



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

TREBALL FI DE GRAU

Grau en Enginyeria Mecànica

**DESENVOLUPAMENT DEL CONJUNT MECÀNIC DE LA RODA
D'UN FORMULA STUDENT**



VOLUM I – Memòria

Autor: Albert Parera Mena
Director: Pedro Ortiz Morón
Convocatòria: Juny 2017

Resum

El present Treball Final de Grau té l'objectiu d'exposar tot allò dut a terme per a la realització de les peces que conformen el conjunt de components mecànics situats a la roda del vehicle de Formula Student desenvolupat durant la temporada 2015-2016 per l'equip de l'antiga EUETIB. Es posa de manifest tot allò tingut en compte pel seu desenvolupament al llarg de les diferents etapes, obtenint com a resultat final unes peces que compleixen satisfactòriament amb els objectius marcats, tant pel que fa a resistència, com pel que fa a pes i funcionament en general.

La memòria consta de quatre parts clarament diferenciades. En primer lloc es parla del context en el que es troben les peces que s'han de desenvolupar, així com allò que s'ha de tenir en compte per encarar el seu disseny. A continuació es detalla tot allò que té a veure amb el desenvolupament del dibuix en tres dimensions mitjançant *software* CAD. En tercer lloc es fa l'explicació de com s'ha garantit la resistència dels components a través de l'eina MEF i per últim s'exposa totes les activitats que han tingut a veure amb la fabricació, el muntatge i el funcionament de tots els components.

Per últim, a més a més, el treball consta de l'impacte ambiental que suposa el desenvolupament d'aquesta part del monoplaça, així com l'anàlisi del cost econòmic que implica aquest.

Resumen

El presente Trabajo Final de Grado tiene el objetivo de exponer todo aquello llevado a cabo para realizar las piezas que conforman el conjunto de componentes mecánicos situados en las ruedas del vehículo de Formula Student desarrollado durante la temporada 2015-2016 por el equipo de la antigua EUETIB. Se pone de manifiesto todo aquello tenido en cuenta para el desarrollo a lo largo de las diferentes etapas, consiguiendo como resultado final una piezas que cumplen satisfactoriamente con los objetivos marcados, por lo que a resistencia, peso y funcionamiento se refiere.

La memoria consta de cuatro partes claramente diferenciadas. En primer lugar se habla del contexto en el que se encuentran las piezas a diseñar, así como aquello tenido en cuenta antes de encarar definitivamente dicho diseño. A continuación se detalla todo aquello que tiene que ver con el desarrollo del dibujo en tres dimensiones a través de software CAD. En tercer lugar se hace la explicación de cómo garantizar la resistencia de los componentes a través de la herramienta MEF y por último se expone todas las actividades que han tenido que ver con la fabricación, el montaje y el funcionamiento de todos los componentes.

Por último además, el trabajo consta del impacto ambiental que supone el desarrollo de esta parte del monoplaça, así como el análisis del coste económico que éste implica.

Abstract

This Final Project aims to expose everything done for the realization of the mechanical parts located inside the wheel of the Formula Student vehicle developed by the EUETIB team during 2015-2016 season. It reveals everything taken into account for its development throughout the different stages, resulting with parts that satisfices in terms of resistance, weight and general performance with the desired objectives.

The report consists of four distinct parts. In the first one, it is explained the context and how it affects the concept of each part and his development. Below it is talked about the development of three-dimensional drawing using CAD software. After that there is the explanation of how to guarantee the resistance of components through the MEF tool and finally it is exposed all activities done in relation with the manufacture, assembly and the operation of all components.

Finally, in addition, work has involved the environmental impact of the development of these mechanical parts, as well as the analysis of the cost.

Agraïments

Agrair l'ajuda mostrada d' en Pedro Ortiz, tutor del present treball. El seus consells han ajudat a tenir confiança i suport durant la realització de la memòria.

Gràcies a totes les persones que han fet possible realitzar les peces desenvolupades, en especial a en Willy, amb qui s'han compartit moltes hores de feina junts. Agrair també a tots els membres de l'equip i persones que han fet possible tirar endavant el projecte, la gran experiència viscuda no hagués estat possible sense l'esforç de tots i totes.

Índex de figures

Figura 2.1 - Formula Student Germany 2015	18
Figura 2.2 - Equip e-Tech Racing a la FS Spain 2015	19
Figura 2.3 - Vehicle e-Va	21
Figura 2.4 - Representació en blau de la massa no suspesa de l'e-Va	22
Figura 2.5 - Mangueta d'un turisme	22
Figura 2.6 - Boixa d'un turisme	23
Figura 2.7 - Exemple de conjunt roda i massa no suspesa d'un turisme	23
Figura 2.8 - Conjunt-roda de l'equip URE d'Eindhoven	24
Figura 2.9 - Conjunt amb mangueta de fibra de carboni	24
Figura 2.10 - Dibuix 3D del Conjunt-roda de la temporada 2014-2015 (esquerra) i el de la 2015-2016 (dreta).	25
Figura 2.11 - Conjunt roda anterior muntat ne el cotxe	25
Figura 2.12 - Especejament del Conjunt-roda anterior	26
Figura 2.13 - Especejament del Conjunt-roda posterior	26
Figura 2.14 - Esquema del procés de disseny	28
Figura 3.1 - Alguns dels patrocinadors situats a la carrosseria del monoplaça	35
Figura 3.2 - Funcionament de l'esquema de les influències entre components	35
Figura 3.3 - Especejament d'un trapezi del sistema de suspensió i unió d'aquest amb la mangueta	36
Figura 3.4 - Exemple de punts geomètrics d'un sistema de suspensió	37
Figura 3.5 - Representació de la batalla i la via de l'e-Va	38
Figura 3.6 - Bieleta posterior en el CAD	39
Figura 3.7 - Representació dels angles de caiguda i càster (esquerra i dreta respectivament)	39
Figura 3.8 - Bieleta de direcció	39
Figura 3.9 - Part posterior del vehicle amb el sistema de transmissió	40
Figura 3.10 - Junta homocinètica i junta trípede (esquerra i dreta respectivament)	41
Figura 3.11 - Junta i conjunt d'elements del palier	42
Figura 3.12 - Extrem del palier i allotjament de la junta de la banda interior	42
Figura 3.13 - Sensor hall utilitzat	43
Figura 3.14 - Dibuix 3D de les manguetes anterior i posterior (costat esquerra del cotxe)	43
Figura 3.15 - Dibuix 3D de les boixes anterior i posterior (dreta i esquerra respectivament)	45
Figura 3.16 - Diferència de diàmetres entre els dos rodaments de la boixa anterior	46
Figura 3.17 - Suports del trapezi superior de la roda posterior (esquerra) i anterior (dreta).	47
Figura 3.18 - Suport de la pinça de fre anterior	48
Figura 3.19 - Suport de la pinça integrat al cos de la mangueta posterior	49
Figura 3.20 - Segon suport per a la pinça anterior de recanvi	50
Figura 3.21 - Dibuix 3D del suport de la bieleta de direcció	50
Figura 3.22 - Dibuix 3D de la roda del sensor de velocitat	51
Figura 3.23 - Dibuix 3D del suport de la manxa	53
Figura 3.24 - Dibuix 3D d'un casquet	54
Figura 3.25 - Dibuix 3D d'un platina de regulació	55
Figura 3.26 - Representació de la regulació de la caiguda amb les platines	55
Figura 3.27 - Dibuix 3D d'un distanciador i la seva ubicació	56
Figura 3.28 - Dibuix 3D del suport del sensor	56
Figura 3.29 - Conjunt de models de rodaments amb informació del fabricant	58
Figura 3.30 - Dibuix 3D d'un dels rodaments utilitzats a cada eix	58
Figura 3.31 - Dibuix 3D de la llanta utilitzada	59
Figura 3.32 - Tall de la llanta amb la representació de l'offset	60
Figura 3.33 - Dibuix 3D de la pinça de fre anterior	60
Figura 3.34 - Dibuix 3D propi de la pinça posterior i pinça real (dreta)	61
Figura 3.35 - Representació de l'espàrrec amb algunes de les mides més importants	62
Figura 3.36 - Espàrrecs adquirits	63
Figura 3.37 - Esquema general seguit per a la valoració del material més adient	65
Figura 3.38 - Taula de les necessitats tècniques buscades	65
Figura 3.39 - Carta de resistència en funció de la densitat	66
Figura 3.40 - Carta de Mòdul de Young en funció de la densitat	67
Figura 3.41 - Carta de Mòdul de Young en funció de la resistència	67
Figura 3.42 - Carta de Mòdul de Young específic en funció de la resistència específica	68
Figura 3.43 - Carta de Mòdul de Young en funció del preu per unitat de volum	70

Figura 4.1 – Dibuix 3D del vehicle complet	72
Figura 4.2 – Origen i eixos a l'espai seguit al dibuix 3D	73
Figura 4.3 – Eixos i referències utilitzades per referir-se a l'espai	74
Figura 4.4 – Geometria de suspensió i direcció mostrada en el conjunt 3D	75
Figura 4.5 – Representació de l'angle de caiguda amb el dibuix CAD	76
Figura 4.6 - Parts de la mangueta	76
Figura 4.7 Croquis principal de la mangueta anterior	77
Figura 4.8 – Croquis dels allotjaments dels rodaments de la mangueta posterior	78
Figura 4.9 – Croquis i extrusió de tall dels buidats	78
Figura 4.10 – Croquis i revolució de tall per crear la superfície frontal	79
Figura 4.11 - Croquis de les prolongacions	79
Figura 4.12 - Limitació en Y de la mangueta degut a la caixa	80
Figura 4.13 - Prolongacions al llarg de l'eix Y	81
Figura 4.14 – Forats per unir el suport de la bieleta a la mangueta anterior	81
Figura 4.15 – Situació del forat en funció del punt L3F	82
Figura 4.16 – Superfície corba de les dues bandes de la mangueta	83
Figura 4.17 - Situació dels punts en el croquis principal i angle càster	83
Figura 4.18 – Introducció de l'extrem del trapezi a dins la mangueta	84
Figura 4.19 - Situació amb la roda girada	84
Figura 4.20 – Diferents geometries estudiades per als nervis de les manguetes	85
Figura 4.21 – Les caixes i les seves parts	85
Figura 4.22 – Dibuix del cos principal de la caixa anterior	86
Figura 4.23 Pla de la flor del disc	86
Figura 4.24 - Croquis de la flor del disc	86
Figura 4.25 – Revolució de tall per a crear el rebaix interior	87
Figura 4.26 – Forat en forma de trèvol	87
Figura 4.27 - Vista en tall de la caixa i la mangueta	88
Figura 4.28 - Croquis amb les mides dependents dels rodaments	88
Figura 4.29 – Xamfrà de la cantonada interior de la caixa	89
Figura 4.30 – Separació entre roda del sensor i mangueta	89
Figura 4.31 – Vista en tall del Conjunt-roda anterior amb les limitacions d'espai	90
Figura 4.32 – Croquis de la flor de la llanta	91
Figura 4.33 - Sentit d'introducció dels espàrrecs a la caixa	91
Figura 4.34 – Interferència produïda entre espàrrec i caixa posterior	92
Figura 4.35 - Secció del conjunt posterior amb les peces del palier a l'interior de la caixa	93
Figura 4.36 – Geometria que dificultava la fabricació en la caixa posterior	94
Figura 4.37 - Parts i croquis principal del suport del trapezi	94
Figura 4.38 - Espai per situar el suport del trapezi	94
Figura 4.39 - Croquis del suport de la pinça	95
Figura 4.40 – Parts i croquis principal del suport de la bieleta	96
Figura 4.41 – Espai per situar el suport de la bieleta	96
Figura 4.42 – Proximitat entre suport de la bieleta i disc	97
Figura 4.43 - Parts de la roda del sensor	97
Figura 4.44 – Unió entre roda del sensor i caixa	98
Figura 4.45 – Vista en secció del suport de la manxa i el seu context	99
Figura 4.46 – Parts dels casquets	100
Figura 4.47 – Geometries a evitar (esquerra) i representació de les estacades	101
Figura 4.48 – Gruixos de nervis i braços de mangueta i suport de bieleta respectivament	101
Figura 4.49 - Radis grans a la caixa	102
Figura 4.50 – Influència de la unió cargolada en l'amplada de la mangueta	103
Figura 4.51 – Sentit d'introducció del cargol inferior de la mangueta	103
Figura 4.52 – Comprovació del correcte desmuntatge de les unions	103
Figura 5.1 – Resum de les diferents eines de sobre-dimensionament aplicades al càlcul	111
Figura 5.2 - Quadre de control de la malla	113
Figura 5.3 – Arbre amb el control dels aspectes de la simulació i els resultats desitjats	114
Figura 5.4 - Resultats de la deformació	115
Figura 5.5 – Zona amb tensions màximes de la caixa posterior	115
Figura 5.6 - Càrregues aplicades a les manguetes	116
Figura 5.7 – Aplicació de les càrregues a L3F i la càrrega remota a U3F	117

Figura 5.8 – Selecció de connexió rígida per a la simulació amb càrregues remotes	118
Figura 5.9 – Càrrega provinent de la bieleta de direcció	118
Figura 5.10 – Aplicació del parell de frenada a les manguetes	118
Figura 5.11 – Reaccions a les superfícies dels rodaments de les manguetes	119
Figura 5.12 – Fixacions introduïdes al SolidWorks (C1, C2 i C3 d'esquerra a dreta, respectivament)	119
Figura 5.13 – Encastament imposat a la mangueta	120
Figura 5.14 – Visualització ISO <i>Clipping</i> amb els valors màxims de tensió	121
Figura 5.15 – Zones de desplaçament màxim (mangueta)	122
Figura 5.16 – Càrregues aplicades a les boixes	123
Figura 5.17 – Aplicació de les càrregues del pneumàtic als forats	124
Figura 5.18 – Aplicació de les càrregues del pneumàtic a la superfície de recolzament de la llanta	124
Figura 5.19 – Aplicació del parell de frenada a la caixa	125
Figura 5.20 – Aplicació del parell-motor a la caixa posterior	125
Figura 5.21 – Localització de les forces i de les reaccions (boixes)	125
Figura 5.22 – Fixacions introduïdes al SolidWorks (C1, C2 i C3 d'esquerra a dreta, respectivament)	126
Figura 5.23 – Variació de la localització de la tensió màxima en la simulació B3	127
Figura 5.24 – Zones amb tensions mitges de les boixes	128
Figura 5.25 – Zones amb desplaçaments màxims de les boixes	128
Figura 5.26 – Visualització de les càrregues aplicades als suports dels trapezis	129
Figura 5.27 – Encastaments del suport del trapezi	130
Figura 5.28 – Valor màxim de la tensió en els trapezis (simulació C12)	131
Figura 5.29 – Localització màxima de la tensió i la deformació (simulació C12).	131
Figura 5.30 – Zones de desplaçament màxim dels suports dels trapezis	132
Figura 5.31 – Aplicació del parell als forats del suport de la pinça	133
Figura 5.32 – Condicions de contorn in sol·licitacions aplicades al suport de la pinça	133
Figura 5.33 – Ubicació de les tensions màxims del suport de la pinça	134
Figura 5.34 – Zones amb desplaçaments màxims del suport de la pinça	134
Figura 5.35 – Forces del suport de la bieleta aplicades als forats	135
Figura 5.36 – Encastament aplicat als forats	135
Figura 5.37 – Localització dels valors mitjos i màxims del suport de la bieleta	136
Figura 5.38 – Zones de desplaçament màxim del suport de la bieleta	136
Figura 5.39 – Encastament i força aplicada al suport de la manxa	137
Figura 5.40 – Tensió màxima de la roda i del suport de la manxa (esquerra i dreta respectivament).	137
Figura 5.41 – Tensional en el distanciador	137
Figura 5.42 – Diferents geometries estudiades per als nervis de les manguetes	139
Figura 5.43 – Exemples de boixes amb mono-rosca de l'equip ETSEIB Motorsport	141
Figura 5.44 – Proves a les potes de la caixa	142
Figura 5.45 – Acumulació de tensions en els braços de la caixa	142
Figura 5.46 – Gruixos e i l de les boixes	143
Figura 5.47 – Esglaió degut al centrador i forat de reducció de material de la caixa posterior	144
Figura 5.48 – Representació de les forces que actuen al pneumàtic i denominació dels rodaments	145
Figura 5.49 – Taula seguida per al dimensionament dels cargols	146
Figura 6.1 – Boixes en procés de fabricació (esquerra) i conjunt de boixes i manguetes acabades de fabricar (dreta)	147
Figura 6.2 – Parts d'un espàrrec de vehicle turisme	148
Figura 6.3 – Proves realitzades amb l'espàrrec	148
Figura 6.4 – Blocs d'alumini entregats pel proveïdor	149
Figura 6.5 – Evolució de la roda del sensor al llarg de les seves tres etapes	150
Figura 6.6 – Roda de sensor virtual i real	150
Figura 6.7 – Geometria circular de l'esglaió del casquet	151
Figura 6.8 – Proves d'encaix amb l'esglaió del casquet acabat de llimar	152
Figura 6.9 – Tubs per fabricar els distanciadors	152
Figura 6.10 – Suport del sensor fabricat	153
Figura 6.11 – Representació de la inserció dels espàrrecs a la caixa (esquerra) i foto del moment real (dreta)	154
Figura 6.12 – Caixa posterior amb l'espàrrec ja muntat	154
Figura 6.13 – Representació de la introducció dels rodaments	155
Figura 6.14 – Conjunt entre caixa i mangueta acabat de muntar	155
Figura 6.15 – Realització de feines en el taller	156
Figura 6.16 – Filferro fent de <i>safety wiring</i> als cargols de la roda del sensor	156
Figura 6.17 – Llista de comprovació de les unions cargolades	156

Figura 6.18 – Jornada de test amb l'e-Va _____ 157

Índex de taules

Taula 2.1 - Components del Conjunt-roda _____	25
Taula 3.1 – Comparació entre diferents mètodes opcionals per a la fabricació de les peces estudiades _____	63
Taula 3.2 - Valoració entre els materials compostos i els metàl·lics _____	68
Taula 3.3 – Valoració de les característiques dels aliatges metàl·lics _____	69
Taula 5.1 – Característiques de les càrregues proporcionades pels departaments _____	112
Taula 5.2 – Resultats de massa i de tensió mitja màxima de les opcions de la caixa _____	142
Taula 5.3 - Reducció de material en funció del rebaix interior _____	143

Índex de gràfics

Gràfic 5.1 – Tensió màxima de la mangueta en funció de la malla i de les condicions de contorn _____	120
Gràfic 5.2 – Variació de les tensions màximes de les manguetes en funció de la malla _____	121
Gràfic 5.3 - Tensió màxima de la boixes en funció de la malla i de les condicions de contorn _____	126
Gràfic 5.4 – Variació de les tensions màximes de les boixes en funció de la malla _____	127
Gràfic 5.5 - Variació de les tensions màximes dels suports del trapezi en funció de la malla _____	131
Gràfic 5.6 - Variació de les tensions màximes del suport de la pinça en funció de la malla _____	133
Gràfic 5.7 - Variació de les tensions màximes del suport de la bieleta en funció de la malla _____	135
Gràfic 5.8 – Reducció els components de la temporada anterior _____	138
Gràfic 5.9 – Variació del factor de seguretat en funció de la massa _____	140
Gràfic 5.10 - Variació del desplaçament en funció de la massa _____	140

VOLUM I - Memòria

Índex

RESUM	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
AGRAÏMENTS	6
1. INTRODUCCIÓ	15
1.1. Origen del treball	15
1.2. Motivació	15
1.3. Objectius del treball	15
1.4. Abast del treball	16
2. CONTEXT: L'E-TECH RACING, L'E-VA I EL CONJUNT-RODA	18
2.1. La Formula Student, un resum ràpid	18
2.2. L'equip e-Tech Racing	19
2.3. e-Va: el 2on cotxe de l'e-Tech Racing	21
2.4. El Conjunt-roda - Què és i com s'ha dissenyat	21
2.4.1. Conjunt-Roda de l'e-Va	24
2.4.2. El disseny del conjunt roda	27
3. INICIS DEL DISSENY: INFLUÈNCIES, CONCEPTE I EVOLUCIÓ.	29
3.1. Aspectes que influencien el disseny	29
3.1.1. Objectius de temporada	29
3.1.2. Temps i planificació	30
3.1.3. Normativa FSAE	31
3.1.4. Els recursos de l'e-Tech Racing	32
3.1.5. Dependència entre components i departaments	35
3.2. Concepte i evolució dels components del conjunt roda	43
3.2.1. Manguetes	43
3.2.2. Boixes	45
3.2.3. Suports dels trapezis superiors	47
3.2.4. Suport de la pinça	48
3.2.5. Suport del la bieleta de direcció	50

3.2.6.	Roda del sensor de velocitat.....	51
3.2.7.	Suport de la manxa	53
3.2.8.	Casquets.....	54
3.2.9.	Platines.....	55
3.2.10.	Distanciadors.....	55
3.2.11.	Suport del sensor	56
3.2.12.	Rodaments	57
3.2.13.	Unions cargolades.....	59
3.3.	Mètodes de fabricació emprats	63
3.4.	Selecció dels materials.....	64
3.4.1.	Requeriments i necessitats.....	65
3.4.2.	Elecció genèrica.....	66
3.4.3.	Acotació.....	68
3.4.4.	Selecció final.....	69
3.4.5.	Alumini 7075-T6.....	70
4.	DISSENY DELS COMPONENTS MITJANÇANT CAD	72
4.1.	Disseny CAD - Origen a l'espai i característiques	73
4.2.	Assemblatge del Conjunt-roda.....	75
4.3.	Manguetes	76
4.3.1.	Operacions del dibuix CAD.....	76
4.3.2.	Influències d'altres components.....	80
4.4.	Boixes	85
4.4.1.	Operacions del dibuix CAD.....	85
4.4.2.	Influències d'altres components.....	88
4.4.3.	Evolucions del disseny CAD de les boixes.....	93
4.5.	Suports del trapezi superior	94
4.5.1.	Influències d'altres components.....	94
4.6.	Suport de la pinça	95
4.6.1.	Influències d'altres components.....	95
4.7.	Suport de la bieleta de direcció.....	96
4.7.1.	Influències d'altres components.....	96
4.8.	Roda del sensor de velocitat	97
4.8.1.	Influències d'altres components.....	98
4.9.	Suport de la manxa	98
4.9.1.	Influències d'altres components.....	99
4.10.	Casquets.....	100

4.10.1.	Influències d'altres components	100
4.11.	Influències de la fabricació i resistència en el disseny CAD	100
4.11.1.	Cos general	100
4.11.2.	Nervis i parets primes.....	101
4.11.3.	Radis.....	102
4.12.	Influències de les unions cargolades en el disseny CAD	102
4.12.1.	Influències en l'espai	102
4.12.2.	Diàmetre dels forats	104
4.13.	Plànols de fabricació	104
5.	DISSENY RESISTENT I SIMULACIÓ AMB MEF	106
5.1.	Criteris del disseny resistent	106
5.1.1.	Factor de seguretat	106
5.1.2.	Desplaçament.....	107
5.2.	Les simulacions amb MEF	108
5.2.1.	Anàlisi estàtic i anàlisi per fatiga.....	109
5.2.2.	Sobre-dimensionament.....	110
5.2.3.	Sol·licitacions, escenaris i condicions de contorn	111
5.2.4.	Mallat del model.....	112
5.2.5.	Anàlisi de resultats.....	114
5.3.	Manguetes: Simulació amb MEF	116
5.3.1.	Sol·licitacions	116
5.3.2.	Condicions de contorn.....	118
5.3.3.	Anàlisi de resultats.....	120
5.4.	Boixes: Simulació amb MEF	122
5.4.1.	Sol·licitacions	122
5.4.2.	Condicions de contorn.....	125
5.4.3.	Anàlisi de Resultats.....	127
5.5.	Suports trapezi superior: Simulació amb MEF	129
5.5.1.	Sol·licitacions	129
5.5.2.	Condicions de contorn.....	130
5.5.3.	Anàlisi de resultats	130
5.6.	Suport de la pinça: Simulació amb MEF	132
5.6.1.	Sol·licitacions	132
5.6.2.	Condicions de contorn.....	133
5.6.3.	Anàlisi de resultats	133
5.7.	Suport de la bieleta de direcció: Simulació amb MEF	134

5.7.1.	Sol·licitacions.....	134
5.7.2.	Condicions de contorn.....	135
5.7.3.	Anàlisi de resultats.....	135
5.8.	Càlcul resistent d'altres elements.....	136
5.8.1.	Roda del sensor i suport de la manxa.....	136
5.8.2.	Distanciadors.....	137
5.9.	Optimització del pes.....	138
5.9.1.	Manguetes.....	138
5.9.2.	Boixes.....	141
5.10.	Dimensionament dels rodaments.....	145
5.11.	Dimensionament dels cargols.....	146
6.	FABRICACIÓ, MUNTATGE I VALIDACIÓ	147
6.1.	Forat dels espàrrecs - Determinació del diàmetre.....	147
6.2.	Fabricació dels components.....	149
6.2.1.	Fabricació de la roda del sensor.....	150
6.2.2.	Fabricació dels Casquets.....	151
6.2.3.	Fabricació dels distanciadors.....	152
6.2.4.	Fabricació del suport del sensor.....	153
6.3.	Muntatge dels components.....	153
6.3.1.	Muntatge dels espàrrecs.....	153
6.3.2.	Muntatge dels rodaments.....	154
6.3.3.	Muntatge general i compliment de la normativa.....	155
6.4.	Funcionament i validació.....	156
	CONCLUSIONS	158
	BIBLIOGRAFIA	160

VOLUM II – Anàlisi econòmic

VOLUM III – Anàlisi de l'impacte ambiental

VOLUM IV – Annexes

VOLUM V – Plànols

1. Introducció

1.1. Origen del treball

Tot allò dut a terme per a realitzar els components que s'exposen en aquest treball té el seu origen en la temporada anterior, quan es va realitzar el primer vehicle funcional de l'equip. El desenvolupament dels components són l'evolució directa dels de la temporada 2014-2016 realitzats per la mateixa persona, agafant el mateix concepte i utilitzant tot allò après per a millorar el resultat.

El primer disseny d'aquesta part del vehicle, però, va ser realitzat pel primer membre del departament durant la temporada 2013-2014, quan es va dur a terme una maqueta del que seria el primer concepte de vehicle Formula Student de l'e-Tech Racing. Malgrat els elements del conjunt-roda no es van dur a terme físicament, allò après pel primer membre va servir d'inspiració per a la persona que va agafar el relleu del disseny d'aquests components.

1.2. Motivació

La motivació del treball neix de la passió pel món de la mecànica, l'enginyeria i en especial pel de l'automoció que fan que formar part d'aquest projecte sigui tot una satisfacció, podent desenvolupar coneixements, habilitats i experiències que només són possibles amb reptes com el de dur a terme un monoplaça de competició.

Posar de manifest tot allò tingut en compte per al desenvolupament del conjunt de components situats a la roda i assentar les bases d'aquest disseny per a que les generacions futures el puguin millorar en les properes temporades també són gran part de la motivació per a dur a terme aquest treball.

1.3. Objectius del treball

L'objectiu principal del treball, com s'ha mencionat anteriorment, és plasmar tot allò tingut en compte pel desenvolupament dels conjunts de components que formen el conjunt mecànic ubicat a la roda. Amb aquesta informació es pretén fer veure l'abast, és a dir el que implica un projecte d'aquestes característiques, on el desenvolupament ha de tenir en compte que allò dissenyat s'ha de dur a terme físicament i on s'han de buscar els recursos perquè això sigui possible.

La pèrdua de coneixement durant els relleus generacionals que pateix un equip d'aquestes característiques sempre son un obstacle per al progrés i millora constant del dissenys i per tant de la millora com a equip. Aquesta informació plasmada en el treball pretén doncs minimitzar aquest fet, tenint l'objectiu de ser d'utilitat per a les futures generacions que hauran d'afrontar i dur a terme el desenvolupament d'aquesta part del monoplaça, de manera que es puguin entendre les bases de disseny per a que es pugui millorar aquest, des del concepte fins a la seva fabricació.

Exposar de forma detallada l'abast del projecte al llarg del treball també té la finalitat de poder-lo donar a conèixer millor fora de l'equip de manera que tingui repercussió a la universitat i a les empreses, sent una forma més per a poder-lo fer créixer.

