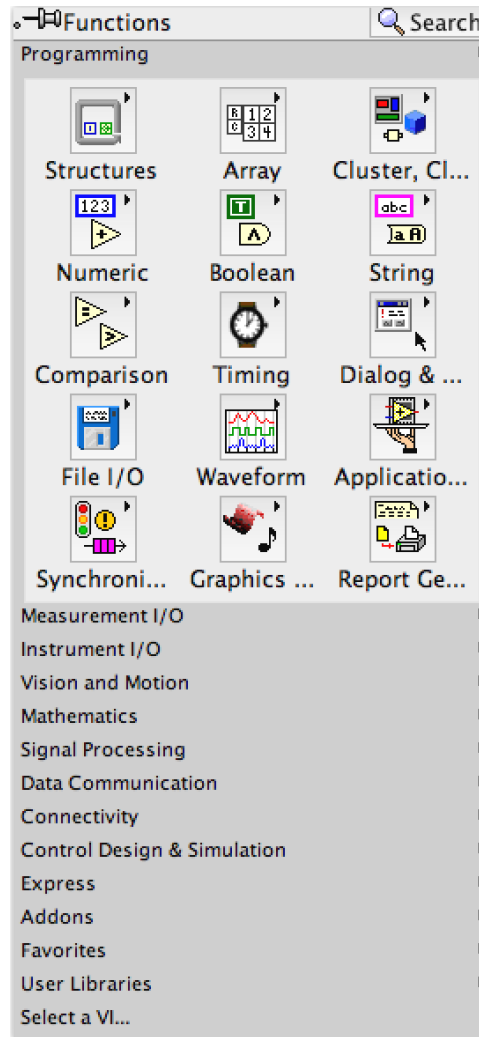


Figura 335 Paletes de Diagrama de blocs

Per tal d'executar el programa un cop programat i inclosos tots els elements necessaris, es pot fer una execució normal, en cas de temporitzar el botó Stop o no ser un programa cíclic es parerà quan realitzi les seves funcions o hagi transcorregut el temps.



Figura 336 Botó Run

En cas de voler executar el programa de forma cíclica i continuada es disposa d'aquest altre boto que ho permet.



Figura 337 Botó Run

Per tal d'aturar la execució d'un programa es pot prémer el boto següent o amb la combinació de tecles Control + punt (.) , en cas de quedar bloquejat el programa amb aquesta combinació de tecles es parerà el programa.



Figura 338 Botó Abort Execution

En cas de tenir problemes amb el programa, casos en que es bloqueja o be un funcionament incorrecte, pot ser de gran utilitat el següent boto que realitza una execució pas a pas i permet apreciar on es troba l'error.



Figura 339 Botó Highlight Execution

21.1.3 MIT APP INVENTOR 2

21.1.3.1 Que es MIT APP INVENTOR 2?

MIT APP INVENTOR 2 és una eina on es poden crear aplicacions directament des del navegador web ja que està basada en el núvol. La programació en la que es basa és mitjançant blocs amb programació gràfica unint-los entre ells per tal de crear funcions i realitzar les accions desitjades. Aquest lloc web, a més de tenir la aplicació pròpia, te fòrums d'ajuda que permeten resoldre dubtes o ampliar els coneixements, ja que està basat en codi lliure i té una gran comunitat darrera.

21.1.3.2 Per a que s'ha fet servir?

Aquest entorn s'ha fet servir en aquest projecte per al desenvolupament de l'aplicació mòbil per a dispositius Android.

21.1.3.3 Com es fa servir?

Al anar al lloc web *ai2.appinventor.mit.edu* es pot observar un menú com aquest, en cas de no haver estat utilitzat mai, *My projects* sortirà buit. Per iniciar un nou projecte clicant a *Start new project* ja directament demana el nom d'aquest com es pot veure a la imatge inferior.

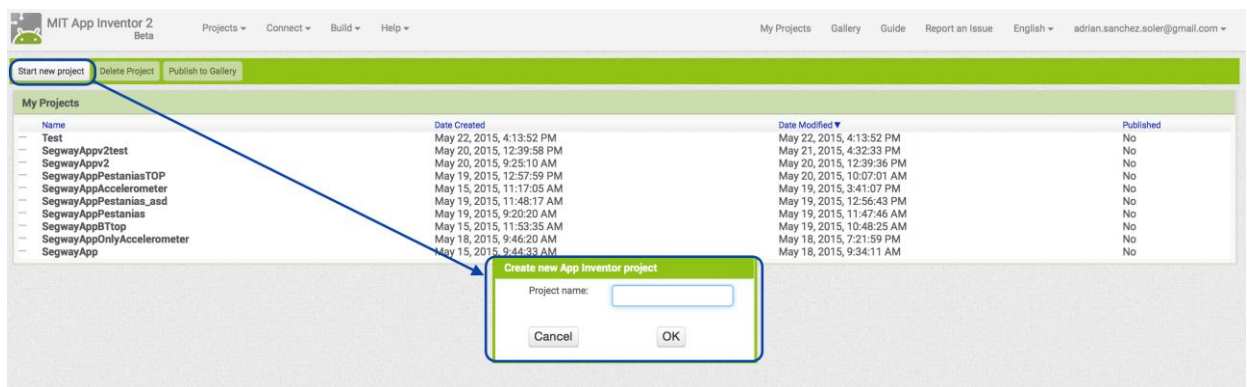


Figura 340 Pantalla principal MIT App Inventor 2

Un cop s'accedeix a un nou projecte o a un projecte ja començat es pot apreciar una finestra com la que es veu posteriorment. Aquesta finestra per defecte es situa a la pestanya del disseny del *Layout*, però al marge superior dret es permet navegar entre aquesta i la finestra de programació mitjançant blocs.

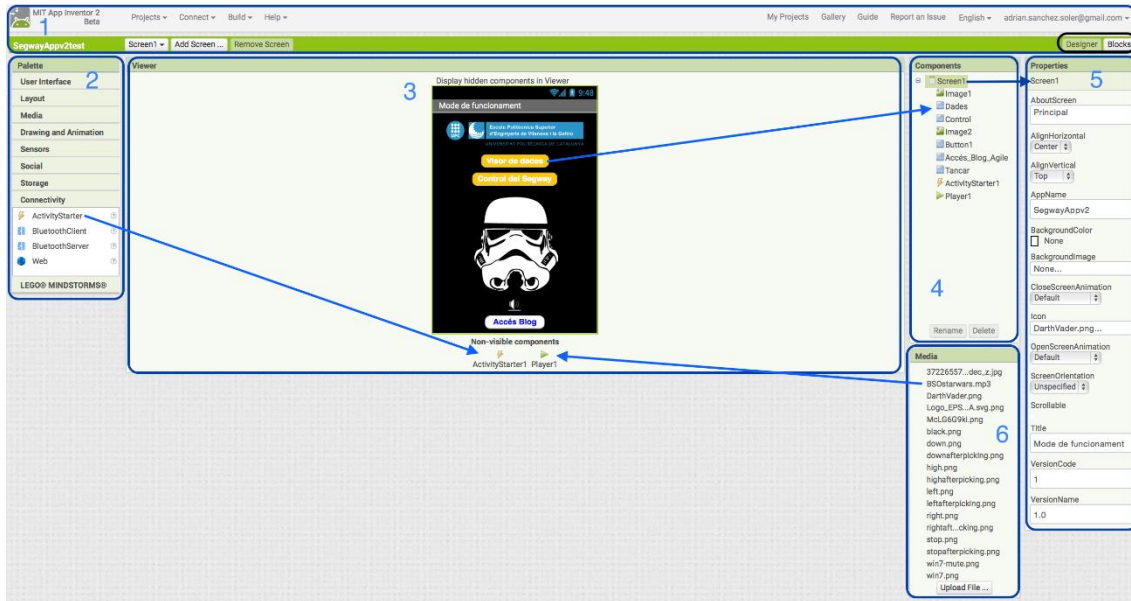


Figura 341 Pantalla Designer al iniciar o obrir un projecte

Per una banda, dins d'aquest menú es troben:

1.Menu General

Aquest permet la gestió del projecte, guardar, compilar, descarregar l'aplicació i el menú d'ajuda.

2.Paletes

Aquí es troben les paletes que permetran incorporar a l'aplicació botons, imatges, sensors del mòbil, connectivitat, etc.

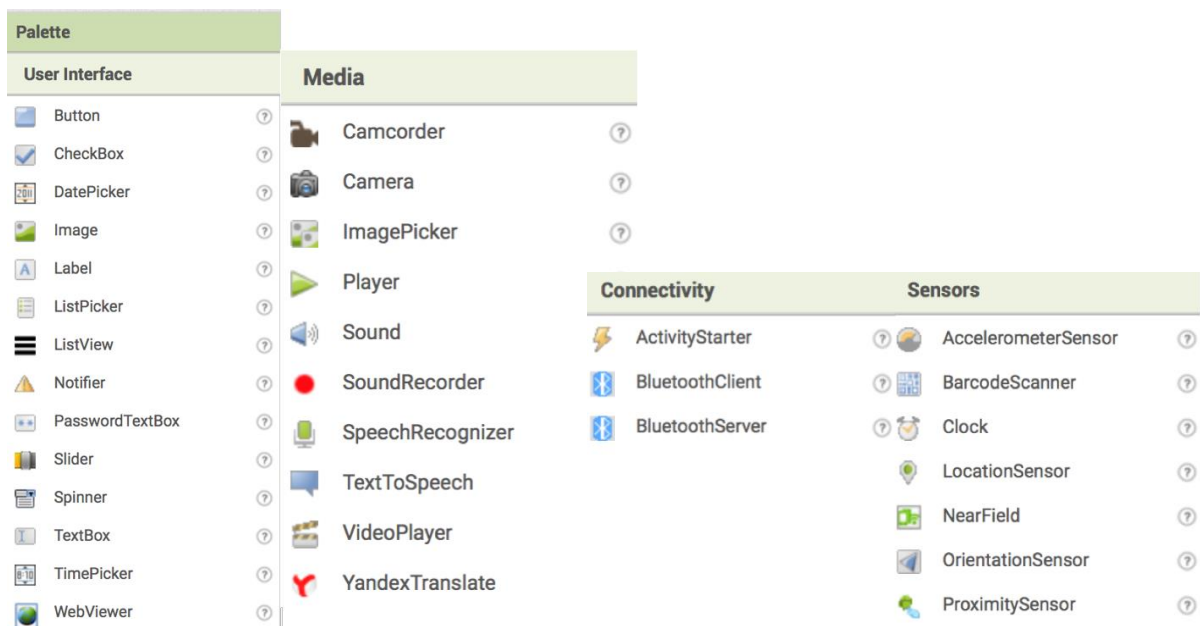


Figura 342 Paletes bàsiques per a la inclusió de components

3. Visor

Aquí es on es van posant tots els elements de les paletes que ha de tenir l'aplicació, si són elements amb els quals s'ha d'interactuar apareixeran a la pantalla que simula la del telèfon mòbil, si són sensors, connectivitat o funcions específiques com reproductors de música/vídeo o Activity Starter que permeten obrir altres aplicacions, apareixeran sota del visor, a l'apartat *Non-visible components*.

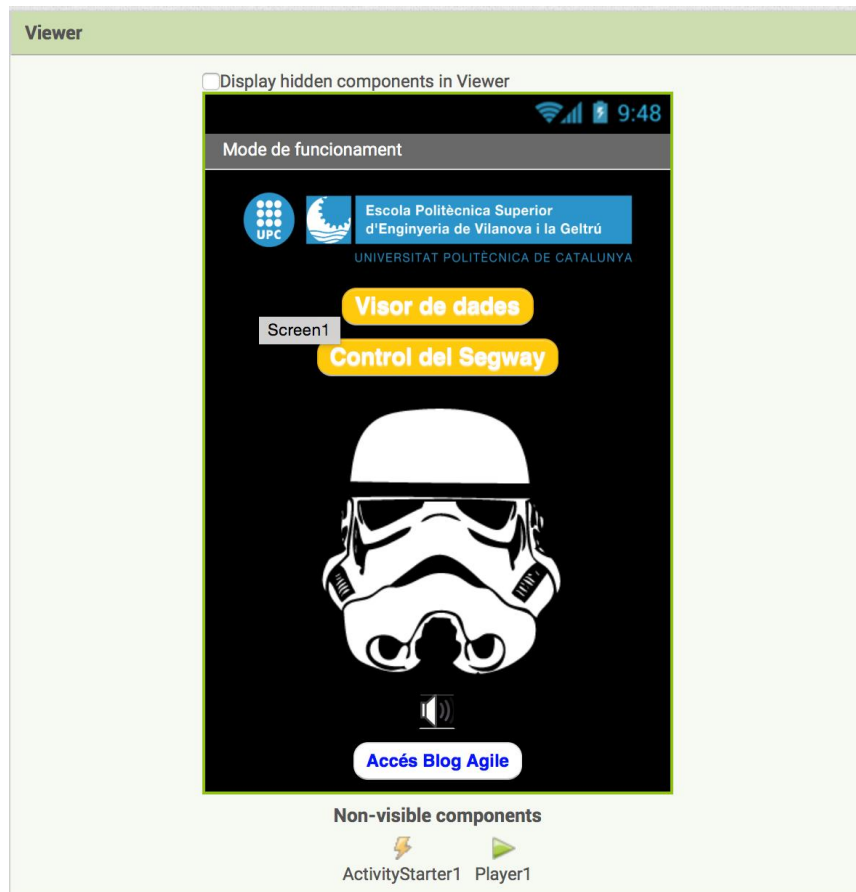


Figura 343 Visor on col·locar els components i que simula la pantalla del telèfon

4. Components

Aquí s'allotgen tots els elements que s'han anat incloent al projecte, tant els visibles a l'aplicació com els comentats anteriorment No-visibles. Des d'aquest menú es permet el canvi de nom i eliminació dels elements.

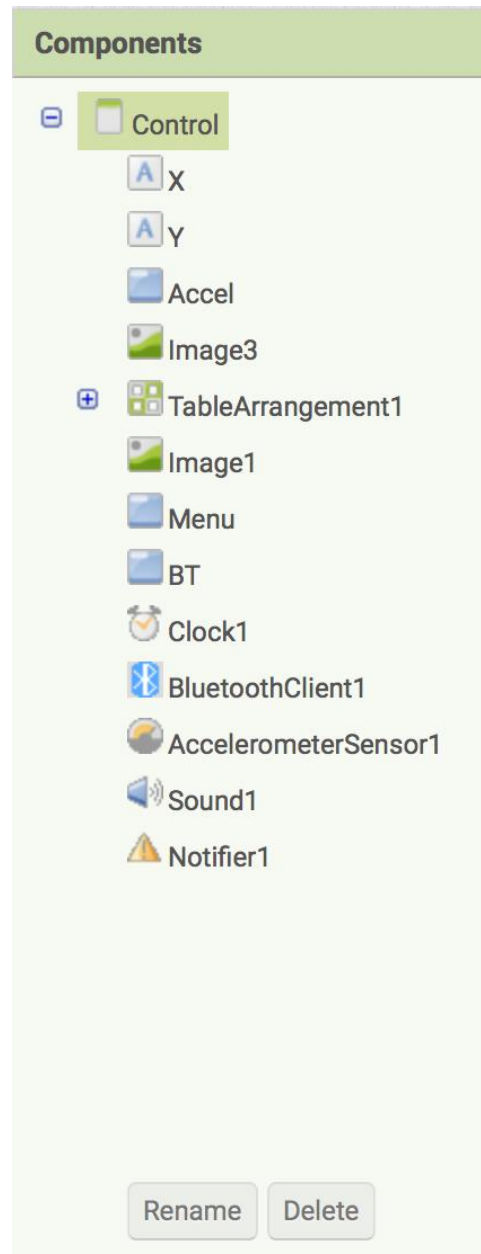


Figura 344 Menú on apareixen tots els components inclosos en la App

5. Propietats

A partir del menú vist anteriorment es pot clicar en tots els components de l'aplicació i accedir als seus menús de propietats on en funció de quin element sigui donarà unes opcions o altres, a la imatge inferior es poden veure les opcions que ofereixen els botons, com canvi de mida, color i text entre altres.

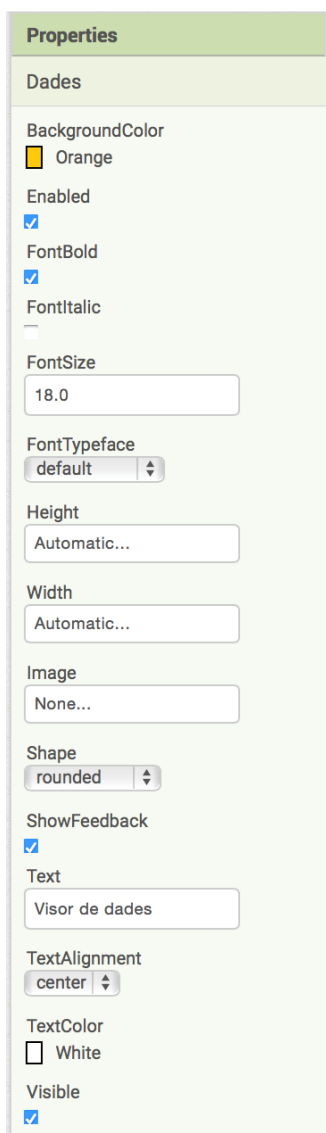


Figura 345 Menú de propietats d'un botó

6. Media

Per últim, hi ha l'apartat Media on es localitzaran tots els arxius multimèdia pujats com àudios, imatges i/o vídeos.

Per altra banda, en quant a la programació, s'ha d'accedir a l'opció *Blocks* al marge superior dret, posteriorment es pot trobar al marge esquerre dos opcions *Built-in(1)* i un altre amb el nom de la pantalla, en aquest cas *Screen1(2)*.

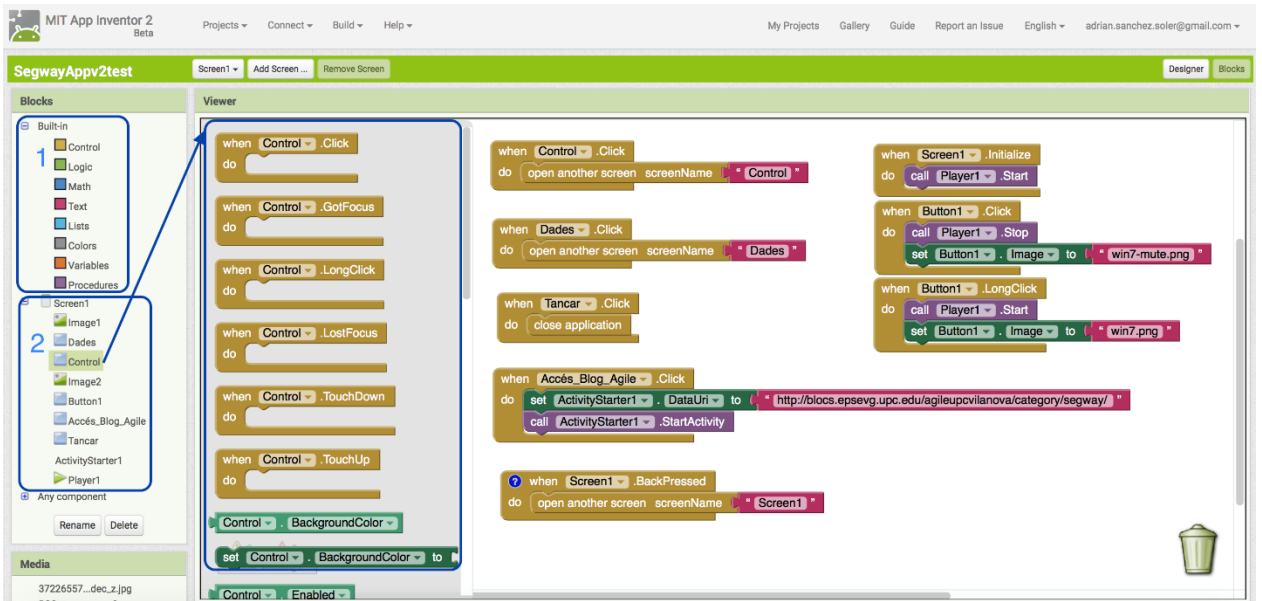


Figura 346 Pantalla Blocks amb blocs del botó Control per incloure-hi

1.Built-in

Aquí es poden incloure blocs bàsics de programació com bucles de control (if, while, etc.), funcions lògiques, operacions matemàtiques, creació de textos i llistes, selecció de colors i creació de variables i funcions.

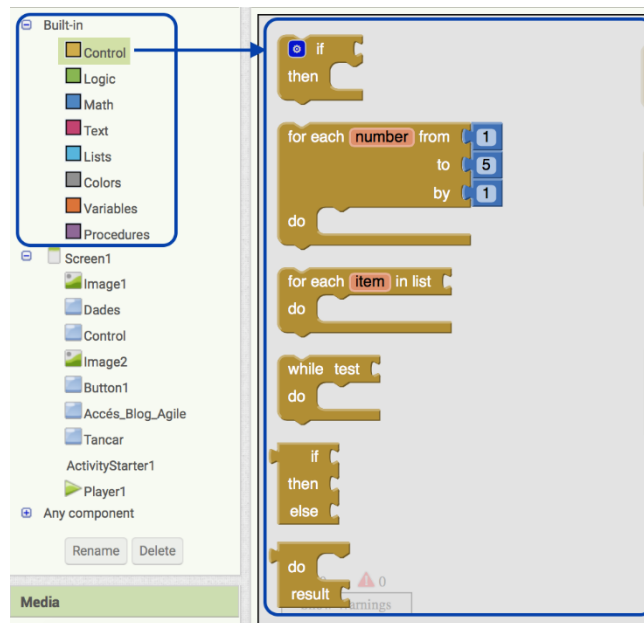


Figura 347 Diferents blocs de control

2.Screen1

Es trobaran tots els components inclosos al disseny gràfic de l'aplicació. Clicant a cadascun dels elements es poden incloure els blocs de programació referents a aquests, per exemple en el cas d'un botó, les funcions predeterminades on s'indica que ha de passar quan aquest és premut, és premut prolongadament, etc.

21.1.4 ARDUINO IDE

21.1.4.1 Què és ARDUINO IDE?

ARDUINO IDE (Integrated development environment) és una aplicació multi-plataforma escrita en Java. Està dissenyada per introduir la programació a nous usuaris que no es troben familiaritzats amb el món de la programació i el desenvolupament de software. Inclou un editor de codi amb característiques com ressaltat de la sintaxis, sangria automàtica i, a més, és capaç de compilar i carregar programes a la placa en un sol clic. Els codis o programes escrits, en C o C++, a l'IDE d'Arduino s'anomenen "sketch".

21.1.4.2 Per a què s'ha fet servir?

Durant el desenvolupament d'aquest projecte aquest software s'ha utilitzat sempre que s'ha treballat amb el prototip funcional i la implementació del control. A més, per a l'aplicació mòbil creada també ha estat necessari l'ús d'aquest IDE per a comprovar el correcte funcionament d'aquesta.

21.1.4.3 Com es fa servir?

Un cop instal·lat l'entorn només cal obrir `arduino.exe` per començar a treballar, un cop obert es veu una finestra similar a la que es mostra a continuació.

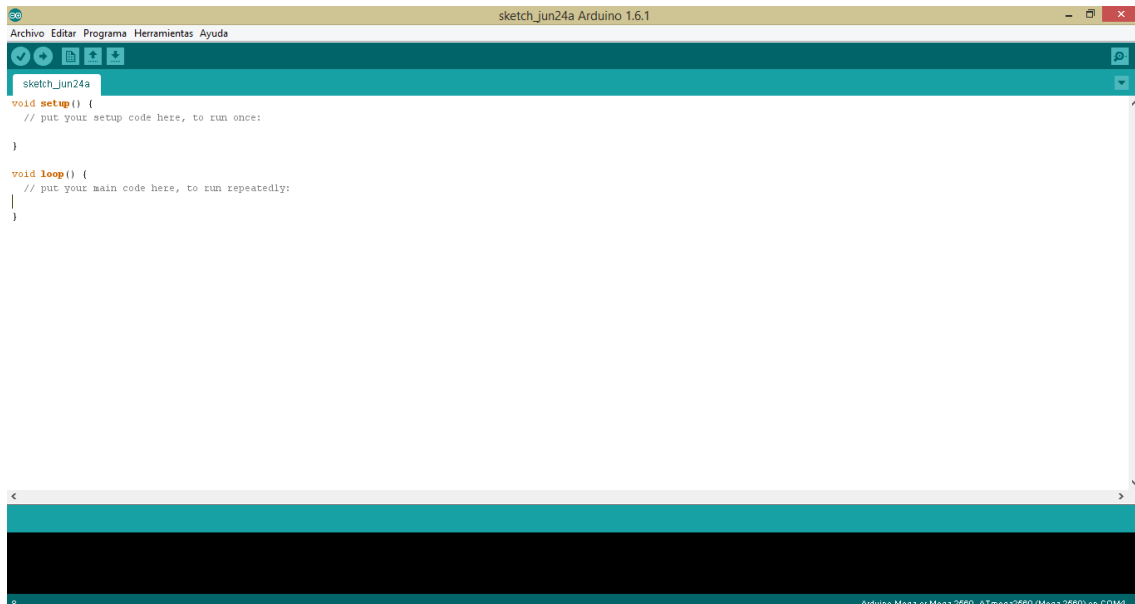


Figura 348 Finestra principal de l'IDE d'Arduino

A la part superior es pot observar una barra on gestionar els arxius, realitzar les tasques de compilació i càrrega, escollir la placa que s'està utilitzant i el programador i d'altres funcionalitats.

Just a sota, es troba una barra amb cinc botons els dos primers per a la compilació i càrrega mentre que els tres següents es corresponen a la gestió dels codis (nou codi, obrir i guardar).

Al centre, la part que ocupa un major espai en aquest software, és l'editor de codi que incorpora l'IDE. Aquí és on s'escriu el codi que es vol carregar a la placa o que simplement es vol compilar per comprovar si existeix algun error.

Finalment, a la part inferior, la zona de color negre, és on apareix la informació al compilar i carregar el programa. Apareixen tant els errors de compilació, com una compilació correcta i també errors en la càrrega del programa a la placa o si la càrrega ha estat satisfactòria.

21.2 ANNEX B – BENCHMARKING ELECTRÒNIC

Per a la selecció dels components electrònics a utilitzar en el projecte es va realitzar, inicialment, un *benchmarking* de diversos vehicles elèctrics auto-balancejats, tant els realitzats per empreses que el comercialitzen com els realitzats per aficionats.

21.2.1 Models comercials

Els models comercials estudiats són els següents: *Segway i2*, *Segway x2* (tot terreny), *SoloWheel Hovertrax*, *Freeyoyo G4u*, *Freeyoyo G4x* (tot terreny), *Ninebot E*, *S-Walker City*, *S-Walker Mini* i *GennyMobility*.

Ja que la majoria de fabricants no especifiquen tots els components utilitzats en la construcció dels seus productes, l'estudi dels models comercials s'ha emprat per conèixer la potència dels motors d'aquests models, l'autonomia de les bateries d'aquests, la seva velocitat màxima i el seu preu.

A continuació, es mostra un resum i conclusions de la informació recopilada sobre els models anteriorment esmentats:

Potència motors (W)

SEGWAY		SoloWheel	Freeyoyo		Ninebot	S-Walker		Genny Mobility
<i>i2</i>	<i>x2</i>	Hovertrax	G4u	G4x	E	City	Mini	
1400	-	1000	1000	1200	1350	800	250	-

Observant la taula anterior es pot afirmar que el *Segway* original és el que disposa d'uns motors més potents. A més, la majoria de models, exceptuant el *Mini* de *S-Walker* que per les seves dimensions reduïdes no necessita tanta potència, incorporen uns motors que ofereixen potències pròximes, i en alguns casos superiors, als 1000W.

Autonomia (km)

SEGWAY		SoloWheel	Freeyoyo		Ninebot	S-Walker		Genny Mobility
<i>i2</i>	<i>x2</i>	Hovertrax	G4u	G4x	E	City	Mini	
45	38	18	40	35	20	40	20	15

En referència a la quantitat de quilòmetres que poden realitzar aquests vehicles es pot observar com els models punters ofereixen uns 40 quilòmetres d'autonomia, reduint-se aquesta una petita part en els models tot terreny. D'altra banda, també es troba bastant estandarditzada l'autonomia d'uns 20 quilòmetres ja que la resta de models opten per valors propers a aquest.

Velocitat màxima (km/h)

SEGWAY		SoloWheel	Freeyoyo		Ninebot	S-Walker		Genny Mobility
i2	x2	Hovertrax	G4u	G4x	E	City	Mini	
20	20	8	20	20	20	20	6	6-12

A la taula anterior es mostren les velocitats màximes de cadascun dels models, s'hi pot determinar una clara tendència a establir els 20 km/h com a màxim, el qual pot tenir el seu origen a la legislació, per evitar ser vehicles matriculats. També es pot observar com alguns models, la *Genny Mobility* per ser una cadira de rodes o el *Mini* de *S-Walker* per les dimensions reduïdes, disposen d'una velocitat màxima propera als 10 km/h per motius de seguretat. Cal destacar que la majoria dels models més ràpids, també per motius de seguretat, disposen de modes de funcionament en els quals la velocitat màxima es redueix fins a uns 10 km/h.