1.4. Abast del treball

L'abast del treball compte amb nombrosos aspectes que fan de formar part d'un equip de Formula Student un experiència completa. A nivell general i que pot servir per a tots els membres es poden distingir els següents aspectes:

- Treball en equip: la ben-entesa amb els gran nombre de departaments i amb la resta de membres de l'equip és un dels punts forts del projecte, sent el treball en equip la base d'aquest i equiparable al del desenvolupament de qualsevol projecte important del món industrial. Per al desenvolupament amb èxit del monoplaça és imprescindible encarar el disseny seguint tot allò decidit com a equip. Cal el contacte i la interacció constant amb els demás departaments, especialment amb els que hi ha un enllaç directe, els que s'anomenen departaments veïns i els quals tenen una repercussió directe en el propi disseny.
- Disciplina i responsabilitat: cada membre encarregat d'una tasca concreta té una responsabilitat per allò desenvolupat, de la qual dependrà el bon funcionament del vehicle, així com el fet de poder obtenir o no els objectius que s'han establert inicialment. Tenir disciplina és imprescindible per a seguir el ritme alt que representa estar a l'equip i per a complir amb les dates límit establertes, aspectes també molt determinats per assolir els objectius marcats.
- Autoaprenentatge: haver-se d'afrontar sense cap mena d'experiència prèvia ni cap precedent al disseny d'una part d'un vehicle que s'haurà de dur a terme requereix de molt autoaprenentatge. El projecte posa a la pràctica part de la teoria apresada en moltes de les assignatures fetes durant la carrera però l'especialització en alguna part molt concreta requereix d'adquirir nous coneixements i afrontar aspectes desconeguts que necessiten de dedicació.

Des del punt de vista més concret de l'Enginyeria Mecànica el desenvolupament del conjunt mecànic de la roda té també abast en els següents aspectes :

- Desenvolupament del dibuix assistit per ordinador (CAD per les seves inicials en anglès): és l'eina principal que permet dibuixar de forma virtual el cotxe sencer. La quantitat de peces a controlar en els dibuixos dels assemblatges, les geometries tant variades i sobretot la manera com encarar el dibuix de cada component per facilitar la seva modificació suposa un repte en molts casos, i acaba portant a l'adquisició de gran experiència amb aquesta eina tant utilitzada en la indústria.
- Es poden destacar nombrosos aspectes relacionats amb assignatures de la carrera i branques de l'enginyeria els quals arriba a tenir abast el disseny estudiat. Teories d'elasticitat i resistència de materials, disseny de màquines o ciència de materials, entre d'altres, tenen un fort pes alhora d'afrontar el disseny de molts elements, així com avaluar la seva resistència i optimitzar-los.
- El mètode amb el que s'avalua més la resistència és a través del mètode d'elements finits (MEF) que proporciona el CAE (*computer aid engineering*). Es tracte d'un mòdul que funciona juntament amb el software CAD emprat. Amb l'element dibuixat virtualment i través de la introducció de paràmetres com poden ser propietats del material, esforços i condicions de contorn s'empra aquest mètode de càlcul que dona resultats relacionats amb l'estat tensional, entre d'altres. Aquest sistema cada cop més emprat en la indústria és l'eina bàsica amb la que es determina la resistència dels components dissenyats, adquirint uns forts coneixements en aquest camp a través de l'autoaprenentatge.
- Haver de dura a terme físicament allò dissenyat és una característica que defineix molt bé el que suposa un projecte com el tractat en aquest treball. Haver-se d'afrontar al disseny de manera que s'hagi de garantir la seva fabricació de forma òptima suposa un aprenentatge important en les tecnologies de fabricació. El correcte muntatge i desmuntatge dels components també tenen una repercussió sobre el disseny.

2. Context: L'e-Tech Racing, l'e-Va i el Conjunt-roda

2.1. La Formula Student, un resum ràpid

De manera general es pot definir que la Formula Student és una competició internacional d'estudiants universitaris que han de dissenyar, construir i competir amb un monoplaça contra equips d'altres universitats. Té l'objectiu de desenvolupant-se com a enginyers i futurs professionals afrontant els reptes que comporten el desenvolupament per complet d'un vehicle de carreres.



Figura 2.1 - Formula Student Germany 2015

Té el seu origen a EEUU, en el marc de la competició Formula SAE, organitzada per la societat d'automoció i enginyeria del país nord-americà des del 1981. Des d'aleshores la competició ha crescut de forma espectacular, expandint-se arreu del planeta, tenint un pes considerable a Europa i al país d'origen, EEUU. Altres llocs destacats on està tenint popularitat poden ser Austràlia, Japó, Índia, Xina, Brasil, fent evident la internacionalitat de la prova.

A Europa la Formula SAE se l'anomena Formula Student però segueix el marc normatiu de la primera, regulant tots els aspectes tècnics així com l'essència de la competició. Com es comenta en més d'una ocasió al llarg del treball aquesta essència es basa en el fet de donar molta llibertat en el disseny, regulant molts aspectes de seguretat però donant peu a la creativitat per tal d'afavorir l'experiència i l'aprenentatge dels participants.

El compliment de la normativa, però, es verificat estrictament en cada una de les competicions a través de la revisió escrupolosa de tot el cotxe i a través de proves com pot ser test de frenada, prova de so, proves d'aïllament elèctric, entre d'altres.

En cada competició els equips son avaluats a partir de la realització d'una sèrie de proves. Les proves no només consisteixen en aquelles on el cotxe corre sobre la pista, anomenades proves dinàmiques, sinó que també s'han de dur a terme les proves estàtiques. Les primeres tenen un pes del 68%, mentre que les estàtiques és del 32% restant. Tot allò referent a la normativa i a les proves es pot trobar a la pàgina web de la FormulaSAE: <http://www.fsaonline.com>.

El propòsit de la competició, entre d'altres, és que els equips agafin el roll que es troben treballant per una marca que produeix vehicles prototip per a un mercat de competició no professional. En aquest context s'emmarquen algunes de les proves estàtiques, consistents en exposar i defensar un pla de negoci o en l'avaluació del cost de la producció de 1000 vehicles com el que es durà a terme. La defensa del disseny de cada una de les parts del vehicle és la tercera prova estàtica existent, on s'avalua els criteris en enginyeria seguits per a dur-lo a terme.

Pel que fa a les proves dinàmiques, aquestes es divideixen en 5 proves que permeten avaluar les habilitats del monoplaça en termes d'acceleració, frenada, maniobrabilitat, eficiència i fiabilitat, sent la prova de fiabilitat la que més punta i la que més exigència suposa per als vehicles.

2.2. L'equip e-Tech Racing

L'equip e-Tech Racing té els seus orígens a l'EUETIB, creant-se l'any 2012. Des d'aleshores s'ha anat consolidant, creixent cada cop més en coneixement, recursos, experiència i en definitiva en el resultat del vehicle desenvolupat.

A les esques es tenen una maqueta i dos cotxes elèctrics funcionals realitzats, el segon com a resultat de la feina feta durant la temporada a la que es fa referència en aquest treball, de nom e-Va. En el transcurs actual (juny 2017) s'està a punt de finalitzar el que serà el 3er vehicle de l'e-Tech Racing.

La finalitat de l'equip és la de desenvolupar vehicles capaços de competir i obtenir, en relació amb el context, els millors resultats possibles a dins de les competicions de Formula Student que l'equip decideixi participar. La prioritat fins ara ha sigut participar a Formula Student Spain que té lloc al circuit de Barcelona-Catalunya.

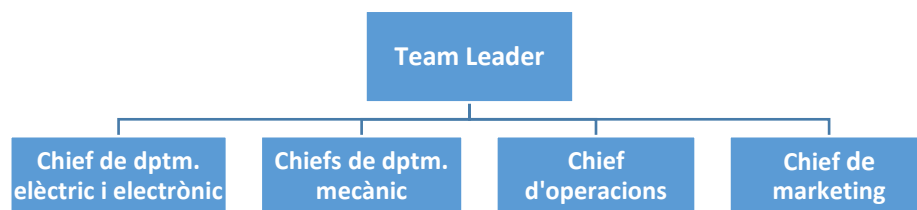


Figura 2.2 - Equip e-Tech Racing a la FS Spain 2015

El nombre de participants acostuma a oscil·lar entre 20 i 40 membres, havent de ser aquests de la mateixa facultat i podent-se classificar en les tres branques de l'enginyeria en les que es pot dividir el

vehicle: enginyers elèctrics, electrònics i mecànics. L'elevat nombre de participants i l'exigència del projecte requereix d'establir una organització amb departaments, sub-departaments i càrrecs de manera que es divideixi la feina i es pugui perseguir els objectius establerts de la millor forma possible.

De forma resumida es segueix una estructura piramidal, on l'anomenat *Team Leader* és el màxim representant de l'equip i encarregat de dirigir la organització. Juntament amb aquest, es troben els *Chiefs* (caps de grup) dels diferents departaments amb els que es divideix l'equip. Els *chiefs* són els encarregats de vetllar pel compliment dels objectius en cada un dels departaments corresponents, guiant i organitzant els sub-departament i les tasques. Els *chiefs* i el *Team Leader* acostumen a ser persones amb experiència a dins l'equip i són els encarregats de prendre les decisions que es creuen més importants, establint normes, horaris, dates límits..etc, juntament amb el vistiplau de tots els membres. A la taula 2.1 es pot veure els càrrecs de més responsabilitat.



Esquema 2.1 – Organigrama general de l'equip.

Els dos departaments tècnics són l'elèctric i electrònic i el departament mecànic. Cada un d'aquests es troba dividit en sub-departaments integrats per diferents membres. Pel que fa als altres dos departaments està format per membres que també poden estar en departaments tècnics. El de *Marketing* s'encarrega de donar a conèixer l'equip, fer difusió a les xarxes socials i de trobar empreses i contactes que puguin aportar recursos a l'equip, mentre que el d'Operacions s'encarrega de la organització interna: reunions, organització del taller, logística..etc. A l'apartat C1 dels annexes es pot trobar veure l'organització dels departaments.

Com es pot comprovar es pretén tenir una organització clara i definida que pugui vetllar per a complir els objectius establerts. Sense aquesta, seria molt difícil tirar endavant un projecte d'aquestes característiques. Cal destacar que no es tracte d'una associació, entitat o organització empresarial amb ànim de lucre, senzillament és un grup d'estudiants apassionats del món de l'automoció i l'enginyeria que hi participen de forma voluntària. La bona-entesa amb els diferents membres i el coneixement global de l'equip són aspectes que es procuren fomentar en tot moment, especialment a través de l'exigència de realitzar un mínim d'hores al taller de la universitat, així com amb la realització de reunions i jornades de disseny de forma sovint.

2.3. e-Va: el 2on cotxe de l'e-Tech Racing

L'e-Va és el segon vehicle desenvolupat per l'equip e-Tech Racing. Es tracte d'un monoplaça elèctric on les principals característiques a destacar son els dos motors de corrent altern, les bateries extraïbles, els inversors refrigerats per aigua, la tracció a les rodes posteriors, la transmissió per cadena, la carrosseria i aleró anterior de fibra de carboni, i la suspensió tipus *pushrod* i *pullrod*.

Aquest és l'evolució directa del primer cotxe anomenat *Willy*. D'entre les millores més destacades podem anomenar la gran reducció de pes en tots els departaments. Pel que fa als departaments mecànics tots han experimentat reducció de massa, des del xassís fins a tots i cada un dels petits components de xapa i mecanitzats, substituint l'acer per alumini d'alta resistència. La incorporació de la fibra de carboni també és una millora considerable, així com l'evolució en la dinàmica del vehicle.



Figura 2.3 - Vehicle e-Va

Pel que fa al sistema elèctric i electrònic la millora del conexionat, de la centralita, dels sistemes de seguretat, del disseny del *pack* de bateries i la monitorització d'aquestes han permès fer un salt qualitatiu important, consolidant els coneixements i evitant tots els errors o problemes existents en el primer vehicle.

A l'annex (apartat C2) es pot trobar el Design Spec Sheet, sent aquest un document tècnic on es troba resumit totes les característiques del monoplaça. És un dels documents que l'organització de la competició fa entregar a mitja temporada i forma part de les proves estàtiques.

2.4. El Conjunt-roda - Què és i com s'ha dissenyat

Al llarg del treball es parla del conjunt mecànic de la roda o Conjunt-roda nombroses vegades. Es tracte d'una paraula poc o gens freqüent, senzillament és la manera que s'ha fet servir per referir-se al conjunt de components dissenyats.

Es defineix conjunt mecànic de la roda o Conjunt-roda com el conjunt de components que es situen a l'interior de la llanta durant el desenvolupament del cotxe que s'estudia. Els elements principals d'aquest conjunt son la boixa i la mangueta, a partir dels quals s'hi uneixen d'altres que també contribueixen al funcionament esperat del vehicle.

El Conjunt-roda forma gran part de la massa no suspesa del vehicle. La massa no suspesa d'un vehicle és aquella en vehicles que disposen de sistema de suspensió que està formada pel conjunt d'elements que no es troben units al cos principal del vehicle: carrosseria, xassís o qualsevol altre element situat a l'habitacle (sent aquests la massa suspesa). Està formada doncs per part del sistema de suspensió com ara amortidors i trapezis, estabilitzadora, per part del sistema de transmissió com ara els paliers i pels components situats a la roda com la llanta, la mangueta, la caixa, el disc i la pinça del sistema de frenada i qualsevol altre element unit a aquests.

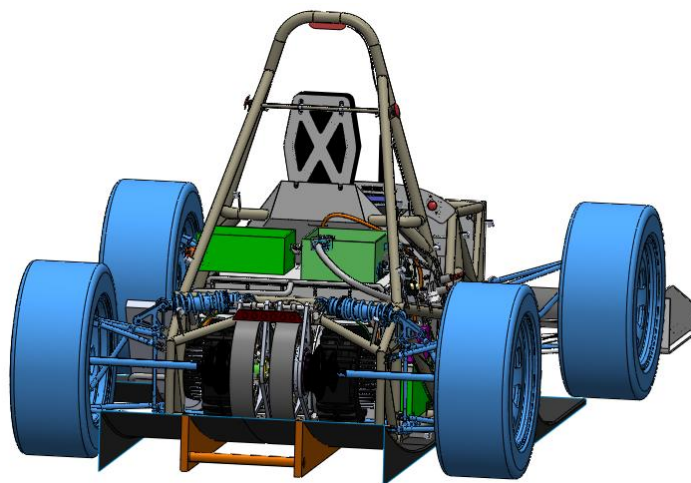


Figura 2.4 - Representació en blau de la massa no suspesa de l'e-Va

Si la reducció del pes en general ja és important en un vehicle, el fet de reduir-la en la massa no suspesa encara té una importància més gran. Com més capacitat tingui la roda per a seguir les irregularitats de la carretera, més adherència i més control es tindrà sobre el vehicle. Totes les irregularitats de la carretera indueixen una força a la massa no suspesa, com més gran sigui aquesta, més dificultat per moure's es tindrà i més energia haurà de ser absorbida pel sistema de suspensió. A més a més, aquestes irregularitats indueixen vibracions que acaben sent transferides a través del sistema de suspensió a la massa suspesa de vehicle, amb les conseqüents incomoditats i males sensacions que això pugui provocar al pilot o conductor.

La mangueta, juntament amb la caixa constitueix una de les parts fonamentals de la massa no suspesa d'un vehicle turisme. Al contrari que la caixa, és un element fix que no té rotació (exceptuant quan pivota per fer girar les rodes anteriors). La seva funció es basa fer d'unió entre la massa suspensa del cotxe i la no suspesa. A aquesta s'hi uneixen els trapezis o trapezi i amortidor en funció del tipus de suspensió utilitzat i s'insereixen els rodaments, sent a través d'aquests últims que es produeix la unió entre caixa i mangueta. També s'utilitza com a base d'unió de la pinça que proporcionarà la frenada, entre d'altres elements com ara la bieleta de la direcció.



Figura 2.5 - Mangueta d'un turisme

Suporta els esforços provinents del pneumàtic que es produeixen quan aquest es troba en moviment, transferint-los als trapezidis i aquests al xassís del vehicle. És doncs un element robust de dimensions importants que requereix tenir una resistència elevada. El seu material més comú és acer d'alta resistència que permeti realitzar tractaments tèrmics i el procés habitual de fabricació és mitjançant fosa amb posterior mecanització per tal d'abastir la gran demanda de la indústria de l'automòbil.

Si la mangueta és un element fixe, la caixa per la seva part és un element de gir que a la que se li uneix la roda. A la caixa també va unit el disc de fre i es troba en contacte amb la mangueta mitjançant els rodaments que permeten que aquesta última sigui estàtica mentre que la primera tingui el moviment de rotació. En el cas de les rodes motrius, a la caixa s'introdueix el palier a dins del



Figura 2.6 - Caixa d'un turisme

seu cos pe tal que aquest li transmeti el parell motor i alhora aquesta a les rodes. Aquest element també ha de patir els esforços provinents del pneumàtic que ha de poder suportar i transferir a la mangueta. De nou es tracte d'una peça fabricada habitualment amb aliatges d'acer d'alta resistència com ara acer 34CrMo4 (segons UNE). El procés habitual de fabricació per al sector automòbil és mitjançant mecanització o bé de fosa amb una posterior mecanització parcial.

Com es veurà, molts dels components anomenats per referir-se a diferents components relacionats amb la roda d'un turisme també es troben en el vehicle de Formula Student que s'estudia: trapezidis, disc de fre, bieletes i per suposat caixa i mangueta. Tot i així, molts aspectes i característiques com poden ser mètodes de fabricació, geometries, formes, materials..etc disten molt d'un vehicle pensat per a passatgers, amb molts més quilos de pes i amb una producció en massa que fa variar molts d'aquests aspectes.



Figura 2.7 - Exemple de conjunt roda i massa no suspesa d'un turisme

2.4.1. Conjunt-Roda de l'e-Va

Els elements principals com ara caixa, mangueta, rodaments també els podem trobar en un vehicle turisme com s'ha parlat anteriorment, compartint els principis de funcionament però poden diferir en nombrosos aspectes tenint en compte que es tracte d'un vehicle prototip amb una producció unitària.

Pel que fa al Conjunt-roda analitzat i en general de tots els vehicles Formula Student, el principi de funcionament no resta alterat: una cos fixe encarregat de subjectar els trapezis de la suspensió (mangueta) i un element de rotació unit al fixe mitjançant rodaments que permeten el moviment relatiu (caixa). A l'element fixe si han de subjectar els elements que no han de girar: pinça de fre, bieletes i altres elements auxiliars (sensors) mentre que a l'element de gir s'hi ha d'unir aquells components que també ho fan: Llanta i disc de fre principalment.

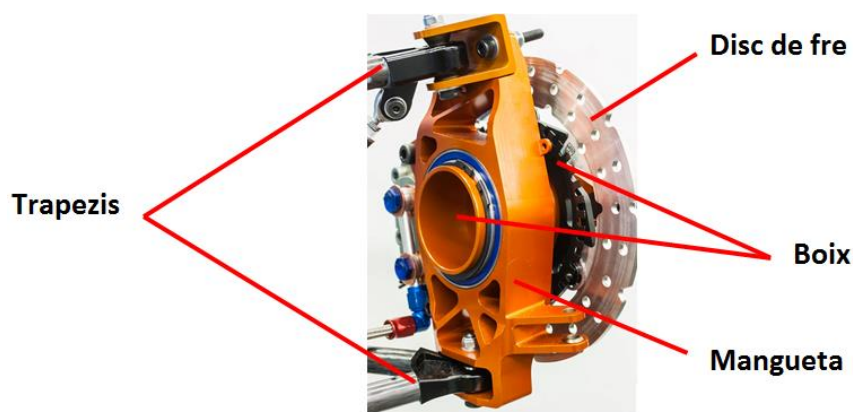


Figura 2.8 - Conjunt-roda de l'equip URE d'Eindhoven

A partir d'aquest principi de funcionament, l'essència de la competició permet que hi puguin haver infinitat dissenys en els vehicles de Formula Student amb geometries, materials, mètodes de fabricació i altres característiques molt diferents entre ells. Podem trobar des de al·legacions de titani, magnesi o alumini fins als acers més típics; des dels dissenys amb les formes més simples fins a casos on es fa servir la carcassa del reductor epicicloïdal com a mangueta i on la pròpia caixa forma part del cos de la llanta. No cal dir que aquesta diversitat que es pot trobar ve donada per nombrosos factors buscats pels impulsors d'aquesta competició. El fet de no ser un cotxe produït en sèrie, el fet d'estar en un context competitiu i la poca restricció són els ingredients perfectes perquè les possibilitats en innovació siguin infinites.



Figura 2.9 - Conjunt amb mangueta de fibra de carboni

Els components del Conjunt-roda que s'estudien en el treball són l'evolució directa dels components de la temporada 2014-2015 amb el Willy. Malgrat nombrosos aspectes importants com la geometria, el pes o altres aspectes tècnics pateixen nombrosos canvis, el número de components no resta alterat i el principi de funcionament i el concepte són els mateixos.

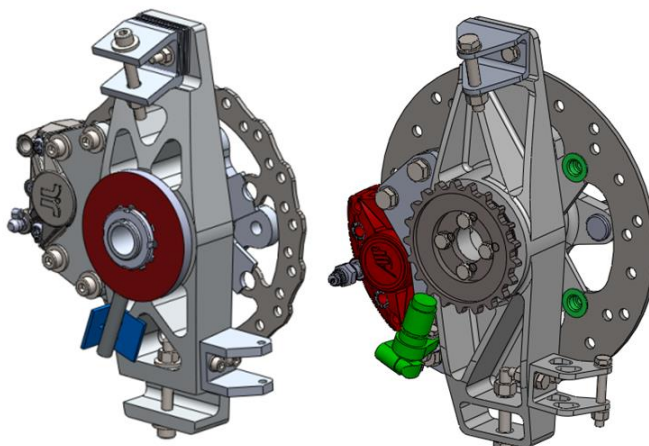


Figura 2.10 - Dibuix 3D del Conjunt-roda de la temporada 2014-2015 (esquerra) i el de la 2015-2016 (dreta).

A continuació es mostren els explosionats dels conjunts anterior i posterior respectivament, juntament amb la descripció de cada peça amb la [taula 2.1](#).

Nº	Component
1	Mangueta
2	Boixa
3	Suport del trapezi superior
4	Suport de la pinça
5	Suport de la bieleta de direcció
6	Roda del sensor de velocitat
7	Suport de la manxa
8	Casquets
9	Platines de regulació
10	Distanciadors
11	Suport del sensor
12	Rodaments
13	Pinça
14	Disc
15	Bolons
16	Espàrrecs
17	Sensor

Taula 2.1 - Components del Conjunt-roda



Figura 2.11 - Conjunt roda anterior muntat ne el cotxe

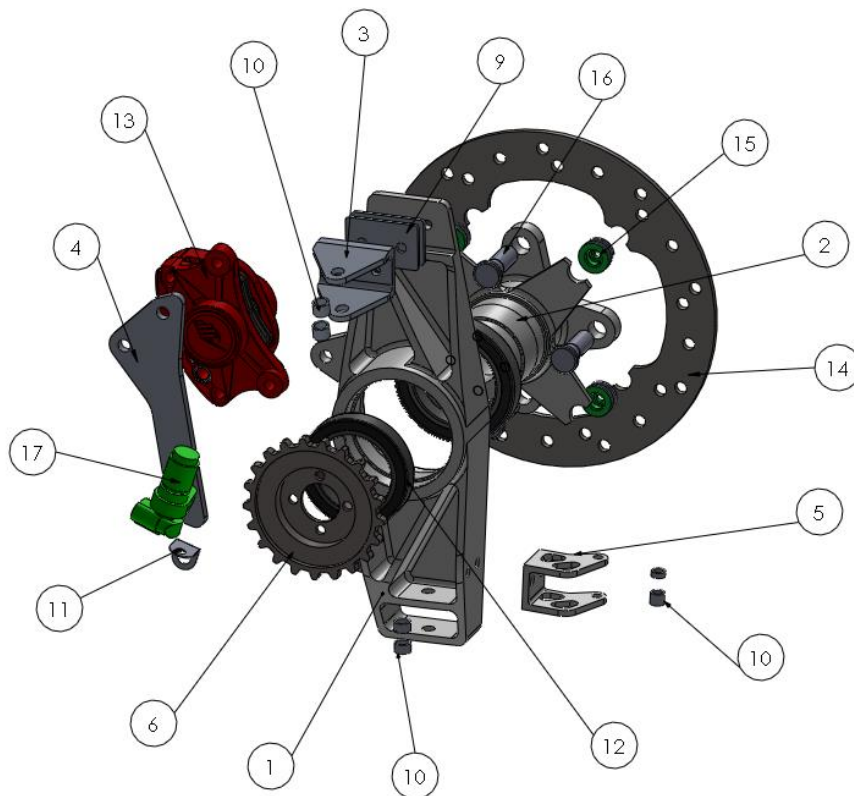


Figura 2.12 - Espejament del Conjunt-roda anterior

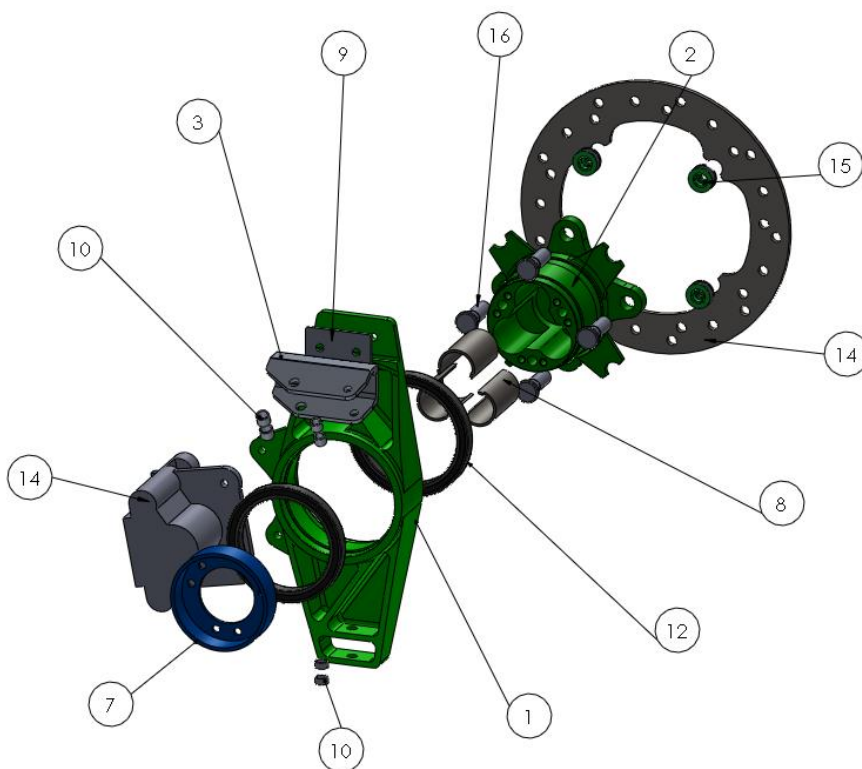


Figura 2.13 - Espejament del Conjunt-roda posterior

Les onze primeres peces son aquelles que es tracte el disseny en el treball i son desenvolupades per la mateixa persona que el realitza. Les peces com els bolons, els espàrrecs, els rodaments, la llanta i la pinça son aquells elements comercial.

El disc, en canvi, es un element fabricat a mida segons el disseny realitzat per l'altre membre del departament de Frens i Rodes que s'encarrega principalment del disseny i dimensionament del sistema de frens. Així com en el disc no es té una implicació durant el disseny, en les pinces sí que existeix, per això es tracta posteriorment els aspectes seguits per escollir-les en col·laboració amb el company de departament.

Malgrat no es mostren a la llista, la cargolaria també forma part del Conjunt-roda i té un paper important en tant que s'encarrega de realitzar les unions entre els diferents elements.

2.4.2. El disseny del conjunt roda

La manera com es troba estructurada el treball pretén fer una idea de com evoluciona el desenvolupament estudiat en el treball. En línies generals un cop tingut en compte el context de recursos i allò permès per la normativa es comença a dissenyar procurant tenir clar el concepte de cada component. En segon lloc el disseny CAD permet anar evolucionant cada peça tenint en compte les demés que l'envolten i s'acaba validant la geometria a través de les simulacions amb MEF que donen una idea de la resistència. Per últim es procedeix a la fabricació i al posterior muntatge i validació dels components un cop el cotxe entra en funcionament.

Malgrat de forma molt resumida es pot considerar que això és així, es vol deixar ben clar que en cap cas, tant en el cas de Conjunt-roda com en el dels demés departaments mecànics del cotxe, el disseny es fa de forma esglaonada i lineal seguint rígidament aquests diferents passos. El concepte adoptat inicialment per una peça pot anar variant al llarg de l'etapa de disseny, coma ara la seva geometria, mètode de fabricació o material.

El disseny CAD d'un mateix component pateix moltes evolucions en funció de les simulacions i de com evolucionen les peces que l'influencien. Es va progressant de mica en mica en cada un d'aquests aspectes fins que van quedant consolidats, tractant-se doncs d'un procés iteratiu i no pas lineal.

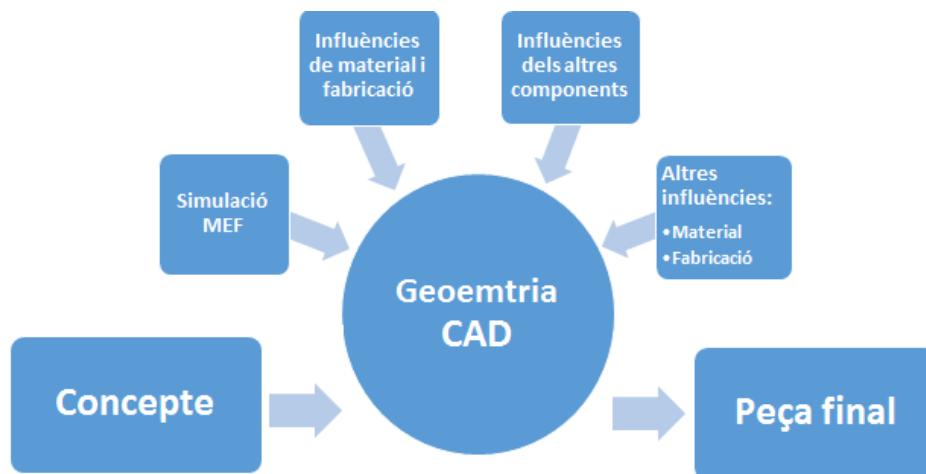


Figura 2.14 - Esquema del procés de disseny

Els principals motius pels quals es procedeix a fer-ho d'aquesta manera rau en el fet que els recursos com ara empreses van evolucionant al llarg de la temporada i el coneixement tècnics també va progressant amb el temps condicionant les decisions. Un altre principal motiu és l'evolució del cotxe sencer al llarg de la temporada, els demés departaments també tenen una iteració i conseqüentment de forma reiterada es van produint canvis que van afectant els departaments entre ells, deixant pas a canvis constants en mides, geometria, components...etc.

La informació i recursos que han servit pel desenvolupament del Conjunt-roda tenen a veure amb l'experiència adquirida durant la temporada ja passada, així com en les inspiracions trobades en altres vehicles de Fórmula Student, ja sigui a partir de fotos trobades a internet o bé a través del contacte directe amb els seus membres. Llibres d'enginyeria, treballs, informació trobada a internet, recomanacions d'empreses o ajudes mostrades per professors de la universitat també son exemples de recursos que han influït en el disseny i han ajudat a l'hora de prendre decisions i cercar solucions.

3. Inicis del disseny: influències, concepte i evolució.

És en aquest apartat on es pretén plasmar tot allò que té un pes important a l'hora de prendre decisions per afrontar el concepte de cada component i el seu desenvolupament.

3.1. Aspectes que influencien el disseny

A continuació s'expliquen aspectes que s'han de tenir en compte abans de poder encarar la part més tècnica del disseny, formant part del cotext i tenint una influència directa en el desenvolupament.

3.1.1. Objectius de temporada

En primer lloc cal destacar el concepte general de vehicle adoptat per l'equip. Les primeres coses que es decideixen és realitzar un cotxe completament nou, descartant la possibilitat d'utilitzar l'anterior amb les milleres que se li poguessin fer. Aquest aspecte fa que es puguin millorar moltíssimes coses, obligant però al disseny des de zero de la majoria de peces i canviant el concepte en algunes d'elles.

Aquest fet descrit marca totalment la manera amb que s'encara la temporada, sent un repte en quan a planificació de temps i recursos, tractant-se per tant d'un objectiu que es pot considerar ambiciós i que suposa de gran implicació i esforç.

A nivell de resultats a les competicions, l'equip té una meta molt clara marcada: acabar la prova de resistència. Aquesta és una de les proves amb més pes en quan a percentatge de nota global i suposa un repte pels cotxes. Es considera un objectiu motivador a perseguir, ja que molts vehicles no la poden finalitzar ja que pot posar els vehicles al límit de la seva capacitat. Les bases de disseny i de dimensionament de molts aspectes del vehicle es basaran doncs en aquesta prova.

Un cop establerts els objectius més generals, es concreten aquells més tècnics. D'aquesta manera existeixen unes pautes que cada departament ha de tenir en compte a l'hora de prendre decisions per dur a terme el seu disseny de manera que es pugui complir amb l'objectiu últim: que el cotxe pugui competir i puntuar en les diferents proves.

Els objectius tècnics marcats que el conjunt de l'equip va decidir van ser:

- Fiabilitat.
- Reducció del pes.
- Reducció del Centre de Gravetat (CG).

Aquests objectius sempre han d'estar a dins del marc de complir amb la normativa de forma que no hi hagi dubte en aquest aspecte de cara a la revisió o *scrutineering* que ha de passar el cotxe. Sense passar aquesta revisió el cotxe no pot competir. L'objectiu de fiabilitat també va encarat, no només a tenir un cotxe fiable tècnicament, sinó també en el compliment de la normativa.

A nivell departamental també es van marcar uns objectius més puntuals. Pel cas de Frens i Rodes es va voler marcar el següent objectiu:

- Reducció d'un 25% de la massa respecte la temporada passada.

Aquest objectiu es persegueix al llarg del disseny amb l'anàlisi acurat de les peces i amb la seva optimització a través de les simulacions. Pel que fa a l'objectiu de fiabilitat es té en compte en tot moment a través de la presa de decisions seguides durant el disseny, sempre basades en la simplificació de les peces per facilitar la fabricació, en el seu sobredimensionant de forma raonada i en tenir consciència sobre el context en el que es troba l'equip pel que a fa a la limitació de recursos.

Com en la gran majoria de processos de la indústria es tracte doncs de buscar un equilibri entre les prestacions i la fiabilitat d'allò que s'està duent a terme. Aconseguir aquest equilibri ha sigut doncs una de les claus del disseny del conjunt mecànic de la roda.

3.1.2. Temps i planificació

Per tal d'assolir els objectius esmenats cal tenir una planificació de la temporada que permeti estructurar les diferents etapes i organitzar millor la feina a fer.

Es pot classificar l'etapa de disseny des d'inicis de la temporada al setembre fins el més de gener. Entre el més de gener i el juny es considera l'etapa de fabricació i muntatge, mentre que la de test i competició és durant part del juny, el mes de juliol i agost.

Malgrat aquestes etapes podent tenir moments de transició i no ser estrictament rígides, és considera molt important les dates límit o *deadlines* establerts.

En el disseny del Conjunt-roda aquesta acotació en el temps té una repercussió en el disseny principalment a l'hora de prendre decisions. Com es pot veure en més d'una ocasió en el treball, la solució adoptada passa per desenvolupar un disseny simple, sense excentricitats que puguin derivar a canvis de concepte a mitja etapa de disseny o a problemes de muntatge o fabricació.

El contacte amb les empreses col·laboradores des de bon principi també és una mesura adoptada per poder tenir tots els aspectes clars des de bon inici del disseny i poder solucionar tots els contratemps que hi pugui haver degut a qualsevol canvi.

3.1.3. Normativa FSAE

En primer lloc cal destacar la permissivitat que dona la normativa en nombrosos aspectes. Com s'ha dit anteriorment, l'essència de la competició permet que hi puguin haver dissenys molt diversos en moltíssims aspectes del cotxe, tenint unes possibilitats en innovació infinites. Això farà que la llibertat en el disseny de les geometries de les peces sigui total.

Tot i aquesta llibertat existent, la normativa influeix considerablement en molts aspectes del vehicle, especialment de seguretat, condicionant bona part del disseny general.

En el cas del Conjunt-roda influeix en certes coses de forma directa que es té molt present complir al detall per tal de no donar peu a possibles problemes alhora de passar la verificació. Les limitacions tenen a veure amb aspectes relacionats amb les rodes i amb els cargols principalment:

- **Article T6.3 – Wheels - 2016 Formula SAE® Rules:**
 - Les rodes han de ser de com mínim 203,2mm de diàmetre (8 polzades).
 - Qualsevol sistema de “monorosca” requereix d'utilitzar un sistema de prevenció de manera que si la femella es desenrosca, aquesta no pugui caure al terra. Una segona femella (contrafemella) no eximeix aquest requeriment.
 - Els espàrrecs i en general unions cargolades estàndard o normalitzats utilitzats a les rodes es consideren elements d'enginyeria i qualsevol modificació estarà subjecte a verificació extra. Els equips que utilitzin cargolaria modificada o de disseny propi (no a les rodes hauran de demostrar que s'han seguit criteris d'enginyeria adequats.
- **Article T11.1 - Fastener Grade Requirements - 2016 Formula SAE® Rules):**
 - Totes les unions cargolades utilitzada al xassís, al sistema de seguretat del cinturó, al sistema de direcció, al de suspensió i al sistema de frens ha de ser d'una qualitat igual o superior al grau normalitzat 5 (SAE), 8.8 (norma DIN) i/o especificacions AN/MS.
- **Article T11.2 - Securing Fasteners - 2016 Formula SAE® Rules):**
 - Tots els elements d'unió crítics (cargols, femelles..etc) de la direcció, sistema de frens, sistema de subjecció del cinturó i sistema de suspensió han de ser assegurats mitjançant sistemes de bloqueig que evitin la pèrdua inintencionada. Aquests sistemes poden ser: filferro de seguretat correctament instal·lat, passadors, femelles autoblocants de *nylon* (excepte en zones exposades a altes temperatures) o femelles autoblocants metàl·liques. No compleixen amb aquest requisit l'ús de *Loctite* o altres col·les, les volanderes de seguretat o els cargols amb nylon.
 - En tots els cargols hi ha d'haver com a mínim dos filets de rosca sobresortint de qualsevol femella.

Tots aquests requeriments de la normativa que fan referència a les unions cargolades es persegueixen al detall. Amb el cas de la mida de les rodes no hi ha inconvenient ja que es faran servir les ja pròpies de l'equip del passat any de 13 polzades de diàmetre. Pel cas de la mono-rosca tampoc afecta al disseny ja que com es veurà el concepte de subjecció per la roda és l'ús de 4 punts d'unió.

3.1.4. Els recursos de l'e-Tech Racing

Es poden definir els recursos que pot tenir un equip de Formula Student com tot aquells béns materials o no materials als quals pot tenir accés i pot fer-los servir pels seus interessos relacionats amb el desenvolupament del vehicle i el seu posterior funcionament. S'està parlant doncs de diners; de coneixement, de material propietat de l'equip i per tant de la facultat; de material de la universitat o de la facultat que pot ser cedit a l'equip; d'empreses i entitats col·laboradores que proporcionen material, coneixement, servei de transport, diners o la fabricació d'elements.. etc.

De forma general cada departament ha de buscar col·laboracions per tal de poder adquirir el material que es busca i/o que necessita per dur a terme la seva part. És una forma de no concentrar els esforços únicament en el departament de Màrqueting, el qual, entre d'altres coses, aconsegueix col·laboracions amb empreses i entitats que aporten recursos a l'equip en general a través de convenis de col·laboració. A la pràctica, com a resultat del treballa en equip, es té un gran nombre de departament que comparteixen empreses independentment de quin departament o persona hagi aconseguit la col·laboració. En el cas mecànic n'és un exemple les empreses de mecanització.

Algunes d'aquestes empreses i entitats ja s'havia col·laborat anteriorment amb elles. D'altres, en canvi, s'aconsegueixen al llarg de la temporada. Sigui com sigui, als inicis de la temporada no es tenen totes les col·laboracions tancades ni se sap fins quin punt les empreses s'implicaran en el projecte. Això significa que si s'agafa tot el volum d'elements del cotxe a fabricar, no se sap cada una d'ells a on es produiran exactament ni si realment es podrà acabar duent a terme tot aquest volum d'elements.

Com es pot veure amb lo explicat anteriorment, es pot considerar que els recursos de l'equip son més aviat limitats. Això és especialment evident si es compara amb la majoria d'equips de Formula Student. Aquest factor és especialment important i té un efecte directa en el plantejament dels objectius i en els aspectes tècnics del disseny del cotxe.

En el cas dels departaments mecànics, el fet de tenir uns recursos limitats té un especial repercussió en totes aquelles peces que es volen dur a terme pel que fa al seu concepte que pot anar variar en funció d'aquests recursos. Així doncs, malgrat hi ha una certa ambició a l'hora de dissenyar i per tant d'aconseguir allò que es proposa des de bon principi, el fet de tenir més o menys col·laboracions pot implicar, per exemple, el no fabricar alguns components i fer servir els de la passada temporada o bé pot significar el canvi de mètode de fabricació.

A més a més, cal dir que establir una col·laboració no és immediat i implica en la majoria de casos realitzar reunions i intercanvi d'informació per tal d'explicar el projecte de forma que es convenci a l'empresa o entitat per aconseguir allò que es vol. Tot aquest procés requereix de temps ja que des de que s'estableix el contacte fins que se sap el que es realitzarà definitivament poden passar mesos. Tota això crea una incertesa que de nou té repercussió en l'etapa del disseny.

Els recursos del departament de Frens i Rodes

Des del departament de Frens i Rodes, per tal d'afrontar tot els possibles obstacles descrits es pretén ser molt conscient dels recursos disponibles. En primer lloc es té una política que pretén realitzar dissenys on es procuri evitar excentricitats o innovacions innecessàries que podrien portar a contratemps a mitja temporada. Malgrat és fàcil emmirallar-se amb els demés equips en els seus dissenys de vegades espectaculars pel que fa a materials, mètode de fabricació, entre moltes altres coses, cal ser conscient de la poca experiència que encara té l'equip i del context totalment diferent en el que s'està.

Per altre banda, per afrontar aquest context, també s'opta per tenir més d'un mètode de fabricació estudiat pel que fa als elements auxiliars i es procura fer una campanya agressiva de màrqueting, especialment per mantenir la col·laboració amb les empreses que ja havien proporcionat recursos la temporada anterior. Això implica contactar amb elles tot just a l'inici de temporada, de forma que es pugui explicar des de l'inici el que es vol per tal de buscar alternatives ràpides en cas de que el possible acord no surti bé. El bon tracte amb les persones de contacte i el fet de no abusar de la seva col·laboració donant-los excessiva feina o pressa per a la fabricació de les peces son aspectes que es tenen molt en compte.

Un altre recurs utilitzat per evitar possibles contratemps i inconvenients amb les empreses és presentar plànols i informació de certes formes i geometries de les diferents peces als potencials fabricants amb antelació, com a mínim una vegada durant l'etapa de disseny i abans d'enviar els corresponents plànols definitius. D'aquesta manera es pot tenir clar quines geometries es poden fer i quines no per tal de corregir possibles formes i redissenyar amb antelació allò que sigui necessari.

De forma resumida, les empreses amb les que ha col·laborat del departament de Frens i Rodes i allò que han proporcionat a l'equip ha sigut:

- Laboratori Comú d'Enginyeria Mecànica de l'ETSEIB: es tracte del taller d'aquesta facultat de la UPC. Des del primer any es col·labora amb aquest proporcionant la mecanització de les manguetes i les boixes.

- JJuan Brake System: empresa dedicada a la fabricació de sistemes de frenada per a motos situada a Gavà. Exceptuant el disc de fre han proporcionat tots els demés components del sistema, igual que a la temporada anterior.
- NG Brake Disc: ubicats a Cerdanyola han fabricat a mida els 4 discs de frens. Es tracte d'un empresa catalana reconeguda internacionalment per la venda de discos de fre per tot tipus de motocicletes, moltes d'elles de competició. Ja s'havia col·laborat amb ells prèviament.
- Sprom S.A.: es centra en la fabricació i disseny de matrius i motlles per a la conformació de xapa. Situada a Barberà del Vallés ha proporcionat la fabricació de diferents components del vehicle a través de mecanització. En el cas del Conjunt-roda ha dut a terme els suports del trapezi i els suports de la bieleta.
- Engranatges Mulet S.L.: Empresa dedicada a la fabricació de rodes dentades i tot tipus d'elements de transmissió situada a l'Hospitalet de Llobregat. Ja s'havia col·laborat amb ells anteriorment i han realitzat el dentat de la roda del sensor de velocitat.
- Goded: amb diferents centres al voltant de Barcelona es tracte d'una empresa dedicada a la conformació de xapa, especialment al tall amb diferents tecnologies. Han fet la majoria de components de xapa del vehicle, d'entre les peces estudiades les platines de regulació.
- Rücker Lypsa S.L.U: ubicada a Martorell i Cornellà, es dedica des de fa anys a proporcionar tot tipus de servei per la indústria, especialment la d'automoció: seients, carrosseria, interior..etc. Ha mecanitzat nombrosos components de la transmissió, així com el suport de la manxa del Conjunt-roda posterior.
- Grup Schaeffler: és una empreses internacional dedicada a la fabricació de nombrosos components normalitzats de precisió pel sector industrial, especialment dedicada als rodaments. Han proporcionat tots els rodaments i coixinets que necessita el cotxe.
- Institut Escola del Treball: es tracte d'un centre d'ensenyament situat al recinte de l'Escola Industrial, al costat de l'EUETIB. La col·laboració amb l'equip ha proporcionat l'ajuda de professorat, així com material i maquinaria per a dura a terme nombrosos components del vehicle. En el cas del de les peces estudiades han fabricat els casquets de la caixa posterior, el suport del sensor, així com gran part de la fabricació de la roda del sensor.
- Tormetal: situada a Montcada i Reixac i especialitzats en fixacions i unions cargolades han proporcionat tota la cargolaria utilitzada en el vehicle.

Totes les empreses anteriorment descrites son les que han fet possible realitzar les peces del Conjunt-roda de forma directa i a través de conveni de col·laboració a canvi de patrocini i difusió. Les que han fet possible el cotxe sencer són moltíssimes més, sent imprescindibles pel projecte.



Figura 3.1 - Alguns dels patrocinadors situats a la carrosseria del monoplaça

També cal destacar que hi ha molts components i peces que s'han hagut de comprar degut a no trobar col·laboració. Algunes d'aquests components poden ser els blocs d'alumini, material de ferreteria de tot tipus, entre d'altres, que malgrat no hagi implicat haver de contactar amb l'empresa nombrosos vegades, també ha significat haver de desplaçar-se per nombrosos establiments, fer consultes de telèfon i en definitiva també ha implicat temps i ha format part de la feina feta per a dur a terme el conjunt.

3.1.5. Dependència entre components i departaments

Entre els diferents components que intervenen en el disseny existeix una interrelació en tot moment que té una influència en el disseny de la geometria de cada un d'ells.

S'ha realitzat una taula esquemàtica que permet fer-se una idea molt visual del que es diu quan es parla de dependència entre components. Es tracta de l'esquema que es pot trobar a l'apartat C3 dels annexes. Aquesta mostra quina influència té cada un dels components que intervenen en el Conjunt-Roda respecte un de donat. Els components situats a la columna esquerra són aquells que es volen analitzar, mentre que els situats a la fila superior són els que tenen una influència sobre el component analitzat si la casella es troba marcada de color verd.

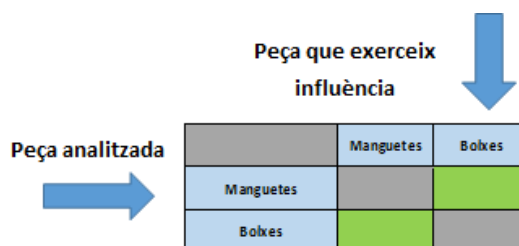


Figura 3.2 - Funcionament de l'esquema de les influències entre components

Així doncs, si s'analitza per exemple la primera peça, es pot veure com al llarg de la fila de la mangueta hi ha nombroses caselles marcades de color verd. Fins a 12 components i aspectes geomètrics tenen un efecte directa sobre la mangueta. Aquesta, juntament amb la boixa són els components que més caselles de color verd tenen, sent doncs com ja s'ha dit, el centre del conjunt roda i les peces base a partir de les quals es dissenya tot el que les envolta.

Com influeix cada un dels components de la taula de forma més tècnica i com s'afronta aquesta interdependència en les peces dissenyades, sobretot pel que fa a l'espai, se'n parla detalladament a l'apartat on es parla del disseny de la geometria mitjançant CAD.

Pel que fa als departaments veïns s'ha de dir que afrontar la seva influència sobre les peces a dissenyar no és tant fàcil com amb les influències internes del propi departament. Les internes es troben controlades per una mateixa persona mentre que les dels altres departament no és així i en canvi poden tenir una repercussió igual o més important.

Per dur a terme el vehicle i els corresponents objectius satisfactòriament és necessari tenir una relació constant i un intercanvi d'informació constant que garanteixin tenir en tot moment un control sobre els diferents aspectes que repercuteix i quins límits es tenen i com van evolucionant al llarg d'aquesta etapa. Així doncs la comunicació és essencial per avançar adequadament.

A continuació es detallen aspectes tècnics relacionats amb els departaments amb els quals es té una relació directa i es defineixen conceptes importants, sobretot pel que fa a la geometria de la suspensió.

Departament de suspensió

El departament de suspensió és un dels que més condiciona el disseny del conjunt de la roda. Afecta tant a les rodes del davant com a les del darrere, sobretot pel que fa a la influència que té sobre l'espai per poder ubicar com es vol tots els components.

En primer lloc els trapezis són els encarregats de subjectar el Conjunt-roda a la resta del cotxe i la seva unió amb aquest té una repercussió sobre el disseny de la mangueta i suport del trapezi superior. També s'encarreguen de transmetre les forces provinents de la roda cap al xassís. Aquests han de ser articulats, permetent el moviment oscil·lant de les rodes.

En el cas del vehicle estudiat estan formats per tubs de fibra de carboni (1) i els anomenats extrems dels trapezis (2), sent aquest últim element mecanitzat a mida on porten les ròtules articulades (3) a través de les quals es posa el cargol que permet unir trapezis i roda. A la banda del trapezi que s'uneix amb el xassís també s'hi troben ròtules articulades. A la figura 3.3 s'hi representen.

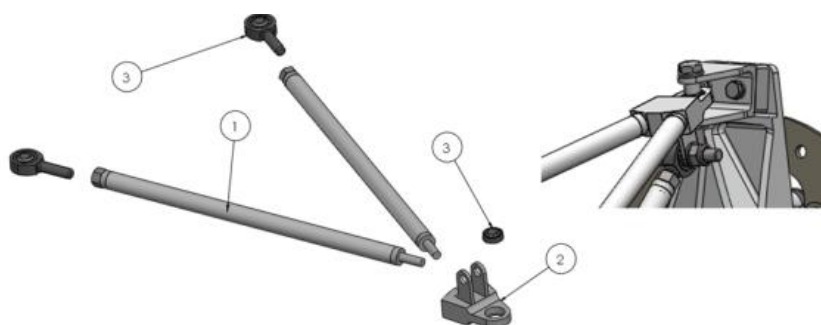


Figura 3.3 - Espejament d'un trapezi del sistema de suspensió i unió d'aquest amb la mangueta

A part de dissenyar elements com els trapezis, el departament de suspensió és el departaments que fa l'estudi del comportament dinàmic del vehicle. És per això que són ells qui decideixen la via i batalla del cotxe, així com la ubicació a l'espai dels punts d'unió entre els trapezis i les manguetes, entre d'altres. Tots aquests aspectes descrits és el que anomenem geometria de suspensió. És aquesta geometria la que té un especial importància en tant que determina l'espai que hi ha per ubicar tots els components que formen part del Conjunt-Roda.

Aquests punts i geometria contribueixen totalment en el comportament dinàmic. És per això que es prioritza el criteri del departament de suspensió tot i que en certs casos es marquen límits des del departament de Frens i Rodes per tal d'evitar col·lisions o problemes grans d'espai.

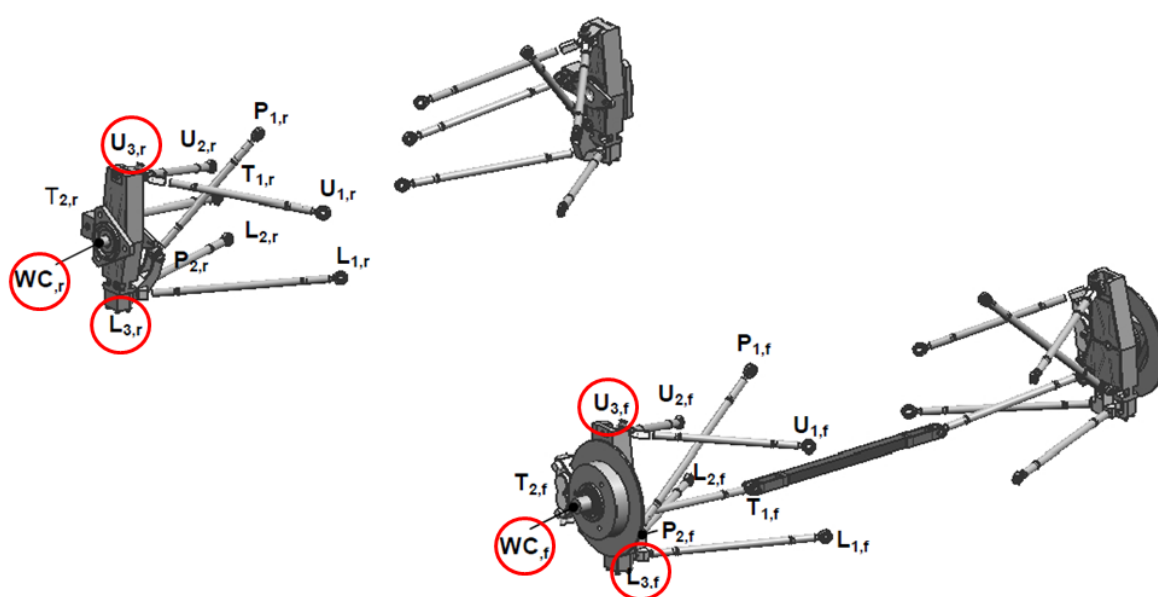


Figura 3.4 – Exemple de punts geomètrics d'un sistema de suspensió

A la imatge es poden veure de forma visual tots els punts geomètrics que ha de projectar el departament de suspensió a l'espai en el seu disseny per tal de definir el comportament dinàmic del vehicle en les diferents situacions de conducció. El conjunt d'elements mostrats a la part inferior-dreta són els elements mecànics de les rodes de l'eix anterior, mentre que els de la part superior-esquerra són els elements de les rodes posteriors.

A continuació es descriuen aquells punts de l'espai i conceptes que defineixen la geometria de suspensió i que es considera oportú conèixer degut a que tenen repercussió per al disseny del Conjunt Roda:

- U3F: degut a les seves inicials en anglès *upper* i *front* fa referència al punt d'unió superior de l'eix anterior. És aquell punt geomètric on s'ajunten trapezi i mangueta o en el cas estudiat més concretament trapezi anterior i suport del trapezi superior que va unit a la mangueta.

- L3F: degut a les seves inicials en anglès *lower* i *front* fa referència al punt d'unió inferior de l'eix anterior. És aquell punt geomètric on s'ajunten trapezi i mangueta.
- U3R: degut a les seves inicials en anglès *upper* i *rear* fa referència al punt d'unió superior de l'eix posterior. És l' equivalent al U3F però per aquest eix posterior.
- L3R: degut a les seves inicials en anglès *lower* i *rear* fa referència al punt d'unió inferior de l'eix posterior. És l' equivalent al L3F però per aquest eix posterior.
- WCF: degut a les seves inicials en anglès *wheel center front* fa referència al punt situat a l'eix de gir de la roda i en el pla que talla la roda perpendicular al seu eix de gir i situat a la meitat de l'amplada de la roda anterior.
- WCR: degut a les seves inicials en anglès *wheel center rear* fa referència al punt situat a l'eix de gir de la roda posterior i en el pla que talla la roda perpendicular al seu eix de gir i situat a la meitat de l'amplada de la roda anterior.
- Via: La distància perpendicular als plans descrits anteriorment que tallen les rodes d'un mateix eix i a on es troba el WC (*wheel center*). Es tindrà doncs una via anterior i una posterior. Es pot veure de forma visual a la figura
- Batalla: la distància perpendicular a la via que uneix el WCF i el WCR d'un mateix costat. També ho podem definir com la distància entre l'eix posterior i l'eix anterior.

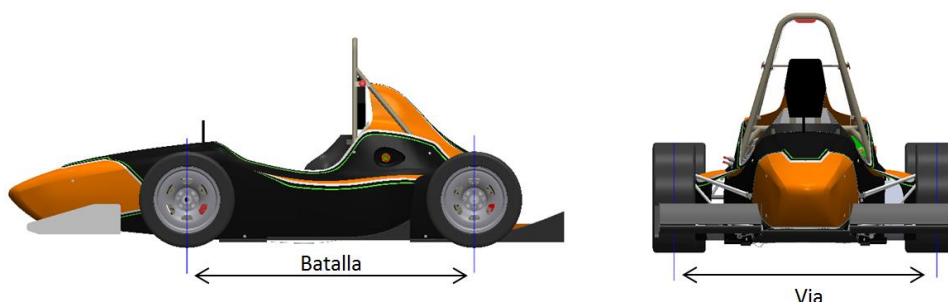


Figura 3.5 - Representació de la batalla i la via de l'e-Va

La posició dels punts geomètrics dels extrems dels trapezis cal dir que no és constant. La geometria descrita es tracte d'una situació de repòs, quan el cotxe es troba estàtic al terra on la única força influent és el pes. Hi ha altres situacions extremes com la de màxima compressió de la roda o màxima extensió, que depenen del sistema de suspensió, especialment de l'amortidor. Tenen lloc quan el cotxe es troba amb diferents irregularitats del terreny durant la circulació.

En aquestes situacions la geometria és un altre, fent que els trapezis es trobin a un angle diferent. El disseny s'ha d'adaptar doncs a les possibles situacions existents, tenint en compte tots els canvis geomètrics que això implica. També cal destacar que aquesta va variant al llarg del desenvolupament del cotxe nombroses vegades i per tant va repercutint en el disseny d'una manera o un altre o de forma més positiva o menys pels interessos del departament de Frens i Rodes.