Preu (€)

SEGWAY		SoloWheel	Freeyoyo		Ninebot	S-Walker		Genny Mobility
i2	x2	Hovertrax	G4u	G4x	E	City	Mini	
6995	7395	1899	-	-	2900	5498	998	15900

Finalment, en aquesta taula es mostren els preus dels models analitzats, destacant el model *Genny Mobility* amb el preu més elevat, però comprensible, tenint en compte que és tota una estructura de cadira de rodes i no només una plataforma. Dins dels models més habituals, el *Segway* original és el de major preu seguit del model *City* de *S-Walker*. Destacar el reduït preu del model *Mini* de la mateixa marca i dels dos models restants, *SoloWheel Hovertrax* i *Ninebot E*, en referència als esmentats anteriorment.

21.2.2 Models DIY

En aquest apartat s'analitzaran diversos aspectes dels models *DIY*, com la arquitectura electrònica que integren, els motors utilitzats, el sistema de gir emprat i les bateries que incorpora.

Aquestes dades que s'han extret de l'estudi d'aquests models ha estat de gran utilitat a l'hora de seleccionar els components electrònics que fan de cervell al vehicle.

Un total de 4 vehicles *DIY* són els que s'han estudiat, a continuació es mostra un resum de les característiques d'aquests:

Components electrònics

	<i>SEG-Bot</i>	<i>DIY SEGWAY</i>	<i>SEGFAULT</i>	<i>Tatch Industries NO-WAY</i>
Microcontrolador	<i>ATMega328</i> (<i>Arduino UNO</i>)	<i>ATMega168</i>	<i>Cypress</i> <i>CY8C29466</i>	<i>ATMega328</i> (<i>Arduino UNO</i>)
Acceleròmetre	<i>MMA7361</i>	<i>ADXL203</i>	<i>Wii MOTION</i> <i>PLUS</i>	<i>MPU6050</i>
Giroscopi	<i>LPY503AL</i>	<i>ADXRS614</i>		
Driver motors	<i>Sabertooth</i> 2x25A	Ponts en H	<i>AE MDL-7960</i>	<i>Sabertooth</i> 2x25A

A la taula anterior es mostren els components electrònics que conformen cadascun dels models *DIY* estudiats. En quant al microcontrolador que incorporen aquests, es pot veure una certa tendència a l'ús dels microcontroladors *ATMega*, exceptuant el model *SEGFAULT* que empra un *Cypress*. Dos dels models estudiats incorporen la placa *Arduino UNO* que facilita les connexions i incorpora el microcontrolador *ATMega 328*.

En referència a l'acceleròmetre i el giroscopi, hi ha models que utilitzen components diferents per a cadascuna de les funcions anteriors, mentre que d'altres ho incorporen tot al mateix components. Aquest és el cas del model que utilitza el *MPU6050*, que disposa d'un acceleròmetre i d'un giroscopi, ambdós de 3 eixos cadascun. Per últim, el *SEGFAULT* realitza les funcions d'aquests dos components aprofitant la electrònica de l'interior dels controls de la consola *Wii*.

Finalment, en l'apartat dels divers dels motors, el component més utilitzat és el *driver Sabertooth* capaç de controlar 2 motors de fins a 25 Amperes de consum cadascun. Una altra opció que es pot trobar és realitzar el control mitjançant *ponts en H* o a través del controlador *AE MDL-7960*.

Motors

	SEG-Bot	DIY SEGWAY	SEGFAULT	Tatch Industries NO-WAY
Tipus	Motors de cadira de rodes	Motors de moto elèctrica	Motors de cadira de rodes	Motors de bicicleta elèctrica
Potència (W)	-	300	-	350
Voltatge (V)	24	24	24	24

Dins de l'apartat dels motors que incorporen els models *DIY*, es pot observar que la potència oferta pels dos dels quals es disposa aquesta dada és un valor pròxim als 300 Watts. Destacar que tots els motors que incorporen aquests models precisen d'una alimentació de 24 Volts.

Sistema de gir

SEG-Bot	DIY SEGWAY	SEGFAULT	Tatch Industries NO-WAY
Potenciòmetre	Potenciòmetre	Acceleròmetre al manillar	Botons al manillar

En el cas del sistema de gir que utilitzen aquests models, de la mateixa manera que el Segway original, hi ha dos dels models que realitzen el control d'aquest gir mitjançant l'accionament d'un potenciòmetre solidari al manillar.

A la taula superior es pot comprovar com d'altres models han optat per un canvi en aquest sentit, un d'ells controla el gir mitjançant uns botons situats al propi manillar mentre que l'altre disposa d'un acceleròmetre al punt més alt del manillar per mesurar la inclinació del manillar respecte a la plataforma.

Bateries

	SEG-Bot	DIY SEGWAY	SEGFAULT	Tatch Industries NO-WAY
Capacitat (A·h)	12	12	22	7,2
Voltatge (V)	12	12	12	12

Finalment, a l'apartat de les bateries que utilitzen aquests models, destacar que tots utilitzen dues bateries en sèrie de 12 Volts cadascuna ja que tots els motors precisen de 24 Volts pel seu correcte funcionament. En referència a la capacitat d'aquestes bateries, es pot observar com la meitat d'elles proporcionen 12 A·h, mentre que una d'elles ofereix un valor una mica inferior (7,2 A·h) i l'altra un valor gairebé el doble de gran (22 A·h) que aquest valor més típic.

21.3 ANNEX C – BENCHMARKING DE DISSENY

21.3.1 SEGWAY PT

Què fan i què ofereixen? (valors)

La companyia americana SEGWAY va ser la pionera en implantar el sistema d'avenç per inclinació en vehicles comercials. El seu producte és el predecessor de l'IBOT (pàg. xliii) i a l'actualitat ja han llançat 2 models de Segway PT (Personal Transporter), el primer, l'i2, que compta amb 3 versions, és un model urbà mentre que el segon, l'X2 està pensat per anar per camins de muntanya, o pel camp.



Figura 349: D'esquerra a dreta, Segway i2 i x2

Amb el seu vehicle unipersonal han volgut apostar per revolucionar la manera de moure's per les ciutats, tot i que després de 14 anys al mercat (el primer model es va llançar el 2001) es pot dir que l'ambiciós objectiu de capgirar la manera moure's ha sigut un fracàs.

A qui es dirigeixen? (target)

Segway PT ha estat dirigit per un costat a l'oci, en el seu lloguer per a rutes turístiques o per a oci en general d'ús personal, per l'altre està dirigit a ser un assistent en certes feines que consisteixen en moviments rutinaris i de llarga durada en ambients urbans o de difícil accés amb altres vehicles. Ambdós models (x2 i i2) serveixen tant per a oci com per a feina.

Què els diferencia de la competència?

Són els pioners i això comporta que són els que han anat més lluny pel que fa a sistemes electrònics de seguretat, entre d'altres coses l'electrònica de cada vehicle és redundat, és a dir que tots els components estan duplicats per si en falla un. També ser els primers és el que els ha donat més reconeixement a nivell internacional; de fet aquest concepte de vehicle, que no té un nom genèric, ha adoptat el d'aquesta empresa, per tant, i el nostre equip també ho fa, quan ens referim a un "Segway", estem parlant d'un vehicle que té dues rodes en paral·lel i avança per inclinació a través d'un sistema electrònic coordinat amb els motors de les rodes.

Punts forts i febles



- Sistemes de seguretat redundants
- Empresa pionera
- Tija del manillar desmuntable (a les últimes versions)
- Mecanisme de gir, per inclinació de la tija, intuïtiu per a l'usuari (ho han incorporat les dues últimes versions).
- Alta maniobrabilitat



- No es pot regular l'alçada del seient
 - No es pot regular l'alçada del manillar
 - La versió tot terreny només té unes rodes amb tacs
 - La pota de cabra és un accessori opcional
 - Careix de sistemes de seguretat personal
-

21.3.2 GENNY

Què fan i què ofereixen? (valors)

El creador d'aquest producte, Paolo Badano, és una persona amb mobilitat reduïda, que posteriorment a la sortida del Segway va veure el potencial que podia tenir el sistema adaptant-lo a una cadira de rodes. Actualment l'empresa realitza i produeix amb la col·laboració (software sobretot) de l'americana Segway els seus vehicles adaptats.

“La integració d'una persona amb cadira de rodes és proporcional a la autonomia i a la seva capacitat en manejar-se en un entorn” tal i com diuen a [ortoweb](#).

L'empresa Genny se centra molt en explicar com canviarà la vida de la persona en adquirir el producte, ja que el permetrà ser molt més autònom. Ensenya les comoditats i avantatges del producte, sempre utilitzat pel seu creador, cosa que fa creïble la veracitat de la seva utilitat.



Figura 350: Vehicle Genny



Figura 351: Genny en ús

A qui es dirigeixen? (target)

Sense cap dubte aquest producte va dirigit a aquelles persones paraplègiques o amb problemes de mobilitat però que realment ho necessiten, ja que el seu preu l'allunya de convertir-se en una joguina. En alguns casos i testejos, el usuari es sorprenen de la comoditat i funcionalitat del Genny i exposen com pot abastar un gran nombre d'usuaris amb paraplegia i problemes d'esquena ja que el seu ús no requereix cap sobre-esforç, tan sols el muscular abdominal per la inclinació endavant i endarrere.

Què els diferencia de la competència?

Es l'únic producte d'aquestes característiques en el mercat. El més semblant es *ibot*, l'antecessor del Segway, però no són productes equiparables. Per aquesta raó la competència del Genny són les cadires de rodes convencionals i les elèctriques. El que els diferencia de les elèctriques és la seva maniobrabilitat i dimensions, sent un vehicle estret i que pot girar sobre el seu propi eix. Podríem dir que té els punts forts de els seus rivals i elimina els seus punts febles.

Punts forts i febles



- Sistema antirobatori amb alarma i bloqueig de rodes
- Botó d'estacionament accessible i ràpid que desplega automàticament dos peus
- Estret com una cadira de rodes convencional
- Màxima maniobrabilitat gracies a les rodes independents
- Seient regulable i ergonòmic (Tarta)
- L'usuari no ha de fer esforços per desplaçar-se
- Vehicle molt accessible (manillar i recolza braços removibles)
- Pot desplaçar-se per múltiples terrenys (platja, carrer, camins...)
- + punts en comú positius de Segway PT



- El vehicle pesa 100kg
 - Les bateries tenen una autonomia de 40 km, que a màxima velocitat (6km/h) equival a 6h d'us. Això obliga a l'usuari a estar pendent de la bateria.
 - La inclinació endarrere provoca un moviment endarrere, pel que no pots descansar còmodament fins que el peu d'estacionament no esta col·locat.
-

21.3.3 FREEYOYO

Què fan i què ofereixen? (valors)

Es tracta d'una empresa de Shanghai que ofereix uns productes iguals als de la competència. Podem trobar tres productes diferents enfocats a les diferents necessitats del usuari. El més interessant que podem trobar de Freeyoyo es la adaptació que ha realitzar a un dels seus models, el G3.

A qui es dirigeixen? (target)

El model G3 incorpora un tret molt diferenciador de la resta de productes d'aquest estil. Ha estat dissenyat amb un seient, de manera que l'usuari pot anar assegut o dempeus. Aquest valor afegit, té molt a veure amb el sector al que es dirigeix. En faran us d'aquest producte gent que hagi de passar molta estona dempeus per a realitzar la seva feina. Aquí Freeyoyo ha dit: no només farem que l'empleat no hagi de malgastar energia desplaçant-se, sinó que també farem que l'empleat no es cansi d'estar dempeus. Que millor que moure's assegut?. A partir d'aquesta idea han desenvolupat una adaptació del producte destinat a la policia i a la vigilància. També tenen un altre model adaptat del G3 que incorpora una estructura que permet transportar els pals de golf. El converteix en un producte molt interessant per a substituir els cotxes de golf convencionals, ja que s'adapta en gran mesura a l'ús.



Figura 352: D'esquerra a dreta, Freeyoyo usat en un camp de golf i pel carrer

Què els diferencia de la competència?

Clarament el tret més diferenciador és el seient que se l'hi ha incorporat, sent l'únic producte d'aquestes característiques en el que l'usuari pot desplaçar-se assegut, a nivell formal també

s'aprecia força diferència respecte la majoria d'imitacions del Segway PT. El manillar és un element diferenciador ja que aquest s'agafa en una posició totalment diferent, i és que la direcció del vehicle s'efectua amb el gir del manillar mentre que en el Segway PT tot el manillar i la seva tija es mouen solidàriament per efectuar el gir.



Figura 353: Detalls del seient i el manillar del vehicle

Punts forts i febles



- Incorpora un seient
- Té un manillar ergonòmic
- Esmorteïdor d'impactes en el seient
- Pantalla d'informació



- No es pot regular l'alçada del seient
 - No es pot regular l'alçada del manillar
-

21.3.4 S-Walker

Què fan i ofereixen? (valors)

S-Walker és una empresa alemanya que en col·laboració amb empreses productores xineses fabrica 3 tipus de transport personal, dos molt similars als dos models que ofereix l'empresa Segway, i un tercer que és un plagi d'un model de Toyota, el *Winglet*. Prometen alta qualitat de producte basada en estrictes controls de qualitat, i diuen usar els millors materials aportats pels millors proveïdors.

L'empresa diu haver començat a plantejar aquest tipus de vehicle després que els japonesos al 2005 creessin un robot que podia anar amb bicicleta, van pensar d'aplicar la tecnologia però per a humans. La qüestió és que al 2001 ja s'havia donat a conèixer el Segway americà i el 2002 ja es comercialitzava, per tant la història sembla una mica sospitosa.

A qui es dirigeixen?

S-Walker City va dirigit a un us general per a tot tipus de públic, el Big Wheel es destina als amants dels esports, en especial al segment dels golfistes, que han de recórrer llargues distàncies pels camps de golf.

El Mini va enfocat a nens.



Figura 354: Els tres models de l'empresa: City, Big Wheel i Mini

Què els diferencia de la competència?

Bàsicament només són més competitius en preu, S-walker es una empresa que no s'ha esforçat massa en buscar la diferenciació, sinó en vendre pràcticament el mateix, però més econòmic.

Punts forts i febles

S-Walker City



- Més econòmic que el model de Segway
- Incorpora llums de circulació, frontals i posteriors sota la base i una enmig del manillar.



- Plagi en la interfície de la pantalla i en les formes de les carcasses. (Respecte a Segway)
 - No planteja la opció de la incorporació d'una pota de cabra per poder deixar dret el vehicle quan no s'usa.
-

S-Walker Big Wheel



- Enfocat a golfistes amb la incorporació d'un suport per a la bossa de pals de golf
 - Més econòmic que el model de Segway
 - Incorpora llums de circulació, frontals i posteriors sota la base i una enmig del manillar.
 - Si es duu una bossa de pals de golf aquest actua de pota de cabra quan el vehicle no es desplaça
-



- Plagi en la interfície de la pantalla tot i que menys en les formes de les carcasses i proteccions. (Respecte a Segway)
 - El nom ja ho diu (Big Wheel), vol ser tot terreny però només incorpora rodes grans i no té amortidors.
-

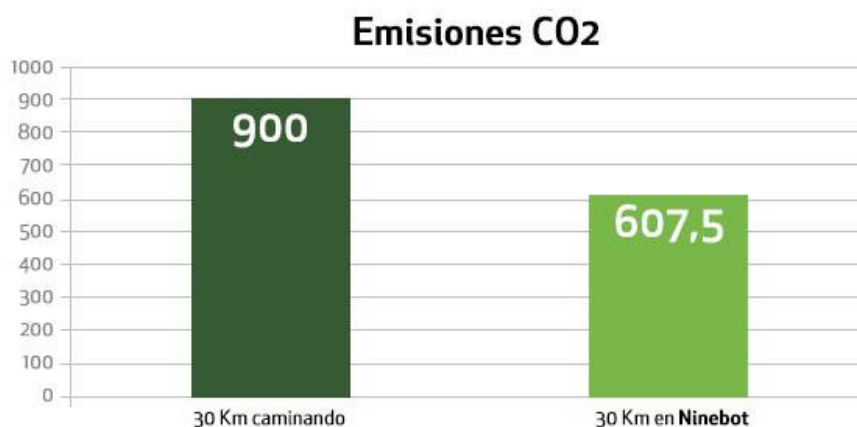
21.3.5 NINEBOOT

Què fan i què ofereixen? (valors)

Ninebot es una empresa Xinesa que es va fundar el 2012 i que va treure el seu primer producte el 2014. Des d'aleshores està tenint un gran creixement i està obrint-se mercat a Europa. Actualment són trenta els països en els quals comercialitza, deu dels quals són europeus.

Aquesta empresa va començar amb un primer producte conegut com a *Windrunner*, i ha evolucionat fins a crear la marca Ninebot, que ofereix un total de tres productes diferents: Ninebot-E, Ninebot-C i Ninebot-One. Veuen un mercat potencial en la tecnologia intel·ligent, en els cotxes elèctrics i en els dispositius "wearables" pel que intenten implementar aquestes practiques als dispositius de transport personal "It is a complete innovation of the smart transporter in the short-distance transportation".

Un dels punts forts d'aquesta classe de transport es estalvi energètic i econòmic que representen així com la baixa emissió de CO2 que comporten. L'empresa assegura que una persona adulta caminant emet més CO2 que amb un Ninebot.



Taula 11: Emissions al caminar contrastades amb desplaçament amb Ninebot

A qui es dirigeixen? (target)

Tot i que presenten tres productes diferents, tots tres estan enfocats al mateix us, que es el transport urbà. Ninebot-E seria el més senzill d'utilitzar mentre que el model C el nivell d'equilibri per part del usuari ha de ser major.

Què els diferencia de la competència?

En aquest cas el Ninebot-E el diferencien de la competència els seus aspectes tècnics, que són el pes i la bateria. A més a més aconseguixen reduir el preu al públic en un 50% respecte el cost d'un Segway, el major rival.

El tret més característic del Ninebot-C i que el diferencia de qualsevol altre és la manera amb la que gires. En aquest cas el sistema de gir s'actua amb els genolls.

El màxim competidor de Ninebot-one, és SoloWheel, que és l'empresa pionera. La diferència bàsica entre aquests dos és purament de disseny.

Es podria remarcar la personalització que ofereix Ninebot amb el sistema de LED's que permet a l'usuari diferenciar el seu producte canviant-ne el color.



Figura 355: Ninebot E



Figura 356: Ninebot C

Punts forts i febles

NINEBOT-E/C



- Recicla l'energia de frenada per carregar les bateries
 - Ús de bateries ultra eficients (utilitza el Tesla S)
 - Manillar desmuntable
 - Pantalla integrada amb informació (E)
 - Clau de bloqueig antirobatori
 - Aplicatiu que permet interactuar amb el producte
 - El doble de lleuger respecte Segway PT
-



- Estètica de les rodes i els parafangs molt similar al Segway PT.
 - Manillar poc ergonòmic
-

NINEBOT-ONE



- Personalització amb el sistema de LED's
 - Nansa que s'oculta en el xassís
 - Es poden col·locar accessoris com rodetes per aprendre a utilitzar-lo
 - Pot mullar-se
 - Fàcil des-asseblatge de components
-



- És una "copia" de SoloWheel
-



Figura 357: Ninebot One

21.3.6 Toyota Winglet

Què fan i ofereixen? (valors)

Toyota amb tres versions de *Winglet*, i un espècie de cotxe unipersonal, mostra la seva visió de com pot ser la mobilitat al futur a les grans ciutats, que sembla que es basa poc en caminar.



Figura 358: Els tres models de Toyota, el Winglet S, M i L

La companyia nipona ha desenvolupat tres models de “transport personal”, el *Winglet S*, *M* i *L*.

Com s’aprecia a la figura, el model *S*, el més petit està pensat per manejar-lo amb l’equilibri i només tenint contacte amb els bessons de les cames. El model *M* el contacte i control s’efectua des dels genolls, mentre que el *L* s’acosta més al sistema popularitzat i convencional de Segway, amb un manillar.



Aquest mètode de transport diuen que és: personal, només hi pot pujar una persona; compacte, per les dimensions reduïdes; portable, incorpora unes petites rodes per dur-lo sense anar-hi pujat; ecològic, perquè és elèctric; amb formes contínues, sense

juntos o punts d'unió; segur, arriba a una velocitat baixa; i accessible i universal gràcies a la baixa alçada a la que es situa la plataforma pels peus.

A qui es dirigeixen?

El model més petit el dirigeixen a un públic esportiu, és el model en que l'usuari va més lliure, i cal certa habilitat per manejar-lo. A més, el suport pels bessons és plegable, i això permet que te'l puguis endur a tot arreu.

El model M destinat a un públic actiu, combina la llibertat d'anar amb mans lliures i té un plus d'estabilitat respecte el model S

Per últim, el model L és el més universal destinat a qualsevol tipus de públic, el control del gir funciona amb el manillar i amb la plataforma de cada peu, inclinant a dreta o a esquerra.



Figura 359: Winglet L en ús

Què els diferencia de la competència?

La principal diferència respecte Segway, és que han afegit un sistema de quadrilàter articulat que permet la inclinació del manillar i les rodes, fet que facilita molt el gir i el fa més estable (tot i que arriba a velocitats baixes)

Una altra diferència força important és que les rodes que incorpora són molt petites, tot i que no deixa de ser una conseqüència de voler fer accessible una plataforma que es situa sobre la roda. (Si Segway posés la plataforma pels peus sobre la seva roda, caldria una escaleta per arribar-hi).

Esdevé molt més senzill en diversos aspectes: no incorpora sensors a les plataformes, ni tampoc té cap pantalla d'informació.

Punts forts i febles



- Més bona capacitat de gir que Segway, inclinant els peus
- Més econòmic que Segway
- Els models "mans lliures" ocupen poc i són lleugers
- Les bateries es carreguen amb una hora i tenen una autonomia de 10 km
- No els cal pota de cabra, s'aguanten gràcies a les rodetes de transport



- Velocitat de mobilitat molt baixa, quasi com caminar
 - Poc estudiades les capacitats de càrrega
 - Poca capacitat de superar obstacles o anar per terrenys amb poca adherència. (Winglet està molt enfocat a ser un transport per a ciutat)
 - La estètica que desprèn, amb rodes tant petites pot semblar un vehicle ridícul
-

21.3.7 HOVERTRAX

Què fan i què ofereixen? (valors)

Hovertrax és un dels últims productes de l'empresa SoloWheel. Els valors de l'empresa es troben a la pàgina liii. Amb l'Hovertrax, SoloWheel ha apositat per donar un punt d'estabilitat sense sacrificar la portabilitat que tan caracteritza els productes de l'empresa.



A qui es dirigeixen? (target)

Sobretot s'enfoca com a una eina àgil de moviment rutinari sense haver de caminar. Va tant enfocada a nens i adults, pel que fa a oci, i també es presenta com a una eina laboral.

Figura 360: Vehicle Hovertrax

Què els diferencia de la competència?

És l'únic producte d' "estil Segway" que no té manillar però sí dues rodes en paral·lel. En aquest sentit aconseguixen una alta portabilitat, fet que tenen pocs altres productes. El seu sistema de gir també és únic: les plataformes per cada peu tenen capacitat de rotació entre sí. El gir per tant, s'efectua inclinant un peu o altre, endavant o endarrere, en funció d'on es vulgui anar.

Punts forts i febles



- Maniobrabilitat
 - Control de gir amb els peus
 - Dimensions compactes que el fan molt transportable
 - Motor silenciós
 - Frenada regenerativa
 - Lleuger
 - Període de càrrega ràpid
-



- Poca superfície per posar els peus (un peu d'adult no hi cap sencer)
 - Només pot moure's per terrenys llisos ja que les seves rodes són petites
-

21.3.8 IBOT MOBILITY SISTEM

Què fan i què ofereixen? (valors)

En aquest cas no estem parlant d'una empresa, sinó d'un producte. La seva importància recau en el fet de ser el producte antecessor al Segway. Va ser inventat per un emprenedor, Dean Kamen, que va crear una cadira per a millorar la mobilitat de la gent amb discapacitat. Va aconseguir crear una cadira de rodes capaç de pujar escales i que permetia als seus usuaris posar-se a l'alçada d'una persona dreta. Per aconseguir-ho van dissenyar un sistema robòtic que consistia en la col·locació de dues rodes adjacents capaces de pivotar des de el punt central, que mitjançant un sistema d'autoequilibri permetia a l'usuari pujar les escales. Per altra banda aquest sistema, també permetia col·locar les rodes en posició vertical, fent que la cadira passés d'una posició "estàtica" amb quatre rodes, a una posició "dinàmica" (d'equilibri) amb dues rodes, i així elevar el punt de visió de l'usuari.

Cap al 2009 els costos de producció que s'havien d'assumir no eren viables i es va deixar de produir. Darrerament Kamen s'ha associat amb una organització per intentar reprendre la producció, i ha aconseguit el suport d'America's Huey 091, una fundació que ajuda als veterans de guerra. El 2014 la FDA va requalificar el producte de classe III a classe II. Aquest sistema de classificació indica quin grau de risc comporta un aparell mèdic. Quan major sigui la classe, majors seran els controls. Aquest fet ha permès a Kamen començar a crear la nova versió de l'IBOT.



Figura 361: IBOT alçat i baixant escales

A qui es dirigeixen? (target)

Els clients potencials son aquelles persones paraplègiques o amb problemes de mobilitat. Pretenen donar més autonomia a l'usuari, que no hagin de dependre d'algú per accedir a una zona elevada, o per a pujar les escales d'una casa.

Què els diferencia de la competència?

Es tracta de la primera i única cadira capaç d'auto-equilibrar-se, pujar i baixar escales i permetre a l'usuari pujar el seu punt de vista.

Punts forts i febles



- L'usuari pot baixar escales de manera independent
- Com a usuari pots moure't a l'alçada d'una persona dreta
- Alta maniobrabilitat
- Apte per a diversos terrenys



- El procés de passar de quatre a dues rodes genera inseguretat
 - Sensació aparent d'inestabilitat en la posició d'equilibri (punt de gravetat molt alt)
 - Pujar escales genera moltes vibracions i fatiga en tota la cadira
-

21.3.9 Shredder



Figura 362: Shredder des de dos punts de vista

Què fan i ofereixen? (valors)

Shredder és el vehicle de BPG Werks, una companyia americana, jove i amb un gran esperit d'innovació.

El seu producte el plantegen tant com a un vehicle tot terreny per a esports extrems així com un estri de càrrega i transport, usable per exemple per caçar, en una granja, per a usos militars, etc. Ara per ara l'aposta més forta la tenen en el sector esmentat dels esports extrems, i els agrada definir el seu vehicle com a híbrid que mescla els esports amb taula (snowboard, surf, i skateboard) amb motor. L'empresa ja ha traçat una estratègia de màrqueting regalant Shredders a alguns dels cracs dels esports extrems perquè popularitzin l'aparell i n'exprimeixin tot el suc alhora de provar trucs.

A qui es dirigeixen?

El sector clau és el dels amants dels esports extrems, però el vehicle funciona molt bé per a fer rutes per muntanya i això amplia molt el seu ventall de potencials clients del producte.

Què els diferencia de la competència?

Han sabut crear un producte sense precedents al mercat. BPG ha apostat fort per la innovació i el resultat és un producte nou, fet que genera un cert *hype* per conèixer l'experiència de muntar-hi. Si es compara amb un skate o snowboard, l'avantatge de l'Shredder és que està motoritzat. Si es compara amb el Segway tot terreny, les erugues que incorpora el fan més adaptable a tot tipus de terrenys. També cal dir que el preu que té és d'aproximadament la meitat del Segway.

Punts forts i febles



- Vehicle innovador que uneix dos conceptes d'esport
- Més econòmic que Segway
- Sistema de gir mecànic, basculant sobre la taula, això comporta poca electrònica pel control del vehicle
- Molt més veloç que el Segway, arriba a 50 km/h



- Poc sostenible, té un motor de combustió
 - Poca capacitat de gir, no pot girar sobre si mateix com ho fa el Segway
-

21.3.10 PROJECT P.U.M.A

Què fan i què ofereixen? (valors)

Es tracta d'un projecte en desenvolupament en el qual General Motors i Segway col·laboren conjuntament. Es valora el "menys" per sobre del "més"; aquest producte ocupa menys espai, utilitza menys energia, la seva producció és més eficient perquè requereix menys peces i produeix menys emissions durant la producció i la utilització.

Parlem d'un vehicle on el control total és electrònic i no mecànic: acceleració, frenada, direcció i altres. Estan proposant un canvi revolucionari als transports actuals que funcionen amb quatre rodes o dues amb eixos paral·lels. Estan anant un pas més enllà en el futur, un pas més enllà als cotxes elèctrics, amb una visió a 15 anys vista.

Deixen a un costat els "vehicles personals", i desenvolupen una idea per a dos passatgers utilitzant la elegància del Segway PT.



Figura 363: El vehicle, en versió prototip, al costat del que s'ha ideat

A qui es dirigeixen? (target)

Aquest producte està pensat per a substituir els automòbils actuals, evitant les emissions i reduint les congestions, ja que parlem d'un vehicle sostenible i intel·ligent. Va destinat a tots els usuaris que hagin de realitzar desplaçaments de mitja distància, amb l'objectiu d'arribar a tota aquella gent que ara disposa d'automòbil.



Figura 364: Mecanisme per bascular el pes

Què els diferencia de la competència?

En aquest cas la competència són els cotxes elèctrics. És un vehicle molt més compacte, maniobrable, divertit i únic. Únicament funciona amb dues rodes i el "self balancing" el diferencia de tota la resta. Aquest prototip és de dues places, però simplement un inici.

Punts forts i febles



-
- Alta maniobrabilitat
 - Dimensions reduïdes, fet que el fa fàcil d'aparcar
 - Vehicle intel·ligent
 - Estabilitat quan està aturat
 - Aparcament i ajut per a baixar del vehicle
 - Sistema de control innovador (com un joystick)
 - Suavitat de moviments



-
- No assoleix altes velocitats
 - Seguretat dels passatgers millorable (cal dir però, que el producte es troba en fase experimental).
-

21.3.11 RYNO

Què fan i què ofereixen? (valors)



Figura 365: Vehicle Ryno

Aquest producte sorgeix de la idea d'un nen, que inspirat per un videojoc, li pregunta al seu pare si seria possible fer un vehicle d'una sola roda.

Defineixen aquest nou producte com una forma revolucionaria de desplaçar-se, una barreja entre anar amb motocicleta, bicicleta i a peu. Promouen la diversió del seu aprenentatge, de la seva conducció i afirmen deixa de banda tots els problemes dels altres transport.

Venen el producte com un vehicle sense límits, capaç de circular per qualsevol lloc "a path only you can see". Es tracta d'un nou sistema de transport personal que dóna llibertat, ja que et permet circular per carretera, barrejar-te amb els vianants, circular pel carril bici i explorar zones no asfaltades.

A qui es dirigeixen? (target)

Ryno enfoca el seu producte a dues classes d'usuaris: va dirigit a aquelles persones que en faran un ús personal; o a negocis en els quals els seus empleats hagin de realitzar llargs desplaçaments.

En el primer dels casos, està pensat per a realitzar viatges de curta durada i probablement diaris, com desplaçament fins a la feina, al supermercat, etc. Es tracta d'un bon transport per a l'àmbit urbà que resulta molt més econòmic que un automòbil o motocicleta i a més a més permet una gran maniobrabilitat per a qualsevol tipus de via o pas.

En el segon cas, l'objectiu es que el treballador no malgasti energia en el desplaçament i així pugui dedicar tota la seva energia a la feina a realitzar. D'aquesta manera s'aconsegueix que el treballador no només no es cansi abans, sinó que abasti una major zona de treball. En definitiva, millora la eficiència del treballador. Està pensat doncs, per a patrulles de reconeixement, empleats d'una nau industrial, persones que hagin de llegir comptadors, etc.



Figura 366: Un dels primers prototips

Què els diferencia de la competència?

Ryno apareix com a competència directa de Segway. El que han fet és crear un transport més compacte, d'una sola roda i únic. Un dels trets més diferenciadors es la possibilitat de posar-se dempeus sense necessitat de baixar-se del vehicle i poder interactuar normalment amb altres usuaris. A més a més es l'únic transport d'una sola roda en el que puguis anar assentat o dempeus com en una bicicleta.

Punts forts i febles



- Nivells d'adaptació a l'usuari
- Fàcil canvi de bateries
- Capacitat de càrrega
- Fàcil de pujar i baixar-hi
- Elevada maniobrabilitat (més que amb una moto convencional)



- Assoleix altes velocitats però han quedat restringides per assumptes legals.
 - Estètica i concepte massa futurista, fet que pot allunyar als usuaris de motocicletes que la vegin com una raresa.
 - No té marxa enrere
 - Sensació d'inestabilitat
 - Col·locació del cos una mica forçada
 - Barra de suport per aparcar, anti-estètica
-

21.3.12 **ONEWHEEL**

Què fan i què ofereixen? (valors)

Onewheel és un producte que prové d'un "crowdfunding". Tot sorgeix de la necessitat que tenia el seu creador, Kyle Doerksen dissenyador de IDEO, per desplaçar-se cada dia fins a la feina. És practicant d'snowboarding i va voler portar la sensació de surfejar sobre la neu, a l'asfalt. L'objectiu doncs, no consisteix simplement en crear un nou transport, sinó que el que es pretén es crear una nova "taula d'esport" que aporti noves sensacions a l'usuari.



Figura 367: OneWheel en ús

A qui es dirigeixen? (target)

Estan enfocats en l'esport. Es dirigeixen a aquella gent que practica esports on s'utilitzen taules, com skateboard, surf o "snow". Intenten crear un nou moviment o tendència, promovent un estil de vida.

Què els diferencia de la competència?

La manera de conducció és diferent a les vistes fins ara del mateix estil. En aquest cas l'usuari col·loca els peus paral·lelament a l'eix de la roda. La anatomia del producte s'assimila a la d'un skateboard.

Punts forts i febles



- Resistència contra impactes
- Estabilitat deguda a l'amplada de la roda
- Resistent a l'aigua
- Compacte i fàcil de transportar



- Baixa maniobrabilitat
 - La taula pot clavar-se a l'asfalt i provocar una caiguda
 - Il·luminació que escurça l'autonomia de la bateria
 - Part superior de la roda destapada, pot fer mal a l'usuari.
-

21.3.13 SOLOWHEEL Original



Figura 368: Vehicle Solowheel

Què fan i què ofereixen? (valors)

SoloWheel és la primera empresa que va realitzar una patent del seu sistema estabilitzador, i ha estat la primera en presentar un producte d'aquestes característiques. Es tracta d'un vehicle personal destinat a la "micro mobility". És presentat com al vehicle perfecte per a moure's per la ciutat ja que es tracta d'un vehicle molt compacte, respectuós amb el medi ambient i divertit de fer servir. L'empresa fa l'analogia amb un ascensor per explicar el perquè del seu

producte: "l'ascensor serveix per a un desplaçament curt vertical mentre que l'altre permet un desplaçament curt horitzontal".

Aquest producte pot equiparar-se en ús, al d'un monopatí, un patinet o uns patins, tot i que l'empresa afirma que és millor, ja que és més segur, maniobrable i funcional.

Està totalment pensat per a circular entre els vianants evitant tots els inconvenients d'un vehicle convencional, i et permet utilitzar-lo al metro, al tren, als centres comercials i altres zones on els vehicles no estan autoritzats.

El seus productes es basen en vehicles d'una sola roda però recentment han apostat per les dues rodes en el cas de l'Hovertrax, l'estudiat anteriorment.

A qui es dirigeixen? (target)

El *target* del SoloWheel és clar i precís: els vianants. Es un producte pensat per a moure's per la ciutat i realitzar distàncies curtes, podent-te barrejar entre el flux de la gent.

Per altre banda Hovertrax no té una utilitat prou definida ni una classe d'usuaris molt marcada. Està pensat i enfocat per a utilitzar-lo en interiors tot i que pot utilitzar-se en exteriors



Figura 369: Solowheel en ús

sempre i quan la superfície sigui uniforme i llisa.

Què els diferencia de la competència?

El sistema de control és revolucionari respecte al de Segway PT, ja que aconseguixen un control molt més orgànic sobretot en el gir i unes dimensions molt més reduïdes fet que fa el producte sigui fàcil de portat a qualsevol lloc.

Pel que fa a les rèpliques/còpies del producte, SoloWheel només pot apel·lar a la fiabilitat que suposa haver estat els primers, fet que els fa dominar la tecnologia que hi ha darrera.

Punts forts i febles



- Molt compacte i portable
- Àgil i maniobrable
- Càrrega regenerativa de les bateries



- No és fàcil pujar-hi
 - Portable però pesant (bateries+ motor elèctric)
 - Cal mantenir sempre l'equilibri per no caure
-

21.3.14 Segway Centaur

Què fan i ofereixen? (valors)

Centaur és un model de Segway inspirat en el quad. És un vehicle conceptual, perquè no està a la venda i no es fabrica en massa, però com s'aprecia a la figura, s'han produït alguns models i per a provar la tecnologia i veure la seva viabilitat.



L'empresa Segway ha apostat per desenvolupar noves idees a partir del que ja ha aconseguit: que dues rodes en paral·lel equilibrin electrònicament a algun usuari.

Sense una finalitat molt definida, el *Centaur* es pot conduir de tres maneres diferents (fig. 23): de peu, com si es conduís el Segway PT; assegut, com si fos un quad convencional; o assegut i fent el cavallet (les rodes davanteres alçades)

Figura 370: Segway Centaur



Figura 371: Opcions de conducció

A qui es dirigeixen

El *target* del Segway es fa difícil d'identificar perquè és un producte experimental, però les característiques tècniques el podrien convertir en un vehicle per dur a terme tasques especials que requerissin la capacitat de maniobrabilitat (gir sobre l'eix de les rodes posteriors) del vehicle.

Què els diferencia de la competència?

Si s'entén que la competència del *Centaur* són quads convencionals, l'únic que els uneix és el fet de tenir quatre rodes i ser biplaça o monoplaça. Un fet força diferenciador del vehicle és la seva estètica minimalista, molt alàmbrica, on només es veu el xassís. Per suposat, el factor més diferencial del vehicle és la seva capacitat per posar-se dret.

Punts forts i febles



- Alta capacitat d'innovació
- Estètica minimalista
- Varietat de posicions de l'usuari
- Capacitat de gir sobre si mateix



- Funcionalitat poc definida
-

21.3.15 Yike Bike

Què fan i ofereixen? (valors)

Yike Bike és un tipus de bicicleta elèctrica (salvant les distàncies) desenvolupat per una empresa neozelandesa. El que ofereixen és un sistema de transport plegable, gens cansat, propulsat per un motor elèctric, en el qual la posició per muntar-hi és estant assegut.

L'objectiu de l'equip que va emprendre aquest disseny va ser aconseguir una bicicleta REALMENT PORTABLE i que fos elèctrica:

“ La visió de les ciutats congestionades, contaminades, i on es perd temps, va ser la inspiració per crear una solució única i compacte de transport personal ”



Figura 372: Yike Bike en ús



Figura 373: Model V, C i C plegat

Yike Bike el defineixen com a un vehicle: segur, sostenible (elèctric), rígid, robust i compacte, molt lleuger, amb materials i acabats de qualitat i durable.

L'empresa ha dissenyat dos models el V i el C, el primer, com s'aprecia a la figura té tres rodes: una de gran i dues de petites, mentre que el model

A qui es dirigeixen?

Enfocats a un públic conscient i respectuós amb el medi ambient. Usuaris que es vulguin desplaçar per ciutat àgilment, sense esforç i de manera sostenible. Molt adient per aquells que

fan trajectes combinant mitjans de transport diferents, ja que el format de la bicicleta plegada és mínim.

Què els diferencia de la competència?

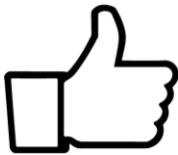
Hi ha molts trets que diferencien la *Yike Bike* de la bicicleta i del Segway.

Si la comparem amb el Segway, la *Yike* no utilitza el sistema d'avenç (cervell electrònic), la posició com et desplaçes és assegut, mentre que al Segway es va dret. La *Yike* només té una roda motoritzada i la direcció s'efectua per inclinació d'aquesta, al Segway el gir és molt més complex, ja que cal electrònica.

El sistema de frenada que té és d'ABS electrònic, mentre que la frenada en un Segway s'ha de fer amb el moviment (inclinació) del cos.

Respecte la bicicleta convencional, la majoria de diferències estan en el maneig, ja que el manillar et surt de sota el cul, i a aquest hi ha tots els controls del vehicle. El sistema de propulsió és radical ja que no es pot pedalar, només pot funcionar el motor elèctric.

Punts forts i febles



- "Bicicleta" elèctrica plegable més petita del món. (Quan està plegada).
- Posició còmode de l'usuari, es mou assegut.
- Pes optimitzat al màxim, us de materials tècnics (compòsits polímers)
- Les llums estan ben integrades
- És una mica més veloç que el Segway (23 km/h)



- Només apte per a "terrenys asfaltats" de ciutat
 - No permet combinar pedalada amb el motor elèctric.
 - El model més estable, el V, no es pot plegar tant bé com el C
 - Estètica de maneig poc integrada socialment, pot semblar ridícul veure algú fent-la anar.
-

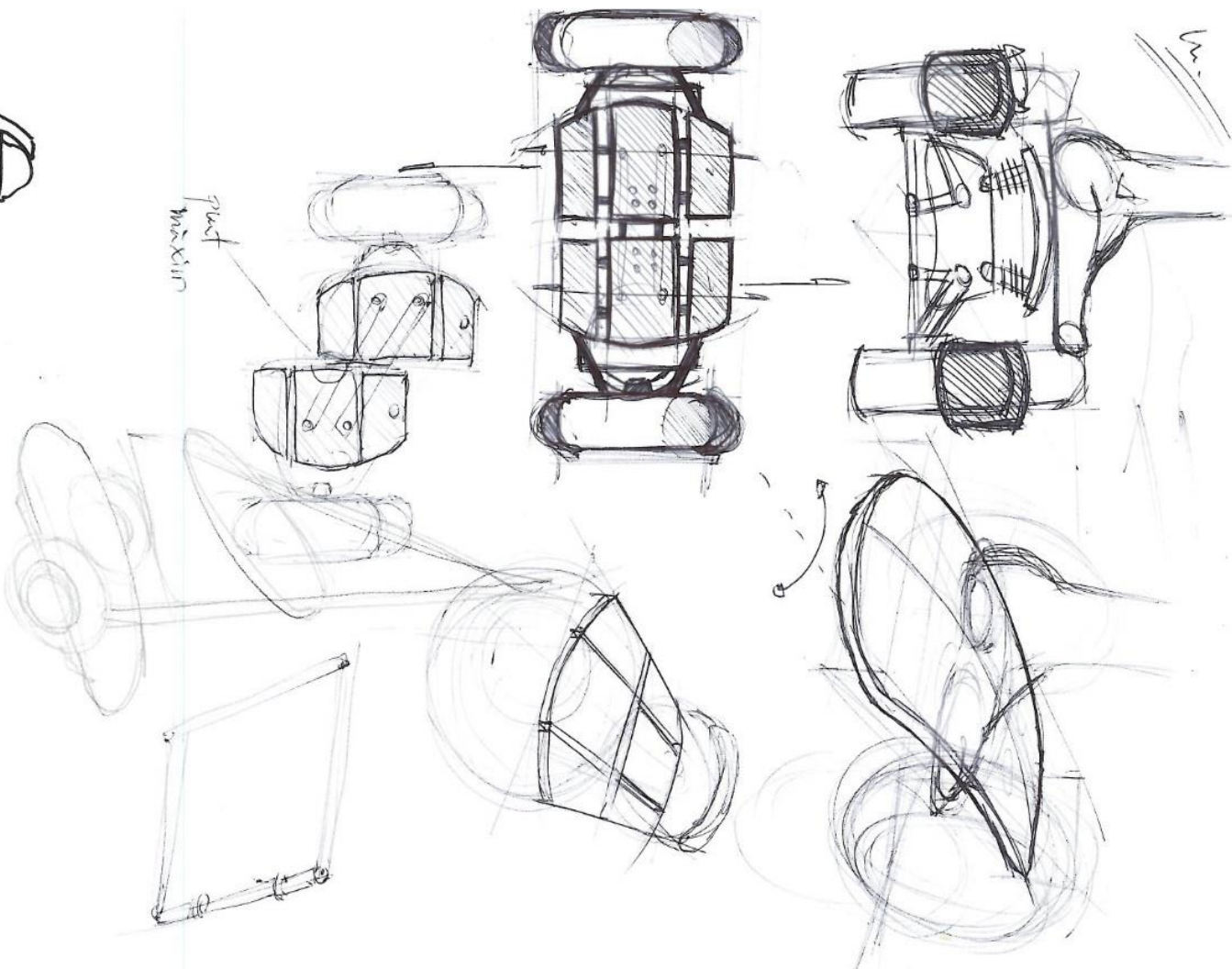
21.4 ANNEX D – CONCEPTUALITZACIÓ

Disseny i implementació d'un vehicle de dues rodes paral·leles basat en el sistema d'un SEGWAY
Cibiach, Arnau; Cortacans, Bru; Rodriguez, Víctor; Sánchez, Adrián; Vaquerizo, Daniel

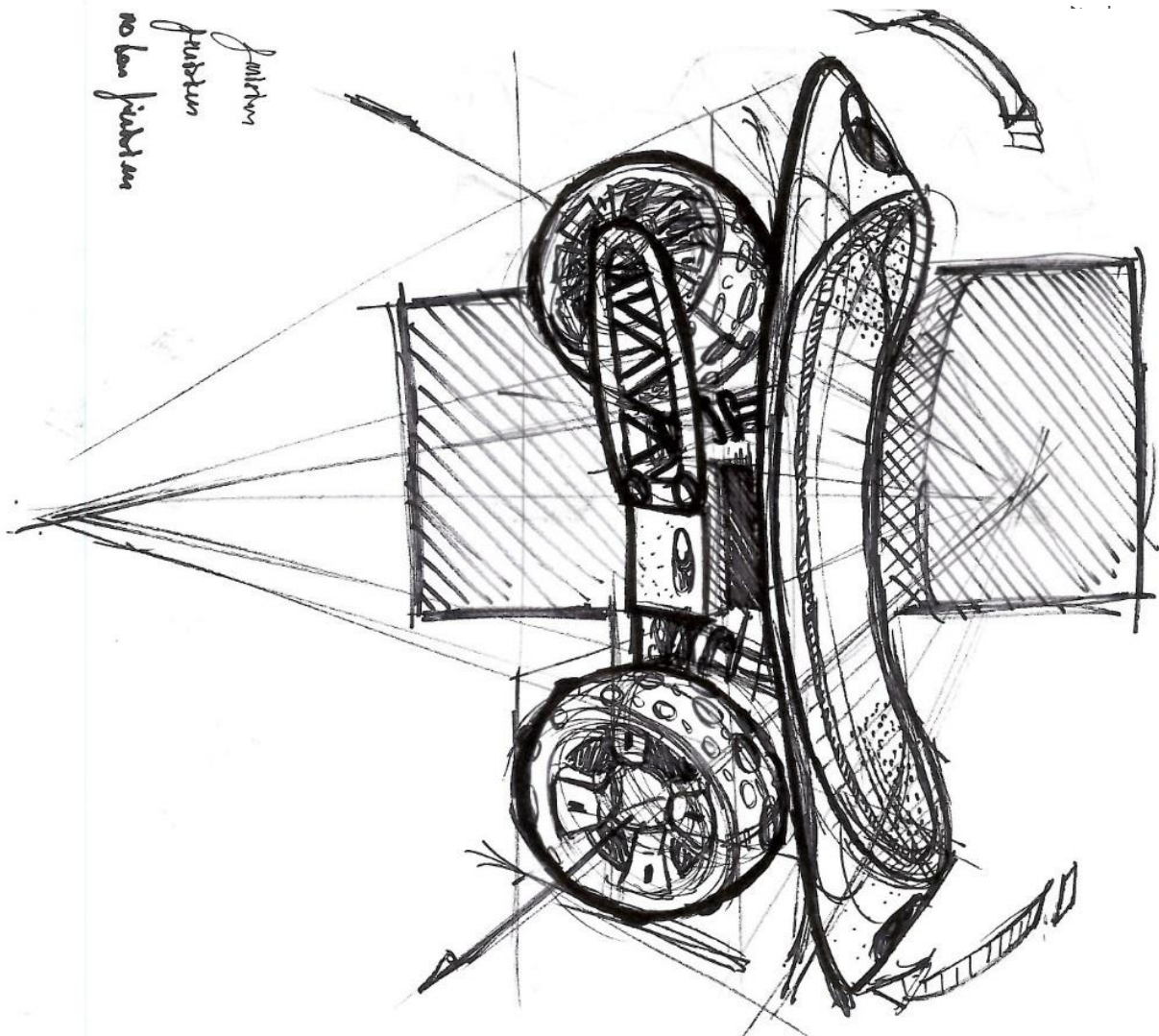
21.4.2 Sketching del Mindmap General

A continuació es presenten els sketchings de la primera fase de disseny.

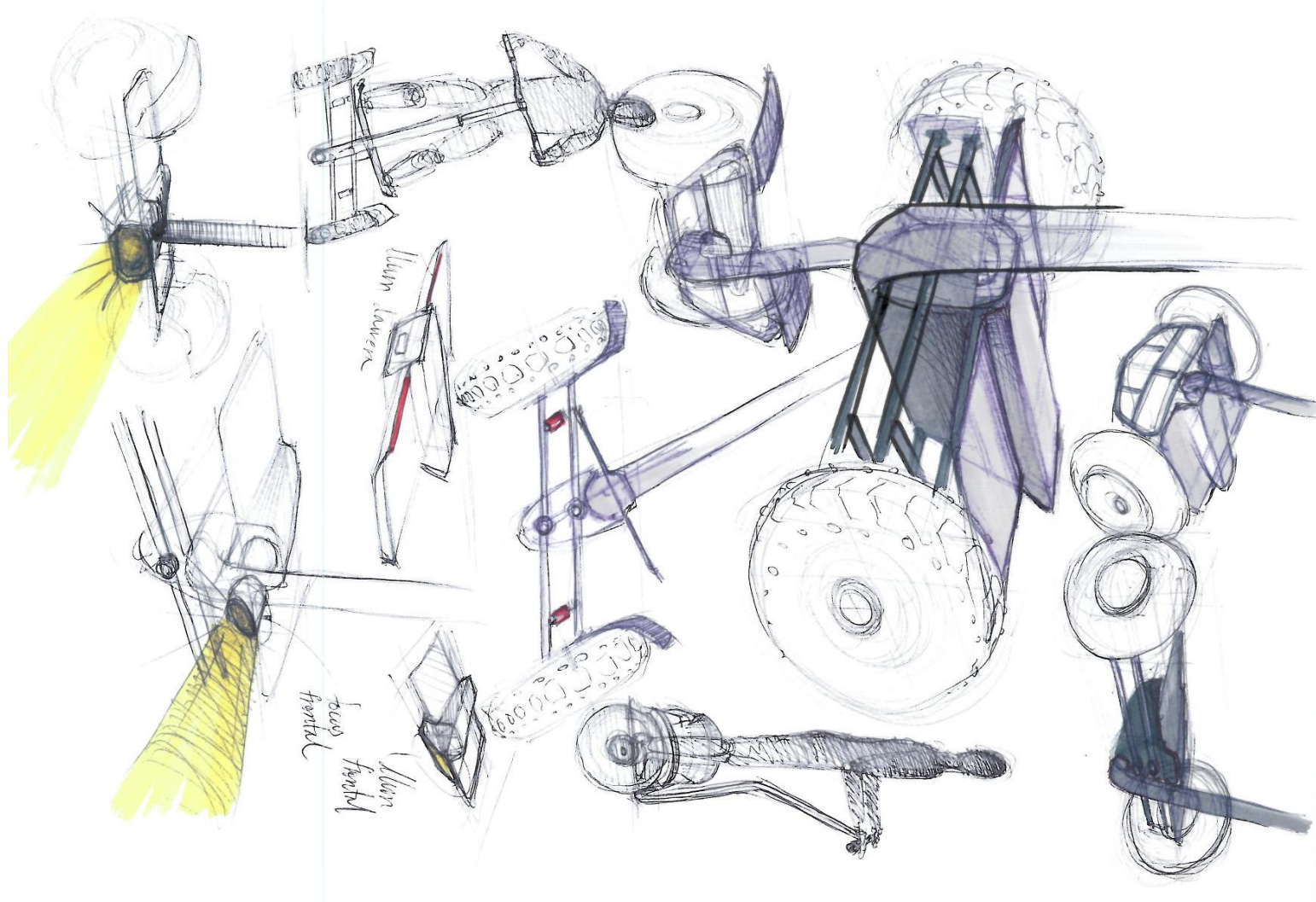
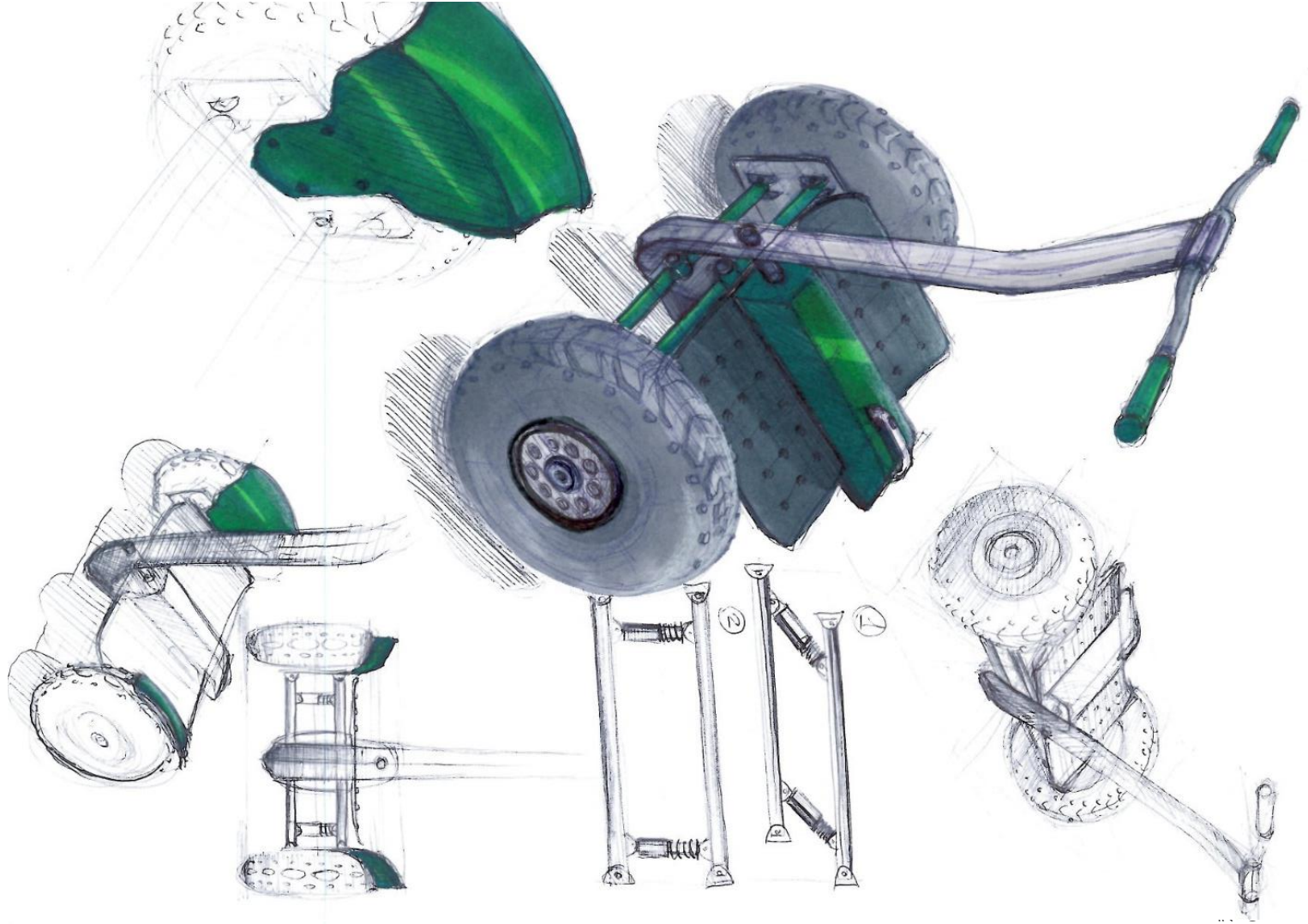
Estan fets amb una intenció explorativa i han resultat molt útils per a començar a “caminar”.