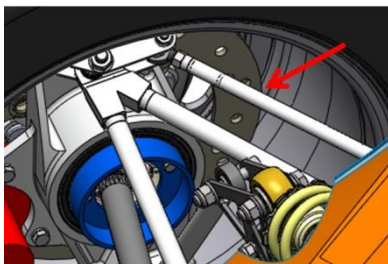


Figura 3.6 - Bieleta posterior en el CAD

A la roda posterior, igual que a l'anterior també hi ha una ballesta. Es tracte del mateix element que es troba a les rodes anteriors amb la diferència que aquest ha d'evitar el gir de les rodes i no pas efectuar-lo. Es troba unida entre el xassís i el suport del trapezi superior i el punt d'ancoratge amb la mangueta també depèn de la geometria de suspensió.

El vincle amb el departament de suspensió com es pot veure ha de ser gran. No només incideix en el Conjunt-Roda tot lo explicat sinó que també s'ha de tenir en compte que és aquest departament el que fa l'estudi de les forces que es produeixen en el sistema de suspensió en les diferents situacions dinàmiques. Aquestes forces són proporcionades per un programa de càlcul de dinàmica vehicular i es fan servir per a dimensionar algunes de les peces més importants. Les forces proporcionades es donen en els punts geomètrics descrits descomposades en els tres eixos de l'espai.

A continuació es defineixen altres conceptes relacionats amb la dinàmica vehicular que tenen un efecte sobre el cas estudiat i que poden aparèixer al llarg del treball:

- *Caster angle* o càster: És l'angle definit entre l'eix vertical que passa pel centre de la circumferència que dibuixa la roda i l'eix respecte el qual pivoten les rodes direccionals d'un vehicle. Pel cas que s'estudia ve definit pels punts L3F i L3R. Depenent d'aquest angle es s'obtenen unes prestacions o unes altres que afecten al comportament del vehicle.
- *Camber angle* o caiguda: és l'angle que defineix el pla vertical perpendicular al terra i el pla que talla l'eix de gir de les rodes. De nou és un paràmetre més a ajustar per obtenir unes prestacions o unes altres.

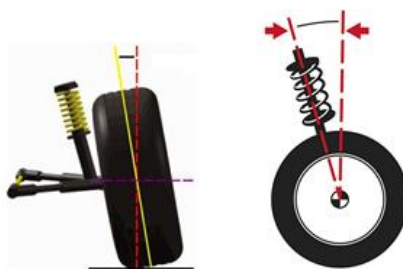


Figura 3.7 - Representació dels angles de caiguda i càster (esquerra i dreta respectivament)

Direcció

Del sistema de direcció en primer lloc cal destacar la ballesta. Es tracte d'un dispositiu simple en forma de vareta que uneix el sistema de direcció de la banda de la cremallera amb les rodes anteriors que han de ser girades. També disposa de ròtules als seus extrems de manera que es permeti el moviment de la roda.

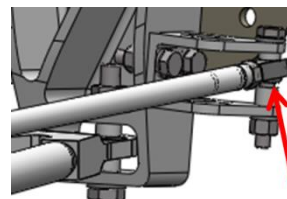


Figura 3.8 - Bieleta de direcció

Aquest departament té una influència especialment gran pel que fa a la geometria que defineix el comportament de la direcció. La geometria de direcció es considera aquell punt a l'espai on s'uneix la bieleta i el suport unit a la mangueta (marcat amb una fletxa a la figura 3.8) que té una influència en el vehicle pel que fa al traçat d'una corba. Aquesta unió permet girar les rodes anteriors quan el mecanisme de la direcció controlat pel volant entra en funcionament. Aquesta geometria repercuteix en les formes que ha d'adoptar el suport de la bieleta, i conseqüentment també la mangueta.

En segon lloc, es necessita tenir una relació estreta amb el departament de direcció pel fet de ser aquest el que determina les forces, no només les que tenen lloc en el punt que defineix la geometria de direcció, sinó també en les que engendra el pneumàtic amb el contacte amb l'asfalt.

A través de programes de càlcul especialitzats i amb dades relacionades amb el compost de pneumàtic que es durà, aquest departament inverteix un gran nombre d'hores en acabar determinant les forces màximes que el pneumàtic és capaç de generar en les situacions de corba, acceleració i frenada.

És gràcies a aquestes forces amb les que es farà l'estudi resistent de certs elements com ara les boixes. De nou es té que es van fent nombrosos estudis i canvis que fan que les forces no es sàpiguen des de bon inici, sinó que es vagin produint iteracions amb les conseqüents repercussions que significa això per l'evolució del disseny.

Transmissió

També s'ha de tenir una relació amb el departament de Transmissió degut al palier. Les rodes posteriors són les motrius del cotxe, on es torbarà el palier que tindrà una influència en les boixes d'aquest eix posterior. El palier és aquell dispositiu mecànic encarregat de transmetre el parell provinent del motor i la resta del sistema de transmissió fins les rodes posteriors.

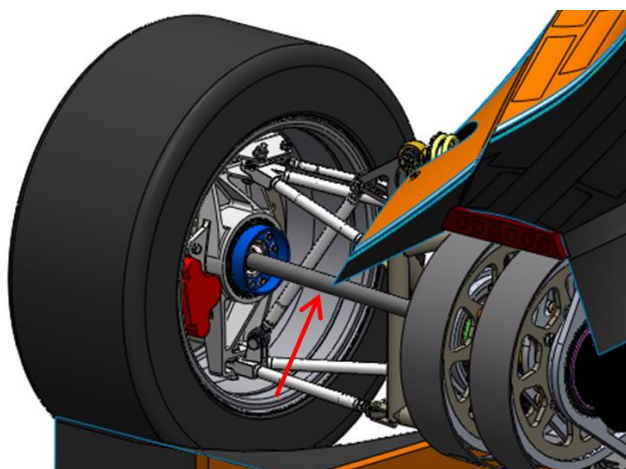


Figura 3.9 – Part posterior del vehicle amb el sistema de transmissió

Des de bon inici de temporada es té clar que un dels canvis respecte la temporada anterior ha de ser el palier, substituint el de vehicle turisme per un de comercial especialment dissenyat per a vehicles de Formula Student.

La principal característica d'aquests palier especials, a part de la seva lleugeresa, és el fet que no tenen junta homocinètica sinó únicament junta *tripod* als seus dos extrems. A continuació es defineixen aquests dos conceptes:

- Junta homocinètica: es tracte d'un element articulat que permet la transmissió del parell a diferent angles de manera que la velocitat de rotació entre ells sigui igual en tot moment. Es troba sotmesa als moviments oscil·latoris de la suspensió i als moviments giratoris de la direcció i es comunament utilitzada en turismes.
- Junta tipus trípede o junta *tripod* de l'anglès *tripod joint* és un element articulat que permet la transmissió del parell a diferent angles de manera que la velocitat de rotació entre ells sigui igual en tot moment. La junta disposa de tres elements que fan de punts de contacte de manera que qualsevol d'aquests permet transmetre el parell alhora que permeten el moviment oscil·latori de la suspensió i cert moviment axial. El seu rang angular no és tant gran com el d'altres articulacions comunament utilitzades.



Figura 3.10 - Junta homocinètica i junta trípede (esquerra i dreta respectivament)

El fet de no tenir junta homocinètica es deu a que no és necessari tenir un element que permeti el moviment giratori ja que els paliers d'aquest tipus sempre es fan servir per vehicles de tracció posterior. A més a més hi ha l'avantatge que sense aquesta junta es resta gran quantitat de pes.

El palier doncs, amb la seva junta *tripod* a l'extrem ha de penetrar a dins del cos de la caixa, havent-se d'adaptar aquesta a les seves característiques geomètriques i a les necessitats que aquesta junta presenti en quan a espai i posició (veure figura 3.9). L'espai a dins de la caixa ha de permetre les diferents posicions a la que es pot trobar el palier quan la roda es trobi en estat de màxima compressió o de màxima extensió del sistema de suspensió.

Com es pot observar, hi ha una confluència gran entre els tres departaments, havent de ser important l'entesa per tal de dur a terme satisfactòriament el disseny d'aquesta part posterior del vehicle.

Per a poder adaptar-se a les situacions canviants de la roda ha d'haver-hi cert moviment axial que faci variar la posició relativa entre junta *tripod* i caixa, permetent per tant el moviment lliscant de la junta

a dins l'allotjament. És per això que el palier disposa d'un senzill sistema amb una molla que fan que l'extrem que es troba al costat de la roda pugui oscil·lar uns mil·límetres per dins de l'allotjament. Això requereix que a l'interior de la caixa s'hi hagi de col·locar una peça que farà de topall quan la junta es trobi en el seva posició més extrema (a la figura 3.11 representada de color blau). Aquest petit element tindrà la seva influència en l'espai i en la geometria de l'interior de les caixes.

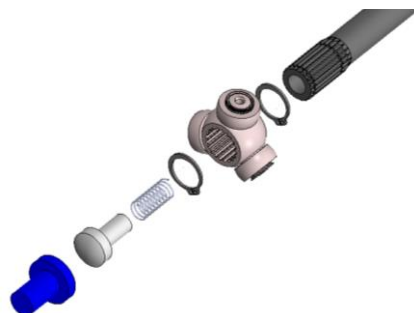


Figura 3.11 - Junta i conjunt d'elements del palier

El palier no només disposa de junta trípod a la banda exterior o de la caixa sinó que també en té una a l'altre extrem, on es troba la corona dentada que rep el parell a través de la cadena i provinent del pinyó situat a l'eix del motor. En aquesta banda l'allotjament es tracte d'una peça comercial adquirida del mateix fabricant del palier i serà la peça amb la que es basarà el disseny de l'allotjament de la banda de la caixa.

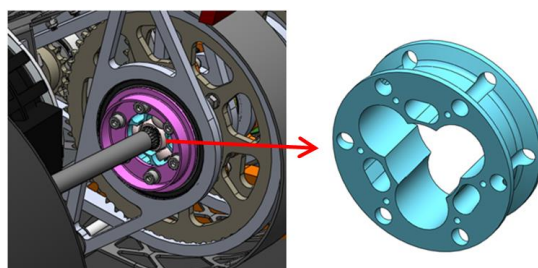


Figura 3.12 – Extrem del palier i allotjament de la junta de la banda interior

Igual que amb el departament de suspensió, els aspectes més tècnics i amb més detall sobre com afecta el palier a la caixa s'expliquen a l'apartat del disseny geomètric mitjançant CAD.

Connectivitat

El departament de connectivitat és el tercer departament amb el que es té una relació directa. És aquest departament el que escull i s'encarrega d'adquirir i de fer anar el sensor que es situa a les rodes anteriors.

Aquest sensor ha de permetre llegir la velocitat a la que es mouen les rodes davanteres. El motiu pel qual es decideix muntar-lo, és degut al fet de considerar per part de diferents membres i

departament que com més es potenciï l'adquisició de dades del vehicle en moviment, millor es podrà entendre el comportament d'aquest per a la seva posterior millora.



Figura 3.13 - Sensor hall utilitzat

El sensor utilitzat es tracta d'un sensor de tipus Hall. A través d'un camp magnètic creat entre un disc giratori i el propi sensor es té un senyal elèctric que permet saber la velocitat del disc. El camp magnètic només es crea quan el sensor i el material del disc es troben a una determinada distància, en funció de la geometria que hi hagi en el disc com ara dents o forats, havent doncs una alternança en el camp magnètic i per tant en el senyal que permet mesurar la velocitat.

Les característiques tècniques específiques del sensor es poden trobar als annexes, a l'apartat C4. Aquestes especificacions tindran una influència en la geometria del disc que s'haurà de muntar a les rodes anteriors.

3.2. Concepte i evolució dels components del conjunt roda

És en aquest apartat on es vol explicar exactament quina funció fa cada element que s'ha dissenyat o escollit i les característiques que puguin tenir. Es parla també del concepte adoptat des de bon principi, així com de les possibles evolucions que hagi tingut en quan a forma, fabricació, material...etc. També es fa referència a possibles obstacles que hagin aparegut, detallant en definitiva aspectes de l'evolució del disseny.

3.2.1. Manguetes

Com ja se sap, aquest és un dels elements centrals de tot el conjunt. A ell s'hi subjecten els trapezis inferiors, el suport del trapezi superior, el suport de la bieleta i el suport de la pinça. Es troba en contacte amb la caixa a través dels rodaments que permeten que hi hagi moviment relatiu, sent la mangueta l'element fixe i la caixa el de rotació.

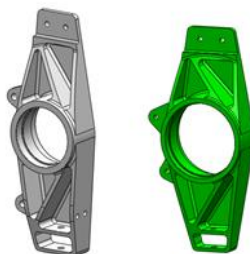


Figura 3.14 - Dibuix 3D de les manguetes anterior i posterior (costat esquerra del cotxe)

Les manguetes de referència per al disseny són les observades en nombrosos vehicles de Formula Student, amb les quals s'agafen idees que ajuden a entendre els conceptes i el funcionament. Tot i així ja es té l'experiència del disseny de la mangueta anterior amb la qual el concepte actual no varia gaire.

Malgrat en un primer moment es va estudiar la possibilitat d'utilitzar les manguetes de l'any passat i reduir pes a partir de la re-mecanització d'aquestes, aquesta idea queda de seguida descartada. El fet de voler fer un vehicle completament nou fa que es produeixin nombrosos canvis en tots els departaments que farien no tingués sentit a aquesta idea, tant per les manguetes com per els demés components. Els objectius clars de millora fan doncs descartar aquesta idea, encarant el disseny amb l'objectiu de fer peces noves que es puguin millorar des de bon principi.

El concepte es basa des de la perspectiva de fer un cos principal en forma hexagonal al qual se li afegeixen els allotjaments dels rodaments al centre. A partir d'aquí es construeixen les demés parts del cos que han de proporcionar una geometria a la qual se li puguin unir els elements auxiliars (suports), així com proporcionar una reducció del volum de material en funció de la relació massa/resistència buscada.

A la mangueta de la part posterior el concepte és exactament el mateix. Malgrat això, se sap des del primer moment que el cos serà considerablement més ample degut al palier. Aquest ha de penetrar a dins de la caixa, fent que aquesta tingui un diàmetre molt més gran i conseqüentment fent que rodaments i mangueta també hagin de ser de dimensions superiors.

Des de bon inici es té molt clar que la fiabilitat és una de les primícies pel disseny. Això fa que no es vulgui arriscar excessivament amb la reducció de material, procurant tenir radis grans o nervis i espessors gruixuts per no comprometre la resistència. Malgrat això es segueix durant el disseny de tots els components, a la mangueta i caixa encara té més rellevància. Cal dir però, que en cap moment es renúncia a la reducció del pes, sinó tot el contrari, la massa és un dels aspectes que es va verificant constantment per tal d'assolir l'objectiu de reducció.

Aquesta primícia de resistència també té una repercussió en el concepte de la mangueta pel que fa a la subjecció del trapezi inferior, tenint des de bon inici la idea de realitzar una subjecció que treballi amb cissalladura doble. Això provoca l'existència de la finestra inferior que evita que el cargol treballi en unes condicions poc favorables.

Amb aquesta peça s'hi dediquen un gran nombre d'hores per tal d'acabar satisfent totes les necessitats. La dependència amb altres elements i departaments fa que el disseny CAD tingui múltiples iteracions. El mètode empleat per a determinar la resistència i poder optimitzar la peça és

la simulació per elements finits amb la qual també s'hi dediquen un gran nombre d'hores, formant part de les iteracions realitzades i sent el mètode usat per a totes aquelles peces de fabricació pròpia.

Pel que fa al material es té clar des del principi que la millor opció es considera l'aliatge d'Alumini 7075-T6. Amb ell es poden obtenir les propietats de resistència buscades juntament amb una densitat que permet tenir components de molt baix pes en comparació amb altres materials. Els motius més detallats que porten a escollir aquest material en la majoria dels components es detallen en un apartat a part.

El mètode de fabricació també té un pes important en el disseny, procurant sempre una geometria que eviti complicacions per a dura a terme la mangueta. El contacte habitual amb el fabricant és l'eina més utilitzada per entendre totes els requeriments de la fabricació i evitar possibles malentesos i problemes. Es considera el millor mètode per a desenvolupar aquesta peça l'arrencament per ferritja o mecanització per control numèric (CNC) degut entre d'altres motius a ser el mètode més a l'abast tenint en compte context i recursos. De nou, es poden trobar motius més específics a l'apartat que se'n parla més fons dels mètodes de fabricació emprats.

3.2.2. Boixes

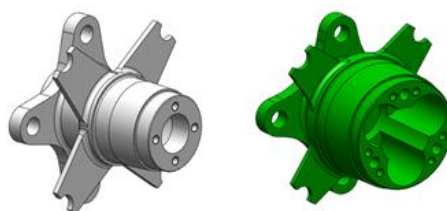


Figura 3.15 - Dibuix 3D de les boixes anterior i posterior (dreta i esquerra respectivament)

L'altre element principal consisteix en aquell que té el moviment de rotació que permet el gir de les rodes, la caixa. Aquesta es troba unida a la mangueta a través dels rodaments i és la peça a la qual hi va unida el disc de fre que permet proporcionar la força de frenada.

El disseny es basa en l'evolució del concebut durant l'any anterior, conservant el concepte però millorant tots aquells aspectes que amb l'experiència s'havien après. La observació de les boixes d'altres equips també serveixen de base per agafar nombroses idees i entendre les claus del disseny.

Des del primer moment el concepte es basa en fer d'una sola peça un element de revolució amb un diàmetre el més uniforme possible, al qual s'hi han d'afegir dos cossos anomenats flors que permeten la subjecció de llanta i disc de fre. A un dels seus extrems s'hi ha de trobar els allotjaments cilíndrics dels dos rodaments a on es trobarà també la mangueta un cop el conjunt estigui muntat. A partir d'aquí es té en compte altres components que s'hi ha d'unir, així com la reducció de material necessària a través de buidar el cos interior per obtenir les prestacions i objectius desitjats.

Un altre aspecte que també es vol implantar des del començament és posar rodaments de diferents diàmetres a cada una de les boixes, sent més gran el que es troba al costat exterior del cotxe (rodament esquerra a la imatge 3.16). Aquest és un recurs típic utilitzat en el disseny d'elements mecànics ja que evita malmetre la superfície on han d'anar allotjats en el moment del muntatge.

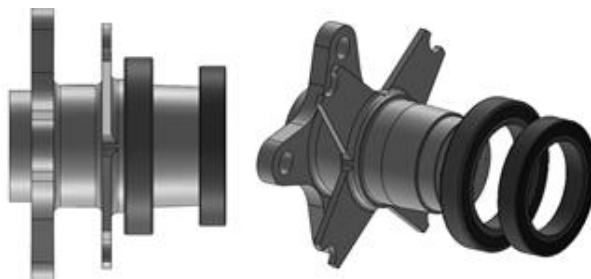


Figura 3.16 – Diferència de diàmetres entre els dos rodaments de la caixa anterior

Pel que fa a la part posterior el concepte roman igual, amb la diferència que al tractar-se de l'eix posterior on es té el palier, la caixa ha de permetre que aquest penetri a dins del seu cos, sent necessari doncs que hi hagi un allotjament amb la forma de trèvol adequada perquè la junta *tripod* transmeti el parell. Aquest aspecte fa que el cos de la caixa posterior sigui considerablement més gran que el de l'anterior, condicionant els rodaments i la mangueta.

Un altre opció valorada per a la caixa posterior era la de unir-hi a ella un allotjament de la junta que fos comercial, igual que el que es fa servir a la part interior, on hi ha la corona. Això evitaria haver de mecanitzar la forma de trèvol a l'interior del cos de la caixa, facilitant la fabricació i simplificant el disseny. La idea s'acaba descartant pel fet que es necessita un costat del palier on la junta trípede pugui moure's axialment i l'allotjament comercial no ho permet. A més a més, el cos de la caixa hauria de ser igualment de diàmetre molt gran per poder recolzar l'allotjament comercial de forma adequada, havent de rebaixar igualment el seu cos interior per no tenir un cos massís..

És amb la persecució de fiabilitat que es pretén realitzar un disseny procurant tenir un cos cilíndric el més uniforme possible, evitant esglaons i fent radis grans que evitin acumulació de tensions. La reducció de volum de material es centra principalment en el seu cos cilíndric. De nou aquesta bona relació entre resistència i pes es verifica a través de múltiples simulacions per elements finits (MEF) amb el qual es pot fer una idea del seu estat resistent amb les diferents iteracions i evolucions.

En quan a material es refereix, es té clar des del principi que la millor opció es considera l'aliatge d'Alumini 7075-T6. Amb ell es pot obtenir una relació pes-resistència pràcticament inigualable amb els recursos que es tenen a l'abast. La facilitat per mecanitzar aquest material també ho motiven.

El mètode de fabricació més apropiat, de nou, es considera que és la mecanització mitjançant màquina eina de control numèric. Malgrat es tracte de ser un element amb una geometria complexa,

hi ha nombroses raons esmenades en l'apartat on es justifica l'ús d'aquest mètode que fan creure que és la millor opció per a dur-la a terme.

3.2.3. Suports dels trapezis superiors

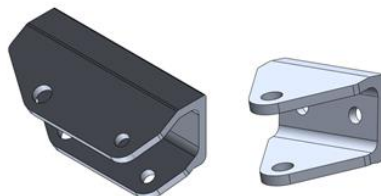


Figura 3.17 – Suports del trapezi superior de la roda posterior (esquerra) i anterior (dreta).

Els suports dels trapezis superiors o suports del trapezis com se l'anomena nombroses vegades per abreujar, es tracte de peces auxiliars que van unides a la mangueta mitjançant unions cargolades. La seva funció és la d'agafar els trapezis superiors que uneixen el conjunt de les quatre rodes amb el xassís i amb la resta del vehicle.

Es parla de suports en plural pel fet que s'han de dissenyar dos de diferents, un que s'adapti a les necessitats de les rodes anteriors i un altre que s'adapti a les posteriors. A més a més, el suport del trapezi posterior tindrà un altre funció, que serà la de subjectar la bieleta que evita que les rodes posteriors tinguin moviment giratori.

El seu disseny es basa en la idea de realitzar un element senzill, amb una geometria simple en forma de "U" que permeti unir el trapezi i propi suport amb un cargol al seu extrem. Per a realitzar la geometria es té com a base el disseny realitzat durant la temporada anterior.

El disseny final és pràcticament idèntic al de la temporada anterior amb les corresponents adaptacions a les noves necessitats i amb la reducció de pes restant material de les cantonades del braç. Es té doncs una etapa de disseny com la de la majoria de peces, amb múltiples iteracions a mida que es modifica la geometria i es fan les simulacions.

Malgrat aquesta senzillesa buscada, es troba al llarg de l'etapa del disseny que la seva dependència amb els altres components i sobretot amb el fet que d'ell depèn l'ajust de la caiguda de la roda, que no és un element tant simple i a la seva configuració final s'hi arriba a través de múltiples iteracions i canvis en nombrosos aspectes i detalls. A la imatge 3.27 es pot veure el funcionament.

El motiu pel qual és una peça independent de la mangueta es basa en el fet de tenir diferents configuracions que permeten ajustar la caiguda de la roda (*camber angle*). A través d'un sistema simple on s'afegeixen platines o espaiadors entre la mangueta i aquest suport, s'aconsegueix tenir un angle entre el pla vertical (perpendicular al terra) i el pla perpendicular a l'eix de rotació de la roda.

La idea inicial del suport posterior no es basava en fer de doble funció ja que es pretenia fer un altre element que realitzés la funció d'agafar la bieleta de les rodes posteriors, d'igual forma que passa amb la bieleta de la direcció. La influència gran que tenia aquesta nova peça en la mangueta posterior i el fet que suposava tenir més elements a fabricar, va originar la idea de unificar-les i obtenir un suport superior semblant al del davant però amb un cos més allargat que permetés abraçar també a la bieleta. Aquests avantatges, juntament amb el fet que no hi havia inconvenients tècnics pel departament de suspensió que controla la geometria d'aquesta bieleta va fer tirar endavant la idea.

Des de bon inici, es va decidir que el millor mètode per aconseguir un element amb les característiques esperades en quan a geometria i en quan a fiabilitat havia de ser mitjançant arrencament de ferritja o mecanització. Per tal de tenir alternatives en cas que els recursos no permetessin això, s'havia pensat en la idea de realitzar mitjançant el conformat de xapa, tractant-se d'un mètode que també podria aconseguir els resultats funcionals esperats. Malgrat això, el disseny des de bon inici es va encarar basant-se en la primera idea i el fet de tenir una empresa on es sabés segur que es realitzaria la peça relativament aviat, va fer que no s'arribés a dissenyar una geometria basant-se en l'alternativa.

En quan al material, des de bon principi es va decidir, com amb pràcticament tots els elements, que el millor material es tractava de l'aliatge d'alumini 7075.

3.2.4. Suport de la pinça

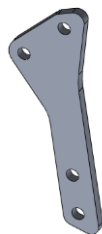


Figura 3.18 - Suport de la pinça de fre anterior

El suport de la pinça és una peça auxiliar que va unida al cos de la mangueta. Es tracte d'un element amb l'única funció de suportar la pinça de fre mitjançant unions cargolades.

El seu disseny s'ha basat en la idea de realitzar una geometria senzilla, que s'adapti a les necessitats geomètriques de pinça de fre i mangueta a les quals es troba unida. Es dona un disseny basat en el de la mateixa peça de la temporada anterior, amb l'objectiu de millorar-ne considerablement el pes, mètode de fabricació i l'acabat. De nou les iteracions en CAD i les simulacions com a mètode de verificació tenen un paper destacar per assolir el concepte adoptat.

Es tracte d'un element que podria ser una peça que estigues integrada a la mangueta, formant part d'aquesta. Tot i així es decideix que sigui un element diferenciat. El motiu és el fet que aquest suport està estrictament vinculat a la pinça que ha de subjectar i un canvi d'aquesta pinça en un altre temporada o per qualsevol altre qüestió suposa realitzar de nou un suport que s'adapti a aquest canvi. Si aquest forma part de la mangueta, això significa haver de fabricar-ne una de nova, amb les suposat cost de recursos que això significa. La mangueta al ser un element car de fabricar i que no qualsevol col·laborador la vol dur a terme té unes possibilitats altres de conservar-se més d'una temporada.

En el cas de les rodes posteriors, la idea inicial era la mateixa. Així com les pinces de les rodes anteriors estava prou clar des de bon inici que es farien servir les de la temporada passada, amb les posteriors era tot el contrari. Durant bona etapa del disseny no es tenia del tot clar quines pinces a la part posterior es farien servir.

Com que el model de pinces no només depèn d'aquelles que desitja l'equip sinó també d'allò que el fabricant pot o vol proporcionar-te, finalment quan es va tenir el model i es va dibuixar en 3D es va donar el cas que la geometria d'aquesta pinça, juntament amb el cos gran de la mangueta posterior i amb la posició a la que havia d'estar degut al disc, feia que l'espai entre mangueta i pinça sigues molt poc, trobant estúpid doncs fer un suport que seria molt estret i que no agradava degut a les seves formes que donaven poca fiabilitat. És per això que en el cas de les manguetes posteriors, el suport de la pinça ja va integrat en el seu cos.

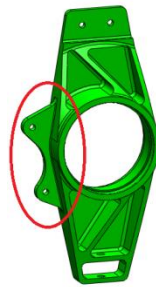


Figura 3.19 - Suport de la pinça integrat al cos de la mangueta posterior

Com s'ha comentat, les pinces que es fan servir a les rodes del davant són les que es feien servir al darrere un any abans i les que es fan servir a la part posterior son noves de l'actual temporada. També es té doncs en possessió de l'equip unes pinces sobrants, les que anteriorment anaven al davant. Malgrat en principi no es pretén fer-ne ús d'aquestes es creu pertinent realitzar un segon suport a la part davantera en el cas que sigui necessari acabar fent-les servir. Els objectius de fiabilitat son el principal motiu, especialment tenint en compte que les pinces tenen bastants anys de vida i tenint en compte certs problemes tinguts amb el sistema de frens en la temporada anterior. Passar

exitosament una prova de frenada és un requisit per poder competir, creient doncs que qualsevol precaució és poca.



Figura 3.20 - Segon suport per a la pinça anterior de recanvi

La primera opció de fabricació es tractava de la conformació per arrencament de ferritja per CNC com moltes de les altres peces del departament. Malgrat aquesta idea va estar present durant bona part del disseny i va influir en aquest, la opció de mecanitzar es va acabar descartant degut a la manca d'empreses col·laboradores que ens proporcionessin aquesta tecnologia i donat el gran nombre de peces que es volien fabricar per aquest mètode. El fet de tenir una empresa col·laboradora que es dedica al tall de xapa per diferents mètodes, la qual ens va proporcionar la fabricació d'un gran nombre de peces de diferents departaments, va fer decantar per la opció de fabricació mitjançant tall làser.