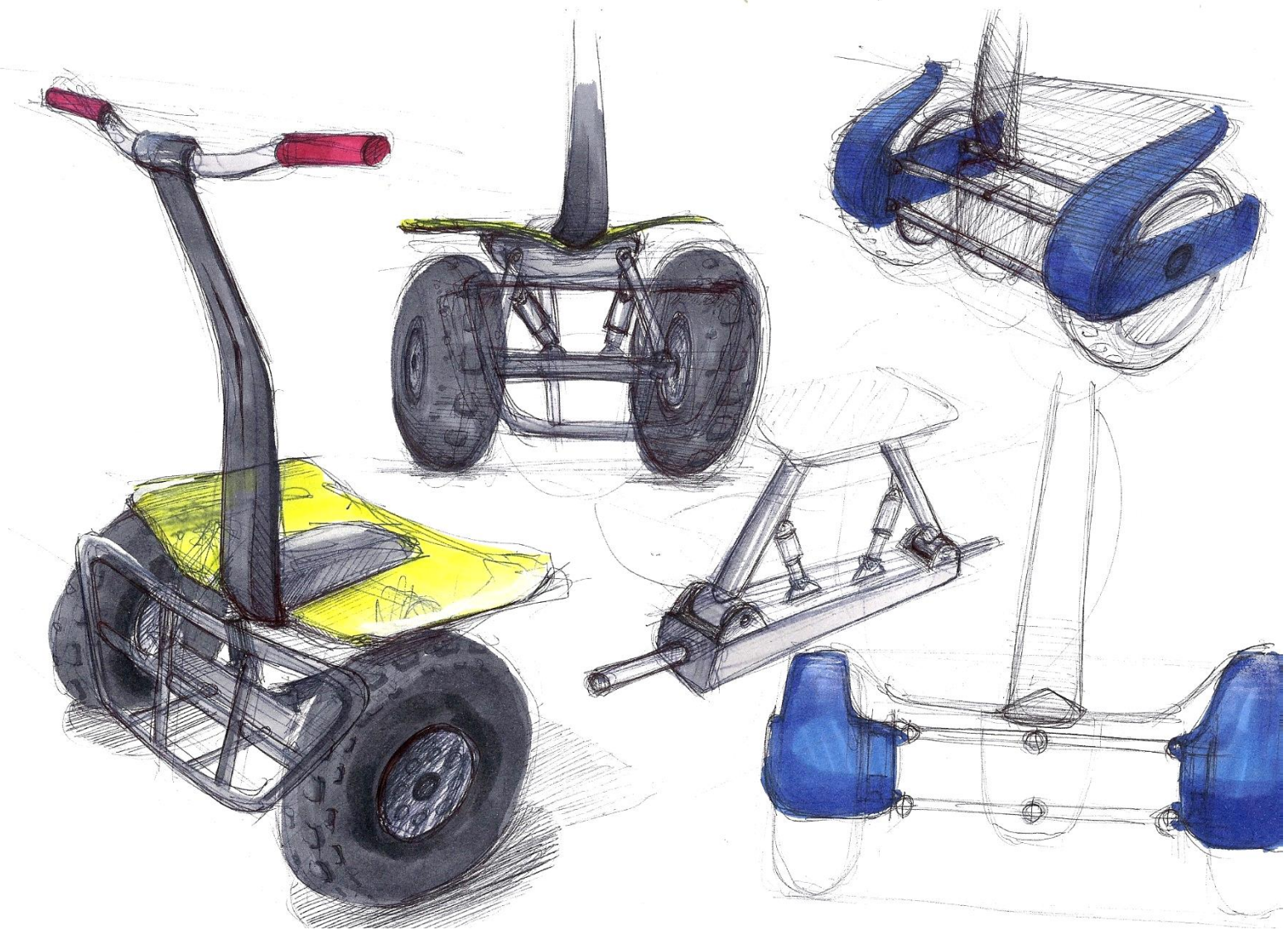
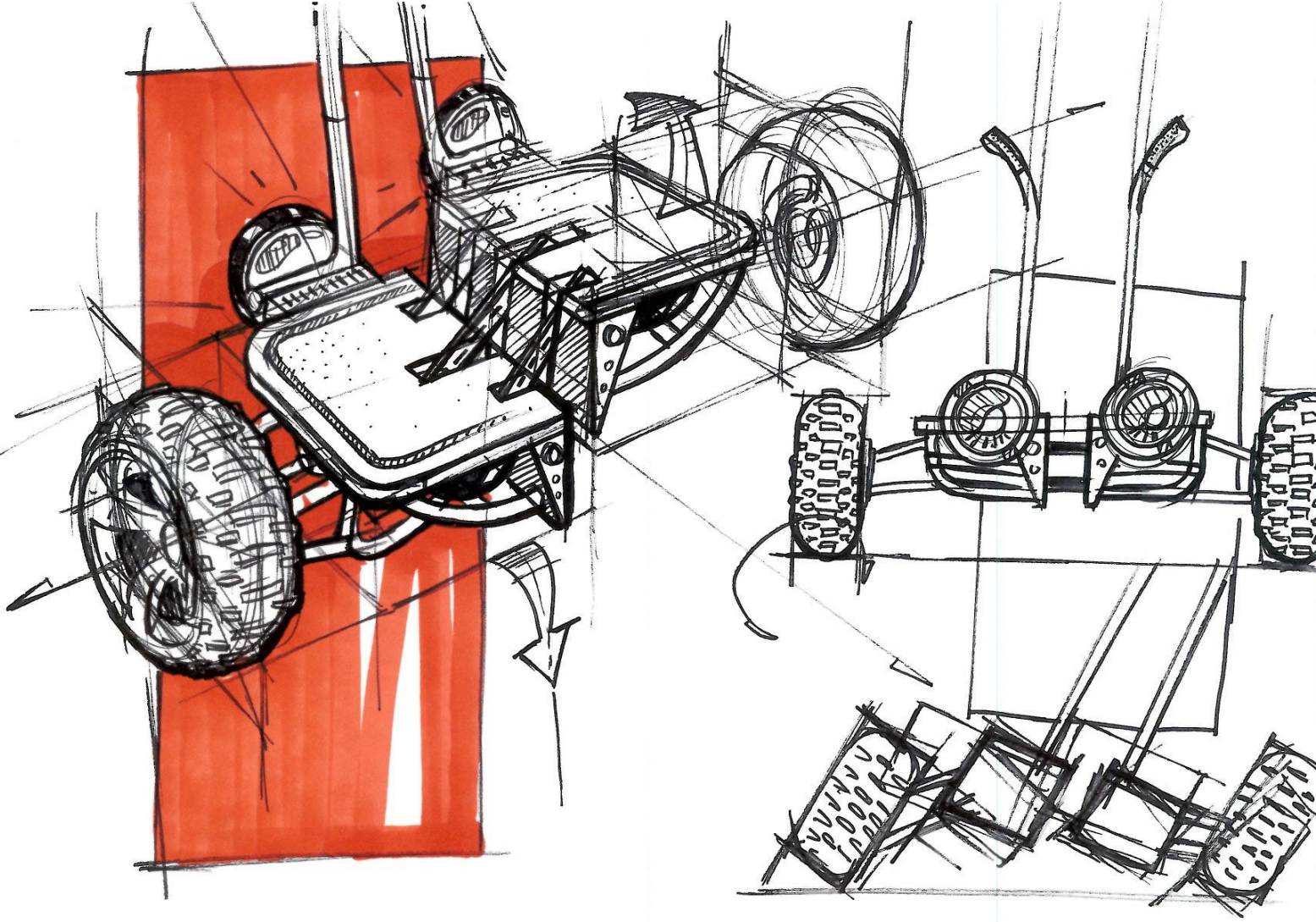


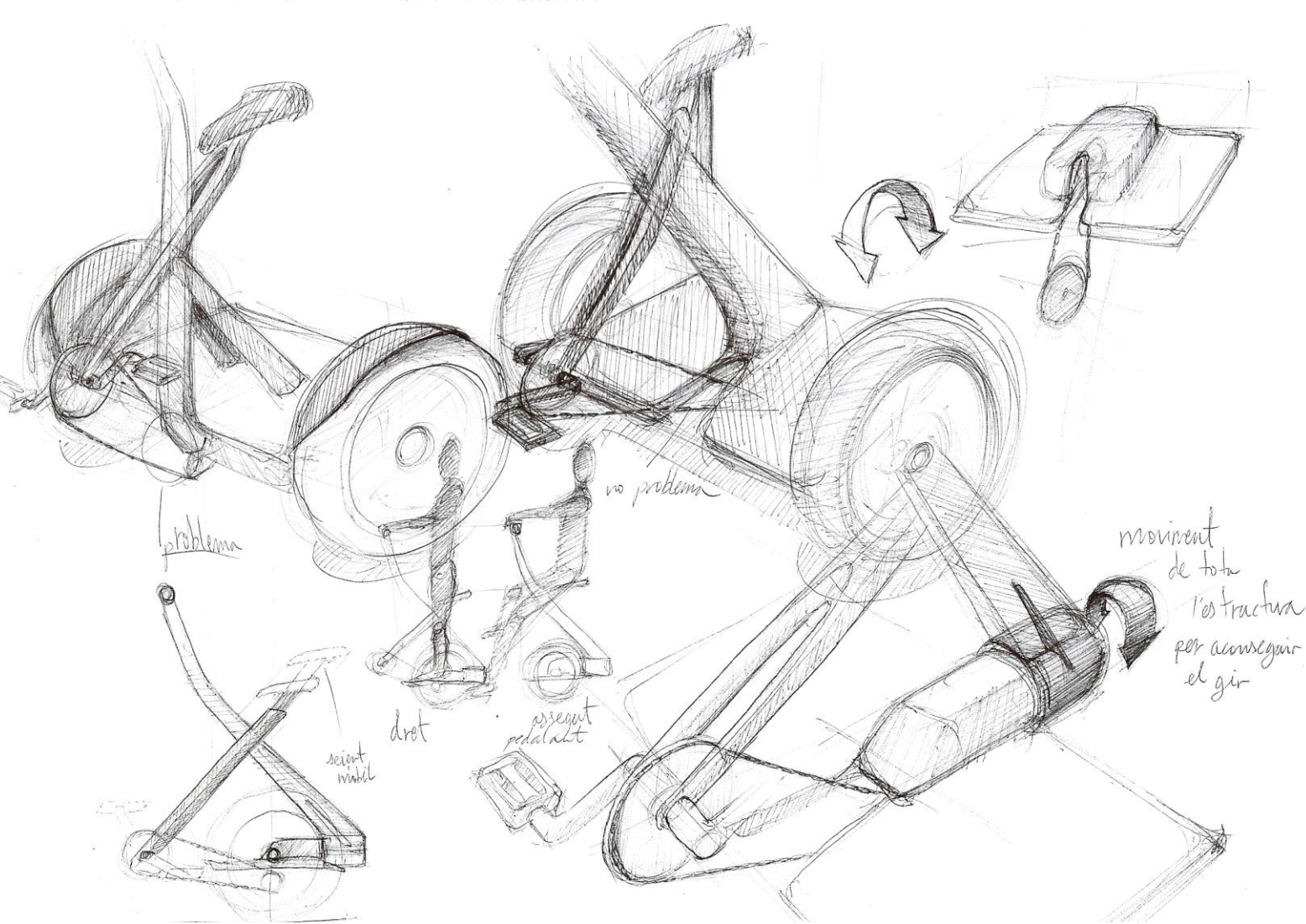
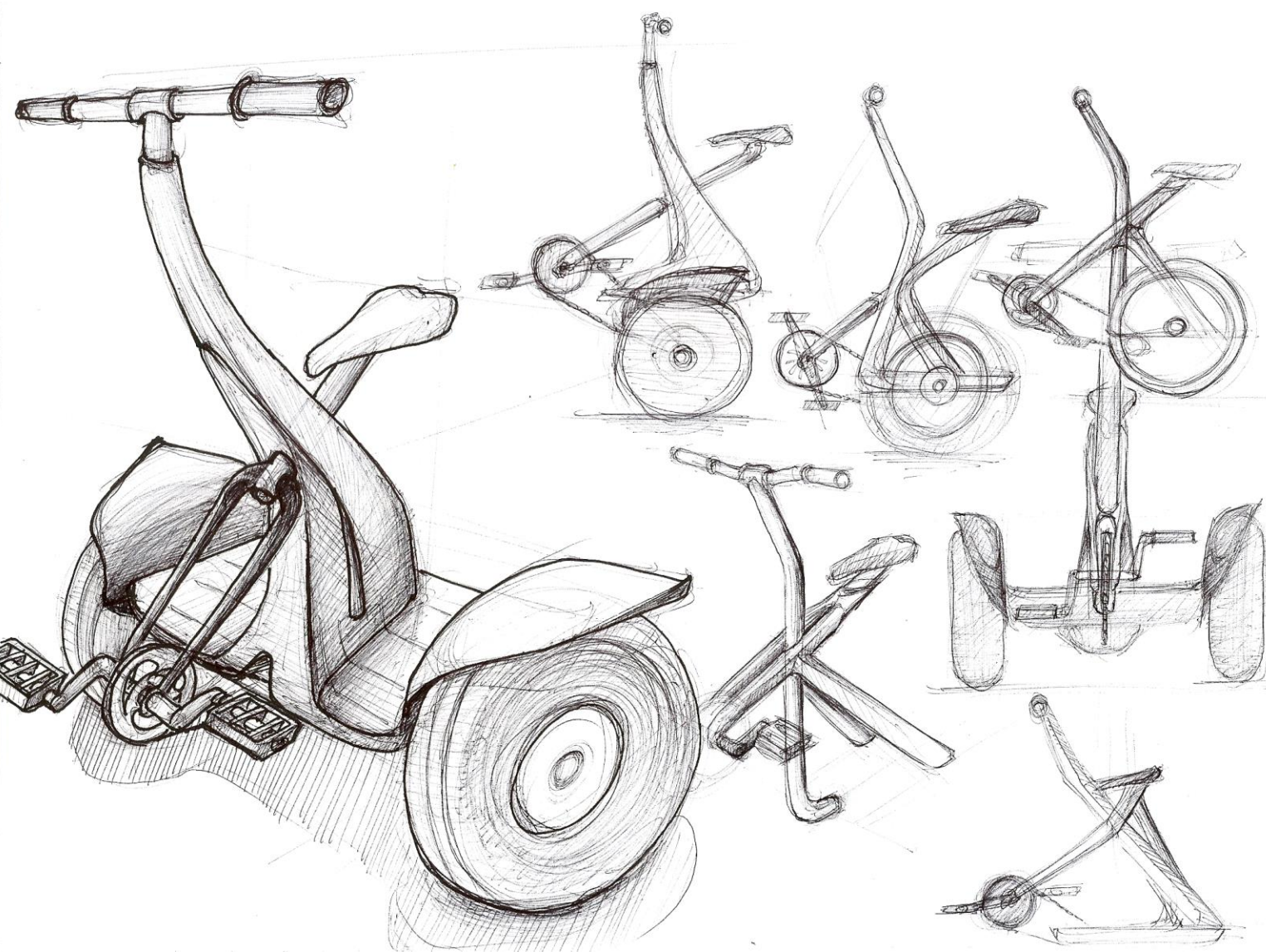
part
maxin



part
maxin



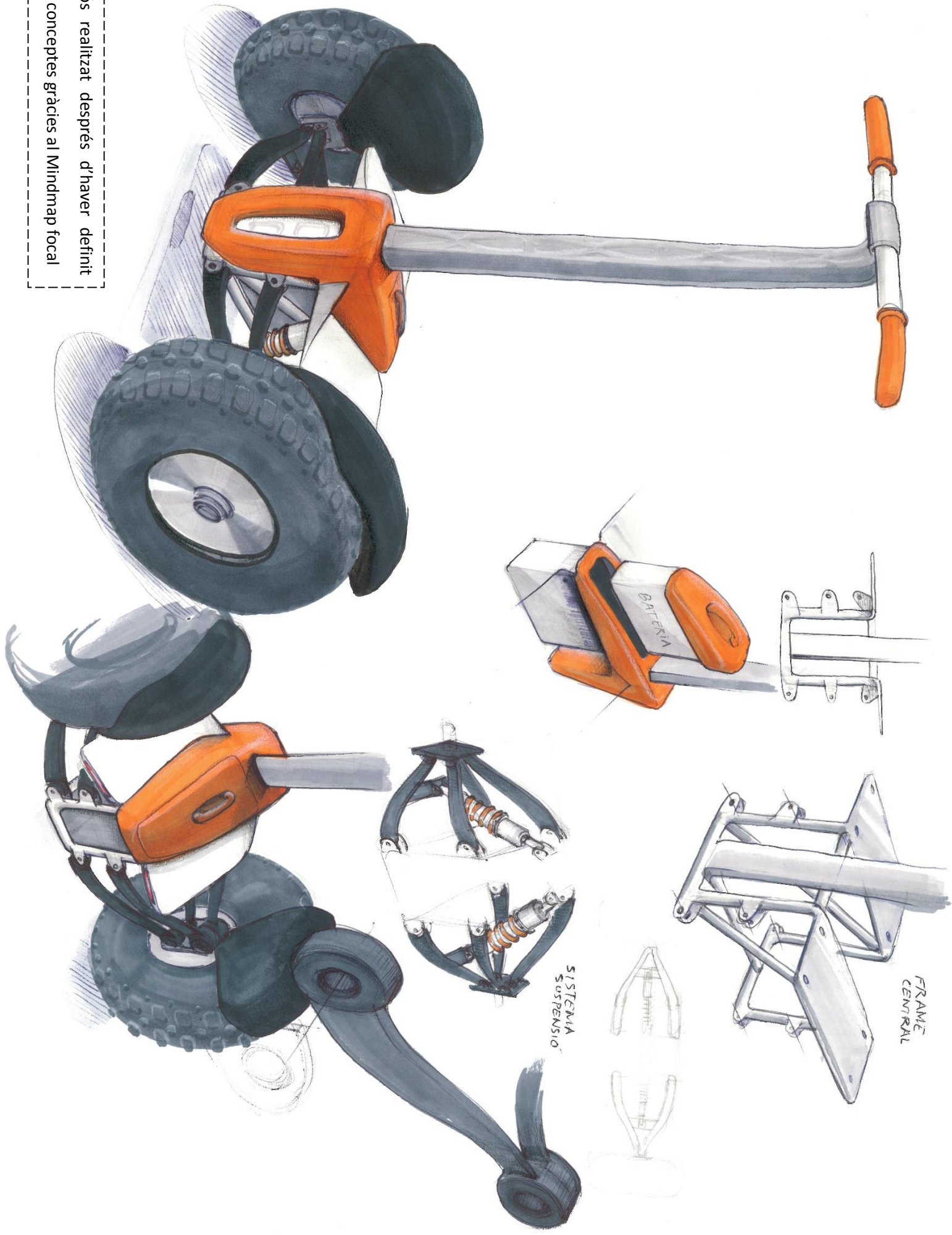




Disseny i implementació d'un vehicle de dues rodes paral·leles basat en el sistema d'un SEGWAY
Cibiach, Arnau; Corticans, Bru; Rodriguez, Víctor; Sánchez, Adrián; Vaquerizo, Daniel

21.4.3 Mindmap focal

Esbós realitzat després d'haver definit més conceptes gràcies al Mindmap focal



FRAME CENTRAL

SISTEMA SUSPENSIÓ

BATERIA

21.4.4 Moodboards

Experiència

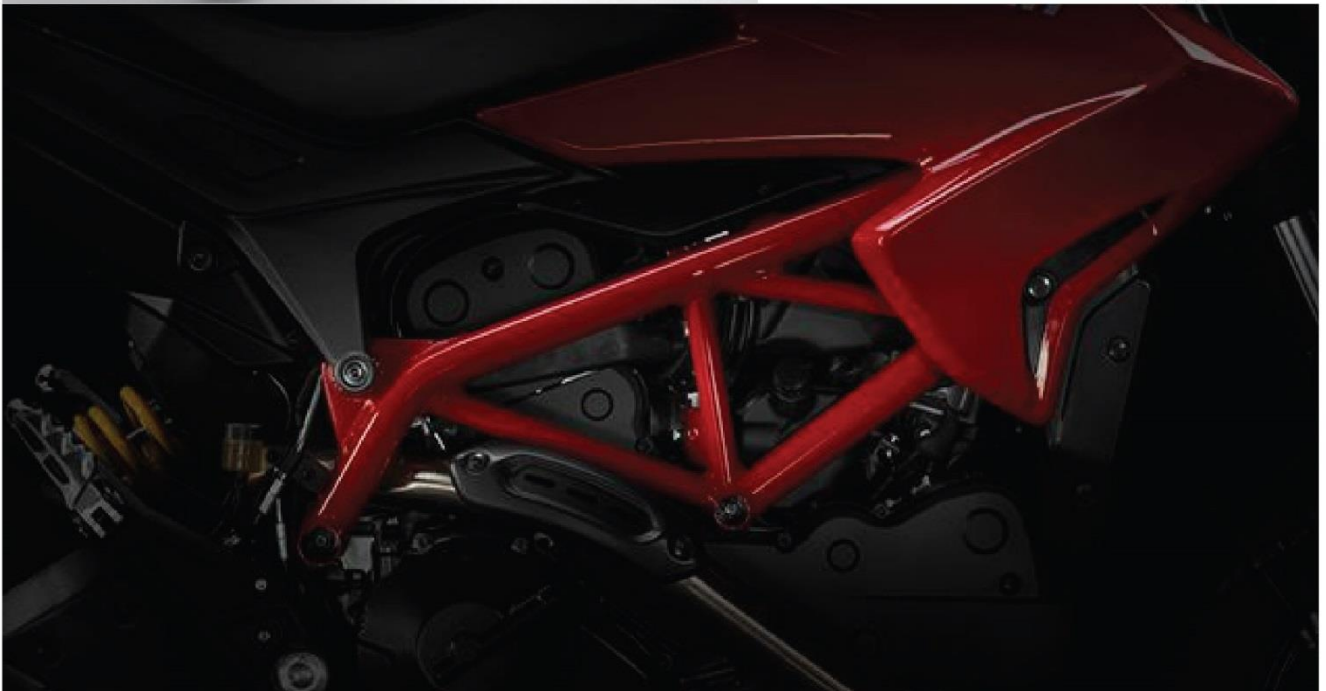
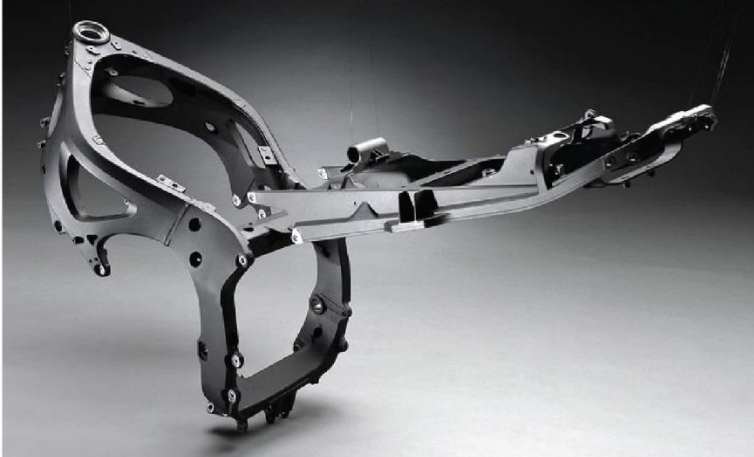


Carcasses i formes



Sistemas suspensió





Rodes



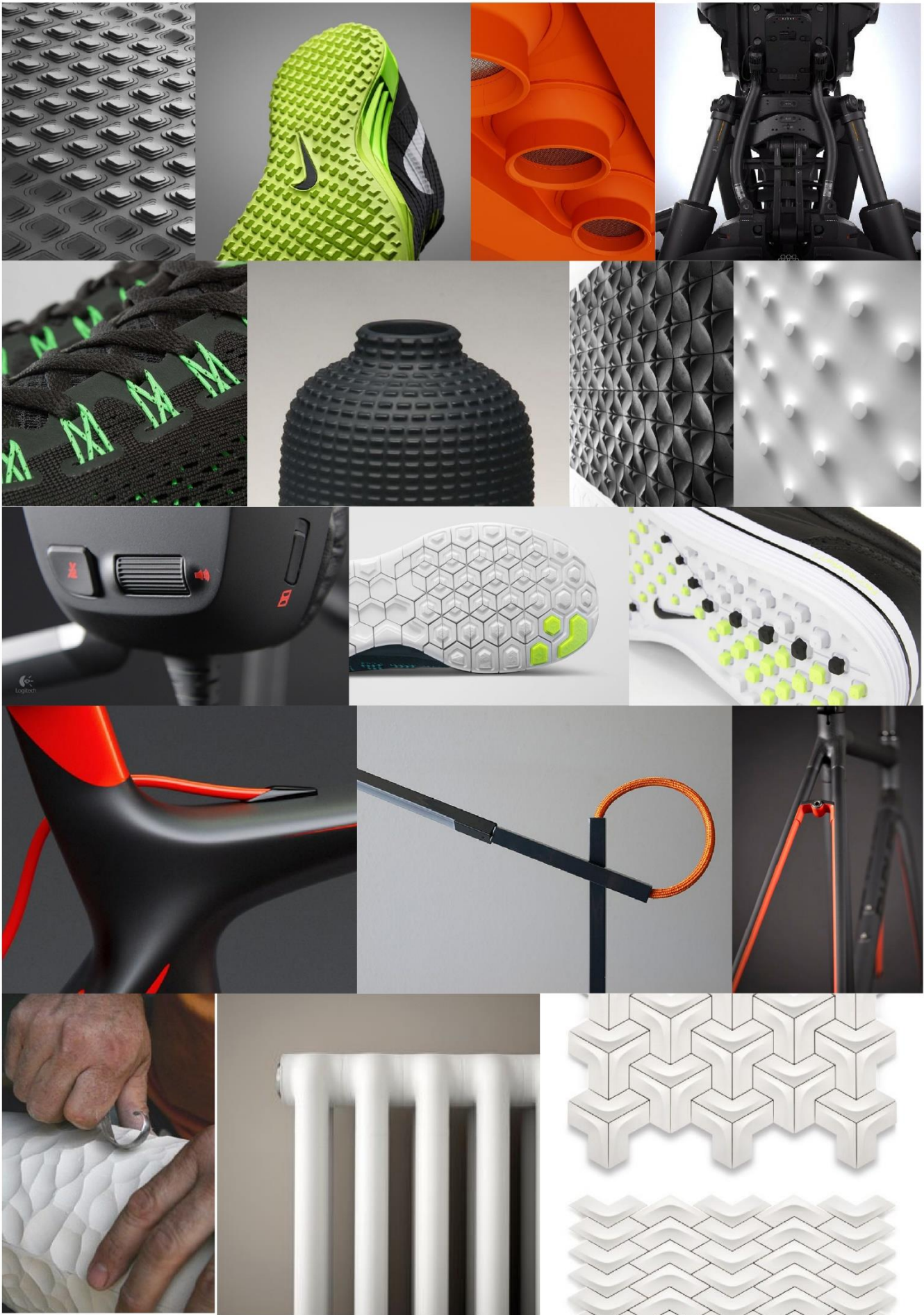


Llum





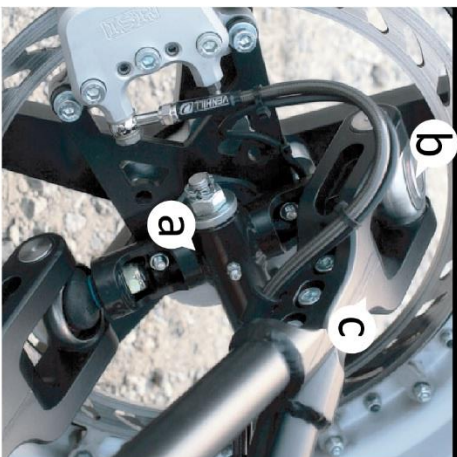
Color & Trim



21.4.5 Anàlisi de referents



Connexió amb la roda

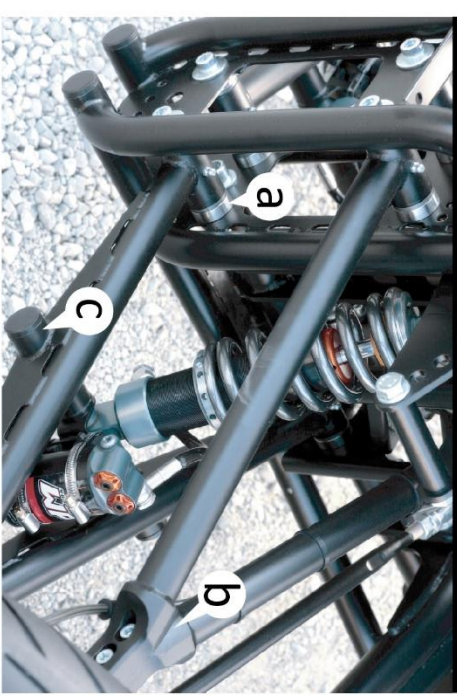


a- Simplicitat del nexe d'unió (barra) entre les barres i la roda.

b- Ús de ròtules que asseguruen el correcte funcionament del quadrilàter.

c- Peça connectora de les barres amb el nexe d'unió a les rodes.

Quadrilàter

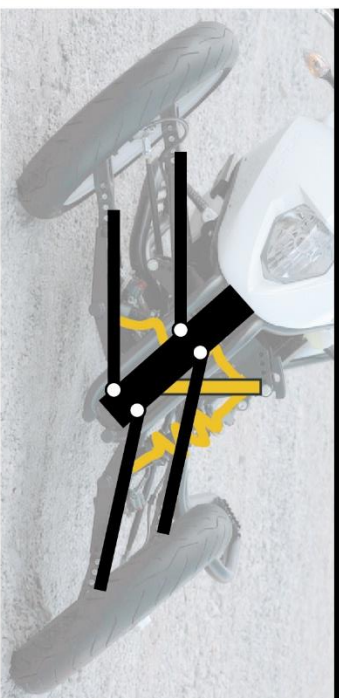


a- Ús de separadors en les zones articulades. Simplifiquen el model i tenen un fàcil accés.

b- Les barres s'uneixen en l'extrem final.

c- Afegit a les barres que permet col·locar l'amortidor en la posició adequada.

Leaning suspension



Aquest sistema independitza totalment els amortidors de la inclinació del vehicle. La motocicleta no s'aguantarà dreta en cap moment.