3.2.5. Suport del la bieleta de direcció

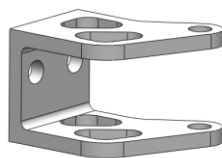


Figura 3.21 - Dibuix 3D del suport de la bieleta de direcció

Aquest element unit a la mangueta s'encarrega de subjectar la bieleta de direcció o *tie rod* en anglès. La bieleta es troba unida a la cremallera de direcció per una banda i a aquest suport per l'altre, empenyent-lo en un sentit o un altre per permetre el gir de la mangueta i el conseqüent gir de les rodes anteriors.

El seu disseny es basa en el dels altres suports observats en vehicles de Formula Student i que son freqüents en diferents parts del cotxe, igual que els suports dels trapezis. Es basa doncs en la idea de realitzar un braç amb una geometria en forma de "U" que permeti agafar la bieleta a través d'un cargol que uneixi els dos components en el seu extrem. Es segueix doncs, la mateixa idea que la realitzada en la passada temporada, amb les millores en quan a optimització de material verificades amb el MEF.

De nou es té un element que es decideix fer com a peça independent que no formi part de la pròpia mangueta seguint els mateixos motius que s'han exposat anteriorment amb el suport de la pinça. A més a més s'hi afegeix un altre motiu ja que el departament de direcció tenia la idea de tenir més d'una geometria per tal de tenir diferents opcions de *set up* que poguessin fer variar el comportament del cotxe. Això implicava tenir des de bon principi clar que el suport havia de ser una peça independent de la mangueta. Finalment però, només es va dur a terme una configuració i per tant un únic suport de la bieleta.

Respecte el mètode de fabricació aquest es pretén fer mitjançant mecanització CNC. De nou, igual que amb els suports del trapezi, malgrat aquesta és la opció preferent, també es té la idea de realitzar la peça mitjançant conformació de xapa a través del tall i el posterior doblec si aquesta primera opció no fos possible. El mètode final va ser la primera opció desitjada, tal i com s'havia previst fer des de bon inici.

3.2.6. Roda del sensor de velocitat



Figura 3.22 – Dibuix 3D de la roda del sensor de velocitat

Es tracte d'un element que rep aquest nom pel fet de ser una peça en forma de roda que té dues funcions. Una és poder conèixer la velocitat lineal de cada roda davantera a partir de la lectura que realitza un sensor de la velocitat de rotació. La segona funció que realitza és fer la força axial necessària perquè el conjunt caixa-mangueta romanguin units i els rodaments treballin adequadament. Es tracte doncs d'una peça que només és per a les rodes anteriors.

El disseny d'aquest element i el concepte és molt diferent a l'adoptat en el cotxe realitzat a la temporada 2014-2015. Aquest fet ve donat pel canvi que es realitza en el sensor, provocant que la roda que l'ha d'acompanyar pugui ser de múltiples formes sempre i quan es segueixin certes característiques exigides pel sensor.

La idea inicial adoptada per al desenvolupament de la roda es basa en les rodes dels sensors *hall* que es poden trobar en motocicletes urbanes. Es tracte d'elements circulars de molt poc espessor que podria ser fabricat mitjançant tall de xapa, no gaire diferent, en termes generals, que el disc de fre però de mides considerablement més petites. El sensor d'aquesta manera llegiria perpendicular al pla que defineix la circumferència del disc. Aquesta opció es descarta pel fet que suposa haver de fer un suport del sensor on la seva geometria es complicaria per tal de satisfer amb el requeriment de

posició del sensor. A més a més, un disc d'aquestes característiques probablement no compliria amb la segona funció ja que és necessari tenir un element robust per tal de fer la força axial necessària.

Un altre opció plantejada era la idea de realitzar dos elements per separat perquè cada un realitzés la funció pertinent. Això podria significar tenir la tapa desitjada a l'extrem de la caixa del gruix necessari i la roda del sensor situada en un altre punt de la caixa. El fet de necessitar de nou d'un suport del sensor que sigui de geometria molt estranya per adaptar-se a les necessitats del sensor o el fet de no tenir espai per aquest, entre d'altres, fan descartar definitivament aquestes opcions.

Finalment doncs s'encara el desenvolupament d'aquesta peça amb la idea de realitzar un element circular i amb gruix suficient com perquè faci de tapa, verificant la seva resistència a la força lateral que pugui fer el pneumàtic. Al fer el contacte amb la pista interior del rodament es fa l'empaquetament axial necessari perquè aquest treballi bé i perquè no hi hagi cap més moviment relatiu entre caixa i mangueta. A aquesta tapa es pretén realitzar unes dents seguint les necessitats del sensor que permetin llegir les valls formades i conseqüentment la velocitat. La roda havent de girar, es troba unida a la caixa a través d'unions cargolades.

Un altre motiu que porta a decantar-se per aquesta opció descrita és el fet de disposar d'una empresa que es dedica a la realització d'elements de transmissió com arbres, rodes dentades, estriats..etc. El fet de disposar des de bon inici d'una empresa que pot realitzar la geometria de les dents, fa que aquesta opció agafi més força que no pas les altres plantejades.

Malgrat disposar d'una empresa on es pugui realitzar aquesta geometria, la roda del sensor s'acaba dividint en tres etapes de fabricació ja que la mecanització amb el torn d'aquest element no la pot realitzar l'empresa anomenada. S'acaba fent doncs l'etapa de tornejat del cos en primer lloc, seguidament es realitza el dentat i per últim es realitza la reducció de material de nou amb el torn convencional.

Un inconvenient que presenta aquest component és el fet que és d'acer, a diferència de tots els altres que són d'al·legacions d'alumini. Aquest fet és degut a les exigències del sensor ja que aquest necessita que es produeixi un camp magnètic i per tant requereix d'un material ferromagnètic. L'acer escollit és el F1140 (segons UNE) degut a la seva facilitat per ser mecanitzat i al fet que ens ho proporciona una de les institucions col·laboradores.

Aquest fet no ha sigut una satisfacció degut a l'increment de pes que suposa. Durant l'etapa del disseny es busquen alternatives que no acaben prosperant com el fet de fer la roda d'alumini i fer un posterior recobriments que permeti convertir les dents en ferromagnètiques o bé la idea de realitzar la roda en dues parts, amb les dents amb el material necessari i el cos central d'alumini. Aquestes propostes s'acaben abandonant.

3.2.7. Suport de la manxa

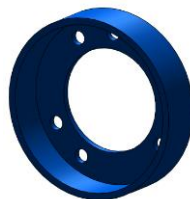


Figura 3.23 – Dibuix 3D del suport de la manxa

El suport de la manxa és l'equivalent de la roda del sensor però per l'eix posterior. De nou es tracte d'un element que té més d'una funció, havent una de comuna amb la roda del sensor que és la de fer contacte amb els rodaments i aconseguir un empaquetament del conjunt caixa-mangueta evitant d'aquesta manera el moviment relatiu axial entre aquest elements. L'altre funció, és la de fer de suport de la manxa o *fuella* en castellà a la qual aquesta goma s'hi pot abraçar per tal de tenir tot l'espai on s'hi posa el greix estanc. La tercera funció que realitza és la de fer de contacte amb els casquets per tal d'evitar que aquests puguin rotar. Per últim també té la feina d'evitar que la junta *tripod* pugui sortir de l'allotjament limitant el desplaçament del palier en direcció axial i en sentit cap a l'interior del cotxe.

El disseny del suport de la manxa no té un precedent amb el que basar-se ja que en el cotxe anterior no es tenia un element que realitzés aquesta funció, era el propi palier el que la feia. El canvi en el tipus de palier deixa un escenari nou, entenent doncs que la millor idea era realitzar una mateixa peça que realitzés les dues funcions.

El seu concepte es basa doncs en la idea de realitzar una peça de revolució, un cilindre buidat per dins, com una mena de got on la paret del cul realitzi el contacte desitjat amb el rodament. A aquesta mateixa paret s'hi afegeixen uns forats als quals s'hi posen els cargols que l'uneixen amb la caixa per tal que girin solidàries juntament amb un forat gran que permet que el palier penetri a dins del cos de la caixa i alhora aquest no en pugui sortir.

Aquest element no ha de transmetre cap parell, sent important únicament la seva resistència a la força lateral del pneumàtic. Es vol fer doncs un ser un element molt buidat de material, amb parets de poc espessor que redueixin el seu pes.

Durant l'evolució del disseny es considera adient realitzar una mena d'esglaó que eviti que la manxa al estar-hi abraçada pugui relliscar. El fet de voler utilitzar brides metàl·liques i la idea de fer la peça el més simple possible fa que aquesta opció s'acabi descartant.

Aquesta idea simple també va encarada en el fet de poder-la fabricar fàcilment. Es considera que qualsevol empresa o lloc on es disposi d'un torn convencional (no CNC) es pot realitzar la peça ja que

no presenta toleràncies precises ni cap dificultat afegida. El mètode escollit des de bon principi es tracte doncs de l'arrencament per ferritja.

Pel que fa al material, el que es considera més adient és qualsevol aliatge d'alumini. La seva facilitat per ser mecanitzat, juntament amb el fet que es tracte d'un component que no ha d'aguantar esforços grans, son els motius que acaben fent triar aquest material.

3.2.8. Casquets



Figura 3.24 – Dibuix 3D d'un casquet

Els casquets o *casquillos* en castellà son aquells semi-tubs que es situen a l'allotjament en forma de trèvol de la junta *tripod* de la caixa posterior. La seva funció és la d'evitar que la caixa es deformi amb el parell que transmet la junta amb el seu contacte.

El disseny es basa en els mateixos semi-tubs o casquets situats a l'altre allotjament de la *tripod* existent en el sistema de transmissió. Es tracte de l'allotjament de la junta que es troba a l'altre extrem del palier, a la banda interior del cotxe on es situa la corona dentada. Aquest allotjament es tracte d'una peça comercial i el disseny de l'allotjament de l'interior de la caixa es basa en aquest per tal d'evitar qualsevol possible problema.

El motiu pel qual es vol fer servir aquests casquets, a part del fet que es troben a l'allotjament comercial, té a veure amb el fet que el material per la caixa és alumini, sent aquest un material considerablement tou. La fiabilitat buscada doncs motiva encara més aquest fet, especialment tenint en compte les recomanacions d'altres equips que des de la seva experiència recomanaven el seu ús.

El disseny del tub s'encara des de la idea de partir d'un tub comercial d'acer estructural, com el fet servir en el xassís del mateix cotxe. A partir d'aquest tub la idea és realitzar els talls longitudinals necessaris per adaptar-se a l'espai que necessita la junta. També des de bon principi es pretén realitzar una mena d'esglaó que a partir d'un encaix geomètric es pugui tenir contacte amb algun altre element i d'aquesta manera evitar la rotació del semi-tub i per tant el moviment relatiu amb la pròpia caixa.

Aquesta idea acaba prosperant malgrat patir certs inconvenients i obstacles pel que fa a l'esglaó anomenat. En primer lloc cal dir que aquest esglaó es pretenia fer encaixar amb el fons de l'allotjament existent a la caixa. Aquesta proposta s'acaba tirant enrere per les dificultats afegides que significa realitzar una geometria que s'adapti a aquest esglaó del semi-tub (veure apartat de les evolucions de la caixa). La solució alternativa passa per situar-lo just a l'altre extrem del tub, de forma que sobresurti fent contacte amb el suport de la manxa i d'aquesta manera s'eviti la rotació.

3.2.9. Platines

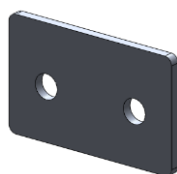


Figura 3.25 – Dibuix 3D d'un platina de regulació

Les platines són aquell conjunt de peces de xapa que controlen la caiguda de les quatre rodes del cotxe. Es situen com a gruixos o distanciadors entre el cos superior de la mangueta i la part posterior dels suports del trapezi superior. En funció del nombre de platines es tindrà un angle o un altre, en un rang aproximat d'entre 0 i 3 graus. Zero graus s'obtenen quan hi ha totes les platines posades, mentre que els 3 graus és produeixen quan no n'hi ha cap.

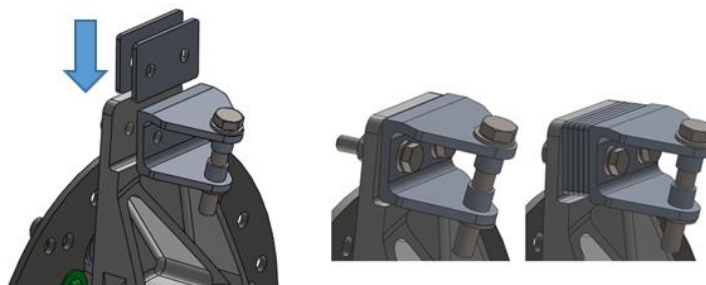


Figura 3.26 – Representació de la regulació de la caiguda amb les platines

Es considera un mètode senzill per a controlar aquesta caiguda, evitant qualsevol complicació en la fabricació. Es troba un precedent en el cotxe de la temporada anterior i és un sistema habitual en altres vehicles del mateix tipus.

El seu disseny es basa en la idea de realitzar una geometria rectangular que s'adapti als dos cossos que està en contacte, amb els corresponents forats per on passen els cargols.

El concepte inicial contemplava realitzar platines de diferents gruixos per controlar l'angle entre el rang establert. Aquesta opció s'acaba canviant amb la realització de múltiples platines del mateix gruix d'Alumini fabricades per tall làser, una opció que s'acaba considerant millor pel fet d'evitar tenir més peces a mecanitzar.

3.2.10. Distanciadors

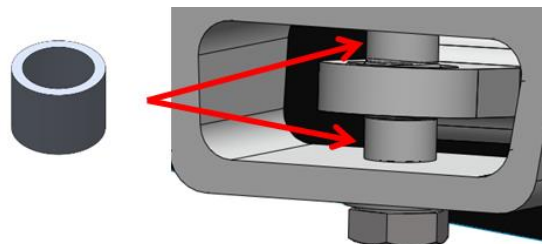


Figura 3.27 – Dibuix 3D d'un distanciador i la seva ubicació

Els distanciadors o *spacers* son aquelles petites peces tubulars que es situen rodejant la canya del cargol per tal d'aconseguir que les ròtules dels trapezidis i de les bieletes de suspensió es trobin al lloc pertinent segons el disseny. Es tracte doncs d'elements que fan de gruix i omplen l'espai existent entre braços de suports i entre la finestra de la mangueta.

Des de bon inici es té previst que siguin uns elements que portin la mínima feina possible, evitant al màxim haver d'invertir recursos grans per a la seva fabricació. Es considera doncs que la millor opció és la de fabricar-los a partir de tubs comercials amb el diàmetre més adient que un cop tallats transversalment s'adaptin a la mida de l'espai que han d'omplir. La seva resistència es verifica comprovant que aguantin els esforços de compressió als que es poden trobar sol·licitats.

El fet de ser tubs d'alumini i el fet de ser de diàmetre considerablement petit, acaba fent que la operació de torn realitzades per a la seva fabricació siguin una mica delicades, amb la repetició d'alguns d'aquests tubs degut a la seva deformació excessiva. El tall transversal a la mida esperada també costa de realitzar i en la majoria de casos es necessari la posterior utilització de la llima per deixar-los a la mida necessària i poder encaixar al seu lloc.

3.2.11. Suport del sensor

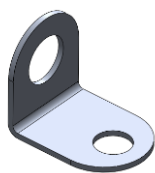


Figura 3.28 - Dibuix 3D del suport del sensor

Es tracte d'aquell petit element de xapa d'alumini que ha de suportar el sensor de la roda anterior. La idea des de bon inici és realitzar un suport molt senzill el qual es pugui unir fàcilment a un cargol fet servir per agafar un altre element com ara el suport de la pinça o el de la bieleta, evitant de nou haver de fer qualsevol element complicat de fabricar que impliqui més elements a mecanitzar.

Es té doncs un element de xapa doblegat a 90º i amb dos forats, realitzat en el taller de l'Escola del Treball sense dificultat afegida.

3.2.12. Rodaments

Els rodaments son aquells elements normalitzats que tenen la finalitat de reduir el fregament entre els elements als quals s'hi troba unit. Per dur a terme la seva finalitat disposa de dos cossos cilíndrics concèntrics de diferent diàmetre anomenats pistes els quals queden separades per uns elements rodant com poden ser boles o rodets que fan el contacte i provoquen que cada pista pugui girar independentment. Es troben sotmesos a forces grans i se'n poden trobar de molts tipus segons el tipus de força que hagin de suportar, el tipus d'element rodant.. entre d'altres.

Pel cas que pertoca, serveixen d'element d'enllaç entre caixa i mangueta, permetent que la primera tingui el moviment de rotació necessari per moure la roda i la segona romangui quieta.

Des de bon inici de la temporada es té clar que el millor és canviar el tipus de rodaments a fer servir a les rodes respecte els usats anteriorment. En el cotxe anterior es van muntar uns rodaments de contacte angular, pensats per a poder suportar altres càrregues radials i axials. Aquest tipus de rodaments van donar nombrosos problemes pel que fa a la seva pre-càrrega durant el muntatge. La seva delicadesa exigida entre d'altres problemes van fer que es decidís buscar una alternativa més fiable.

Després d'observar i obtenir informació d'altres vehicles com el desenvolupat per aquest equip s'encara el disseny amb la idea de fer servir rodaments radials de boles. Es tracte de rodaments més simples, segurament els més usats de forma general, amb els quals es pot obtenir uns resultats en quan a resistència més que suficients per a la tasca que han de desenvolupar.

Des de bon inici i durant tota l'etapa de disseny es demana consell al fabricant, amb el qual es té un conveni de col·laboració, que no només proporciona el material sinó també ajuda tècnica. El vistiplau en quan a l'ús de rodaments radials de boles, juntament amb altres característiques de les que es vol disposar com ara obturació de les pistes o autolubrificació per evitar problemes de fiabilitat fan que des de bon inici se sàpiga la sèrie o model a utilitzar. L'únic aspecte que va evolucionant és els diferents diàmetres que es volen fer servir, agafant l'arxiu CAD proporcionat al web del fabricant en cada moment. Aquests van variant al llarg del desenvolupament del conjunt, en funció de les necessitats geomètriques de caixa i mangueta.

Rodamiento rígido a bolas 618..-2RSR
medidas principales según DIN 625-1, obturación de labio en ambos lados



	d mm	D mm	B mm			
61800-2RSR	10	19	5			
61801-2RSR	12	21	5			
61802-2RSR	15	24	5			
61803-2RSR	17	26	5			
61804-2RSR	20	32	7			
61805-2RSR	25	37	7			

Figura 3.29 – Conjunt de models de rodaments amb informació del fabricant

Es troba doncs, com a les rodes anteriors es tenen uns rodaments considerablement més petits en quan a diàmetre, mentre que a les posteriors, el fet de tenir una caixa molt voluminosa, obliga a tenir uns rodaments de més dimensions. A més a més, el concepte adoptat, contempla des de bon inici que a cada eix hi ha d'haver dos mides diferents de rodaments amb l'objectiu d'evitar malmetre la superfícies del rodament que es troba més a l'interior de la caixa durant el muntatge (representat a la imatge 3.16).



Figura 3.30 – Dibuix 3D d'un dels rodaments utilitzats a cada eix

En quan a la resistència dels rodaments, aquesta és validada per tal d'assegurar els objectius assumits. Malgrat els primers càlculs realitzats amb els rodaments més inicials ja indiquen que no hi haurà problemes de resistència, un cop s'han escollit les mides definitives es comprova que aquests poden aguantar les sol·licitacions a les que es trobaran sotmesos sobradament. Aquest sobre-dimensionament permet encarar el disseny dels allotjaments de caixa i mangueta prioritant les necessitats geomètriques i de reducció de pes d'aquests components, sense haver de patir per la resistència dels rodaments.

El rodaments també tenen un paper destacat en quan a toleràncies de fabricació. Aquestes permeten que els rodaments treballin adequadament en els seus corresponents allotjaments, sense tenir moviment relatiu entre pista i component al qual va unida aquesta pista. Per obtenir la fiabilitat desitjada es té una especial cura en triar adequadament les toleràncies més apropiades pel cas d'estudi. De nou, les recomanacions proporcionada pel fabricant tant des de la pàgina web com des de l'ajuda tècnica personalitzada es segueixen en tot moment per tal d'obtenir un resultat satisfactori. Als annexes es troba un dels quadres seguits per a obtenir informació del fabricant.

3.2.13. Unions cargolades

La cargolaria també forma part del Conjunt-roda, sent aquell conjunt de components normalitzats usats per a la unió entre les diferents peces. Aquests s'adquireixen a través d'una empresa col·laboradora que proporciona totes les necessitats en quan a material de cargolaria de cada departament.

Durant el disseny es té especial cura en tenir en compte tots el material de cargolaria pel que fa a l'espai i a al fet de poder fer el muntatge i desmuntatge dels components amb facilitat.

Malgrat pràcticament tots els cargols del conjunt-roda han estat dimensionats pel departament de suspensió i direcció, els que uneixen roda del sensor i suport de la manxa han estat escollits segons recomanacions del catàleg del fabricant. Els detalls es donen a l'apartat de càlcul resistent.

La seva tria també es basa en obtenir la qualitat mínima o superior exigida per la normativa i en l'adquisició de material de sobres per a poder tenir recanvis i diferents opcions de cargols per a una mateixa unió. D'aquesta manera es permet jugar amb diferents caps, allargades i tipus de canyes en funció de l'espai i les necessitats.

Llanta



Figura 3.31 – Dibuix 3D de la llanta utilitzada

La llanta és un element que constitueix una part fonamental de la roda sent l'encarregada de fer de suport del pneumàtic.

Malgrat certs equips se la fabriquen a mida, des de bon inici es descarta qualsevol idea que no sigui la de fer servir un element comercial. Es considera inapropiat voler desenvolupar un element d'aquestes característiques degut a la falta de coneixement existent i a la dificultat que suposaria trobar alguna empresa que dues a terme la fabricació.

De fet, les llantes que es decideixen fer servir son les mateixes que les utilitzades durant la passada temporada i de nou es creu innecessari comprar o adquirir unes de noves degut a que la temporada

2014-2015 es va adquirir un joc nou de trınca. La reutilització del material i els recursos motiven aquesta decisió.

De bon començament es disposa de l'arxiu CAD proporcionat pel fabricant en el moment de la compra, sent aquest de gran utilitat pel disseny. Es té com a requisit sempre utilitzar arxius proporcionats pels fabricants, evitant arxius trobats a internet o de poca fiabilitat.

Es disposa doncs de dos jocs de quatre llantes de competició, un de nou que es decideix fer servir per als pneumàtics *slick* de sec i un joc adquirit de segona mà, també durant la temporada anterior, que s'utilitzarà pel joc de pneumàtics de pluja.

Pel que fa a les característiques de la llanta, aquesta és de 13" polzades de diàmetre i 7 polzades d'ample, tractant-se d'una mida habitual en aquest tipus de vehicles.

Un altre característica tècnica important a destacar és l'*offset*. És tracte de la distància entre el pla central del cos de la llanta que talla perpendicularment l'eix de rotació i el punt d'unió entre aquesta i la caixa.

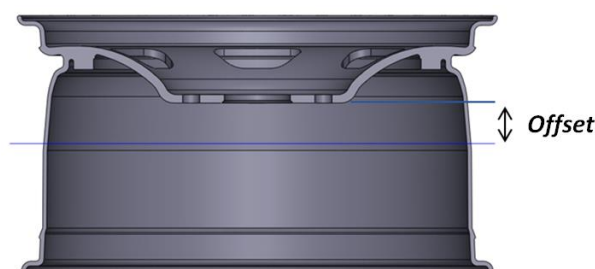


Figura 3.32 – Tall de la llanta amb la representació de l'*offset*

Aquesta distància permet que hi hagi un espai a l'interior de la llanta o un altre i té una especial rellevància en el comportament del vehicle quan es troba en moviment. Tindrà repercussió doncs alhora de dissenyar el Conjunt-roda i encabir-hi tots els components adequadament.

Altres característiques tècniques de la llanta es troben als annexes.

Pinces

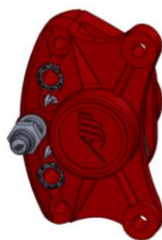


Figura 3.33 – Dibuix 3D de la pinça de fre anterior

Les pinces de fre son l'element encarregat de pressionar el disc per provocar la fricció i la dissipació d'energia necessària que doni la frenada.

De nou, es té un element que en cap cas es planteja la seva fabricació per la dificultat que això significaria. El concepte adoptat es basa doncs en adquirir pinces comercials de motocicleta que son suficients per obtenir les prestacions esperades en un vehicle de poc pes com és un monoplaça de Formula Student.

Des bon inici es planteja la idea de reutilitzar les pinces adquirides durant la temporada anterior. Els problemes de sobre-dimensionament a les rodes posteriors tinguts durant aquesta temporada anterior acaba fent que la proposta prosperi parcialment. Les pinces posteriors de la temporada 2014-2015 s'acaben utilitzant a les rodes anteriors durant la 2015-2016 i es decideix adquirir unes de noves per les rodes posteriors de l'e-Va que s'adeqüin millor a les forces desitjades.

Durant bona part del disseny es desconeix el model de pinça que es muntarà a les rodes posteriors, amb les conseqüents influències que això suposa pel disseny. Aquest fet és degut amb la dificultat que es presenta en certs casos d'establir contacte amb el fabricant amb el qual es té un conveni de col·laboració, així com el fet d'adaptar-se a les necessitats mútues en quan a producte ofert i producte desitjat. Finalment però, s'acaben obtenint unes pinces per les rodes posteriors que satisfan les necessitats del sistema de frens i les del Conjunt-roda en general.

Com amb els demés elements normalitzats, es considera important disposar del model CAD de les pinces per poder efectuar el disseny amb els components el més similars a la realitat possible. Malauradament amb les pinces, només es disposa d'aquests arxius de les de la temporada passada, amb la nova pinça adquirida el fabricant no vol proporcionar-lo, havent doncs de dibuixar una aproximació d'aquesta de forma manual a través de les mesures preses amb una físicament real.



Figura 3.34 – Dibuix 3D propi de la pinça posterior i pinça real (dreta)

Les característiques de les pinces muntades en el vehicle es poden veure a l'apartat de sistema de frens (Brake System) del Design Spec Sheet situat als annexos.

Espàrrecs

L'espàrrec es tracte d'un element de subjecció usat en tot tipus de vehicles per unir una llanta a la seva caixa a través del mecanisme de rosca. A diferència d'un cargol no és un element desmuntable, havent-se de mantenir fixe sempre a la caixa (a excepció que aquest s'hagi de substituir). Aquest disposa d'una part estriada al costat del seu cap que permet mantenir-lo unit en tot moment a la caixa i evita la seva rotació.

Els antecedents durant la temporada passada fan encarar el disseny tenint en compte que el millor es imitar el sistema comú usat en vehicles turismes. La idea des de bon inici doncs, és la de fer servir un espàrrec de turisme que s'adapti a les necessitats de caixa i llanta, juntament amb unes femelles que permetin realitzar la força i el contacte entre llanta i caixa.

Altres opcions contemplades que també s'utilitzarien en vehicles turismes és la de fer servir cargols en comptes de femelles i espàrrecs, de manera que aquests son l'element extraïble que es cargola i descargola directament a la caixa a través d'una rosca mecanitzada en aquesta. Aquesta opció s'acaba descartant per considerar-se poc fiable i que presentaria incompliments de la normativa.

L'elecció dels espàrrecs es basa en obtenir les mides adequades per a tenir la unió forta necessària. És important escollir un espàrrec amb una longitud total de la seva tija (L1 a la figura 3.35) com per salvar el gruix de la caixa, el gruix de la llanta, l'alçada de la femella i encara han de sobrar filets per tal de complir amb l'article de la normativa que fa referència aquest aspecte (a la dreta de la figura 3.35 es pot veure com la mida supera aquests elements).

També se li dona especial importància a la longitud de la part estriada (L2 a la figura 3.35). Aquesta longitud cal que sigui inferior als espessors de les parets de caixa i llanta (de color verd i gris respectivament a la imatge 3.35) ja que sinó la femella no es podrà rosca fins a poder fer contacte amb el cos de la llanta.

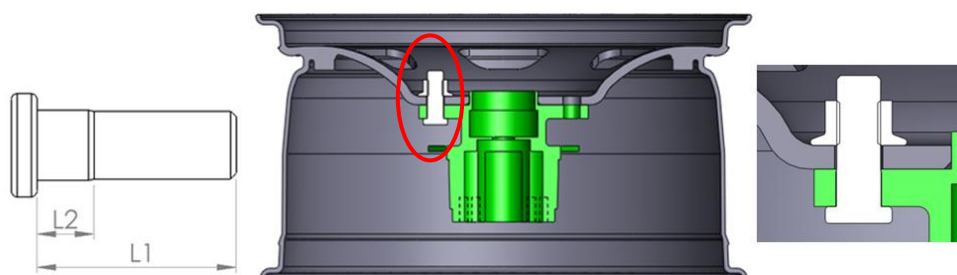


Figura 3.35 – Representació de l'espàrrec amb algunes de les mides més importants

Per últim també cal destacar la importància del diàmetre de la part estriada. Aquest diàmetre condiciona el diàmetre del forat de la caixa per on s'ha d'introduir l'espàrrec per tal d'aconseguir la

fixació necessària, aspecte que va requerir de certes proves i temps i que se'n donen detalls a l'apartat relacionat amb el muntatge dels elements.

Finalment, l'espàrrec escollit és un usat per un vehicle turisme, el qual hi ha nombrosos recanvis. Això es presenta com un avantatge ja que es pot adquirir fàcilment en un taller de recanvis de forma ràpida i fàcil.



Figura 3.36 - Espàrrecs adquirits

3.3. Mètodes de fabricació emprats

El mètode de fabricació que a emprar és un aspecte clau a tenir en compte alhora de desenvolupar un producte. És evident que la forma amb que es durà a terme un element té una influència clau en molts aspectes rellevants del seu disseny.

El criteri bàsic que s'ha seguit per escollir com dur a terme les peces que es dissenyen en aquest treball han sigut principalment els recursos que es tenen a l'abast. Com ja s'ha comentat el pressupost no és un punt fort d'aquest equip, especialment tenint en compte els pocs anys de vida que té.

Així doncs, ens hem de cenyir a mètodes habituals utilitzats en la indústria ja que com més gran sigui la oferta d'empreses que proporcionen el mètode escollit, més possibilitats es tindran d'aconseguir una col·laboració on no s'hagi de pagar pel servei proporcionat. Cal dir que si es sumen tots els elements a fabricar del nostra cotxe ens surten un quantitat no gens desestimable, motiu més pel qual es desitgi buscar mètodes freqüents de la indústria.

A la taula 3.1 es fa una comparació entre diferents mètodes que es poden utilitzar, de manera que de forma visual es poden veure les opcions que més s'ajusten a les necessitats existents. Posant una nota entre 1 i 3, on un 3 és la millor nota possible i un 1 és una valoració negativa.

Característica	Mecanització	Tall i doblec de xapa	Tall i soldat de xapa	Fosa
Precisió	3	2	2	2
Accés al mètode de fabricació	3	3	3	1
Coneixement	3	3	3	2
Adequat segons la geometria de les peces	3	2	1	1
Valoració global (mitja)	3	2,5	2	1,5

Taula 3.1 – Comparació entre diferents mètodes opcionals per a la fabricació de les peces estudiades

La precisió és un aspecte important, tenint en compte que se'n necessita molta per obtenir un bon comportament del vehicle i tenint en compte els ajustos existents entre certes parts. L'accés al mètode de fabricació té en compte si es té fàcilment a l'abast, mentre que el coneixement fa referència a si es té experiència prèvia en el disseny de peces que s'hagin de fabricar d'aquesta manera. Pel que fa a l'adequació segons la geometria, es tenen peces de formes molt diverses, moltes de geometria complexa, limitant per tant certs mètodes.

Cal dir que el nostre cotxe només se'n fabrica un, no és un cotxe que s'hagi de produir en sèrie i aquest aspecte també influeix moltíssim a l'hora d'escollir el mètode de fabricació. Si s'hagués de produir en sèrie s'haurien de tenir molts més aspectes a tenir en compte per tal d'abaratir el producte final, limitant molt les possibilitats. És per això que mètodes com els de fosa queden descartats.

Com ja s'ha vist en la descripció de les peces, la gran majoria estan produïdes a través de mecanització. Els motius que porten a escollir aquest mètode, a part de trobar-se resumits a la taula 3.1, es poden acabar de desglossar en la següent llista:

- Poca variació de les propietats del material un cop mecanitzat
- Precisió dimensional (fins a micres) i bon acabat. Ideal per peces on es necessita fer ajustos com les estudiades.
- Molt freqüent a la indústria
- Mètode relativament ràpid. A priori no requereix de motlles, grans útils o altres elements i requisits previs.
- Malgrat no és un mètode barat és ideal per casos on no hi ha una producció en massa i on la geometria és complicada com en el cas que pertoca.
- Pel cas dels elements més senzills on es requereixi de torn o fresa convencional, és un mètode que es pot dur a terme en tallers que es tenen a l'abast: EUETIB o Escola del Treball.

En cas que el primer no sigues possible, l'altre mètode que s'ha estudiat per a certes peces com els suports auxiliars és el de conformació de xapa a través del seu tall i doblec i/o soldat. De nou la relativa facilitat per fabricar les peces en llocs com l'Escola del Treball son els motius més forts que han fet tenir bons ulls per aquest mètode.

3.4. Selecció dels materials

Un dels primers aspectes que es va tenir en compte va ser el material al qual es volia que seguessin les nostres parts. Igual que el mètode de fabricació, el material contribueix molt notòriament en el comportament de les peces i és fonamental en el disseny mecànic d'un element de màquina.

En el cotxe anterior, de forma general, l'ús d'acer estava molt present. Els objectius establerts de reducció de pes fan de la necessitat d'utilitzar materials més lleugers per a moltes de les parts del vehicle.

Malgrat des de bon principi, gràcies als coneixements adquirits a la carrera i gràcies a l'experiència del passat any, es té bastant clar els tipus de materials més adequats per als elements a dissenyar, es fa una valoració global de les possibilitats seguint un procés com el descrit en el següent esquema:

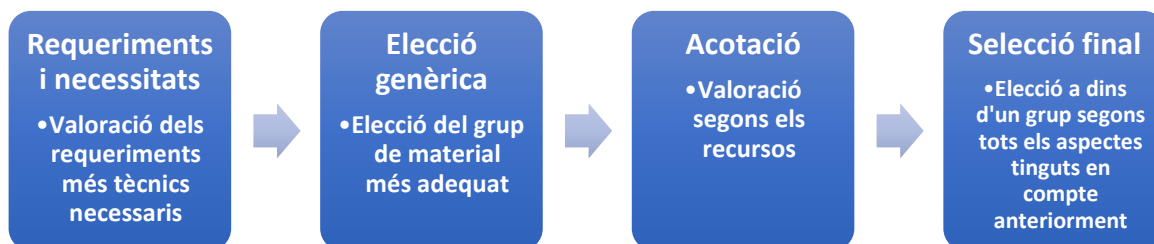


Figura 3.37 - Esquema general seguit per a la valoració del material més adient

3.4.1. Requeriments i necessitats

Les peces i components a dimensionar es tracte d'elements de màquina que han de suportar esforços que es poden considerar elevats, requerint d'una resistència alta. És per això que es busquen materials superiors als acers estructurals més habituals, és a dir, superiors a 300MPa.

A més a més, com es pot veure en la part de dimensionament dels components, es requereix de peces que es no es deformin en excés ja que d'altre manera no es pot considerar el seu correcte dimensionament. El paràmetre que es fa servir per avaluar aquesta característica és el Mòdul de Young, buscant valors superiors a 60GPa.

La densitat del material és essencial considerar-la. Si reduir el pes és important en la majoria d'elements que s'han de dissenyar per a màquines i elements comercials, encara ho és més en un vehicle, especialment si es tracte d'un de carreres. Reduir l'elevada densitat de l'acer amb materials alternatius és un dels requisits que es busca amb el material de les peces del conjunt roda.

A continuació es mostra la taula amb el resum de les necessitats tècniques esperades.

Característica	Valor buscat	Unitat
Límit elàstic	>300	MPa
Mòdul de Young	>60	GPa
Densitat	<7,9	g/cm ³

Figura 3.38 – Taula de les necessitats tècniques buscades

3.4.2. Elecció genèrica

Des de bon principi materials fràgils es consideren no adequats per l'aplicació estudiada, sent els dúctils els més apropiats per a utilitzar-los en elements de màquines.

Fent servir les anomenades cartes de selecció podem veure com els grups que més segueixen els requeriments buscats son els aliatges metàl·lics i els materials compostos.

Pel que fa les primeres cartes (figura 3.39 i figura 3.40), els metalls i els materials compostos son dels que més densitat presenten en relació amb els demés. Els polímers, elastòmers i materials naturals tenen unes propietats de densitat més tractives però no compleixen amb els valors requerits en quan a tensió i Mòdul de Young, mentre que els primers si que ho fan.

Això es pot veure millor en la figura 3.41 on amb la millor relació resistència-deformació es troba a la cantonada superior dreta amb materials metàl·lics i compostos.

Amb la darrera carta es pot veure de nou com aquests dos grups son els que guanyen amb les propietats esperades, destacant més els materials compostos amb una molt bona relació resistència-densitat (figura 3.42).

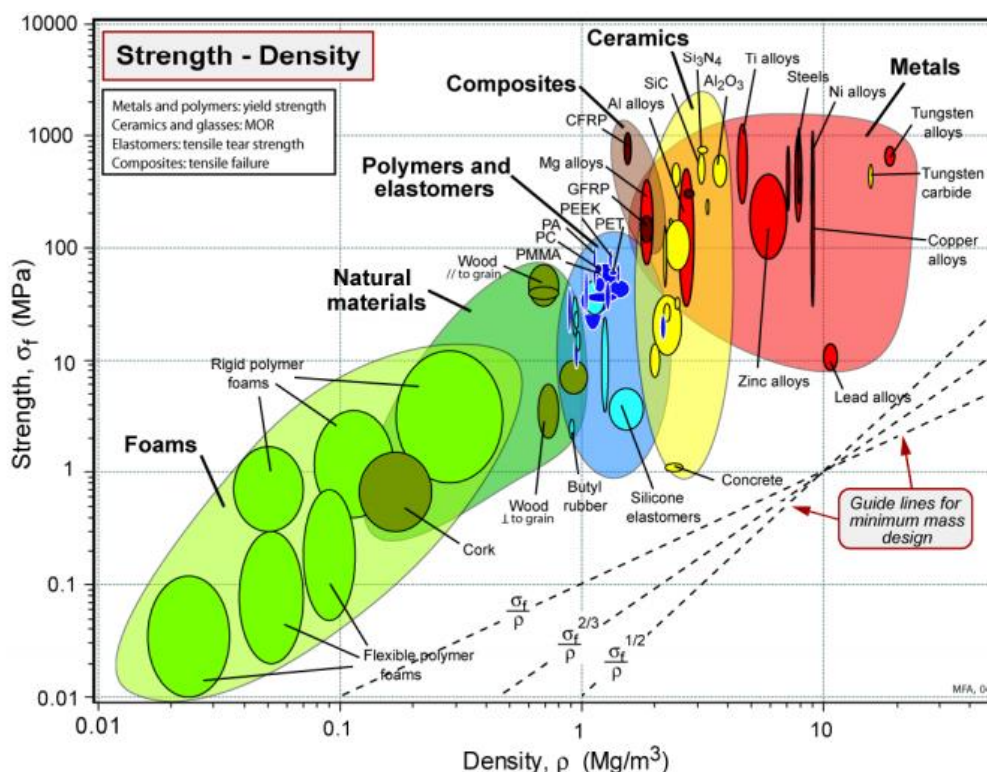


Figura 3.39 – Carta de resistència en funció de la densitat

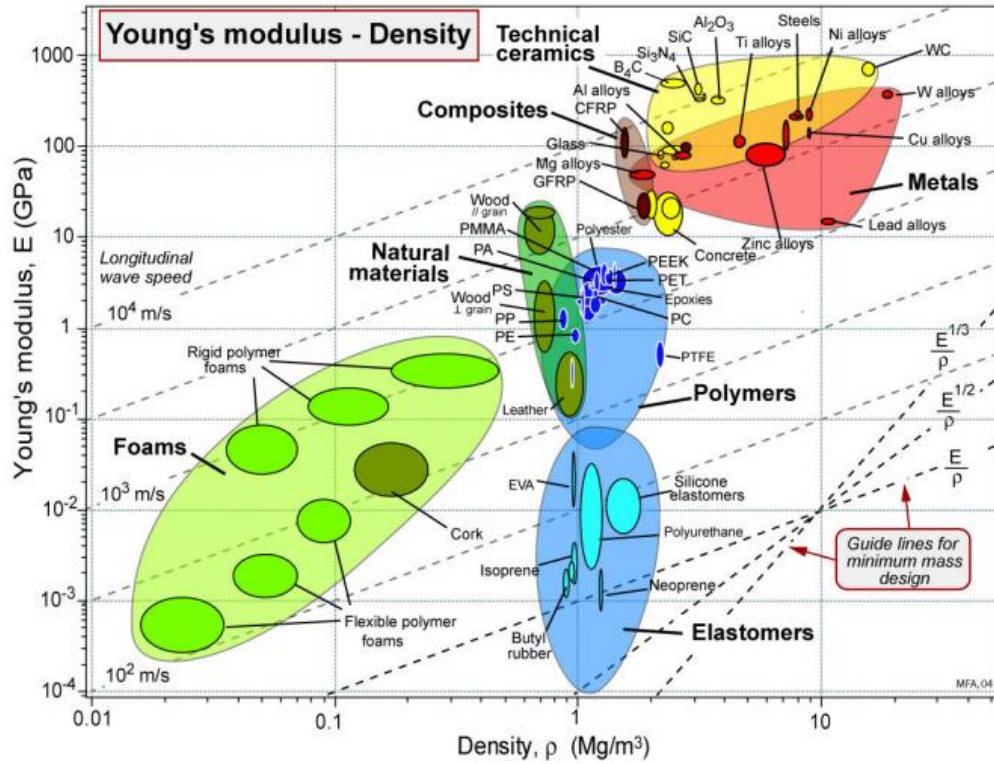


Figura 3.40 - Carta de Mòdul de Young en funció de la densitat

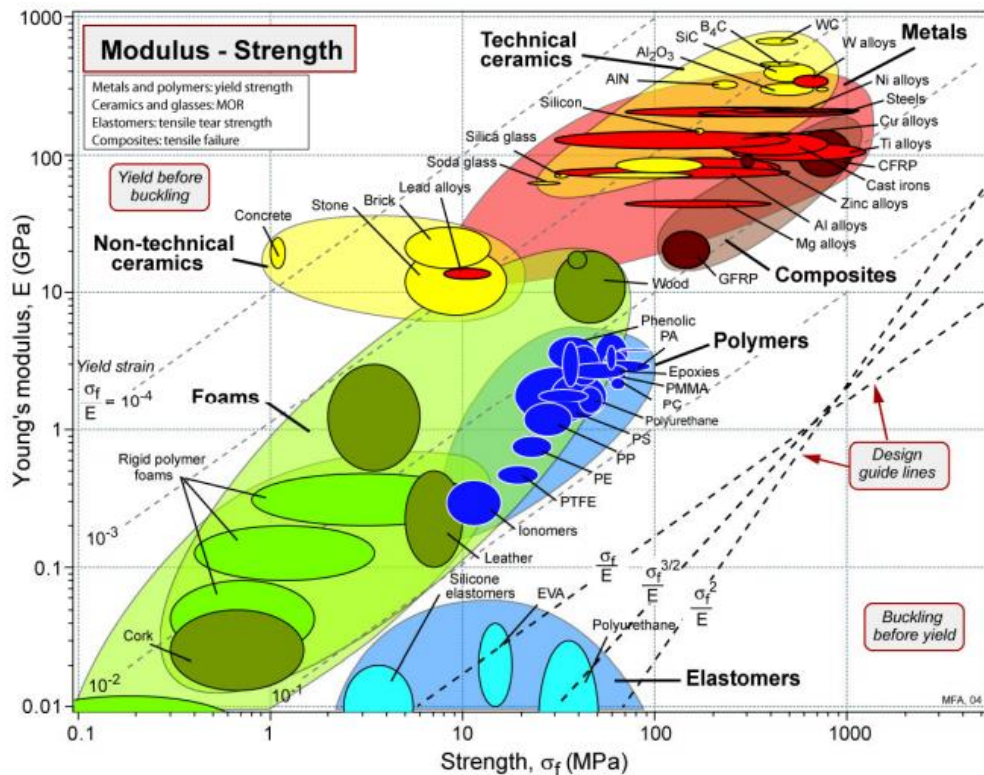


Figura 3.41 - Carta de Mòdul de Young en funció de la resistència

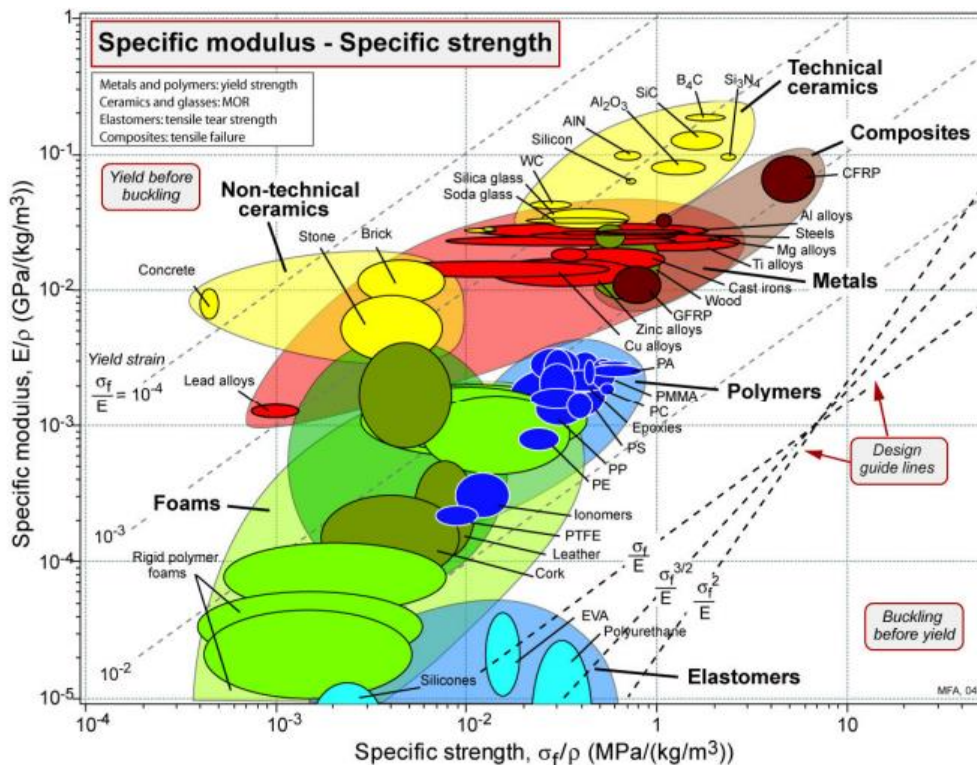


Figura 3.42 – Carta de Mòdul de Young específic en funció de la resistència específica

3.4.3. Acotació

Per acotar més la recerca dels materials a utilitzar es fa una valoració d'aquells aspectes no tant tècnics com els analitzats amb les cartes de selecció però que tenen un rellevància fonamental alhora de decidir si s'utilitza un grup de materials o un altres. De res serveix escollir un material amb una bona relació pes-resistència si aquest no es pot aconseguir de forma segura i òptima. Aspectes com la utilització habitual en la indústria, el preu, el temps per adquirir-lo, la facilitat per fabricar-lo i en general els recursos que es tenen a l'abast són aspectes que tenen molt de pes a l'hora d'escollir el material a utilitzar. El fet de conèixer un material perquè ja se l'ha utilitzat prèviament en alguna altre ocasió també és un factor amb pes.

La taula 3.2 mostra aquesta valoració on s'analitzen aspectes relacionats amb els recursos disponibles, posant una nota entre 1 i 3, on un 3 és la millor nota i un 1 és una valoració negativa.

Característica	Compostos	Metàl·lics
Coneixement	2	3
Facilitat fabricació	3	3
Facilitat d'obtenció (preu)	2	3
Reciclatge i sostenibilitat	1	2
Valoració global (mitja)	2	3

Taula 3.2 - Valoració entre els materials compostos i els metàl·lics

Malgrat en al darrera carta de selecció s'ha vist com els materials compostos presenten millor relació entre densitat i resistència que els metàl·lics, aquests es descarten com es veu a la taula. En primer lloc els coneixements no son gaire grans, malgrat s'ha tractat amb materials com fibres de vidra i de carboni, la seva aplicació no requeria de la resistència que tenen les peces a dissenyar. Una cosa semblant passa amb la fabricació, malgrat s'han produït en altres ocasions materials compostos, la fabricació d'elements de màquina amb aquest material requereix de fer servir motlles i tenir un coneixement i experiència de la qual ara mateix no es disposa. El preu i recursos per a obtenir la matèria prima tampoc són favorables ja que malgrat es té col·laboració amb empreses que proporcionen aquest material, aquest es destinarà per altres parts del cotxe que es considera més adient la seva utilització. El reciclatge dels materials compostos és un aspecte que tampoc és favorable.

Així doncs de forma general es pot concloure que la utilització de materials compostos com podrien ser fibra de carboni per als elements del Conjunt-roda no encaixen amb els objectius inicials plantejats. Malgrat la seva obtenció no és impossible requerriria d'invertir un temps i uns recursos que no es consideren apropiats ni adequats a l'objectiu de fiabilitat buscat.

3.4.4. Selecció final

Un cop es té el grup de materials metàl·lics seleccionat, es procedeix a l'elecció del tipus d'aliatge més adient. Descartant els acers, el grup que més es creu s'apropa a les necessitats existents son els aliatges d'alumini. Tot i que es coneix de la utilització de materials com aliatges de Magnesi i de Titani per altres equips de Formula Student en elements de màquina, de nou la valoració amb una taula ens serveix per a justificar l'elecció.

Característica	Aliatges d'Alumini	Aliatges de Magnesi	Aliatges de Titani
Resistència	2	2	3
Rigidesa	3	2	3
Densitat	3	3	2
Facilitat d'obtenció (preu)	3	2	1
Valoració global (mitja)	3	2	2

Taula 3.3 – Valoració de les característiques dels aliatges metàl·lics

La valoració de la resistència, de la rigidesa, així com de la densitat es pot veure a partir de les cartes de selecció utilitzades anteriorment. Pel que fa al preu, se sap que el Titani té una presència molt inferior en l'escorça terrestre que altres metalls com l'alumini, fent que el seu preu es dispari. La carta de selecció que relaciona el Mòdul de Young amb la relació entre cost per volum, ens dona una idea d'aquest preu (figura 3.43).

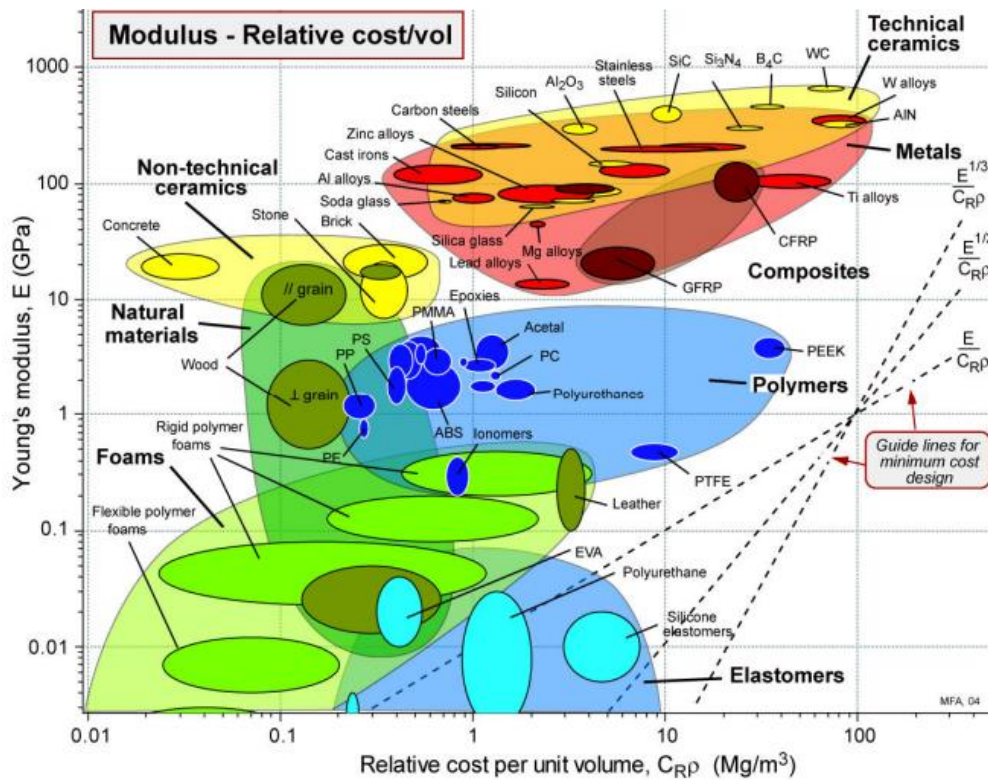


Figura 3.43 – Carta de Mòdul de Young en funció del preu per unitat de volum

Les sèries d'aliatges d'alumini adequades per a l'ús buscat son les denominades 2000, 6000 i 7000, tractades tèrmicament. Les demés queden descartades degut a que les seves propietats son adequades per altres usos.

D'entre totes aquestes sèries de seguida destaca l'Alumini 7075-T6, material relativament usat a la indústria, especialment a l'aeronàutica. Es tracte d'un material ja conegut, usat en certes peces del vehicle anterior i que presenta nombrosos avantatges, especialment pel que fa a resistència, tenint un límit elàstic que volta els 500MPa. La seva disponibilitat en nombroses empreses que comercien amb materials el fan molt assequible, sent el material escollit.

Un altre material interessants i que de fet es fa servir en altres aplicacions del cotxe és el 6063. Malgrat això, el seu límit elàstic és inferior i s'acaba descartant de seguida. Les sèries 2000 anomenades anteriorment tampoc s'acaben considerant adients, amb límits elàstics no tant alts i amb dificultats per trobar gaire oferta.

3.4.5. Alumini 7075-T6

L'aliatge presenta una composició aproximada d'entre 5,1-6,1% de Zn; 2,1-2,9% de Mg i 1,2-2% de Cu. Aquests components el fan tractable tèrmicament, indicant les característiques del tractament tèrmic a través del número que segueix la lletra T.

Com a resultat del tractament tèrmic provoca la precipitació de certs components, creant una microestructura on les partícules precipitades actuen com a obstacle que s'oposa al moviment de les dislocacions durant la deformació. Al restringir el moviment de les dislocacions, l'aliatge es fa més fort, augmentant el límit elàstic.

També cal destacar la seva resistència a la corrosió. L'alumini té una alta reactivitat amb l'òxid de l'aire, formant-se de forma natural una capa fina d'òxid d'alumini a la capa exterior del material. Aquesta capa protegeix de futures oxidacions, tenint una bona residència a la corrosió (solucions àcides). Tot i que per a resistir corrosió son millors els aliatges que no es troben tractats tèrmicament, aquests també presenten resistència en aquest sentit.

De forma resumida es poden resumir els avantatges del material escollit:

- Respon molt bé a les exigències buscades pel que fa a pes i resistència. El seu límit elàstic és considerablement alt, superant els dels acers estructurals i amb una densitat molt més baixa.
- Presenta unes propietats per ser mecanitzat molt bones. Al ser un aliatge d'alumini, sent tou en comparació amb molts acers que es podrien utilitzar, proporciona una bona maquinabilitat.
- Té una bona resistència a la fatiga.
- Es tracte d'un material amb bona resistència a l'oxidació.
- És un material no car i fàcil d'obtenir, sent freqüent en la indústria.
- Presenta facilitat pel reciclatge.

Als annexes es pot trobar més informació, disposant d'una taula amb les propietats físiques, químiques i mecàniques del material.

4. Disseny dels components mitjançant CAD

L'eina bàsica per al desenvolupament del disseny del vehicle és un Software de CAD, concretament el SolidWorks. Es tracta d'una eina molt potent que ens permet dibuixar infinitat de geometries i amb la que es representa cada una de les seves parts i el seu assemblatge.

Els motius que ens porten a utilitzar aquest programa es basen en el fet de tenir certa experiència desenvolupada degut al seu ús durant la carrera i al fet de tenir llicències disponibles que proporcionen llibertat legal per al seu ús. Tot i haver molts altres programes utilitzats a la indústria, aquest es considera més que complet i adient per a l'activitat desenvolupada.

A través de l'eina CAD no només es dibuixa la geometria sinó que també s'utilitza per al constant control entre el pes i la resistència mitjançant el seu mòdul d'elements finits. A més a més també serveix per a la fabricació de molts dels components ja que a través de l'arxiu 3D es pot enviar la informació a una màquina. És doncs l'eina bàsica per al desenvolupament d'elements d'aquestes característiques.

A inicis de temporada l'equip decideix que l'assemblatge virtual de tot el vehicle és indispensable per a poder fer que els departaments puguin interaccionar entre ells per veure les confluències i els obstacles geomètrics. Es té l'objectiu doncs de tenir el cotxe complet amb tots i cada un dels elements definitius que el componen en un ordinador comú per tal que tothom tingui accés a la informació que necessita. Aquest assemblatge de tot el cotxe va variant infinitats de cops al llarg de l'etapa de disseny amb les múltiples actualitzacions que es produeixen a cada departament.



Figura 4.1 – Dibuix 3D del vehicle complet

En els subapartats que venen a continuació es descriuen doncs els passos seguits i les coses tingudes en compte i que repercuteixen sobre el disseny en CAD i per tant sobre la geometria. En primer lloc es parla de l'assemblatge del Conjunt-roda com a eina molt útil per afrontar la interacció entre

elements i a continuació es parla de cada un de les peces dissenyades, procurant fer entendre les operacions realitzades amb les quals es pot controlar les múltiples influències entre peces. Es tracta d'una part del treball on es detalla molt allò dut a terme, entenent com la millor manera per donar a conèixer de forma més explícita tots els aspectes que influencien el disseny CAD.