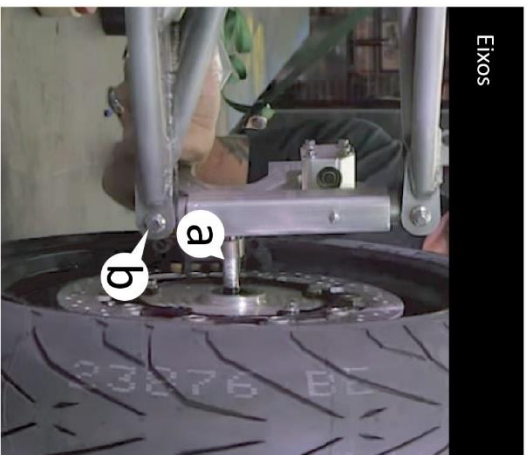
Els amortidors van subjectats en un tronc central articulada, que sempre es trobarà perpendicular al terra (elements en taronja).

Tot el cos del vehicle pivota respecte el punt inferior del tronc.

Tremoto

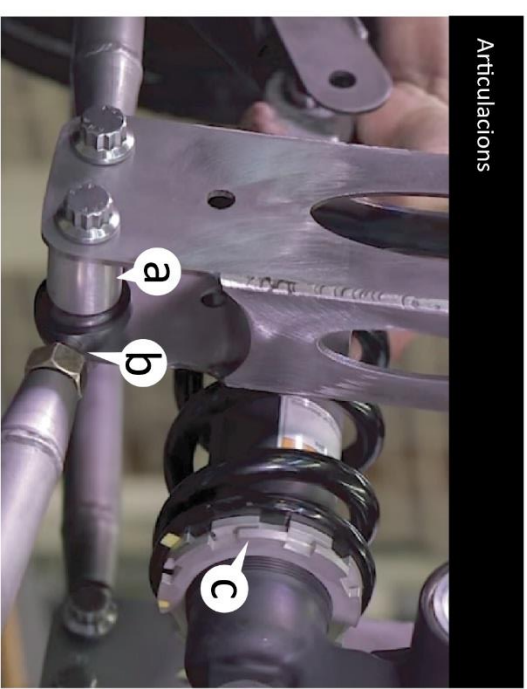


Eixos



- a- Eix descentrat respecte a la vertical que uneix les barres superior i inferior.
- b- Cargols roscats només a l'extrem que fan funció d'eix.

Articulacions



- a- Ús de separadors en les zones articulades.
- b- Ús de ròtules en totes les articulacions.
- c- Amortidor unit a les dues barres.

Leaning suspension



La col·locació de una molla horitzontal simplifica els sistema. Els impactes rebuts a una roda son transmesos a l'altre, donant-li major tracció.

Aquest sistema també independitza la suspensió de la inclinació del vehicle i no evita que la motocicleta s'inclini si aquesta esta parada.

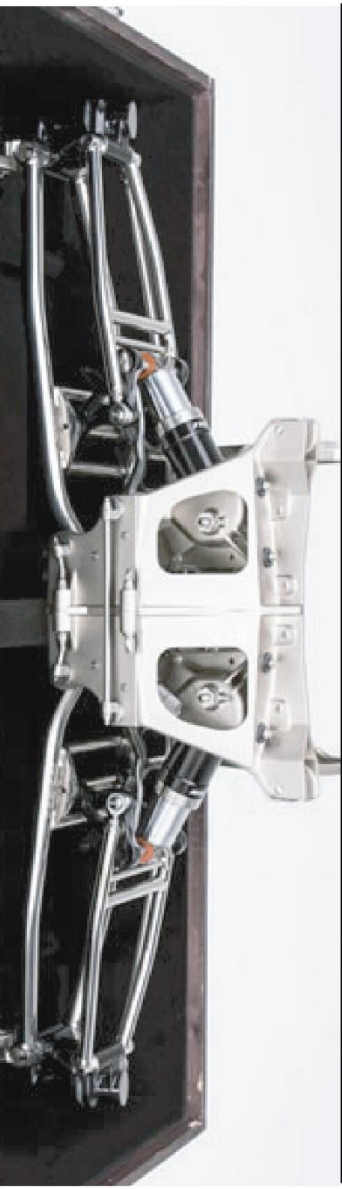


Aspectes del quadrilàter



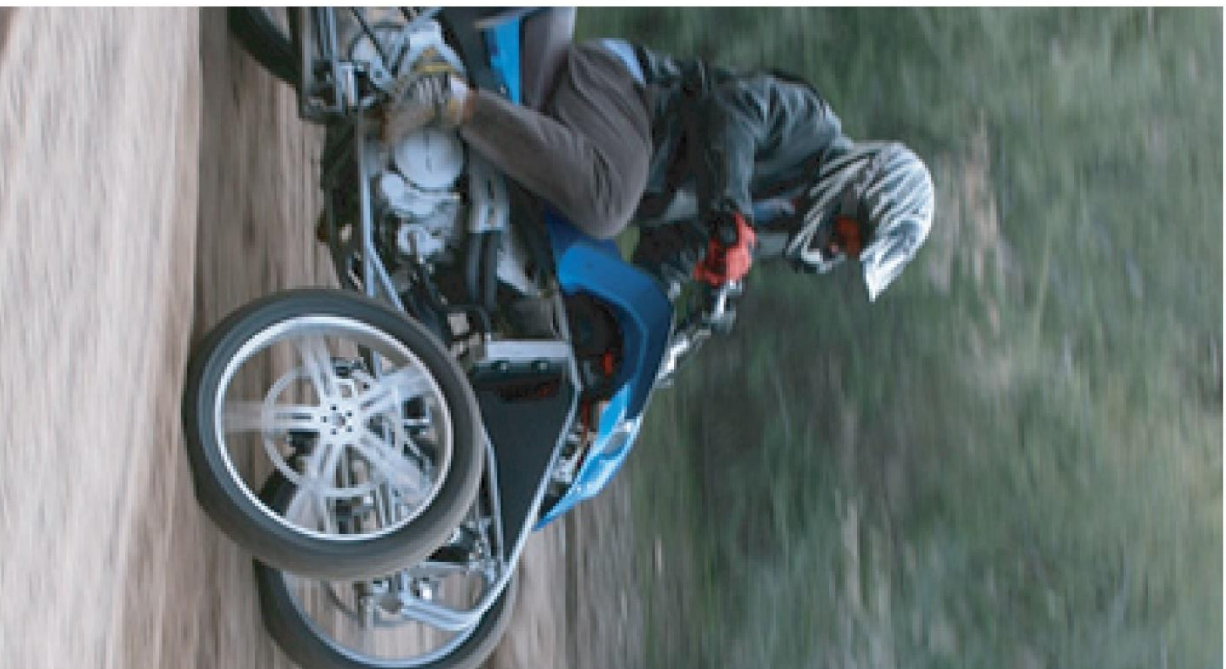
- a- Incorpora una barra més respecte els altres sistemes, on la molla hi exerceix la força.
- b- Afegeix soldat que actua de pont per a poder articular una barra del quadrilàter.

Leaning suspension

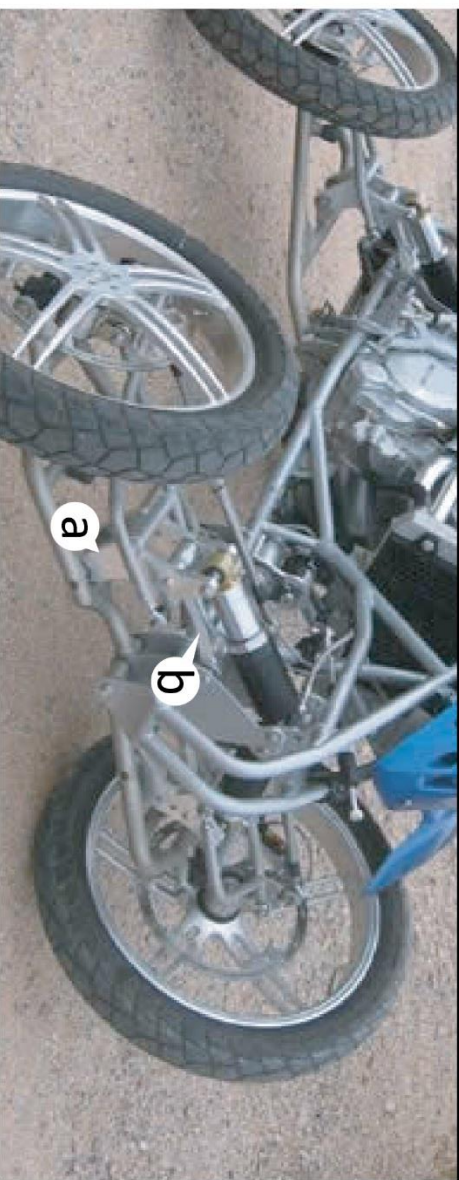


Aquest sistema adaptable té un monocasc al qual van a parar els amortidors, de manera que aquests treballen per a mantenir el vehicle recte quan està estacionat.

Wesll quad



Aspectes del quadrílater



- a- L'element que posiciona l'amortidor està unit i articulats en ambdues barres del quadrílater.
- b- Les barres superiors no s'uneixen directament al xassís, aquestes estan unides al posicionador de l'amortidor, i aquest amb una altra barra està unit al xassís.

Leaning suspension

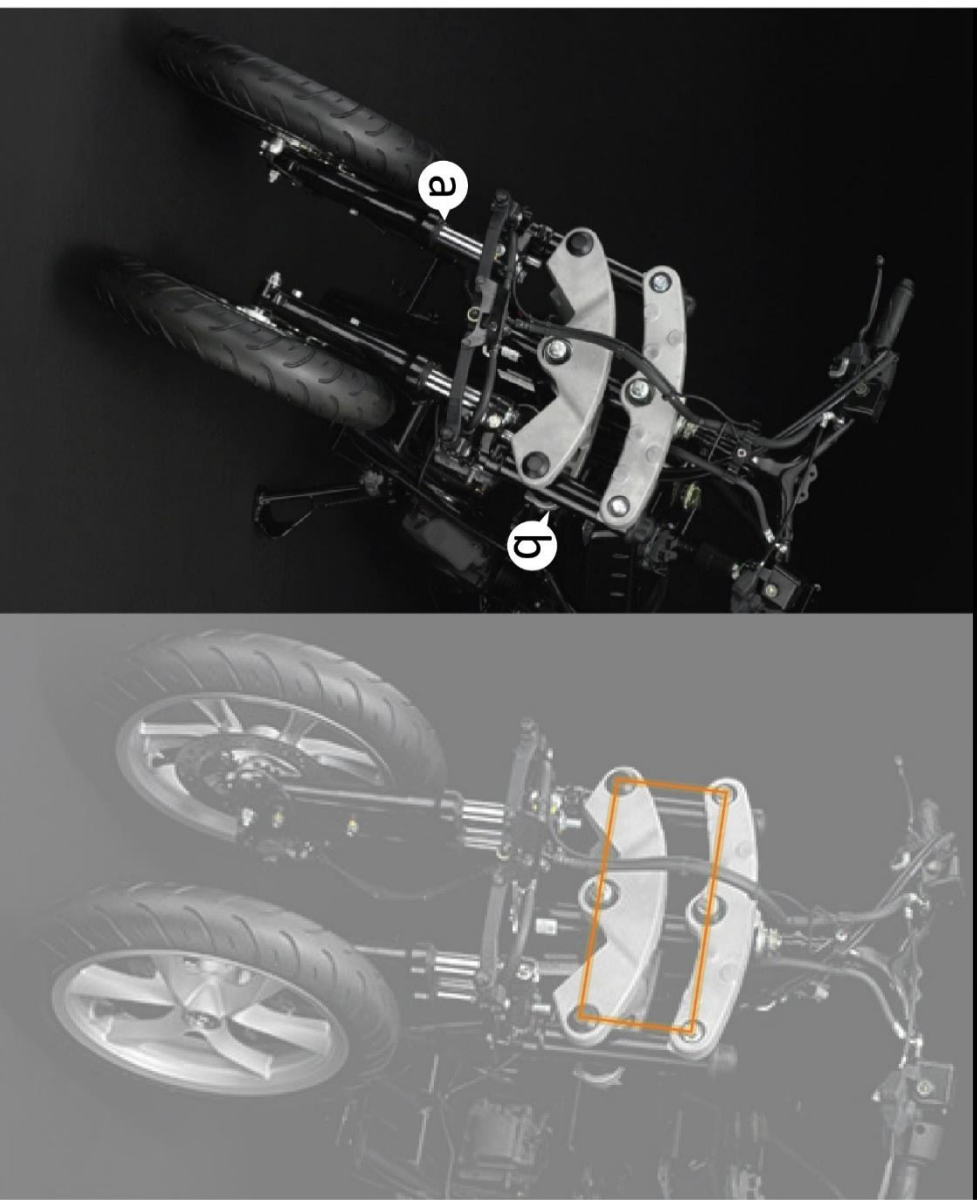


Aquest vehicle també pertany a Wesll i utilitza el mateix concepte que la moto de neu, pel que els amortidors van directament units al bastidor.

Yamaha Tricity



Aspectes del quadrlàter



a- Els amortidors treballen connectats a cada roda i ho fan a l'extrem de les barres verticals.

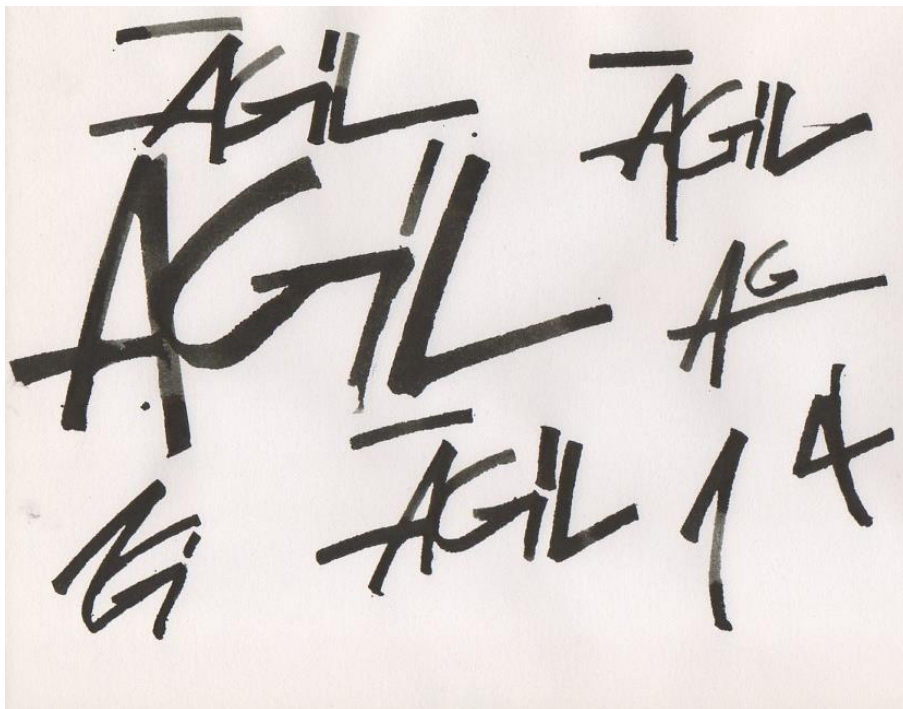
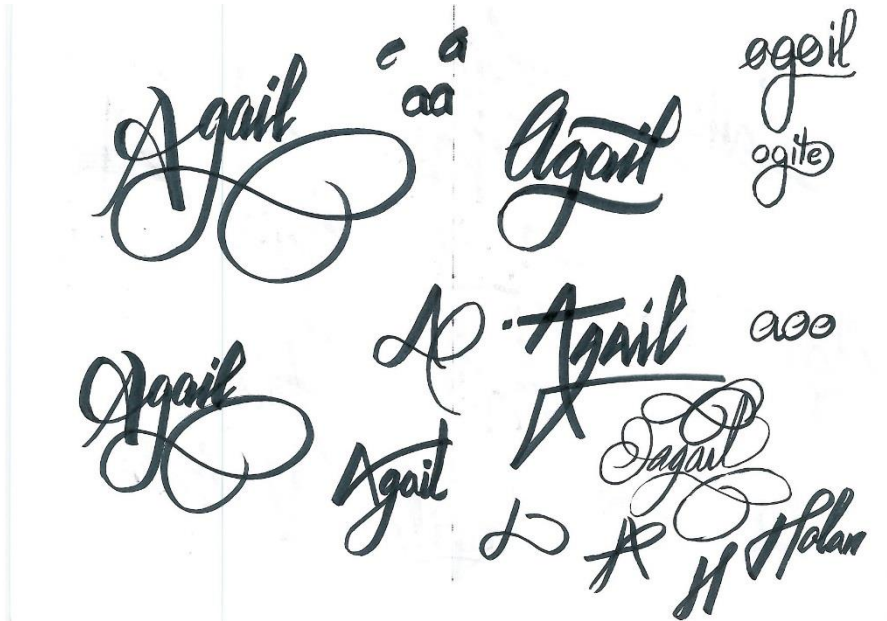
b- El quadrlàter (destacat en taronja a la figura de la dreta) només articula el moviment "orgànic" de les rodes. Els amortidors no comprometen el moviment d'aquest, per tant la moto es pot inclinar lliurement a cada corba, i només la inèrcia del vehicle el manté perpendicular al terra a les rectes.

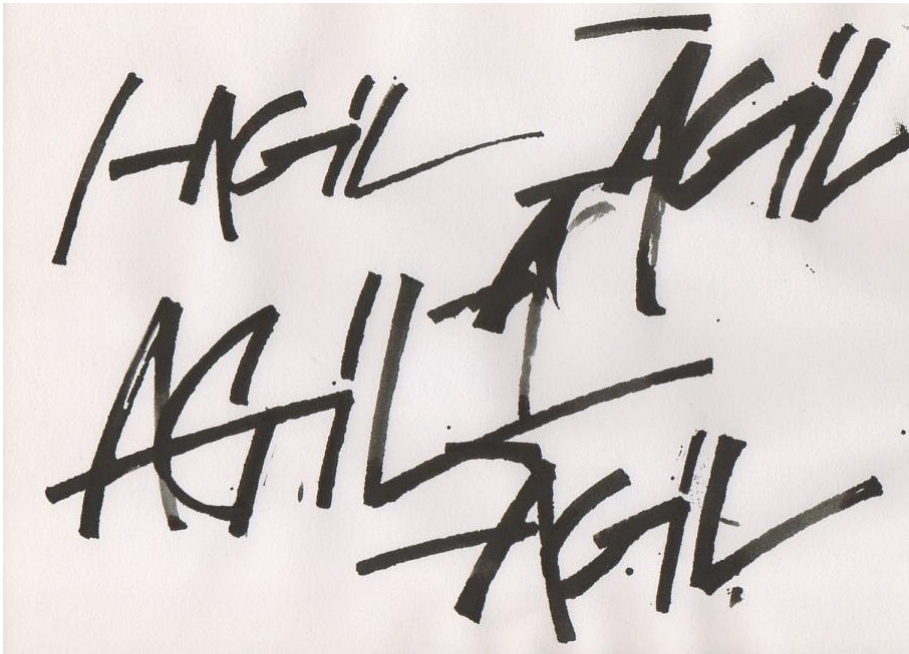
21.5 ANNEX E – ESTÈTICA

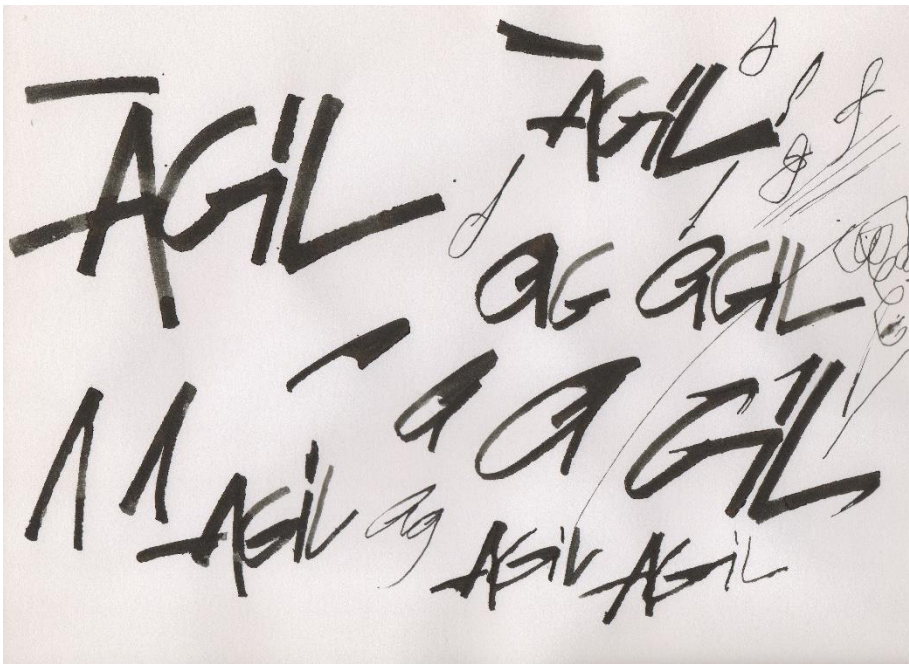
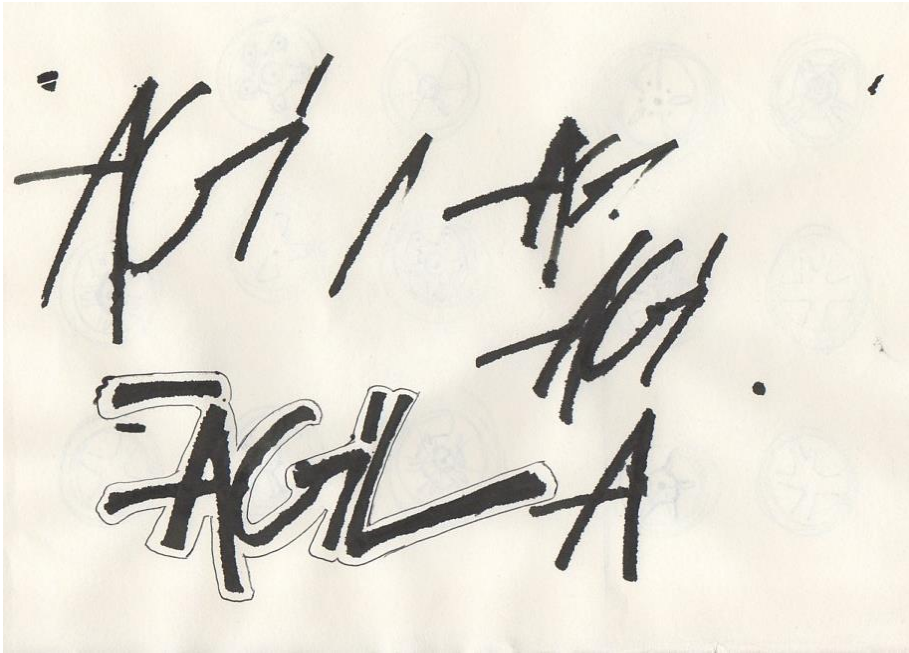
21.5.1 Logotip

Aquí es poden veure els esbossos dels logotips per a la marca ÀGIL:









21.5.2 Color&Trim

- Carrosseria



- Tronc



- Tensor



21.6 ANNEX F – VISITA A SEGWAY

La visita a Segway Espanya, amb seu a Sabadell, va ser la única de les tres propostes que es van poder realitzar. L'equip havia concertat visites amb dues altres empreses per conèixer més de prop el tipus de vehicles d'auto-balanceig. Bel&Bel, coneguts per haver versionat el Segway i haver-li posat una carrosseria de Vespa; Personal Transporter, que és qui distribueix el vehicles de la xinesa Ninebot.



Figura 374: Segway Vespa

La visita a la seu espanyola de Segway va constar de quatre parts:

- Una entrevista amb el director i el cap tècnic.
- Una visita al taller de reparacions amb el cap tècnic.
- Una prova de conducció de la versió X2 del Segway.
- Una prova amb el Genny Mobility.



Figura 375: Segway X2 en funcionament

21.6.1 Conclusions de l'entrevista

- La política de l'empresa americana és de no reparar cap element espatllat, es substitueix sempre pel seu recanvi.
- La tecnologia que incorpora el Segway està guardada gelosament pels enginyers que el van dissenyar, el centre que es va visitar desconeixia molts detalls del producte.
- Les zones amb una climatologia més plujosa tendeix a tenir poc èxit el Segway.
- Als països més rics és on el Segway es ven més.
- Els nivells de venda de l'X2 i l'I2 estan força equilibrats.

- El motor del Segway, a nivell de software, està limitat a 20km/h, però té potència per arribar a 50km/h.
- Les vendes del vehicle han passat de bons anys abans de la crisi, però després moltes institucions han prescindit de comprar-ne.
- El cost de desenvolupament del producte va ser molt elevat en un inici, i la ràtio de vendes anuals no permet respirar a l'empresa. Aquest és el motiu del seu preu elevat. Però el director comenta que el gran problema és la capacitat d'absorció de la innovació, és difícil convèncer al públic massiu de les bondats d'un nou tipus de vehicle.
- No tots els col·lectius d'usuaris se senten segurs amb el vehicle.

21.6.2 Visita al taller

La visita al taller va ser interessant per poder veure totes les peces de prop. Va ser sorprenent veure la quantitat d'elements que l'empresa catalana no podia des-ensamblar. L'equip esperava poder veure peces soltes i la majoria de recanvis de que disposaven eren subconjunts ja muntats. I per exemple no es va poder veure quin era el mecanisme de retorn del manillar basculant (que incorpora les dues últimes versions).



Figura 376: Visita al taller amb el cap tècnic

De totes maneres va ser genial poder veure les bateries obertes, l'electrònica internat del vehicle, la complexitat dels circuits i la redundància de tots els components, els motors (que són sorprenentment petits). En general va ser molt interessant entrar en contacte directe amb les entranyes del vehicle.



Figura 377: A l'esquerra el motor elèctric. A la dreta tota l'electrònica del vehicle



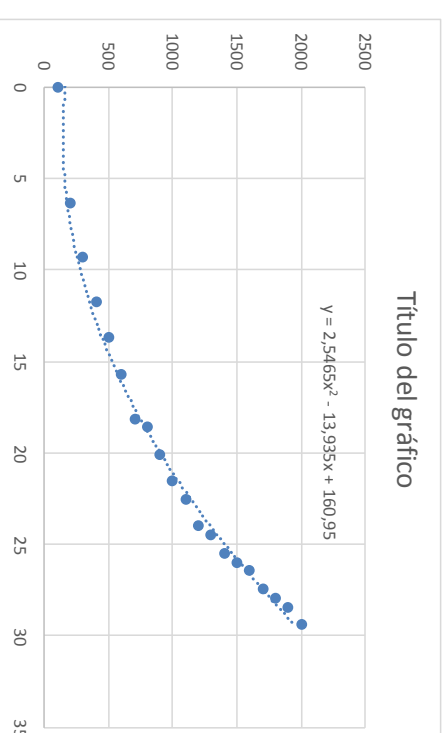
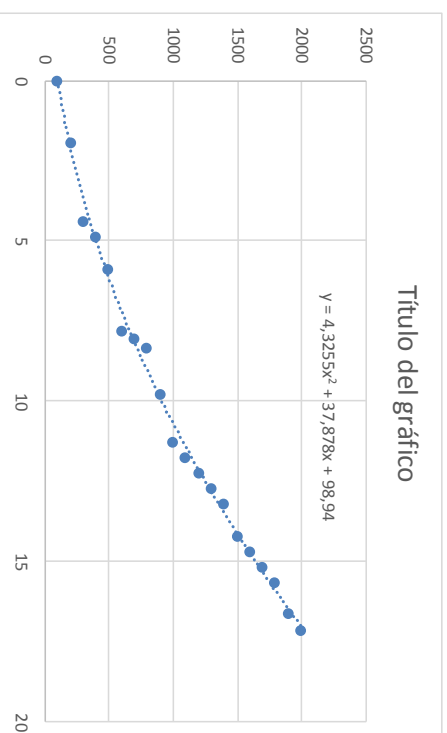
Figura 378: Provant la cadira de rodes Genny

21.6.3 Experiència de conducció

Pel que fa a la conducció dels dos vehicles de que disposaven: Segway X2 i Genny Mobility, el primer va ser interessant de conduir, però el segon va ser impressionant veure el nivell de detalls de disseny que incorpora la cadira de rodes.

21.7 ANNEX G – INFORMACIÓ MOTORS

Current Stipoint (mA)	FWD		BKW		Una rueda
	Fuerza(N)	Fuerza(Kp)	Fuerza(N)	Fuerza(Kp)	
100	0	0	0	0	0
200	1,96	0,2	6,37	0,65	0,325
300	4,41	0,45	9,31	0,95	0,475
400	4,9	0,5	11,76	1,2	0,6
500	5,88	0,6	13,72	1,4	0,7
600	7,84	0,8	15,68	1,6	0,8
700	8,085	0,825	18,13	1,85	0,925
800	8,33	0,85	18,62	1,9	0,95
900	9,8	1	20,09	2,05	1,025
1000	11,27	1,15	21,56	2,2	1,1
1100	11,76	1,2	22,54	2,3	1,15
1200	12,25	1,25	24,01	2,45	1,225
1300	12,74	1,3	24,5	2,5	1,25
1400	13,23	1,35	25,48	2,6	1,3
1500	14,21	1,45	25,97	2,65	1,325
1600	14,7	1,5	26,46	2,7	1,35
1700	15,19	1,55	27,44	2,8	1,4
1800	15,68	1,6	27,93	2,85	1,425
1900	16,66	1,7	28,42	2,9	1,45
2000	17,15	1,75	29,4	3	1,5



21.8 ANNEX H – CODIS DEL PROJECTE

21.8.1 Codi MATLAB Càlculs inicials model amb persona

```
%Equacions del sistema NO lineals
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICIÓ
% x2=VELOCITAT LINIAL
% x3=ANGLE PENDUL
% x4=VELOCITAT ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[((U-
fric*x2+m*1*x4*x4*sin(x3))*(J+m*1*1)+(m*m*1*1*cos(x3)*sin(x3)*g)]/(((J+(m*1*1
))*(M+m))-(m*m*1*1*cos(x3)*cos(x3)));
x3_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*1*g*sin(x3))-
(m*m*1*1*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))+(m*1*cos(x3)*((fric*x2)-
U))]/(((J+(m*1*1))*(M+m))-(m*m*1*1*cos(x3)*cos(x3)));
%%Punts d'equilibri del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealització de les equacions angle PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0)
U=0;
M = 7; %massa carro
m = 75; %massa pèndul (persona)
l = 0.7;%Alçada del centre de masses de la persona
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*1*m); %Moment d'inèrcia
g = 9.81; %Gravetat
fric=0.1;
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0]
%%Sistema llaç obert
close all;
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
inputs = {'u'};
outputs = {'x'; 'phi'};
set(espai_obert, 'InputName', inputs)
set(espai_obert, 'OutputName', outputs)
%%Proves al sistema en llaç obert:
%Impulse
subplot(2,2,1) % first subplot
t=0:0.01:1;
impulse(espai_obert,t);
title('Open Loop response to IMPULSE')
%LSIM constant input
subplot(2,2,2)
t = 0:0.05:10;
u = ones(size(t));
```

```
[y,t] = lsim(espai_obert,u,t);
plot(t,y)
axis([0 2.5 0 100])
legend('x','phi')
title('Open Loop response to LSIM constant U')
%Initial conditions
subplot(2,2,3)
x0=[0;0;0.9*pi;0];
initial(espai_obert,x0,2)
title('Open Loop response to Initial ->phi=0.9 PI')
%Initial Conditions position diff 0
subplot(2,2,4)
x0=[54;0;0.0;0];
initial(espai_obert,x0,2)
title('Open Loop response to Initial all 0')
%%Sistema en llaç tancat
%Càlcul controlador assignació de pols
pols_cont=[-15;-15;-2.5+2.5i;-2.5-2.5i];
K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont)
espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0)
set(espai_lt,'InputName',inputs)
set(espai_lt,'OutputName',outputs)
figure()
%Impulse response
subplot(2,2,1) % first subplot
t=0:0.01:2;
impulse(espai_lt,t);
title('Closed Loop response to IMPULSE')
%Step constant input response
subplot(2,2,2)
step(espai_lt,t)
title('Closed Loop R. to initial conditions defined continous poles')
%Initial conditions response
subplot(2,2,3)
x0=[0;0;pi/9;0];
initial(espai_lt,x0,t)
title('Closed Loop response to Initial ->phi=0.9 PI')
%Initial Conditions position diff 0 vel diff 0
subplot(2,2,4)
x0=[54;0.5;0.0;0];
initial(espai_lt,x0)
title('Closed Loop response to Initial x & x. diff 0')
%%
%%Discretitzar el model lineal
%Càlcul temps de mostreig
pol_mes_rapid=pols_cont(1)
pcd1=pols_cont(1);
pcd2=pols_cont(2);
pcd3=pols_cont(3);
pcd4=pols_cont(4);
%POL_REAL=(-1/tau2)
tau=-1/pol_mes_rapid;%%Mètode de càlcul pols ràpids = pols reals%%
N=4; % entre 4 i 10 segons quants punts es volen en cada període
hmax=(tau/N)
% hmax =
% 0.0167
h=0.015 %fixem h mes petita a la màxima calculada
while h>=hmax
    prompt = 'Període de mostreig no ajustat?(ajustar):';
    h = input(prompt);
end
%pols discrets desitjats
pdd1=exp(pcd1*h);
pdd2=exp(pcd2*h);
pdd3=exp(pcd3*h);
pdd4=exp(pcd4*h);
pdd=[pdd1 pdd2 pdd3 pdd4];
%sistema discret segons període h calculat
```

```

ssdiscret=c2d(espai_obert,h)
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);
set(ssdiscret,'InputName',inputs)
set(ssdiscret,'OutputName',outputs)
%Controlador discret
figure()
kd=acker(phi,gamma,pdd)
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd,gamma,Cd,Dd,h);
T=0:h:5;
set(ssdiscret_lt,'InputName',inputs)
set(ssdiscret_lt,'OutputName',outputs)
subplot(2,1,1)
step(ssdiscret_lt,T)
title('Step response DISCRETE SYS')
subplot(2,1,2)
x0=[0;0;pi/9;0];
initial(ssdiscret_lt,x0,T)
title('Initial response DISCRETE SYS')
%Càlcul sistema amb retard
tau=0.0250;%valor del retard dels motors
d=2;%nº variables a ampliar
tp=0.01;%valor tau_prima de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh')
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%Calcular controlador posant com a pols dels components ampliat z_i=0
phi_ampliada=[phi_h          phi_htprima*gamma_tprima          gamma_htprima
;
          [0 0 0 0 ]          0          eye(1)
;
          [0 0 0 0 ]          0          0          ]
gamma_ampliada=[0;0;0;0];eye(1)
C_ampliada=[C_PI [0 0;0 0 ]]
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0 0])
%%Control integral
%NO RETARD(parece OK)
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posició!
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]]' phi
Gamint=[0;gamma]
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.9])
Ki=Kint(1)
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)]
%Control integral RETARD
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0 0]] %Ja que nomes fem tracking de posició!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0]]' phi_ampliada%Phi ampliada
retard
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada] %Gamma ampliada retard
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0 0.9])%Guany variables i
integral
Ki_retard=Kint_retard(1) %Guany integral
Kdi_retard=[Kint_retard(2) Kint_retard(3) Kint_retard(4) Kint_retard(5)
Kint_retard(6) Kint_retard(7)]%Guany variables sistema

```

21.8.2 Codi MATLAB Canvi període 50ms

```
%%Equacions del sistema NO lineals
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICION
% x2=VELOCIDAD LINEAL
% x3=ANGULO PENDULO
% x4=VELOCIDAD ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[((U-
fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3))*(J+m*l*l)+(m*m*l*l*cos(x3)*sin(x3)*g))/((J+(m*l*l
))*(M+m))-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3))];
x3_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*l*g*sin(x3))-
(m*m*l*l*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))+(m*l*cos(x3)*((fric*x2)-
U))]/((J+(m*l*l))*(M+m))-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3));
%%Punts de equilibri del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealització de las equacions a l'angle n*PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0)
U=0;
M = 7.25; %carro
m = 0.3; %pendulo
l = 0.28;
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
g = 9.81;
fric=0.1;
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0]
%%
%%Sistema llaç obert
close all;
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
inputs = {'u'};
outputs = {'x'; 'phi'};
set(espai_obert, 'InputName', inputs)
set(espai_obert, 'OutputName', outputs)
%%
%%Sistema en llaç tancat
%Càlcul controlador assignació de pols
N=4;
hmax=0.055; %HMAX=0.055;%Seleccionar el període de mostreig desitjat i mai menor
a 25ms
%Ja que la h desitjada serà 50ms
tau=hmax*N;
syms x;
pol_mes_rapid=solve('-1/x=-0.22',x);%Surt -4.5454545454
pol_mes_rapid=-4.55;
h=0.05;
while h>=hmax
```

```
prompt = 'Període de mostreig no ajustat?(ajustar):';
h = input(prompt);
end
pols_cont=[pol_mes_rapid;pol_mes_rapid;-2.5+2.5i;-2.5-2.5i];%Pols      reals
dissenyats segons temps de mostreig
K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont)%càlcul guany controlador
espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0)%
set(espai_lt,'InputName',inputs)
set(espai_lt,'OutputName',outputs)
%figure()
%Impulse response
subplot(2,1,1) % first subplot
t=0:0.01:2;
impulse(espai_lt,t);
title('Closed Loop response to Impulse')
%Step constant input response
subplot(2,1,2)
step(espai_lt,t)
title('Closed Loop R. to Step')
%Initial conditions response
subplot(2,2,3)
x0=[0;0;pi/9;0];
initial(espai_lt,x0,t)
title('Closed Loop response to Initial ->phi=0.9 PI')
%Initial Conditions position diff 0 vel diff 0
subplot(2,2,4)
x0=[54;0.5;0.0;0];
initial(espai_lt,x0)
title('Closed Loop response to Initial x & x. diff 0')
%%
%%Discretitzar el model lineal
%pols desitjats en continu
pcd1=pols_cont(1);
pcd2=pols_cont(2);
pcd3=pols_cont(3);
pcd4=pols_cont(4);
%pols discrets desitjats
pdd1=exp(pcd1*h);
pdd2=exp(pcd2*h);
pdd3=exp(pcd3*h);
pdd4=exp(pcd4*h);
pdd=[pdd1 pdd2 pdd3 pdd4];
%sistema discret segons període h calculat
ssdiscret=c2d(espai_obert,h)%discretització del model
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);%extracció matrius discretes
set(ssdiscret,'InputName',inputs)%definició entrades sistema
set(ssdiscret,'OutputName',outputs)%definició sortides siste
%Controlador discret
%figure()
kd=acker(phi,gamma,pdd)%controlador discret 50ms
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd,gamma,Cd,Dd,h);%sistema discret llaç tancat 50ms
T=0:h:5;%vector temps simulació
set(ssdiscret_lt,'InputName',inputs)%entrades
set(ssdiscret_lt,'OutputName',outputs)%sortides
%Impuls
subplot(2,1,1)
step(ssdiscret_lt,T)%resposta step
title('Impulse response DISCRETE SYS')
%Step
subplot(2,1,2)
step(ssdiscret_lt,T)%resposta step
title('Step response DISCRETE SYS')
subplot(2,1,2)
x0=[0;0;pi/9;0];
initial(ssdiscret_lt,x0,T)
title('Initial response DISCRETE SYS')
%%
%%Matrius sistema amb retard
```

```
tau=0.0250;%tau corresponent al retard d'actuació
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh') %sistema discret 50ms
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);%matrius sistema discret 50ms
ss_htau=c2d(espai_obert,h-tau,'zoh');%sistema h-tau
[phi_htau, gamma_htau,C_htau,D_htau]=ssdata(ss_htau);%matrius sistema h-tau
%c)Calcular controlador posant com a pols dels components ampliat z_i=0
%Matrius ampliades
phi_ampliada=[phi_h          phi_htau*gamma_h ; %sistema 5x5 phi ampliada
              [0 0 0 0 ]          0          ]
gamma_ampliada=[gamma_htau;eye(1)] %sistema 5x1 gamma ampliada
C_ampliada=[[C_PI] [0;0]] %sistema 2x5 salida x & phi
%Controlador
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0])%guany 50ms amb retard
%%
%%Control integral
%NO RETARD
Cd=[1 0 0 0];
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi]%matriu phi ampliada
Gamint=[0;gamma]%matriu gamma ampliada
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.9])%calcul controlador
Ki=Kint(1)%guany integral
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)]%guany estats
%RETARD(testing)
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0]] %Ja que només fem tracking de posició!
Phiint_retard=[1          C_ampliada_retard;
               [0 0 0 0 0]' phi_ampliada];%phi ampliada 50ms
Gamint_retard=[0 ;gamma_ampliada]%gamma ampliada 50ms
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0.9]) %guany controlador
50ms
Ki_retard=Kint_retard(1)%guany integral
Kdi_retard=[Kint_retard(2)    Kint_retard(3)    Kint_retard(4)    Kint_retard(5)
            Kint_retard(6)]%guany estats del sistema
```

21.8.3 Codi MATLAB Control òptim

```
%%Ecuaciones del sistema NO lineales
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICION
% x2=VELOCIDAD LINEAL
% x3=ANGULO PENDULO
% x4=VELOCIDAD ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[((U-
fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3))*(J+m*l*l)+(m*m*l*l*cos(x3)*sin(x3)*g))/((J+(m*l*l
))*(M+m))-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3))];
x3_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*l*g*sin(x3))-
(m*m*l*l*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))+m*l*cos(x3)*((fric*x2)-
U)]/(((J+(m*l*l))*(M+m))-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)));
%%Puntos de equilibrio del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealització de las ecuaciones en el angulo n*PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0)

U=0;
M = 7.25; %carro->7.240KG
m = 0.3; %pendulo->"eso ni lo cuentas " ;?;?
l = 0.28;
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
g = 9.81;
fric=0.1;
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0]
%%
%%Control optim LQR
%%R > 0 and
%%Q?NR^?l N^T?0.
phi_cero=170*0.0174532925;%condició inicial 3.12rad
i=1000
w=1
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=1/i
K1 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=3/i
K2 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=5/i
K3 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=7/i
K4 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
```

```

R=9/i
K5 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
%sim('SIM_Optim_LQR_060515');
%...11,22,33...
w = 10;
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.2
K11 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.5
K22 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.7
K33 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.9
K44 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=1
K55 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
%sim('SIM_Optim_LQR_060515');
%sim('SIM_Optim_LQR_060515')
espai_tancat_k4=ss(A_PI-B_PI*K4,B_PI,C_PI,0)
%%
%discretitzacio i guany discret
%dels pols resultants en llaç tancat del sistema amb K4
%tenim que el periode maxim de mostreig es de 0.56s
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
h=0.015;
espai_discret=c2d(espai_obert,h,'zoh');
pcd=eig(espai_tancat_k4);
pdd=exp(pcd*h);
[Ad,Bd,Cd,Dd]=ssdata(espai_discret);
kd=acker(Ad,Bd,pdd)
eig(ss(Ad-Bd*kd,Bd,Cd,Dd,h));
%%
%discret amb retard motors 25ms
tau=0.0250;
d=2;%n° variables a ampliar
tp=0.01;%valor de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh')
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%)Calcular controlador
phi_ampliada=[phi_h          phi_htprima*gamma_tprima          gamma_htprima
;
          [0 0 0 0 ]          0          eye(1)
;
          [0 0 0 0 ]          0          0          ]
gamma_ampliada=[[0;0;0;0];0;eye(1)]
C_ampliada=[[C_PI] [0 0;0 0 ]]
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd ;0; 0])
%control integral de la posició
%Sense retard
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(espai_discret);
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0] phi]
Gamint=[0;gamma]
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd; 0.9])
Ki=Kint(1)
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)]
%Amb retard actuacio motors
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0 0]] %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0] phi_ampliada]

```



```
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada]
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd; 0 ;0; 0.7])
Ki_retard=Kint_retard(1)
Kdi_retard=[Kint_retard(2)    Kint_retard(3)    Kint_retard(4)    Kint_retard(5)
Kint_retard(6) Kint_retard(7)]
sim('SIM_Optim_LQR');
subplot(2,1,1)
%subplot(2,2,1)
plot(Unosat_i.time, Unosat_i.signals.values)%grafica senyal de control
title('Senyal de control resultant amb control integral, condició x3=3.12rad')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
% subplot(2,2,2)
% plot(Usat.time, Usat.signals.values)%grafica senyal saturada
% title('Senyal de control saturada')
% xlabel('Temps simulació (s)')
% ylabel('Senyal de control (N)')
% hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X_i.time, X_i.signals.values)%grafica sortida posició
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI_i.time, PHI_i.signals.values)%grafica sortida angle
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
figure()
sim('SIM_Optim_LQR');
%subplot(2,1,1)
subplot(2,2,1)
plot(Unosat_i_sat.time, Unosat_i_sat.signals.values)%grafica senyal de control
title('Senyal de control resultant amb control integral, condició x3=3.12rad')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
plot(Usat_i.time, Usat_i.signals.values)%grafica senyal saturada
title('Senyal de control saturada resultant amb control integral')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X_i_sat.time, X_i_sat.signals.values)%grafica sortida posició
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI_i_sat.time, PHI_i_sat.signals.values)%grafica sortida angle
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
```

21.8.5 Codi MATLAB Escombrat de pols

```
%%Ecuaciones del sistema NO lineales
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICION
% x2=VELOCIDAD LINEAL
% x3=ANGULO PENDULO
% x4=VELOCIDAD ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[((U-
fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3))*(J+m*l*l)+(m*m*l*l*cos(x3)*sin(x3)*g))/((J+(m*l*l
))*(M+m)-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)))]];
x3_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*l*g*sin(x3))-
(m*m*l*l*x4*x4*sin(x3)*cos(x3)+(m*l*cos(x3)*((fric*x2)-
U)))]/((J+(m*l*l))*(M+m)-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)))]];
%%Puntos de equilibrio del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealización de las ecuaciones en el angulo n*PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0)
U=0;
M = 7.25; %carro->7.240KG
m = 0.3; %pendulo->"eso ni lo cuentas " ¿¿??
l = 0.28;
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
g = 9.81;
fric=0.1;
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0]
open('SIM_Escombrat');
%%Sistema llaç obert
close all;
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
%%
%%Sistema en llaç tancat
for n = 0:0.5:5
    pols_cont=[-5-n;-5-n;-2-n+(2i-n*i);-2-n-(2i-n*i)]
    K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont);
    espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0);
    %%Discretitzar el model lineal
    %Calcul temps de mostreig
    pol_mes_rapid=pols_cont(1);
    pcd1=pols_cont(1);
    pcd2=pols_cont(2);
    pcd3=pols_cont(3);
    pcd4=pols_cont(4);
    tau=-1/pol_mes_rapid;
    N=4;
    hmax=(tau/N); %h>=16ms
    h=0.015; %fixem h mes petita a la maxima calculada
```

```
while h>=hmax
    prompt = 'Periodo de muestreo no ajustado?(ajustar):';
    h = input(prompt);
end
%pols discrets desitjats
pdd1=exp(pcd1*h);
pdd2=exp(pcd2*h);
pdd3=exp(pcd3*h);
pdd4=exp(pcd4*h);
pdd=[pdd1 pdd2 pdd3 pdd4];
%sisistema discret segons periode h calculat
ssdiscret=c2d(espai_obert,h);
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);
%Controlador discret
kd=acker(phi,gamma,pdd);
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd,gamma,Cd,Dd,h);
T=0:h:5;
%%
%Calcul sistema amb retard
tau=0.0250;%valor del retard dels motors
d=2;%n° variables a ampliar
tp=0.01;%valor tau_prima de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh');
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%Calcular controlador posant com a pols dels components ampliatos zi=0
phi_ampliada=[phi_h          phi_htprima*gamma_tprima          gamma_htprima
;
          [0 0 0 0 ]          0          eye(1) ;
          [0 0 0 0 ]          0          0          ]
;
gamma_ampliada=[[0;0;0;0];0;eye(1)];
C_ampliada=[[C_PI [0 0;0 0 ]];
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0 0]);

%%
%%Control integral
%NO RETARD (parece OK)
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi];
Gamint=[0;gamma];
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.9]);
Ki=Kint(1);
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)];
%RETARD (testing)
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0 0]]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0]' phi_ampliada];
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada];
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0 0.9]);
Ki_retard=Kint_retard(1);
Kdi_retard=[Kint_retard(2) Kint_retard(3) Kint_retard(4) Kint_retard(5)
Kint_retard(6) Kint_retard(7)];
sim('SIM_Escombrat');
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(U.time, U.signals.values)
title('Senyal de control escombrat pòls amb 10 pòls')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X.time, X.signals.values)
title('Sortida posició escombrat pòls')
```

```
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI.time, PHI.signals.values)
title('Sortida angle escombrat pols')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
%-----
figure(2)
subplot(2,2,1)
plot(Unosat.time, Unosat.signals.values)
title('Senyal de control escombrat pols amb 10 pols')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
title('Senyal de control saturada escombrat pols')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
plot(U_sat.time, U_sat.signals.values)
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X_sat.time, X_sat.signals.values)
title('Sortida posició escombrat pols')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI_sat.time, PHI_sat.signals.values)
title('Sortida angle escombrat pols')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
end
```

21.8.6 Codi MATLAB Escombrat paràmetres del sistema

```
%%Ecuaciones del sistema NO lineales
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICION
% x2=VELOCIDAD LINEAL
% x3=ANGULO PENDULO
% x4=VELOCIDAD ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[((U-
fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3))*(J+m*l*l)+(m*m*l*l*cos(x3)*sin(x3)*g))/((J+(m*l*l
))*(M+m))-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3))];
x3_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*l*g*sin(x3))-
(m*m*l*l*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))+(m*l*cos(x3)*((fric*x2)-
U))]/((J+(m*l*l))*(M+m))-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3));

%%Puntos de equilibrio del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealización de las ecuaciones en el angulo n*PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto],[x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2,'x1',0);
J_A_PI = subs(J_A_PI,'x2',0);
J_A_PI = subs(J_A_PI,'x3',pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI,'x4',0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto],[U])
J_B = subs(J3,'x1',0);
J_B = subs(J_B,'x2',0);
J_B = subs(J_B,'x3',pi);
J_B = subs(J_B,'x4',0)
U=0;
M = 7.25;
m = 0.3;
l = 0.28
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
g = 9.81;
fric=0.1;
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI;
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI;
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0];
%%
%%Sistema llaç obert
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
%%
%%Sistema en llaç tancat
%Calcul controlador assignacio de pols
pols_cont=[-10;-10;-2+2i;-2-2i]%Pols definitius
K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont);
espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0);
%%
%%Discretitzar el model lineal
%Calcul temps de mostreig
pol_mes_rapid=pols_cont(1);
pcd1=pols_cont(1);
pcd2=pols_cont(2);
pcd3=pols_cont(3);
pcd4=pols_cont(4);
tau=-1/pol_mes_rapid;
N=4;
```

```

hmax=(tau/N);
% hmax =
% 0.0167
h=0.015; %fixem h mes petita a la maxima calculada
while h>=hmax
    prompt = 'Periodo de muestreo no ajustado?(ajustar):';
    h = input(prompt);
end
%pols discrets desitjats
pdd1=exp(pcd1*h);
pdd2=exp(pcd2*h);
pdd3=exp(pcd3*h);
pdd4=exp(pcd4*h);
pdd=[pdd1 pdd2 pdd3 pdd4];
%система discret segons periode h calculat
ssdiscret=c2d(espai_obert,h);
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);
%Controlador discret
kd=acker(phi,gamma,pdd);
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd,gamma,Cd,Dd,h);
T=0:h:5;
%%
%Calcul sistema amb retard
tau=0.0250;%valor del retard dels motors
d=2;%n° variables a ampliar
tp=0.01;%valor tau_prima de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh');
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%Calcular controlador posant com a pols dels components ampliat zi=0
phi_ampliada=[phi_h phi_htprima*gamma_tprima gamma_htprima
;
[0 0 0 0 ] 0 eye(1) ;
[0 0 0 0 ] 0 0 ] ;
gamma_ampliada=[[0;0;0;0];0;eye(1)];
C_ampliada=[[C_PI] [0 0;0 0 ]];
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0 0]);
%%
%%Control integral
%NO RETARD(parece OK)
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi];
Gamint=[0;gamma];
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.9]);
Ki=Kint(1);
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)];
%RETARD(testing)
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0 0]]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0]' phi_ampliada];
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada];
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0 0.9]);
Ki_retard=Kint_retard(1);
Kdi_retard=[Kint_retard(2) Kint_retard(3) Kint_retard(4) Kint_retard(5)
Kint_retard(6) Kint_retard(7)];
%open('SIM_Escombrat');
for n = 0:0.5:3
    U=0;
    M = 6+n; %carro->7.25KG
    for p = 0:0.2:1 %varia m entre 0,1 i 1kg
        m = 0.1+p;
        for s = 0:0.05:0.45
            l = 0.15+s; %para variarlo
            J = (1/4*m*0.3)+(1/3*1*m);
            g = 9.81;

```

```
fric=0.1;
sim('SIM_Escombrat');
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(U.time, U.signals.values)
title('Senyal de control variant els paràmetres m, M i l')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X.time, X.signals.values)
title('Sortida posició escombrat')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI.time, PHI.signals.values)
title('Sortida angle escombrat')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
figure(2)
subplot(2,2,1)
plot(Unosat.time, Unosat.signals.values)
title('Senyal de control escombrat m, M i l')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
title('Senyal de control saturada variant m, M i l')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
plot(U_sat.time, U_sat.signals.values)
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X_sat.time, X_sat.signals.values)
title('Sortida posició escombrat')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI_sat.time, PHI_sat.signals.values)
title('Sortida angle escombrat')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
end
end
end
```

21.8.7 CODI MATLAB CONTROL OPTIM

```
%%Ecuaciones del sistema NO lineales
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICION
% x2=VELOCIDAD LINEAL
% x3=ANGULO PENDULO
% x4=VELOCIDAD ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[((U-
fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3))*(J+m*l*l)+(m*m*l*l*cos(x3)*sin(x3)*g))/((J+(m*l*l
))*(M+m)-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)))]];
x3_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*l*g*sin(x3))-
(m*m*l*l*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))+m*l*cos(x3)*((fric*x2)-
U)]/(((J+(m*l*l))*(M+m)-(m*m*l*l*cos(x3)*cos(x3)))]];
%%Puntos de equilibrio del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealización de las ecuaciones en el angulo n*PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0)

U=0;
M = 7.25; %carro->7.240KG
m = 0.3; %pendulo->"eso ni lo cuentas " ¿¿??
l = 0.28;
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m);
g = 9.81;
fric=0.1;
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0]
%%
%%Control optim LQR
%%R > 0 and
%%Q?NR^?l N^T?0.
phi_cero=170*0.0174532925;%condició inicial 3.12rad
i=1000
w=1
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=1/i
K1 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=3/i
K2 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=5/i
K3 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=7/i
K4 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
```



```

R=9/i
K5 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
%sim('SIM_Optim_LQR_060515');
%...11,22,33...
w = 10;
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.2
K11 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.5
K22 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.7
K33 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=0.9
K44 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
Q = w*C_PI'*C_PI;
R=1
K55 = lqr(A_PI,B_PI,Q,R)
%sim('SIM_Optim_LQR_060515');
%sim('SIM_Optim_LQR_060515')
espai_tancat_k4=ss(A_PI-B_PI*K4,B_PI,C_PI,0)
%%
%discretitzacio i guany discret
%dels pols resultants en llaç tancat del sistema amb K4
%tenim que el periode maxim de mostreig es de 0.56s
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
h=0.015;
espai_discret=c2d(espai_obert,h,'zoh');
pcd=eig(espai_tancat_k4);
pdd=exp(pcd*h);
[Ad,Bd,Cd,Dd]=ssdata(espai_discret);
kd=acker(Ad,Bd,pdd)
eig(ss(Ad-Bd*kd,Bd,Cd,Dd,h));
%%
%discret amb retard motors 25ms
tau=0.0250;
d=2;%n° variables a ampliar
tp=0.01;%valor de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh')
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%)Calcular controlador
phi_ampliada=[phi_h          phi_htprima*gamma_tprima          gamma_htprima
;
          [0 0 0 0 ]          0          eye(1)
;
          [0 0 0 0 ]          0          0          ]
gamma_ampliada=[[0;0;0;0];0;eye(1)]
C_ampliada=[[C_PI] [0 0;0 0 ]]
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd ;0; 0])
%control integral de la posició
%Sense retard
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(espai_discret);
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi]
Gamint=[0;gamma]
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd; 0.9])
Ki=Kint(1)
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)]
%Amb retard actuacio motors
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0 0]] %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0]' phi_ampliada]

```

```
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada]
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd; 0 ;0; 0.7])
Ki_retard=Kint_retard(1)
Kdi_retard=[Kint_retard(2)    Kint_retard(3)    Kint_retard(4)    Kint_retard(5)
Kint_retard(6) Kint_retard(7)]
sim('SIM_Optim_LQR');
subplot(2,1,1)
%subplot(2,2,1)
plot(Unosat_i.time, Unosat_i.signals.values)%grafica senyal de control
title('Senyal de control resultant amb control integral, condició x3=3.12rad')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
% subplot(2,2,2)
% plot(Usat.time, Usat.signals.values)%grafica senyal saturada
% title('Senyal de control saturada')
% xlabel('Temps simulació (s)')
% ylabel('Senyal de control (N)')
% hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X_i.time, X_i.signals.values)%grafica sortida posició
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI_i.time, PHI_i.signals.values)%grafica sortida angle
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
figure()
sim('SIM_Optim_LQR');
%subplot(2,1,1)
subplot(2,2,1)
plot(Unosat_i_sat.time, Unosat_i_sat.signals.values)%grafica senyal de control
title('Senyal de control resultant amb control integral, condició x3=3.12rad')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
plot(Usat_i.time, Usat_i.signals.values)%grafica senyal saturada
title('Senyal de control saturada resultant amb control integral')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(X_i_sat.time, X_i_sat.signals.values)%grafica sortida posició
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHI_i_sat.time, PHI_i_sat.signals.values)%grafica sortida angle
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
```