4.1. Disseny CAD - Origen a l'espai i característiques

Per tal de tenir un sistema de referència comú que ajudi al desenvolupament satisfactori del vehicle es disposa d'una plantilla que segueix la projecció habitual utilitzada en el sector automoció. L'origen a l'espai es situa a l'eix de les rodes davanter, en el pla que divideix simètricament el vehicle i en el pla que representa el terra per on es desplaçarà. La coordenada positiva en X avança des de l'eix anterior cap a la part posterior del vehicle. La positiva en Y des del pla de simetria cap a la part dreta del vehicle i la coordenada positiva en Z des del terra cap a la part superior.

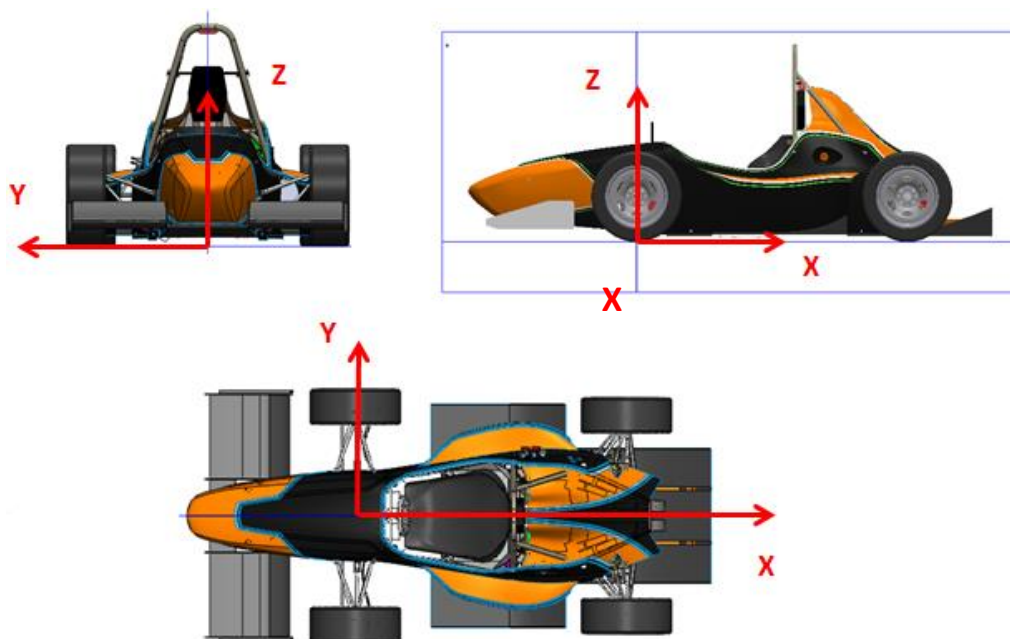


Figura 4.2 – Origen i eixos a l'espai seguit al dibuix 3D

Des del departament de Frens i Rodes es poden destacar una sèrie de característiques relacionades amb el dibuix CAD tingudes en compte per a realitzar satisfactòriament el disseny:

- Es dibuixen tot i cada un dels components que ha de tenir el Conjunt-roda a la realitat per tal de tenir la representació virtual el més fidel possible i així evitar qualsevol problema que pugui passar per alt. Tots els cargols, volanderes i petits elements també es considera indispensable que es trobin en l'assemblatge.

- El dibuix en CAD es realitza només de la part esquerra del cotxe. Posteriorment, un cop s'ha finalitzat l'etapa de disseny es realitza una simetria per tal de tenir la representació del cotxe sencer.
- Les peces es projecten a l'espai en la seva posició de treball i seguint estrictament el sistema de referència establert globalment. Això facilita l'entesa amb els demés departaments quan es parla de coordenades i distàncies.
- Tots els croquis han d'estar amb totes les mides necessàries, de forma que no hi hagi graus de llibertat, evitant així errors i problemes

Durant tot el treball, però sobretot en les seccions que venen a continuació es parla nombroses vegades de les mides de cada element, havent de fer referència constantment als eixos de l'espai. Cal aclarir que cada peça al estar dissenyada en el costat esquerra i projectada en la seva posició de treball de manera que les paraules utilitzades fan referència als següents eixos:

- Quan es parla de “costat esquerra” i “costat dret” es fa referència a l'eix X en sentit positiu i negatiu respectivament. També es pot parlar d'amplada per referir-se a aquest eix.
- Quan es parla de profunditat es tracta de l'eix Y, utilitzant la paraula “exterior” quan s'apunta en sentit negatiu d'aquest eix i cap a l'exterior del vehicle i “interior” quan es parla del sentit positiu.
- Per referir-se a l'eix Z hi ha descripcions que parlen d' “alçada”. Una posició més alta és doncs una coordenada positiva més gran en aquest eix Z.

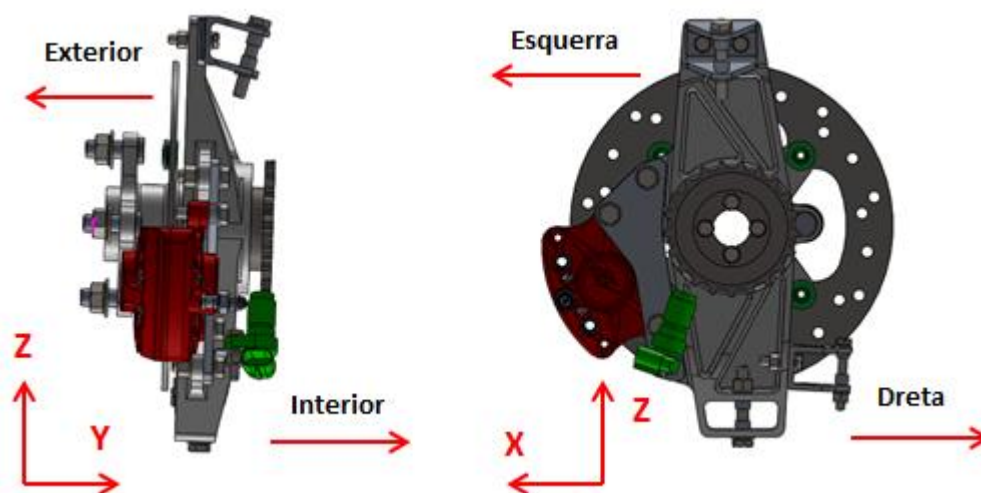


Figura 4.3 – Eixos i referències utilitzades per referir-se a l'espai

Malgrat hi pot haver casos on les paraules utilitzades no segueixen exactament el que s'acaba de descriure, en tot cas es procura en tot moment aclarir de quin eix s'està parlant perquè el lector pugui entendre-ho sense problemes.

4.2. Assemblatge del Conjunt-roda

Tant bon punt es comença fer els primers passos en els dibuixos CAD dels diferents components, és fàcil adonar-se que sense tenir els components veïns, no es pot avançar de forma segura en el disseny. És per això que la realització d'un conjunt des d'un bon principi ajuda molt a poder avançar de forma segura i a poder visualitzar en tot moment el context en el que es troben cada una de les parts.

Es construeixen doncs dos assemblatges, un per la part anterior-esquerra i un per la part posterior-esquerra. És en aquests on s'introdueixen tots i cada un dels components, siguin normalitzats o no i es van modificant i redefinint constantment a mida que avança el disseny.

Com és evident, en el primer moment en el que es fan aquests conjunts els diferents components que es fabricaran es troben molt poc avançats i a la seva geometria li falta moltes iteracions i millores. Malgrat això, certs components comprats com la llanta o les pinces dels frens són de gran ajuda i com s'ha dit és gràcies a realitzar aquest conjunt que es pot avançar de forma segura i més fàcil gràcies a la visualització global que proporciona, controlant millor espais i mesures per evitar col·lisions.

Aquest conjunt propi del departament també presenta un gran avantatge per poder gestionar tots els detalls de la geometria de suspensió i direcció. Com es veurà detalladament en la descripció de cada component i com s'ha dit anteriorment aquesta té una influència molt gran i condiona totalment l'espai a dins de la roda i la posició a l'espai de cada un d'aquests.

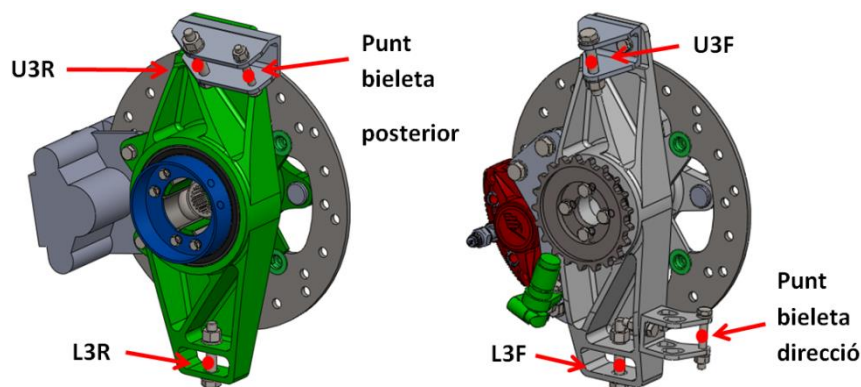


Figura 4.4 – Geometria de suspensió i direcció mostrada en el conjunt 3D

El conjunt té una especial rellevància pel que fa a la representació de la caiguda de la roda que es creu necessari representar per controlar la part superior on es situa el pla superior de la mangueta, les platines i el suport del trapezi. Per a poder a fer aquesta representació dinàmica es juga amb les relacions de posició i amb la creació de plans, eixos i punts.

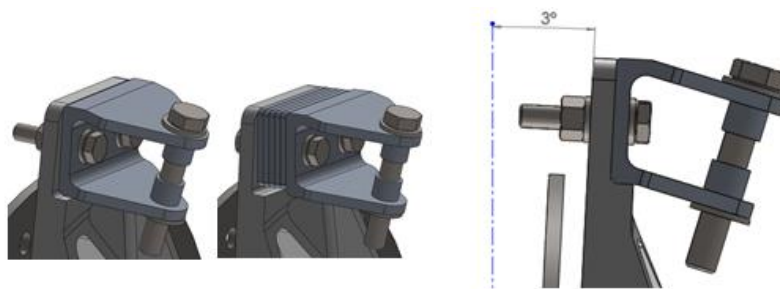


Figura 4.5 – Representació de l'angle de caiguda amb el dibuix CAD

4.3. Manguetes

Per tal d'entendre de millor forma les explicacions en els apartats següents, es mostra un dibuix esquemàtic amb els noms que se li han donat a les diferents zones que la componen (figura 4.6).

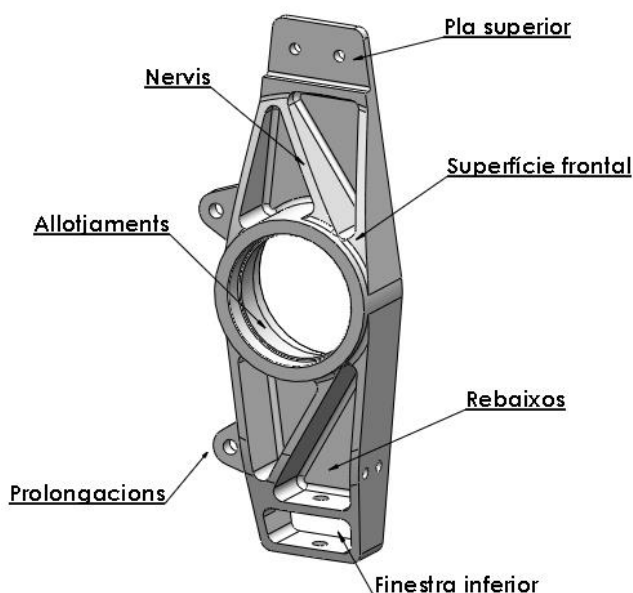


Figura 4.6 - Parts de la mangueta

4.3.1. Operacions del dibuix CAD

En aquest apartat es descriuen els croquis principals i operacions de CAD que s'han dut a terme per a desenvolupar les diferents parts i zones de la peça. Cada una d'aquestes operacions té una funció concreta per tal de poder fer les modificacions necessàries de la forma més senzilla possible a mida que avança el disseny.

Només es detallen aquelles operacions més importants per a dur a terme la geometria buscada. Cal tenir en compte que també hi han moltes altres operacions com ara arrodoniments, xamfrans i forats.

Cos principal (1)

Per al disseny de la mangueta es comença fent un croquis del cos principal d'aquesta (vista en alçat). L'objectiu d'aquesta primera operació és dibuixar la forma hexagonal que aquesta peça presenta de forma senzilla com a primer pas per a un seguit d'operacions que conformaran la geometria complexa de la mangueta.

Aquest croquis permet modificar les dimensions en X i Z de la mangueta, sent l'esbós principal que s'anirà modificant un gran nombre de vegades, ve sigui degut als canvis constants dels punts de suspensió o bé sigui per experimentar canvis en amplada, alçada que es van fent fins a trobar una geometria que s'adeqüi al que es vol.

Un cop està realitzat el croquis, es realitza la operació d'extrusió que permet controlar la profunditat (direcció Z).

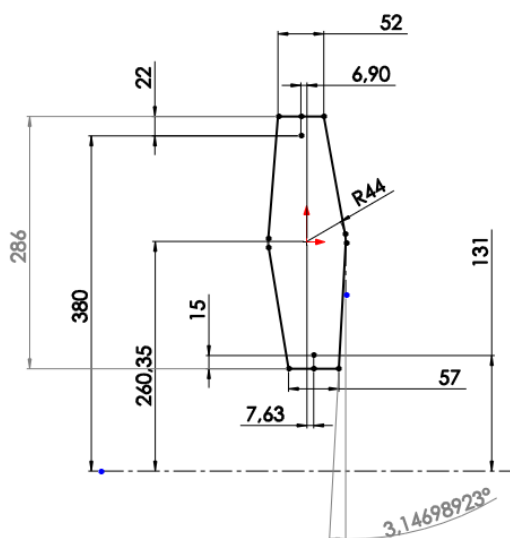


Figura 4.7 Croquis principal de la mangueta anterior

Allotjament dels rodaments (2)

Per tal de dibuixar l'allotjament dels rodaments (forat central) es realitza una operació de revolució amb els diferents diàmetres i mides necessàries per fer els forats corresponents.

La operació es realitza mitjançant revolució de tall per tal de poder controlar no només els diàmetres dels rodaments exteriors i interiors sinó també el de les parets on recolzen aquests rodaments, així com la seva amplada. D'aquesta manera amb un sol croquis i una sola operació es controlen les totes les mides que tenen a veure amb els rodaments.

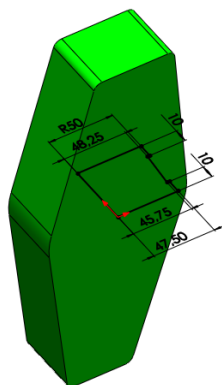


Figura 4.8 – Croquis dels allotjaments dels rodaments de la mangueta posterior

Buidats i nervis interiors (3)

Els buidats allotjats al llarg del cos de la mangueta es realitzen mitjançant operacions de tall-extrusió a través de croquis projectat al cos hexagonal principal.

Es realitzen tres operacions d'extrusió, una per els buidats de la part superior, una pels de la part inferior i una última per la finestra. Es realitzen de forma independent per tal de poder controlar el croquis de cada zona de millor forma, fent més fàcil treballar amb el canvi de mides i relacions constants que es produeixen.

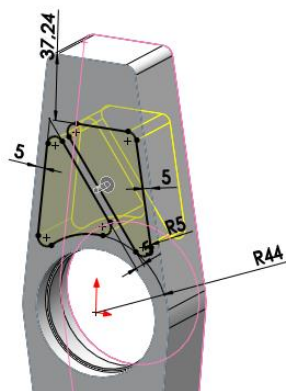


Figura 4.9 – Croquis i extrusió de tall dels buidats

Amb els croquis d'aquestes operacions es poden fer totes les possibles proves relacionades amb els buidats: amplada dels nervis; forma; configuració: triangles, diagonals, creus...etc; així com el control de la finestra per on ha d'anar la unió amb el trapezi inferior.

Superfície frontal (4)

Com s'ha vist anteriorment amb la superfície frontal es fa referència a aquella que es troba a la part inferior i superior de l'allotjament dels rodaments. L'objectiu d'aquesta operació és modelar la part

frontal de la mangueta per tal de reduir en gran quantitat el volum de material que no és útil per a la peça. Es porta a terme mitjançant operacions de revolució que donaran peu a la superfície corba.

El gruix màxim de la mangueta (direcció Y) es troba precisament a on hi ha els allotjaments dels rodaments, sent molt més petit als extrems inferior i superior. Amb els croquis d'aquestes operacions de revolució es pot anar controlant el gruix d'aquests extrems; es pot controlar a on comença i a on acaba la superfície corba i en definitiva es pot anar variant la quantitat de material i per tant de pes i resistència de l'element al llarg del disseny.

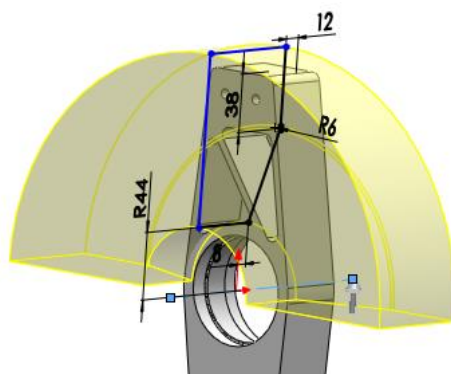


Figura 4.10 – Croquis i revolució de tall per crear la superfície frontal

Prolongacions del suport de la pinça (5)

Les prolongacions que es troben a la part esquerra de la mangueta davantera es realitzen mitjançant una extrusió en direcció Y. El seu croquis dibuixat en el pla XZ serà molt útil per tal de determinar la posició exacta i mida d'aquestes prolongacions que variaran amb la posició del seu suport (a la vegada determinat per pinça i disc de fre).

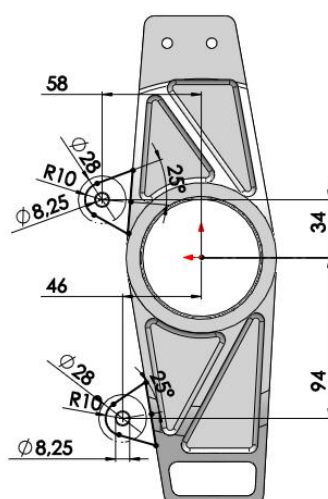


Figura 4.11 - Croquis de les prolongacions

D'igual forma aquest croquis és molt útil per fer el disseny del suport de la pinça com es pot veure més endavant en l'explicació del disseny d'aquest element.

El croquis d'aquesta operació es realitza sobre un pla creat especialment per aquest. D'aquesta manera es podrà anar variant la posició al llarg de l'eix Y de les prolongacions quan variï també la posició del suport de la pinça.

Pel que fa a la mangueta posterior, encara que aquesta no té prolongacions, sinó que directament incorpora el suport de la pinça, el principi del disseny és exactament el mateix. Com les prolongacions, aquest suport es dibuixa sobre un croquis realitzat en un pla. A través del croquis (pla XZ) es podrà controlar la forma i perfil del suport i a través del pla la seva posició al llarg de l'eix Y.

Pla superior (6)

Per realitzar el pla on recolzarà el suport del trapezi superior es fa una extrusió de tall a l'extrem superior de la mangueta. Aquesta operació permet anar controlant les mides d'aquest pla i l'esgló que es crea en funció de les necessitats del suport o de la resistència que es vulgui donar a aquesta part de la mangueta.

4.3.2. Influències d'altres components

Com es pot veure a la l'esquema de l'apartat C3 dels annexes, la mangueta és l'element que més influències té del seu entorn. Això demostra la seva rellevància, sent aquesta el centre de tot el Conjunt-Roda i en general a partir de la qual es va creant la resta de components.

A continuació es descriuen de forma detallada moltes d'aquestes influències i amb quines operacions del dibuix CAD esmentades en el darrer apartat es controlen aquests aspectes.

Boixa

En primer lloc tenim l'altre element principal del conjunt, la boixa. Canvis en la direcció axial de la boixa (direcció Y), bé sigui per l'allargament o escurçament del cos cilíndric o bé per l'allargament de les superfícies dels rodaments, afecten a la profunditat de la mangueta, així com la seva posició al llarg d'aquest eix respecte l'origen del cotxe a la que es pot trobar aquesta.

Així doncs la boixa afecta principalment a la operació del cos principal (1), així com a la dels allotjaments dels rodaments (2).

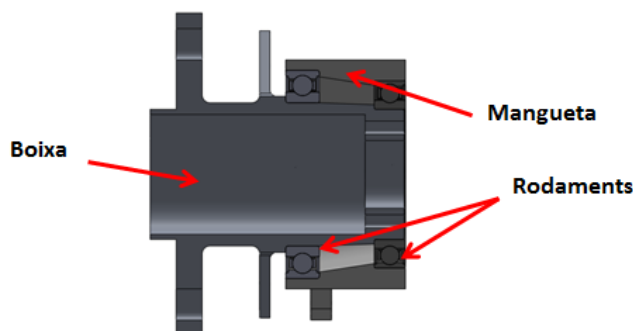


Figura 4.12 - Limitació en Y de la mangueta degut a la boixa

Suport del trapezi superior

Pel que fa al suport del trapezi superior, canvis en qualsevol mesura dels tres eixos, afectarà al pla superior de la mangueta, havent de ser aquest més ample (direcció X); més alt per permetre el recolzament que es vol, podent fer que l'alçada total de la mangueta també variï (direcció Z). Fins i tot també pot fer variar el gruix d'aquest pla superior fent que aquest obligui a canviar el gruix o profunditat total de la mangueta (direcció Y).

Aquesta peça doncs farà que els seus canvis en la mangueta es vagin produint a través de la primera operació (1) i la sisena (6) principalment. Altres aspectes es controlaran amb la operació (4).

Suport de la pinça

El suport de la pinça ha de recolzar sobre les prolongacions de la mangueta dissenyades per a la unió d'aquestes dues peces. La geometria d'aquest suport i la seva ubicació (en gran part determinat per la pinça i sistema de frenada) fa que les prolongacions o orelletes que sobresurten del cos principal de la mangueta hagin d'estar situats en alguna posició al llarg de la direcció Z i afecten a l'amplada total del cos de la mangueta.

D'igual manera, el suport de la pinça afecta a les prolongacions en direcció Y ja que les diferents posicions d'aquest suport al llarg de l'etapa de disseny fan moure les prolongacions al llarg de la paret lateral de la mangueta, fent que aquesta hagi de variar el seu gruix o fins i tot la seva posició relativa a l'origen del cotxe.

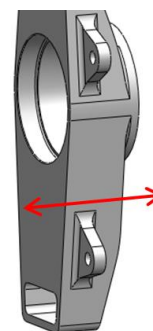


Figura 4.13 - Prolongacions al llarg de l'eix Y

Suport de la bieleta de direcció

Aquesta peça afecta de diferents maneres a la mangueta. En primer lloc fa que pugui tenir variacions en el seu gruix (eix Y) ja que a l'alçada on es troben els forats on s'unirà aquest suport, hi ha d'haver superfície de paret suficient com perquè s'hi recolzi correctament per tota la seva cara i obligant a que aquesta paret sigui plana. Amb la operació (1) es va controlant aquest aspecte.

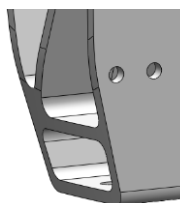


Figura 4.14 - Forats per unir el suport de la bieleta a la mangueta anterior

La mangueta també es veu alterada a la seva superfície frontal degut al suport de la bieleta. Amb la operació que controla aquesta superfície (4) es busca tenir l'amplada de paret necessària, així com la distància suficient entre forats i cantonada que eviti problemes de resistència.

També cal dir que aquest element també pot fer variar la posició relativa de la mangueta al llarg de l'eix Y de l'espai. Malgrat això es procura que sigui el propi suport el que s'adapti a la mangueta i la seva geometria en forma de braç permeti "anar a buscar" el punt de la direcció.

Rodaments

Els rodaments influeixen de forma notòria en el cos principal de la mangueta. Aquests fan que l'allotjament mecanitzat on s'hi han d'inserir sigui d'una determinada grandària, podent variar en funció d'aquesta el diàmetre o la seva profunditat. Això afecta principalment a l'amplada total del cos de la mangueta i al seu gruix (direcció X i Y respectivament) controlats amb la primera operació (A la figura 4.7 es pot veure amb la mida de 44mm de radi).

Llanta

La mangueta s'ha de poder encabir a dins de la llanta sense cap risc de col·lisió. És per això que aquesta influenciarà en l'alçada del cos de la mangueta (direcció Z), restringint el croquis del cos principal, especialment per la part inferior, on més a prop es troba de l'element rodant.

Geometria de suspensió

Aquest és probablement l'aspecte que més condiona el disseny de la mangueta i en general el de tot el conjunt. Un dels obstacles que presenta la geometria de suspensió és que al llarg del disseny pateix canvis constants de forma molt reiterada, més que no pas altres elements.

A la part inferior, a la unió trapezi-mangueta els punts L3F i L3R fan que els dos forats per on ha de passar el cargol hagi d'estar a una distància en Y determinada, limitant el gruix de la mangueta en aquesta part inferior i per tant condicionant la operació que crea la superfície corbada frontal (4).

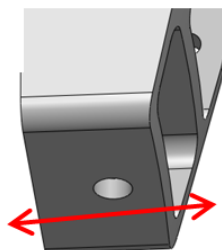


Figura 4.15 – Situació del forat en funció del punt L3F

És el punt L3F o L3R el que provoca que la superfície corbada es trobi precisament a la banda interior del cotxe (la que s'anomena superfície frontal). Amb les diferents variacions que pateix aquest punt, hi ha moments en que el seu valor en Y provoca que el material s'hagi d'extreure per la banda exterior del cotxe (al costat del disc), canviant de lloc la superfície corba o senzillament provocant que hi hagi superfície corba als dos costats però amb un pendent més moderat.

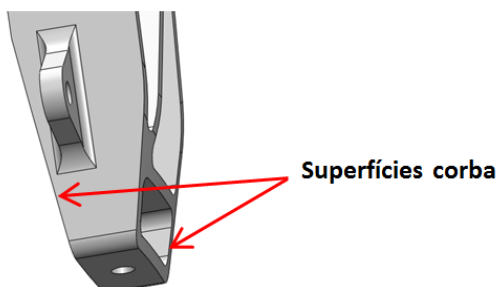


Figura 4.16 – Superfície corba de les dues bandes de la mangueta

De forma indirecta, la coordenada en Y dels punts U3F i U3R també afecten a la mangueta a través del suport del trapezi. Igual que amb els punts inferiors el seu moviment al llarg d'aquest eix limitarà més o menys l'espai.

D'igual forma que en altres ocasions, el fet de patir variacions en Y, provoca que també es condicioni la posició relativa de la mangueta a l'espai. Com es podrà veure amb altres components, aquest és l'eix que més problemes presenta d'espai per poder encaixar els diferents components.

En direcció X i Z la geometria de suspensió afecte el croquis del cos principal (1). En primer lloc els dos punts U3F i L3F condicionen l'alçada total de la mangueta. En segon lloc, aquests dos punts no es troben a la mateixa posició en direcció X pel que fa a la mangueta anterior, de fet un és positiu i l'altre negatiu, trobant-se desplaçats de l'origen formant l'angle càster i creant una forma del cos asimètrica (figura 4.17). Pel que fa a la posterior, com que aquesta no té càster el cos es simètric.

Links o extrems dels trapezis

Com ja s'ha explicat aquestes peces que formen part dels trapezis del sistema de suspensió s'introdueixen a dins de les finestres de la part inferior de la mangueta. L'amplada que aquests elements ocupin condicionen la finestra i conseqüentment el cos de la mangueta en sentit X a la part inferior, fent variacions per tal d'evitar

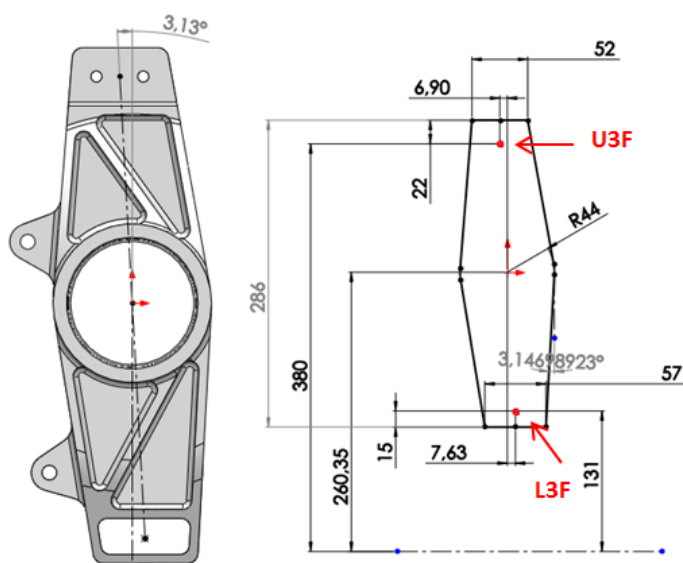


Figura 4.17 - Situació dels punts en el croquis principal i angle càster

col·lisions amb la peça. D'igual forma condicionen les finestres en sentit Z, fent que aquestes hagin de tenir una determinada alçada que pot fer variar l'alçada total de la mangueta.