21.8.8 Codi MATLAB Control integral

```
%%Ecuaciones del sistema NO lineales
clear all;close all;
syms x1 x2 x3 x4 U;
syms M m g l fric fric_a J;
syms x1_punto x2_punto x3_punto x4_punto;
% x1=POSICION
% x2=VELOCIDAD LINEAL
% x3=ANGULO PENDULO
% x4=VELOCIDAD ANGULAR
x1_punto=x2;
x2_punto=[(U-
fric*x2+m*l*x4*x4*sin(x3))*(J+m*l*1)+(m*m*l*1*cos(x3)*sin(x3)*g)]/[(J+(m*l*1
))* (M+m)-(m*m*l*1*cos(x3)*cos(x3))];
x_punto=x4;
x4_punto=[(M+m)*(-m*l*g*sin(x3))-
(m*m*l*1*x4*x4*sin(x3)*cos(x3))+(m*l*cos(x3)*((fric*x2)-
U))]/[(J+(m*l*1))* (M+m)-(m*m*l*1*cos(x3)*cos(x3))];
%%Puntos de equilibrio del sistema
% x1=0
% x2=0
% x3=0 ó n*pi
% x4=0
%% Linealización de las ecuaciones en el angulo n*PI
J2=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [x1 x2 x3 x4])
J_A_PI = subs(J2, 'x1', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x2', 0);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x3', pi);
J_A_PI = subs(J_A_PI, 'x4', 0)
J3=jacobian([x1_punto ; x2_punto ; x3_punto ; x4_punto], [U])
J_B = subs(J3, 'x1', 0);
J_B = subs(J_B, 'x2', 0);
J_B = subs(J_B, 'x3', pi);
J_B = subs(J_B, 'x4', 0)
%%
%%Valors de la planta actual
U=0;
M = 7.25; %massa carro
m = 0.3; %massa pèndul (persona)
l = 0.28;%Alçada del centre de masses de la persona
J = (1/4*m*0.3)+(1/3*l*m); %Moment d'inèrcia
g = 9.81; %Gravetat
fric=0.1;
%%
%%substitució dels valors al model simbòlic
J1_PI=eval(J_A_PI);
A_PI=J1_PI
J_B_PI=eval(J_B);
B_PI=J_B_PI
C_PI=[1 0 0 0;0 0 1 0]
%%
%%Sistema llaç obert
close all;
espai_obert=ss(A_PI,B_PI,C_PI,0);
%%
%%Calcul controlador assignacio de pols
%%Pols desitjats en llaç tancat
pols_cont=[-10;-10;-2+2i;-2-2i];
K=acker(A_PI,B_PI,pols_cont)
espai_lt=ss(A_PI-B_PI*K,B_PI,C_PI,0)
%%
%%calcul temps de mostreig
pol_mes_rapid=pols_cont(1) %OJO% Seleccionar los polos mas rapidos,
%si los mas rapidos son imaginarios hace falta cambiar el metodo de calculo!!!
```

```

pcd1=pols_cont(1);
pcd2=pols_cont(2);
pcd3=pols_cont(3);
pcd4=pols_cont(4);
tau=-1/pol_mes_rapid;%POL_REAL=(-1/tau2)
N=4; %entre 4 y 10 segun si es mas o menos puntos
hmax=(tau/N)
% hmax =
% 0.0167
h=0.015 %fixem h mes petita a la maxima calculada
while h>=hmax
    prompt = 'Periodo de muestreo no ajustado?(ajustar):';
    h = input(prompt);
end
%%
%Sistema discret
%pols discrets desitjats
pdd1=exp(pcd1*h);
pdd2=exp(pcd2*h);
pdd3=exp(pcd3*h);
pdd4=exp(pcd4*h);
pdd=[pdd1 pdd2 pdd3 pdd4];
%systema discret
ssdiscret=c2d(espai_obert,h)
[phi,gamma,Cd,Dd]=ssdata(ssdiscret);
%controlador discret
kd=acker(phi,gamma,pdd)
ssdiscret_lt=ss(phi-gamma*kd,gamma,Cd,Dd,h);
T=0:h:5;
%%
%systema ampliat discret amb retard
tau=0.0250;%valor del retard dels motors
d=2;%nº variables a ampliar
tp=0.01;%valor tau prima de la formula
tprima=tp;
ss_h=c2d(espai_obert,h,'zoh')
[phi_h,gamma_h,Cd,Dd]=ssdata(ss_h);
ss_tprima=c2d(espai_obert,tprima,'zoh');
[phi_tprima,gamma_tprima,C_tprima,D_tprima]=ssdata(ss_tprima);
ss_htprima=c2d(espai_obert,h-tprima,'zoh');
[phi_htprima,gamma_htprima,C_htprima,D_htprima]=ssdata(ss_tprima);
%Calcular controlador posant com a pols dels components ampliat z=0
phi_ampliada=[phi_h          phi_htprima*gamma_tprima          gamma_htprima
;
          [0 0 0 0 ]          0          eye(1)
;
          [0 0 0 0 ]          0          0          ]
gamma_ampliada=[[0;0;0;0];0;eye(1)]
C_ampliada=[[C_PI] [0 0;0 0]]
%controlador discret sistema amb retard
K_retard=acker(phi_ampliada,gamma_ampliada,[pdd 0 0])
%%
%%Control integral
%SENSE RETARD (discret)
Cd=[1 0 0 0]; %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint=[1 Cd; [0 0 0 0]' phi]
Gamint=[0;gamma]
%guany discret control integral
Kint=acker(Phiint,Gamint, [pdd 0.4])
%guany integral sense retard
Ki=Kint(1)
%guany integral variables del sistema amb retard
Kdi=[Kint(2) Kint(3) Kint(4) Kint(5)]
%Control integral amb RETARD
C_ampliada_retard=[[1 0 0 0 ] [0 0]] %Ja que nomes fem tracking de posicio!
Phiint_retard=[1 C_ampliada_retard; [0 0 0 0 0 0]' phi_ampliada]%Phi ampliada
retard
Gamint_retard=[0;gamma_ampliada] %Gamma ampliada retard

```

```
Kint_retard=acker(Phiint_retard,Gamint_retard, [pdd 0 0 0.9])%Guany variables i
integral
%Guany integral amb el retard
Ki_retard=Kint_retard(1)
%guany del controlador amb control integral
Kdi_retard=[Kint_retard(2)    Kint_retard(3)    Kint_retard(4)    Kint_retard(5)
Kint_retard(6) Kint_retard(7)]%Guany variables sistema
%%
%Resultats simulacio CONTROL INTEGRAL
r=1%consigna posició
open('SIM_Control_integral');
sim('SIM_Control_integral');
figure(1)
subplot(2,1,1)
plot(Ui_nosat.time, Ui_nosat.signals.values)
title('Senyal de control amb control integral, consigna 1m')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(Xi_nosat.time, Xi_nosat.signals.values)
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHIi_nosat.time, PHIi_nosat.signals.values)
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
figure(2)
subplot(2,2,1)
plot(Ui_nosat1.time, Ui_nosat1.signals.values)
title('Senyal de control amb control integral, consinga 1m')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
plot(Ui_sat1.time, Ui_sat1.signals.values)
title('Senyal de control saturada amb control integral, consigna 1m')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(Xi_sat1.time, Xi_sat1.signals.values)
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)

plot(PHIi_sat1.time, PHIi_sat1.signals.values)
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
%%
%Resultats simulacio CONTROL POSICIO
figure(4)
subplot(2,1,1)
%subplot(2,2,1)
plot(Up_nosat1.time, Up_nosat1.signals.values)
title('Senyal de control amb control de posició, consinga 1m')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,2)
```

```
plot(Up_sat1.time, Up_sat1.signals.values)
title('Senyal de control saturada amb control de posició, consigna 1m')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Senyal de control (N)')
hold on;
subplot(2,2,3)
plot(Xp_sat1.time, Xp_sat1.signals.values)
title('Sortida posició')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Posició (m)')
hold on;
subplot(2,2,4)
plot(PHIp_sat1.time, PHIp_sat1.signals.values)
title('Sortida angle')
xlabel('Temps simulació (s)')
ylabel('Angle (rad)')
hold on;
```

21.8.9 Codi Arduino

```
#include "Wire.h"
#include "I2Cdev.h"
#include "MPU6050.h"
#include "math.h"
#include <mcp_can.h>
#include <SPI.h>

#define RAD_A_DEG 57.295779
#define A_R 16384.0
#define G_R 131.0
#define PI 3.1415926
#define h 14
#define r 0.095
#define RPM_A_MS 0.10472
#define k1 31.1206
#define k2 44.5245
#define k3 404.5417
#define k4 135.6138
#define k5 0.0931
#define k6 0.1762

MPU6050 accelgyro;
MCP_CAN CAN(10);

long unsigned int ID = 768;
unsigned char valor[5] = {2, 0, 0, 0, 0};
unsigned char len = 7;
unsigned char recibidos[7];
int velocitatH, velocitatL, velocitat;

int16_t ax, ay, az;
int16_t gx, gy, gz;
float anguloX = 0;
float vel_ang = 0;
int tempsreal, tempsanterior;
float u = 0, u1 = 0, u2 = 0, u3 = 0, u4 = 0, u5 = 0, u6 = 0, uant = 0, uant2 = 0;
float distancia = 0, velocitatms = 0;
float intensitat;
```

```
int intensitatL, intensitatH;

void setup(void)
{
  Serial.begin(115200);
  Wire.begin();
  while (CAN_OK != CAN.begin(CAN_1000KBPS));
  Serial.println("CAN BUS Shield init ok!");
  CAN.init_Mask(0, 0, 0x3ff);
  CAN.init_Filt(3, 0, 768);
  accelgyro.initialize();
  while (accelgyro.testConnection() == LOW);
  Serial.println("MPU6050 connection successful");
}

void loop(void)
{
  tempsanterior = millis();
  accelgyro.getAcceleration(&ax, &ay, &az);
  accelgyro.getRotation(&gx, &gy, &gz);
  // Calcul de la u i els seus components
  u1 = distancia * k1;
  u2 = velocitatms * k2;
  u3 = anguloX * k3;
  u4 = vel_ang * k4;
  u5 = uant * k5;
  u6 = uant2 * k6;
  u = (u1 + u2 - u3 - u4 - u5 - u6);

  if (u > 17)
  {u = 17;}
  if (u < -29)
  {u = -29;}
  uant2 = uant;
  uant = u;

  if (uant2 / uant < 0)
  { valor[0] = 3;
    valor[3] = 2;
    valor[4] = 0;
    CAN.sendMsgBuf(1281, 0, 5, valor);
```



```
CAN.sendMsgBuf(1313, 0, 5, valor);}

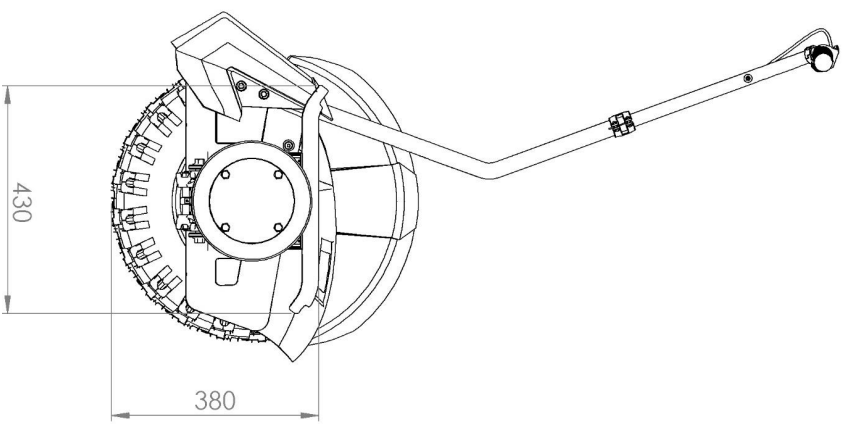
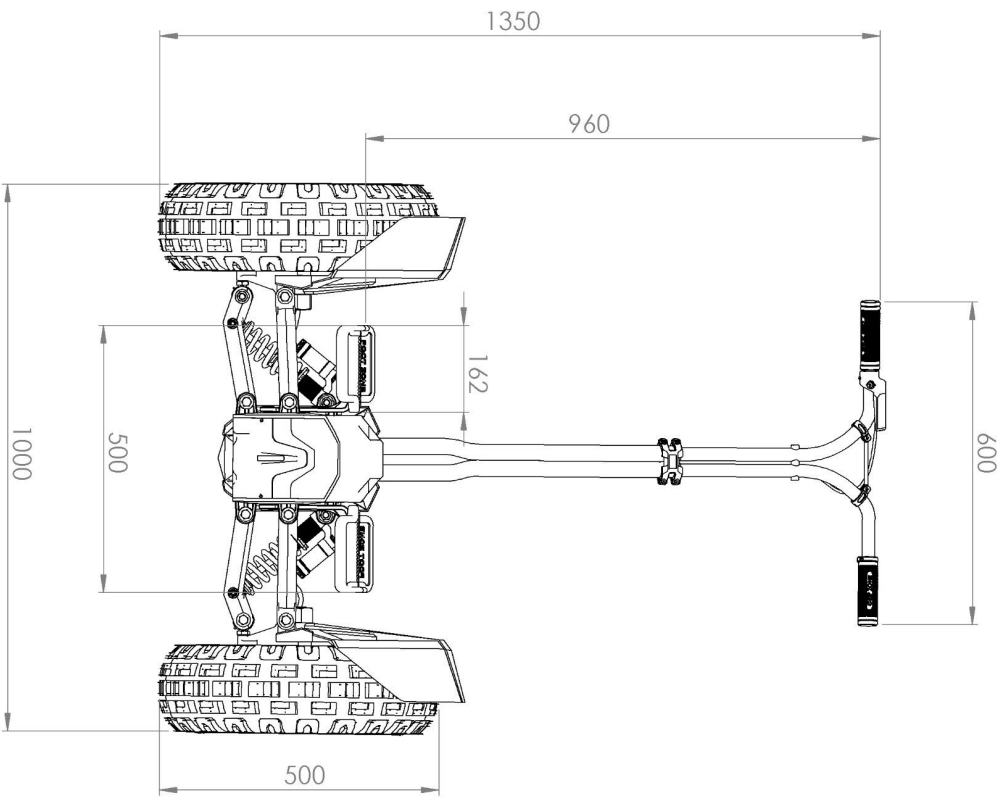
else
{if (u > 0)
  {intensitat = 4.3255 * (u * u) + 37.878 * u + 98.94;}
  if (u < 0)
  {intensitat = -(2.5465 * (u * u) - 13.935 * u + 160.95);}
  if (intensitat > 2000)
  {intensitat = 2000;}
  if (intensitat < -2000)
  {intensitat = -2000;}
  intensitatH = intensitat / 256;
  intensitatL = intensitat - (256 * intensitatH);
  if (intensitat < 0)
  {intensitatL = -intensitatL;}
  valor[0] = 2;
  valor[3] = intensitatH;
  valor[4] = intensitatL;
}
CAN.sendMsgBuf(1281, 0, 5, valor);
CAN.sendMsgBuf(1313, 0, 5, valor);
CAN.readMsgBufID(&ID, &len, recibidos);

anguloX = 0.03 + (atan(((ay / A_R) / sqrt(pow((ax / A_R), 2) + pow((az / A_R), 2))))));
distancia = distancia + (velocitatms * h / 1000);
velocitatH = recibidos[0] * 256;
velocitatL = recibidos[1];
velocitat = velocitatH + velocitatL;
velocitatms = velocitat * r * RPM_A_MS;
vel_ang = (gx / G_R) / RAD_A_DEG;

Serial.print("U cont: ");
Serial.print(u);
Serial.print("\t");
Serial.print("Angle X: ");
Serial.print(anguloX);
Serial.print("\t");
Serial.print("Distancia (m): ");
Serial.print(distancia);
Serial.print("\t");
Serial.print("Int Error: ");
```

```
Serial.print(integral);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Velocitat (m/s): ");  
Serial.print(velocitatms);  
Serial.print("\t");  
Serial.print("Velocitat ang (rad/s): ");  
Serial.println(vel_ang);  
  
tempsreal = (millis() - tempsanterior);  
Serial.print("Temps execucio: ");  
Serial.println(tempsreal);  
delay(h - tempsreal);  
}
```

21.9 ANNEX I – PLÀNOLS



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COSAS SE EXPRESAN EN MM

ACABADO:

REPARAR Y
ROMPER ARSISTAS
VINAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISION 0

NOBRE
CORPORATIU
INDUSTRIAL VASA

BRMA

FECHA

TITULO:
Cotes generals de l'Àgil

DRBL.

VERE.

APROB.

N.º DE DIBUJO

FAIR.

CAID.

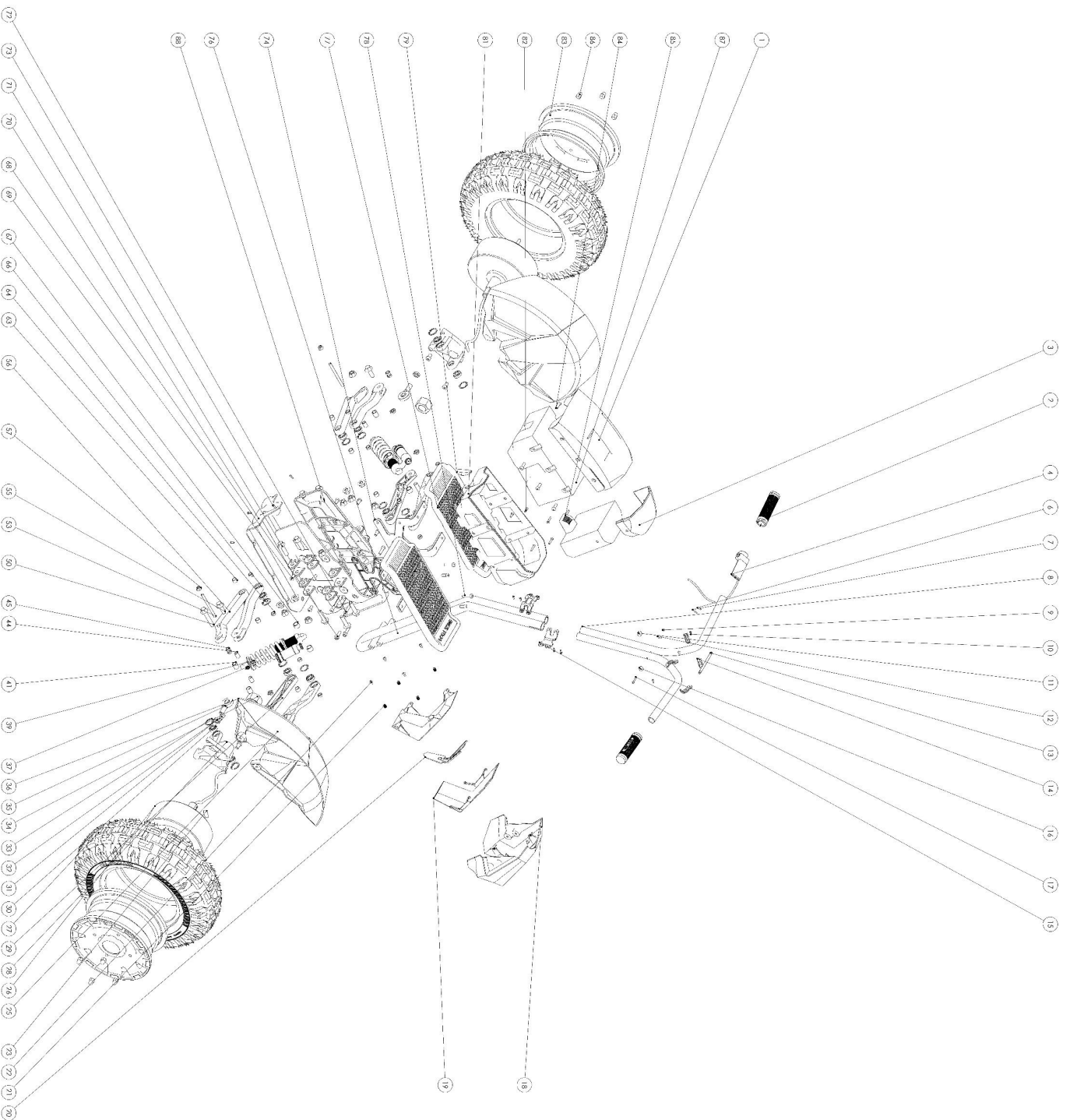
MATERIAL:

A3

PSO:

ESCALA: 1:10

HORA: 1 DE 1



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	Motor con cable	1
2	Pin	2
3	Cable conector	1
4	Panel filamentado	2
6	2x17984 -M3 x12---	2
7	2x17984 -M3 x20---	1
8	tuercas roscadas	1
9	resorte N.º 50-4023	1
10	1x17984 -M3 x14---	2
11	resorte N.º 1	1
12	resorte N.º 2	1
13	resorte	1
14	Conector tensor	4
15	resorte N.º 3	2
16	resorte N.º 4	1
17	1x17984 -M3 x16---	1
18	Cable conector del lim.	1
19	limpieza	1
20	limpieza	1
21	limpieza	1
22	1x16,4xM -M3 x0,8 x Positivo-PM5---10N	4
23	1x16,4xM -M3 x0,8 x Positivo-PM5---10N	4
24	1x16,4xM -M3 x0,8 x Positivo-PM5---10N	2
25	1x16,4xM -M3 x0,8 x Positivo-PM5---10N	1
26	1x16,4xM -M3 x0,8 x Positivo-PM5---10N	12
27	limpieza	2
28	limpieza	2
29	limpieza	2
30	1x17,984 -M3 x16---	12
31	1x17,984 -M3 x16---	4
32	1x17,984 -M3 x16---	4
33	1x17,984 -M3 x16---	12
34	1x17,984 -M3 x16---	2
35	limpieza	2
36	limpieza	2
37	limpieza	2
38	limpieza	4
39	limpieza	4
40	limpieza	4
41	limpieza	4
42	limpieza	4
43	limpieza	8
44	limpieza	2
45	limpieza	2
46	limpieza	2
47	limpieza	2
48	limpieza	2
49	limpieza	2
50	limpieza	2
51	limpieza	2
52	limpieza	2
53	limpieza	2
54	limpieza	2
55	limpieza	2
56	limpieza	2
57	limpieza	2
58	limpieza	2
59	limpieza	2
60	limpieza	2
61	limpieza	2
62	limpieza	2
63	limpieza	2
64	limpieza	2
65	limpieza	2
66	limpieza	2
67	limpieza	2
68	limpieza	2
69	limpieza	2
70	limpieza	2
71	limpieza	2
72	limpieza	2
73	limpieza	2
74	limpieza	2
75	limpieza	2
76	limpieza	2
77	limpieza	2
78	limpieza	2
79	limpieza	2
80	limpieza	2
81	limpieza	2
82	limpieza	2
83	limpieza	2
84	limpieza	2
85	limpieza	2
86	limpieza	2
87	limpieza	2
88	limpieza	2

COMPONENTS AGIL

Component's Agil

AG

21.10 ANNEX J – DATASHEETS

21.10.1 *Puñys*



Los puños Sip te ayudan a seguir cuando tienes las manos cansadas. Cuentan con un material súper adherente y duradero y una trama tipo gofre inspirada en los puños de moto, estratégicamente colocada para proporcionar una comodidad óptima y un máximo control.

- Material súper blando, fabricado en aramida
- Dibujo estratégicamente situado para mejorar el agarre y la comodidad
- Tramado único inspirado en las motos para máximo control y agarre del pulgar
- Diámetro: 28.5mm

21.10.2 ***Suspensió***

OUR HIGHEST PERFORMING COIL SHOCK:

REDESIGNED FOR MODERN AGGRESSIVE RIDING

The model year 2016 DHX2 Shock with Rod Valve System (RVS) damping offers more control, fast response, and 4-way adjusters that yield a perfect tune for every bike and riding style. The Super Light Steel (SLS) Spring is developed from power sports, designed to use less material and operate at high stress levels.

SAG SETTING

To achieve the best performance from your FOX suspension, you will need to attain your proper sag setting. Sag is the amount your suspension compresses under your weight and riding gear. Sag should be set to **30% of total shock travel**.

Consult your bicycle manufacturer's instructions for recommendations about setting sag.

Watch the sag setup video at ridefox.com/sagsetup

MEASURE AND ADJUST SAG

1. Measure the eye-to-eye distance on your bike's shock mounts.
2. With the help of a friend, sit on the bike in your normal riding position with your normal riding gear and measure eye-to-eye distance again. The difference between the two measurements is sag.
3. **To increase sag**, turn the preload adjuster counter-clockwise. If you cannot achieve 30% sag by turning the preload adjuster, you will need to obtain a **lower** rate spring.

To decrease sag, turn the preload adjuster clockwise no more than two full turns. If you cannot achieve 30% sag by turning the preload adjuster, you will need to obtain a **higher** rate spring.

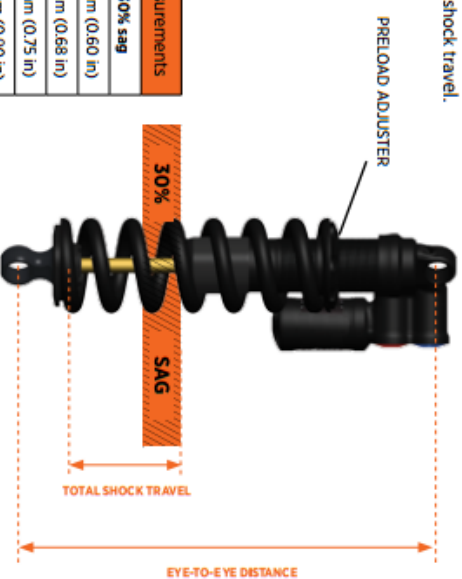


The recommended settings in this tuning guide are designed to be a **starting point**. In order to get you out on your first ride in as few steps as possible. Consult your bike manufacturer's instructions for setup recommendations.

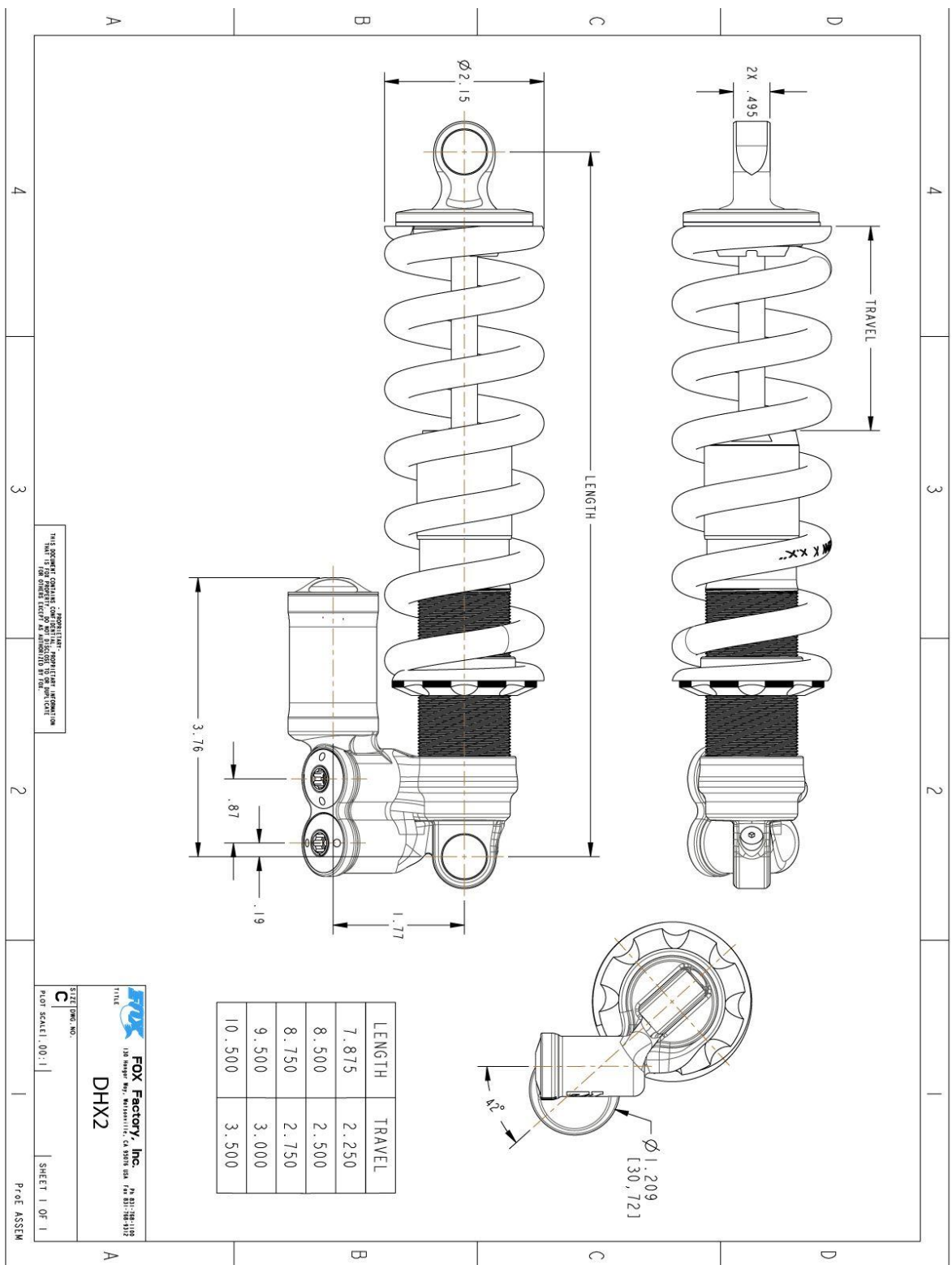
As you ride and get used to your new shock, adjust your settings as needed. Detailed information and videos can be found in the online owner's manual.

Your shock has a 4 digit ID code on the shock body. Use this number on the Help page at www.ridefox.com to find out more information about your shock, including shock travel.

Suggested Sag Measurements		
Travel	30% sag	
51 mm (2 in)	15 mm (0.60 in)	
57 mm (2.25 in)	17 mm (0.68 in)	
63 mm (2.5 in)	19 mm (0.75 in)	
76 mm (3 in)	23 mm (0.90 in)	
89 mm (3.5 in)	25 mm (1.0 in)	



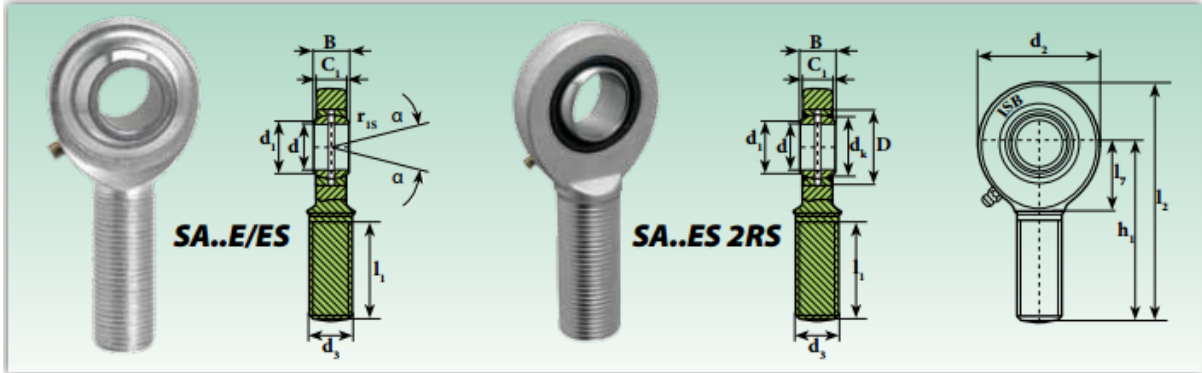
Disseny i implementació d'un vehicle de dues rodes paral·leles basat en el sistema d'un SEGWAY
Cibiach, Arnau; Corticans, Bru; Rodriguez, Víctor; Sánchez, Adrián; Vaquerizo, Daniel



21.10.3 Rótula

Cabezas de articulación


Rod ends



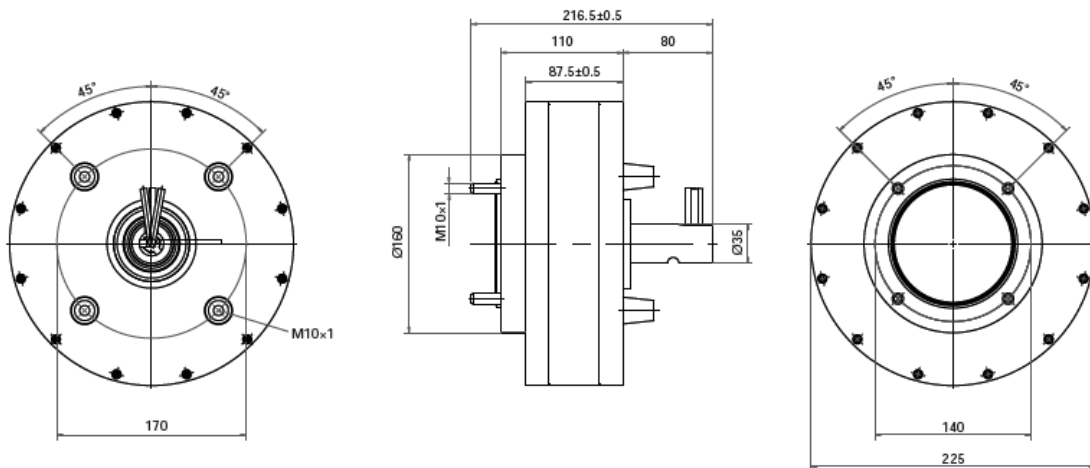
Sigla ¹⁾ Designation ¹⁾		Dimensiones mm Dimensions mm												Grados Degrees	Distancia de los bordes Distance from edges (mm.)	Carga Ratings load		Peso Weight
sin obturación without seal	con obturación with seal	d	d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	B	C ₁	D	h ₁	l ₁	l ₂	l ₃	≈ α	r _{1min}	Dinamico C Dinamic C	Estático C _s Static C _s	≈ Kg
SA 5 E ²⁾	-	5	7	21	M 5x0,8	-	6	4,4	-	36	16	46,5	-	13	0,3	3,4	8,1	0,016
SA 6 E ²⁾	-	6	8	21	M 6x1	10	6	4,4	14	36	18	46,5	12	13	0,3	3,4	10,2	0,017
SA 8 E ²⁾	-	8	10,2	24	M 8x1,25	13	8	6	16	42	22	54	14	15	0,3	5,5	16	0,029
SA 10 E ²⁾	-	10	13,2	29	M 10x1,5	16	9	7	19	48	27	62,5	15	12	0,3	8,15	22	0,051
SA 12 E ²⁾	-	12	14,9	34	M 12x1,75	18	10	8	22	54	30	71	19	11	0,3	10,8	30,4	0,086
SA 15 ES ³⁾	SA 15 ES 2RS	15	18,4	40	M 14x2	22	12	10	26	63	34	83	20	8	0,3	17	44,8	0,14
SA 17 ES ³⁾	SA 17 ES 2RS	17	20,7	46	M 16x2	25	14	11	30	69	36	92	23	10	0,3	21,2	56,5	0,19
SA 20 ES	SA 20 ES 2RS	20	24,1	53	M 20x1,5	29	16	13	35	78	43	104,5	27,5	9	0,6	30	75,6	0,31
SA 25 ES	SA 25 ES 2RS	25	29,3	64	M 24x2	35,5	20	17	42	94	53	126	32	7	0,6	48	88,2	0,56
SA 30 ES	SA 30 ES 2RS	30	34,2	73	M 30x2	40,7	22	19	47	110	65	146,5	37	6	0,6	62	119	0,89
SA 35 ES	SA 35 ES 2RS	35	39,7	82	M 36x3	47	25	21	55	140	82	181	43	6	0,6	80	159	1,4
SA 40 ES	SA 40 ES 2RS	40	45	92	M 39x3	53	28	23	62	150	86	196	48	7	0,6	100	194	1,8
SA 45 ES	SA 45 ES 2RS	45	50,7	102	M 42x3	60	32	27	68	163	94	218	52	7	0,6	127	259	2,6
SA 50 ES	SA 50 ES 2RS	50	56	112	M 45x3	66	35	30	75	185	106	241	60	6	0,6	156	313	3,4
SA 60 ES	SA 60 ES 2RS	60	66,8	135	M 52x3	80	44	38	90	210	115	277,5	75	6	1	245	485	5,9
SA 70 ES	SA 70 ES 2RS	70	77,8	160	M 56x4	92	49	42	105	235	125	315	87	6	1	315	564	8,2
SA 80 ES	SA 80 ES 2RS	80	89,4	180	M 64x4	105	55	47	120	270	140	360	100	6	1	400	689	13,10

Bajo demanda, están disponibles en acero inoxidable (aro interior AISI 440 C - aro exterior AISI 304)
 Under request, stainless steel available (AISI 440 C inner ring - AISI 304 housing)

21.10.4 Motor HUB

Motor data	PRA 230	
	Rated power	1.6 kW – 100 % ED
	Speed	420 rpm
	Max. torque	160 Nm
	Battery voltage	48 V
	Max. wheel load	2000 N
	Weight	16 kg

Dimensions



21.10.5 Tensor

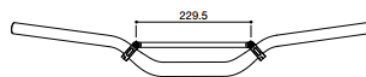


Crossbar




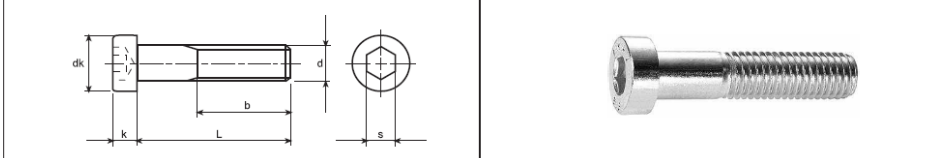
MA108B

Attention, the crossbar is only compatible with Rizoma tapered bars.




21.10.6 Cargols

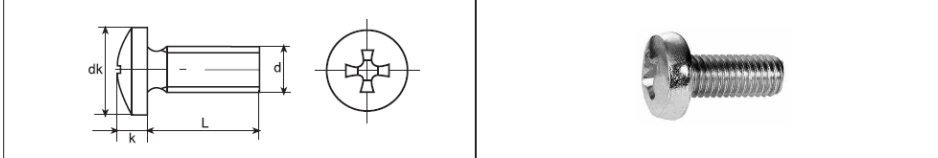
DIN 7984 Tornillos de cabeza cilíndrica baja con hueco hexagonal 



ISO EN


d1	M3	M4	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M18	M20	M22	M24
P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5	2,5	2,5	2,5
b	12	14	16	18	22	26	30	34	38	42	46	50	54
dk	5,5	7	8,5	10	13	16	18	21	24	27	30	33	36
k2	2	2,8	3,5	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
s	2	2,5	3	4	5	7	8	10	12	12	14	14	17
L	(5-20)	(6-25)	(8-30)	(10-40)	(12-60)	(16-60)	(20-80)	(30-80)	(30-80)	(40-100)	(40-100)	(50-100)	(50-100)
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	A2	A4			

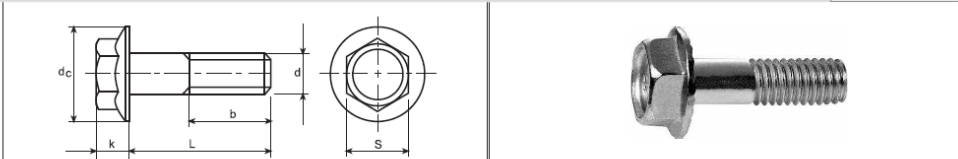
DIN 7985 Tornillos de cabeza cilíndrica abombada con hueco cruciforme 



ISO 7045 EN

d	M3	M4	M5	M6	M8					
P	0,5	0,7	0,8	1	1,25					
dk	6	8	10	12	16					
k	2,4	3,1	3,8	4,6	6					
Nr Phillip (H)	1	2	2	3	4					
L	(4-30)	(5-40)	(6-50)	(10-50)	(10-60)					
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	A2	A4

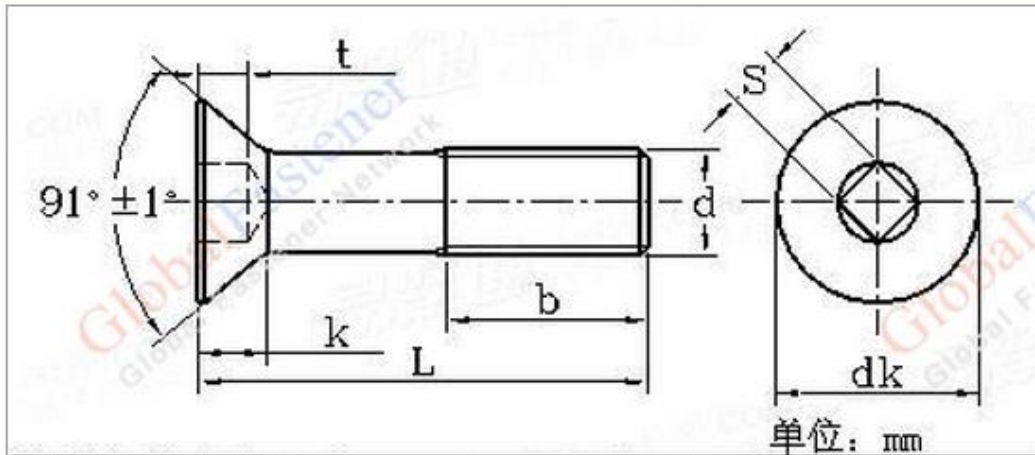
DIN 6921 Tornillos de cabeza hexagonal con collar biselado 



ISO 8100 EN

d	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20		
P	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5		
b	16	18	22	26	30	34	38	46		
k	5,40	6,6	8,1	9,2	11,5	12,8	14,4	17,1		
s	8	10	13	15	16	18	21	27		
dc	11,8	14,2	18	22,3	26,6	30,5	35	43		
L		(16-60)	(16-80)	(20-100)	(25-120)	(30-140)	(35-160)	(40-200)		
	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9	12.9	A2	A4

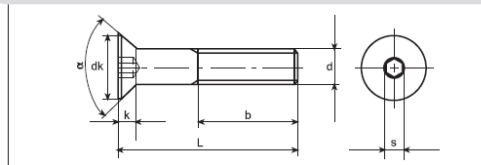
ASME/ANSI B 18.6.7M-1998 Metric square slot countersunk screws



螺纹规格 d	螺距 P	dk		k max	s	t
		max	min			
M2.5	0.45	4.7	4.4	1.5	1.78	1.68
M3	0.5	5.5	5.2	1.7	1.78	1.68
M3.5	0.6	7.3	6.9	2.3	2.31	2.44
M4	0.7	8.4	8	2.7	2.84	2.92
M5	0.8	9.3	8.9	2.7	2.84	3.23
M6	1	11.3	10.9	3.3	3.38	4.01
➔ M8	1.25	15.8	15.4	4.6	4.85	4.93
M10	1.5	18.3	17.8	5	4.85	4.93

DIN 7991


Tornillos de cabeza avellanada con hueco hexagonal

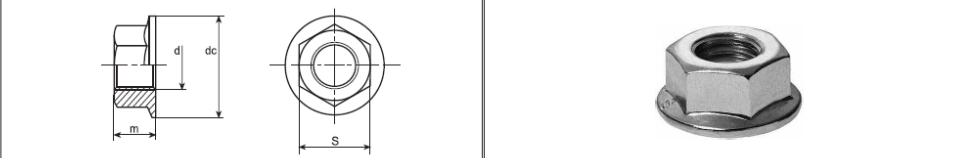


ISO EN

d	M3	M4	➔ M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2,5
b	12	14	16	18	22	26	30	38	46
dk	6	8	10	12	16	20	24	30	36
k (max)	1,7	2,3	2,8	3,3	4,4	5,5	6,5	7,5	8,5
α	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°
s	2	2,5	3	4	5	6	8	10	12
L	(8-30)	(8-40)	(8-50)	(10-50)	(10-60)	(12-70)	(20-70)	(30-90)	(35-100)
4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9 ●	12.9	A2 ●	A4


21.10.7 Famelles

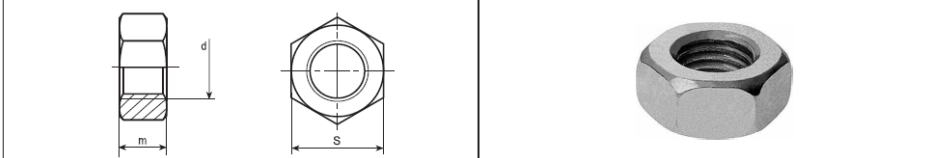
DIN 6923 **Tuercas con base** 



ISO 4161 EN

d	M5	M6	M8	M10	M12	M14	M16	M20
p	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2	2	2,5
m	5	6	8	10	12	14	16	20
s	8	10	13	15	18	21	24	30
dc	11,8	14,2	17,9	21,8	26	29,9	34,5	42,8
5	8 ●		10		A2 ●		A4	

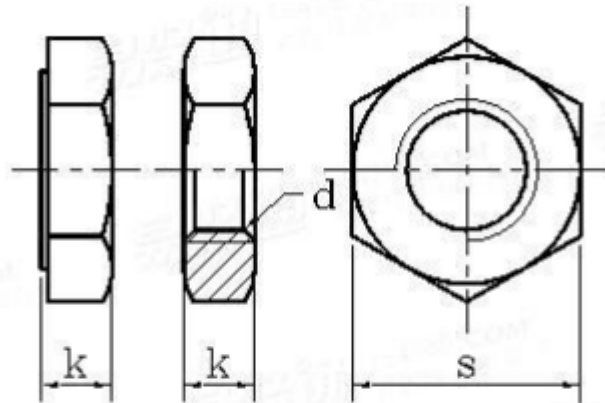
DIN 934 **Tuercas hexagonal** 



ISO 4032 EN 24032

d	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M10	M12	M14
P	0,5	0,7	0,8	1	1	1,25	1,5	1,75	2
m	2,4	3,2	4	5	5,5	6,5	8	10	11
s	5,5	7	8	10	11	13	17/16*	19/18*	22/21*
d	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33	M36
P	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5	4
m	13	15	16	18	19	22	24	26	29
s	24	27	30	32/34*	36	41	46	50	55
d	M39	M42	M45	M48	M52	M56	M60	M64	M68
P	4	4,5	4,5	5	5	5,5	5,5	6	6
m	31	34	36	37	42	45	48	51	54
s	60	65	70	75	80	85	90	95	100
d	M72	M76	M80	M90	M100	M110			
P	6	6	6	6	6	6			
m	58	61	64	72	80	88			
s	105	110	115	130	145	155			
5	8 ●		10		A2 ●		A4 ●		

ASME/ANSI B 18.2.4.5M - 1990



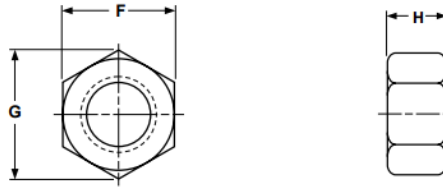
单位: mm

公称直径 d	螺距 P	s		k	
		max	min	max	min
M5	0.8	8.00	7.78	2.7	2.45
M6	1	10.00	9.78	3.2	2.90
M8	1.25	13.00	12.73	4.00	3.70
M10	1.5	16.00	15.73	5.00	4.70
M10	1.5	15.00	14.73	5.00	4.70
M12	1.75	18.00	17.73	6.00	5.70
→ M14	2	21.00	20.67	7.00	6.64
M16	2	24.00	23.67	8.00	7.64
M20	2.5	30.00	29.16	10.00	9.42
M24	3	36.00	35.00	12.00	11.3
M30	3.5	46.00	45.00	15.00	14.3
M36	4	55.00	53.80	18.00	17.3


**Hex Nut Style 2
 Class 12**

METRIC

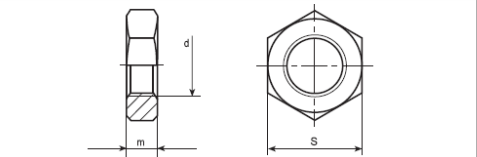

Nuts



METRIC - HEX NUTS, STYLE 2							ISO 4033
Nominal Size	Thread Pitch	F		G	H		
		Width Across Flats		Width Across Corners	Thickness		
		Max	Min	Min	Max	Min	
M5	0.8	8	7.78	8.79	5.1	4.8	
M6	1	10	9.78	11.05	5.7	5.4	
M8	1.25	13	12.73	14.38	7.5	7.14	
M10	1.5	16	15.73	17.77	9.3	8.94	
M12	1.75	18	17.73	20.03	12	11.57	
M14	2	21	20.67	23.35	14.1	13.4	
M16	2	24	23.67	26.75	16.4	15.7	
M20	2.5	30	29.16	32.95	20.3	19	
M24	3	36	35	39.55	23.9	22.6	
➔ M30	3.5	46	45	50.85	28.6	27.3	
M36	4	55	53.8	60.79	34.7	33.1	

DIN 439-B *Tuercas hexagonales bajas* 

ISO 4035 EN 24035

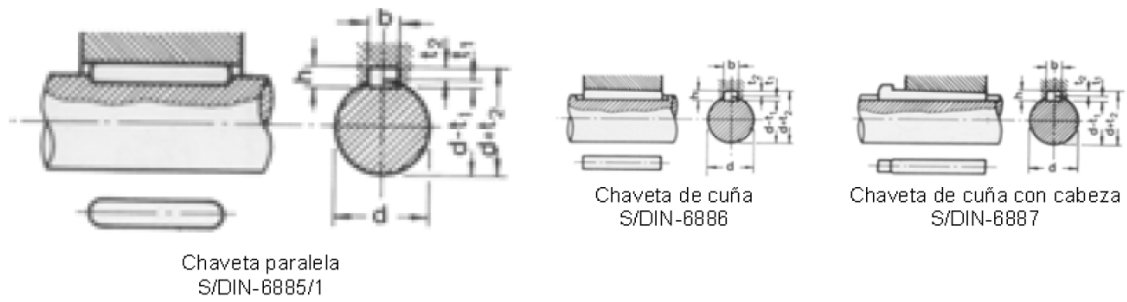
d	M3	M4	M5	M6	M8	M10	➔ M12	M14
P	0,5	0,7	0,8	1	1,25	1,5	1,75	2
m	1,8	2,2	2,7	3,2	4	5	6	7
s	5,5	7	8	10	13	17/16*	19/18*	22/21*

d	M16	M18	M20	M22	M24	M27	M30	M33
P	2	2,5	2,5	2,5	3	3	3,5	3,5
m	8	9	10	11	12	13,5	15	16,5
s	24	27	30	32/34*	36	41	46	50

d	M36	M39	M42	M45	M48	M52
P	4	4	4,5	4,5	5	5
m	18	19,5	21	22,5	24	26
s	55	60	65	70	75	80

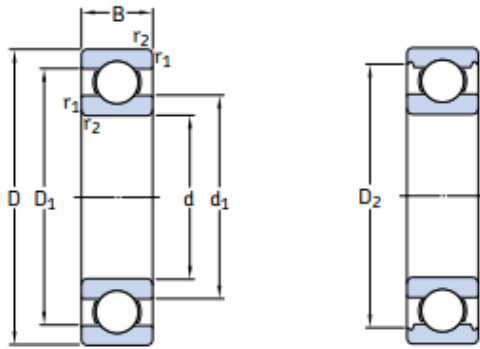
5 ● 8 ● 10 ● A2 ● A4

21.10.8 Xaveta



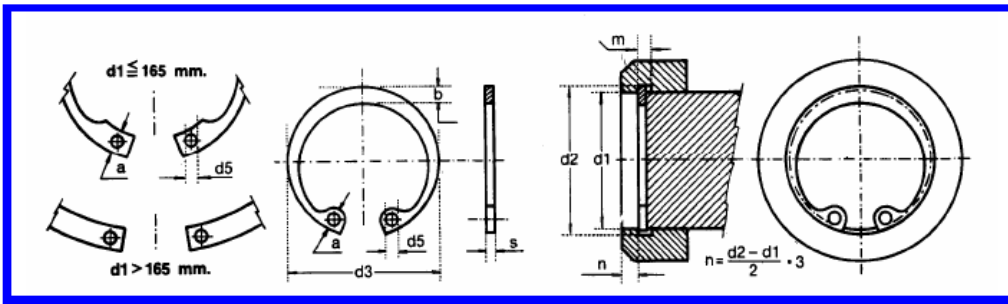
Ø eje d mm desde-hasta	Medidas chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas del chavetero en el eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda		
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886 y 6887		t ₁ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	Ø m/m desde-hasta	Tol. H-7 m/m	
		d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m	d + t ₂ m/m	Tol. admisible (en altura)m/m					
17-22	6x6	d+2,6	+0,1	d+2,1	+0,1	3,5	+0,2	10-18	+0,018 0	
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1				
30-38	10x8	d+3,4	d+2,8	4,7						
38-44	12x8	d+3,2	d+2,6	4,9						
44-50	14x9	d+3,6	d+2,9	5,5						
50-58	16x10	d+3,9	d+3,2	6,2						
58-65	18x11	d+4,3	d+3,5	6,8						
65-75	20x12	d+4,7	d+3,9	7,4						
75-85	22x14	d+5,6	d+4,8	8,5						
85-95	25x14	d+5,4	d+4,6	8,7						
95-110	28x16	d+6,2	+0,2	d+5,4	+0,2	9,9	180-250	+0,046 0		
110-130	32x18	d+7,1		d+6,1		11,1				
130-150	36x20	d+7,9		d+6,9		12,3				
150-170	40x22	d+8,7		d+7,7		13,5				
170-200	45x25	d+9,9		d+8,9		15,3				
200-230	51x28	d+11,2		d+10,1		17				
230-260	56x32	d+12,9		d+11,8		19,3				
260-290	63x32	d+12,6		+0,3		d+11,5	+0,3	19,6	400-500	+0,063 0

21.10.9 Rodaments



Principal dimensions			Basic load ratings		Fatigue load limit	Speed ratings		Mass	Designation
d	D	B	C	C ₀		Reference speed	Limiting speed		
mm			kN		kN	r/min	kg	-	
12	21	5	1,74	0,915	0,039	70 000	43 000	0,0063	61801
	24	6	2,91	1,46	0,062	67 000	40 000	0,011	61901
	28	8	5,4	2,36	0,1	60 000	38 000	0,021	* 6001
	30	8	5,07	2,36	0,1	60 000	38 000	0,026	16101
	32	10	7,28	3,1	0,132	50 000	32 000	0,037	* 6201
	37	12	10,1	4,15	0,176	45 000	28 000	0,06	* 6301
15	24	5	1,9	1,1	0,048	60 000	38 000	0,0065	61802
	28	7	4,36	2,24	0,095	56 000	34 000	0,016	61902
	32	8	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 16002
	32	9	5,85	2,85	0,12	50 000	32 000	0,03	* 6002
	35	11	8,06	3,75	0,16	43 000	28 000	0,045	* 6202
	42	13	11,9	5,4	0,228	38 000	24 000	0,082	* 6302
17	26	5	2,03	1,27	0,054	56 000	34 000	0,0075	61803
	30	7	4,62	2,55	0,108	50 000	32 000	0,016	61903
	35	8	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 16003
	35	10	6,37	3,25	0,137	45 000	28 000	0,038	* 6003
	40	12	9,95	4,75	0,2	38 000	24 000	0,065	* 6203
	40	12	11,4	5,4	0,228	38 000	24 000	0,064	6203 ETN9
	47	14	14,3	6,55	0,275	34 000	22 000	0,11	* 6303
	62	17	22,9	10,8	0,455	28 000	18 000	0,27	6403
20	32	7	4,03	2,32	0,104	45 000	28 000	0,018	61804
	37	9	6,37	3,65	0,156	43 000	26 000	0,037	61904
	42	8	7,28	4,05	0,173	38 000	24 000	0,05	* 16004
	42	12	9,95	5	0,212	38 000	24 000	0,067	* 6004
	47	14	13,5	6,55	0,28	32 000	20 000	0,11	* 6204
	47	14	15,6	7,65	0,325	32 000	20 000	0,098	6204 ETN9
	52	15	16,8	7,8	0,335	30 000	19 000	0,14	* 6304
	52	15	18,2	9	0,38	30 000	19 000	0,14	6304 ETN9
	72	19	30,7	15	0,64	24 000	15 000	0,41	6404
22	50	14	14	7,65	0,325	30 000	19 000	0,13	62/22
	56	16	18,6	9,3	0,39	28 000	18 000	0,18	63/22

21.10.10 Seeger



Med.Nom.	ANILLO						RANURA		
	d1	s h 11	d3	Tolerancia d3	a ≈	b ≈	d5 Min.	d2	Tolerancia d2
8	0,80	8,7	+0,36 -0,16	2,4	1,1	1,0	9,9	+0,11	0,90
9		9,8		2,5	1,3		10,4		
10	1,00	10,8		3,2	1,4	1,2	10,9		
11		11,8		3,3	1,5		11,4		
12		13,0	3,4	1,7	1,5	12,5			
13		14,1	3,6	1,8		13,6			
14		15,1	3,7	1,9	1,7	14,6			
15		16,2	3,8	2,0		15,7			
16		17,3	3,8	2,0	1,7	16,8			
17		18,3	3,9	2,1		17,8			
18		19,5	+0,42 -0,13	4,1	2,2	2,0	19,0		
19		20,5		2,3	20,0				
20	21,5	2,4		21,0					
21	22,5	2,4		22,0					
22	23,5	+0,42 -0,21	4,2	2,5	2,0	23,0			
23	24,6		2,5	24,1					
24	25,9		4,4	2,6	2,0	25,2			
25	26,9		4,5	2,7		26,2			
26	27,9	4,7	2,8	2,0	27,2				
27	29,1	2,9	28,4						
28	30,1	+0,21	4,8	3,0	2,0	29,4			
29	31,1		3,0	30,4					
β0	32,1		3,1	31,4					
31	33,4		5,2	3,1	32,7				