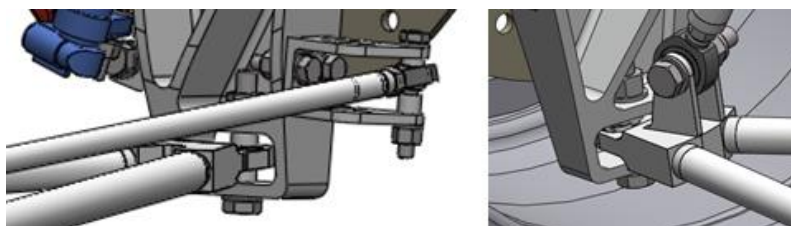


Figura 4.18 – Introducció de l'extrem del trapezi a dins la mangueta

Així doncs els canvis que es vagin produint amb els extrems del sistema de suspensió es controlaran amb els croquis de les operacions (1) i (3).

Un factor important a tenir en compte, com s'ha explicat en altres ocasions, és la no estaticitat del sistema de suspensió. El disseny en general i assemblatges CAD en primer moment es realitzen amb el cotxe en estat de repòs però s'ha de tenir en compte que la massa no suspesa del cotxe quan aquest es posa en moviment es pot trobar a diferents alçades respecte el terra, fent funcionar el sistema de suspensió i fent que els trapezis estiguin a diferents angles.

Pel disseny de l'anomenada finestra es té compte doncs la situació més extrema que serà aquella que es necessiti més espai. D'igual forma, per a l'eix anterior on les rodes han de girar, les finestres de la mangueta han de permetre el gir màxim fent suficientment grans en amplada (direcció X) les anomenades finestres.

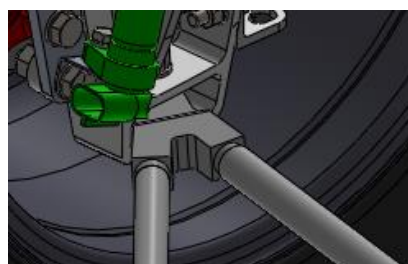


Figura 4.19 - Situació amb la roda girada

Al llarg del treball es parla de l'evolució de la geometria CAD de les peces. Des de l'inici fins al disseny final es produeixen una infinitat de variacions. Canvis en alçada, en gruix i en amplada totals; canvis en l'amplada o gruix del pla superior; variacions en la finestra inferior; variacions en la superfície del pla frontal amb diferents pendents...etc.

Tots aquests canvis es produeixen en primer lloc degut a les necessitats geomètriques de tots els components i aspectes mencionats anteriorment i en segon lloc degut a la reducció del pes i a l'equilibri d'aquest amb la resistència.

A part dels canvis nombrats en el paràgraf de més munt, una de les zones de la mangueta que més variacions ha patit ha sigut la forma dels buidats o rebaixos que es troben a l'interior del seu cos. A continuació es mostren algunes de les geometries estudiades (figura i que posteriorment es fa el seu estudi amb MEF explicant els motius que han portat a tenir la geometria que finalment s'ha dut a terme, descartant-ne aquestes.

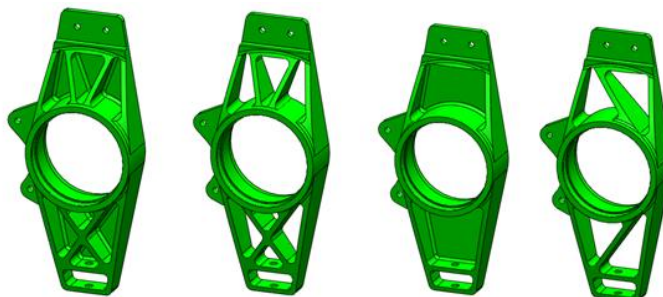


Figura 4.20 – Diferents geometries estudiades per als nervis de les manguetes

4.4. Boixes

Igual que amb les manguetes, a continuació es mostra un dibuix esquemàtic amb els noms que se li han donat a les diferents zones que componen les boixes. A continuació es parla de les operacions per realitzar el dibuix, així com la manera que afecten els demés components.

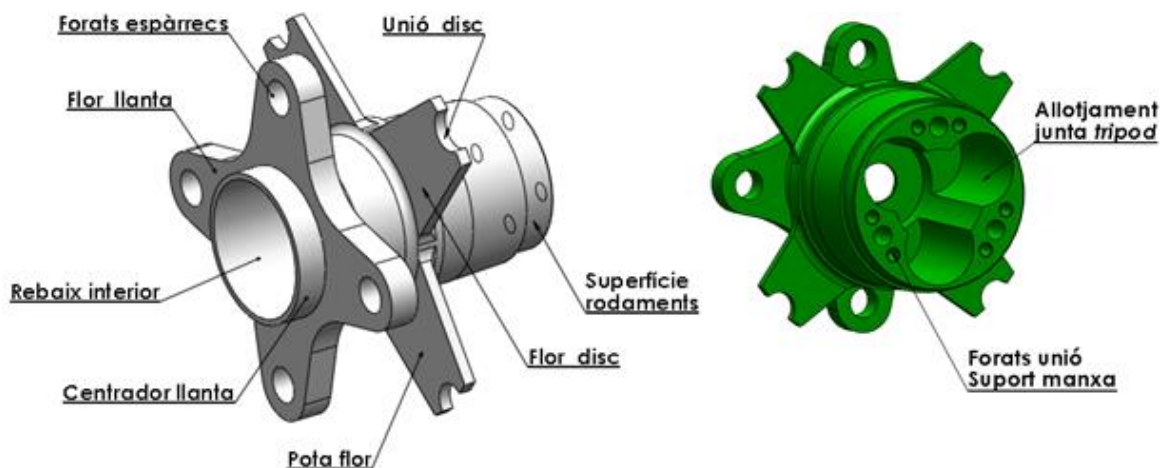


Figura 4.21 – Les boixes i les seves parts

4.4.1. Operacions del dibuix CAD

De nou es vol descriure les operacions principals fetes amb CAD per dur a terme la geometria buscada. Cada una d'aquestes operacions té una funció concreta amb l'objectiu de poder fer les modificacions necessàries de la forma més senzilla possible a mida que avança el desenvolupament, així com amb l'objectiu de no fer més operacions del compte.

Cos principal (1)

Com a cos principal ens referim al conjunt de cilindres creats a partir de la operació de revolució. D'aquesta manera es creen les superfícies dels rodaments i les superfícies on posteriorment s'afegiran la flor de la llanta i la del disc, així com la zona del centrador de la llanta.

És en aquesta primer croquis on es posen la majoria de diàmetres que tindrà la superfície d'aquesta peça de revolució, sent aquest el que més cops anirà variant al llarg del disseny. El fet de realitzar-lo amb la operació de revolució permet modelar fàcilment tots els canvis amb una sola operació.

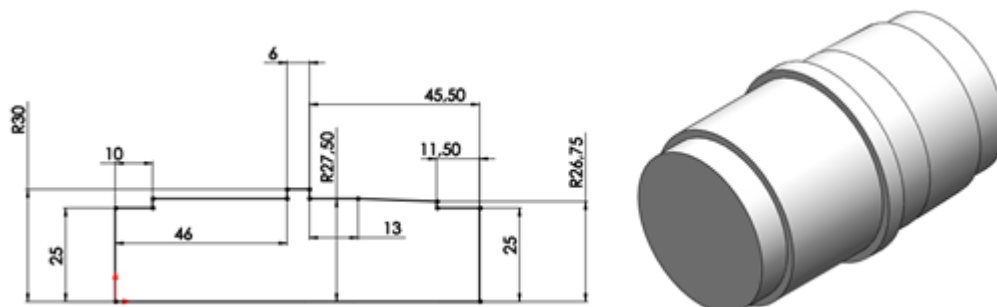


Figura 4.22 – Dibuix del cos principal de la caixa anterior

Flor de la llanta (2)

Aquesta part de la caixa es dibuixarà a partir d'una extrusió feta amb un croquis que tindrà la forma de flor esperada. El croquis es dibuixa sobre un pla que es troba a certa distància dels extrems de la caixa, sent aquest variable al llarg del disseny per ajustar-se a les necessitats.

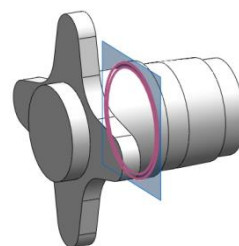


Figura 4.23 Pla de la flor del disc

Aquesta operació permet anar conformant la forma de la flor en funció de les característiques de la llanta, de la reducció de pes esperada...etc.

Flor del disc (3)

D'igual forma que la flor de la llanta, aquesta geometria es crea a partir d'un croquis creat en un pla a certa distància de l'extrem de la caixa. Aquesta pla serveix per anar variant la posició relativa del disc que pot anar canviant al llarg del disseny.

El croquis de la flor del disc serveix per anar variant la forma de les potes, els diàmetres on es troben els punts d'unió amb el disc i tot el que té a veure amb aquesta part.

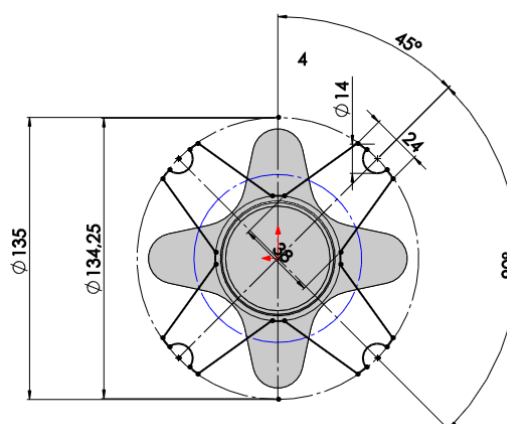


Figura 4.24 - Croquis de la flor del disc

Rebaix interior (4)

El rebaix interior és l'espai que queda a l'interior de les boixes realitzat amb una operació de revolució de tall. Amb aquesta operació es pot controlar la quantitat de material que es vol treure, així com els gruixos entre la superfície cilíndrica exterior i la interior.

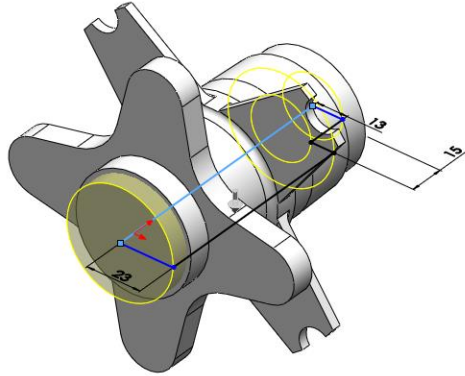


Figura 4.25 – Revolució de tall per a crear el rebaix interior

Allotjament de la junta tripod (5)

És la operació amb la que es controla la geometria de l'allotjament que ha de tenir forma de trèvol adient perquè l'extrem del palier amb la junta s'hi situï adequadament.

Amb aquesta operació també es controlarà la profunditat d'aquest allotjament, aspecte important per a poder-hi ubicar també una petita peça que forma part del palier i que fa de topall d'aquest.

Al costat d'aquest croquis s'hi afegirà un altre on es controli els forats que permetran unir boixa i suport manxa, així com aquells forats que serveixen per a reduir material innecessari.

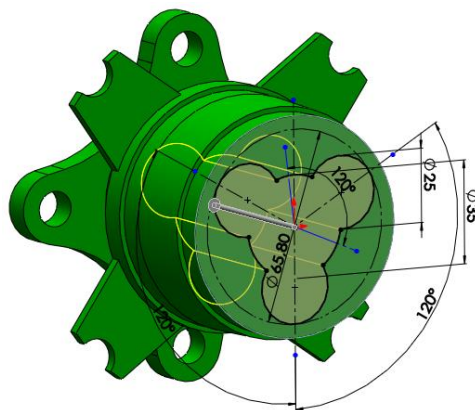


Figura 4.26 – Forat en forma de trèvol

4.4.2. Influències d'altres components

La caixa, sent un altre dels elements principals també presenta nombrosos condicionants en el seu voltant. Igual que amb la mangueta a continuació es detallen els elements principals que més afecten a les operacions principals.

Mangueta

Aquesta té una influència notòria pel que fa a les mides al llarg de la direcció axial. Qualsevol canvi en el gruix de la mangueta influirà en l'allargada de la caixa (eix Y) degut a que l'extrem on es troben les superfícies dels rodaments hauran d'adaptar-se a aquest canvi. Això es pot veure a la figura 4.27 amb la vista en tall de caixa i mangueta.

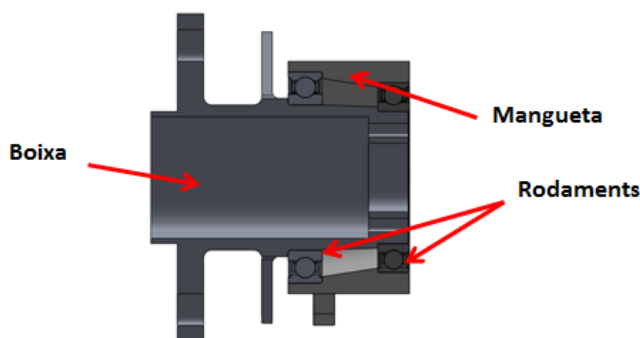


Figura 4.27 - Vista en tall de la caixa i la mangueta

D'igual forma, la mangueta també pot repercutir en la caixa en funció de la seva posició relativa a l'espai. Segons si la mangueta es troba més a l'interior o més a l'exterior de la caixa, aquesta última tindrà un cos més o menys llarg. Aquests aspectes es controlen amb el croquis del cos principal (1).

Rodament

Com és evident els rodaments tenen una influència notòria pel que fa al diàmetre de les diferents superfícies que conformen el cos cilíndric principal, així com l'amplada d'aquests condiciona l'allargada de la caixa (direcció axial).

Permetre entrar el rodament que es troba més a l'exterior sense malmetre la superfície del que es trobarà a l'interior és el motiu que porta a posar rodaments de diferents diàmetres en cada una de les caixes. Aquest aspecte modificarà també el cos de la mangueta degut als allotjaments de diferents mides com es pot veure a la figura 4.28 amb les mides de 27,5 i 27.

Per al disseny de les caixes es procura tenir un diàmetre del cos cilíndric principal el més uniforme possible,

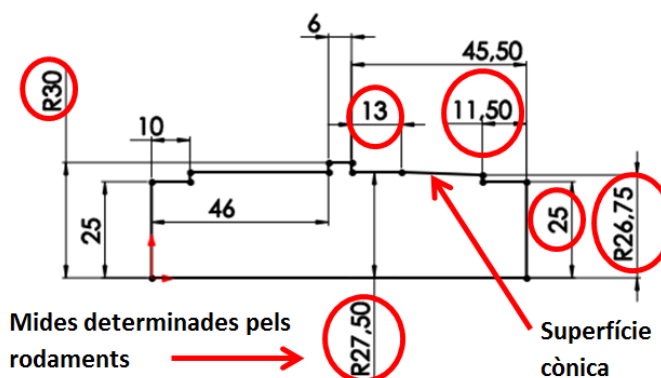


Figura 4.28 - Croquis amb les mides dependents dels rodaments

evitant canvis en diàmetre bruscos. És per això que el diàmetre dels rodaments condiciona tot el cos principal, no només afectant a l'extrem on s'hi allotgen els rodaments sinó que afecta al llarg de tots els cilindres que formen el cos principal de les boixes. Això provoca que en zones com la superfície d'unió entre les dos superfícies dels allotjament dels rodaments siguin còniques i s'evitin esglaons innecessaris (figura 4.28).

L'amplada dels rodaments i el seu diàmetre no es l'únic aspecte que tenen influència sobre la caixa. Els radis de les cantonades i els diàmetres de les superfícies que ha de recolzar el rodament exterior recomanats pel fabricant també aporten canvis en la geometria (mides de 30 i 26,75 de la figura 4.28).

Per tal de posicionar els rodaments i el cos de la caixa el més concèntric possible abans de la unió per interferència es realitzen uns petits xamfrats a la cantonada interior d'aquesta. Això evita que durant l'inici de la introducció, just al començar a fer força amb la premsa, es produeixi una inclinació del rodament que provoqui el bloqueig de la operació i els problemes conseqüents.

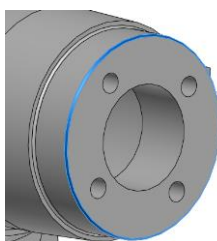


Figura 4.29 – Xamfrà de la cantonada interior de la caixa

Una altra influència que presenten els rodaments en la geometria de la caixa és la de provocar una lleugera reducció de la seva allargada. Reduir el seu cos 0,5mm en direcció axial és una mesura que es decideix prendre per ser un consell del fabricant. Aquesta permet assegurar un bon empaquetament axial com se l'anomena nombroses vegades, fent que hi hagi un bon funcionament dels rodaments evitant jocs i vibracions durant el gir de les rodes.

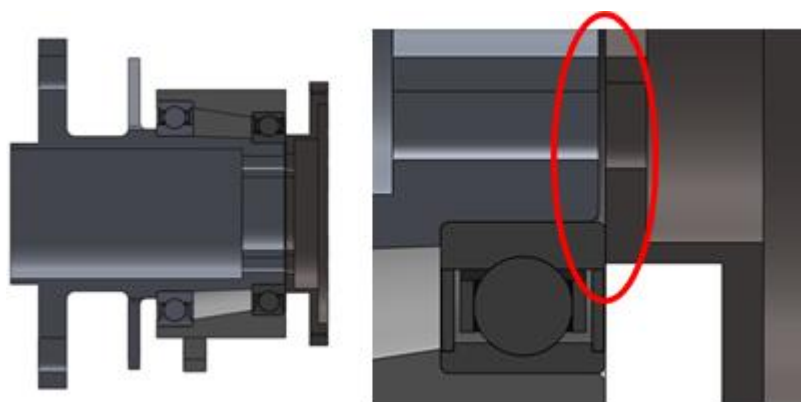


Figura 4.30 – Separació entre roda del sensor i mangueta

Aquesta mesura permet que el contacte entre la roda del sensor i el rodament interior en el cas de la roda davantera i el contacte entre el suport de la manxa i el rodament interior per la roda del darrere es produeixen satisfactòriament ja que provoquen un petit espai que de no existir podria fer que el contacte es produís entre caixa i suport o caixa i roda i no amb la pista interior dels rodaments.

Llanta

Principalment aquesta té una influència en l'allargada de la caixa, de forma que les seves característiques de la geometria interior fan que el contacte caixa-llanta es produeixi a una determinada distància axial (al llarg de l'eix Y). La llanta ha d'estar a una posició fixe, determinada per la geometria de suspensió. Així doncs la caixa queda limitada per la banda exterior a través de la llanta i com hem vist anteriorment per la part interior (sentit positiu de l'eix Y) per la mangueta, fent que tots els elements necessaris: pinça i disc principalment s'hagin de poder situar entre mig (la pinça es controla contínuament degut a que es troba molt a prop de la llanta).

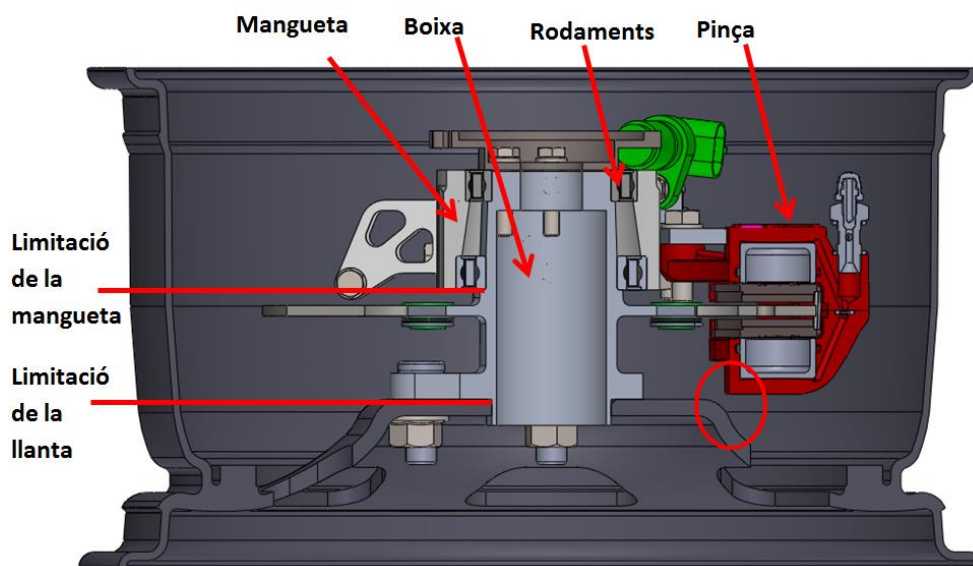


Figura 4.31 – Vista en tall del Conjunt-roda anterior amb les limitacions d'espai

A més a més, la llanta obliga a que el diàmetre al qual es troben els forats per on passen els espàrrecs sigui el que marca aquesta, condicionant a més a més la forma que ha d'adoptar la flor. La llanta comercial presenta quatre punts d'ancoratge, per tant la flor es dissenya amb 4 potes (o pètals) que han de tenir els forats per on aniran els espàrrecs. La geometria d'aquestes potes anirà determinada pel bon recolzament de la llanta juntament amb la reducció de material que es consideri necessària.

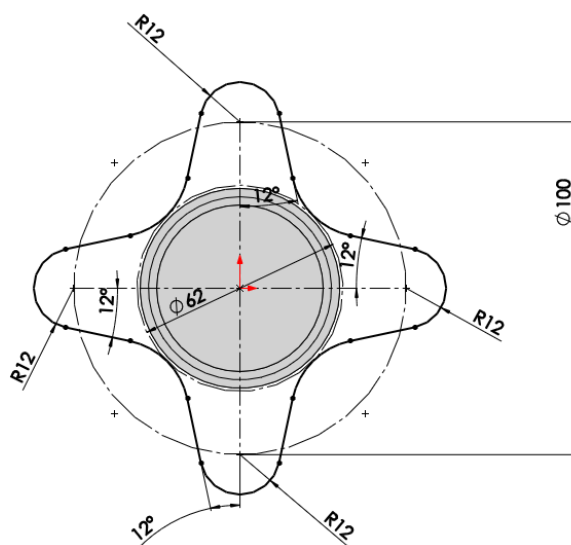


Figura 4.32 – Croquis de la flor de la llanta

També cal destacar el paper que juga la llanta en el diàmetre del centrador. Aquesta part és essencial per tal de tenir la llanta concèntrica i és una part que s'ha d'adaptar totalment a aquesta pel fet que ja es troba comprada. Aquest fet afectarà al cos principal de tota la caixa ja que com s'ha dit, es vol tenir un cos amb les mínimes variacions en quan a diàmetre, afectant en certa manera també a la zona on han d'anar els rodaments. Pel cas de la caixa posterior aquesta idea no es pot dur a terme, havent-hi un esglaó considerablement gran degut a la diferència de diàmetres entre centrador i rodaments.

De nou la primera operació té un paper destacat per controlar la influència d'aquest element, així com el croquis on es dibuixa la forma de la flor (1), (3) i (4).

Espàrrecs

Els espàrrecs tenen una influència en la caixa pel que fa principalment al diàmetre del forat de la flor de la llanta. Per a determinar aquest diàmetre es van realitzar una sèrie de proves prèvies a la fabricació descrites a l'apartat on es descriu la fabricació i el muntatge.

Els espàrrecs també condicionen la caixa pel que fa al seu muntatge. La seva geometria amb el "cap" en un dels seus extrems obliga a que el muntatge sigui en un sentit de positiu a negatiu al llarg de l'eix Y. Això fa que la flor del disc presenti per força una geometria que pugui permetre aquest muntatge, fent que hi hagi d'haver 4 potes i que aquestes estiguin desfasades 90 graus respecte les potes de la flor de la llanta.

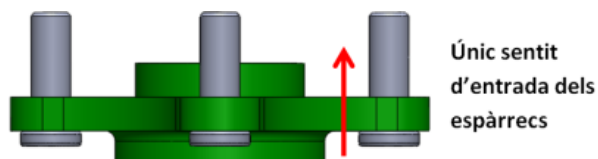


Figura 4.33 - Sentit d'introducció dels espàrrecs a la caixa

Afegir un número més alt de potes a la flor del disc suposa la impossibilitat o bé una dificultat massa alta per obtenir una geometria i un desfasament entre les potes de les dues flors que permeti espai suficient com perquè els espàrrecs puguin entrar degudament. Pel que fa a la possibilitat de foradar una d'aquestes potes amb un diàmetre com perquè hi passi l'espàrrec ha sigut descartada ja que suposa debilitar amb un concentrador de tensions molt gran com seria un forat de dimensions que rondarien els 15mm de diàmetre.

En quan a la caixa posterior es presenta una dificultat afegida. El fet que aquesta presenti un cos cilíndric principal d'un diàmetre bastant més gran que l'anterior fa que el muntatge dels espàrrecs es trobin amb l'obstacle d'aquest cos principal. La solució trobada per aquesta qüestió es basa en llimar lleugerament el cap de l'espàrrec, de manera que no hi hagi interferència al entrar-lo.

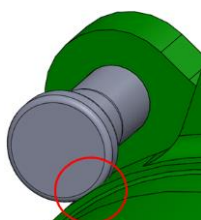


Figura 4.34 – Interferència produïda entre espàrrec i caixa posterior

Geometria de la Suspensió

Com s'ha vist quan es parlava de com influeix la llanta és evident que la geometria de suspensió té una influència de forma indirecta important en la caixa, ja que la posició de la llanta afecta a la banda exterior de la caixa i la de la mangueta a la interior, sent aquestes posicions venint determinats per aquesta geometria en gran mesura.

Palier

El palier i més concretament la junta trípod condiciona pràcticament tota la caixa posterior. Aquest, al haver-se-li d'introduir provoca que el cos general hagi de ser d'un diàmetre molt més gran en comparació amb la caixa anterior, sobretot pel que fa a la banda on es situen els rodaments, creant un cos cilíndric estrany, amb unes potes de la flor de la llanta molt més curtes que les de la roda davantera.

A més a més, la presència d'altres elements a dins del seu cos, a part de la junta *tipod*, implica limitacions d'espai en sentit axial que requereixen estudiar bé la geometria interna.

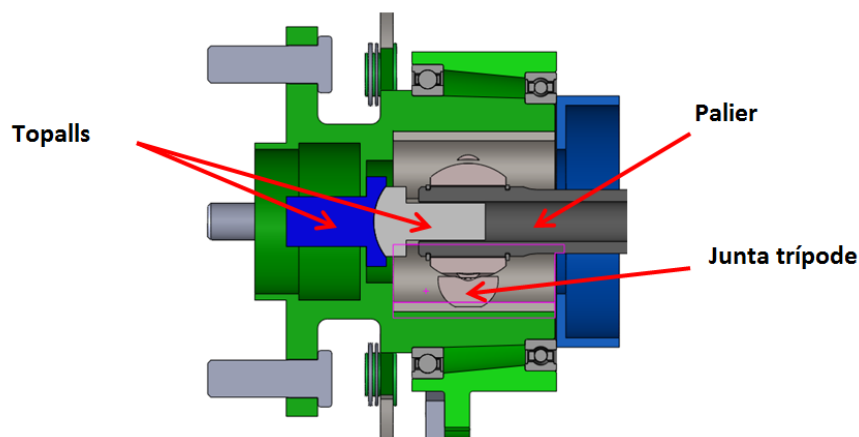


Figura 4.35 - Secció del conjunt posterior amb les peces del palier a l'interior de la caixa

El palier també pot fer variar l'allargada de la caixa per tal que aquesta s'adapti a la seva d'allargada. Les necessitats d'aquest es poden anar controlant fàcilment amb les operacions del cos principal (1), així com a amb les dels rebaixos de material interiors (4) i (5).

4.4.3. Evolucions del disseny CAD de les boixes

Malgrat es produeixen moltíssim canvis en allargada i en zones com les flors, la caixa no presenta les mateixes possibilitats que la mangueta en quan a variacions de formes i reducció de material. Si es manté el concepte en quan a l'existència de les dues flors i en quan als criteris de sobre-dimensionament els canvis que es poden fer com els descrits anteriorment no proporcionen resultats excessivament variats. Així doncs, un cop establerts tots els límits geomètrics i restriccions d'elements veïns, en certa mesura, és fàcil anar a parar a la geometria que s'ha acabat duent a terme.

La caixa posterior en canvi, si que ha presentat certes variacions a destacar. Va tenir repercussió un canvi pel que fa a l'allotjament de la junta *tripod* ja que durant els primers mesos del disseny no es coneixia del tot les necessitats del palier i es va dissenyar un allotjament de poca profunditat. Un cop es va saber l'espai que necessitava la junta per tal que es mogués a dins, es va haver de readaptar. Aquest augment de la profunditat en un primer moment no va agradar a la persona encarregada de la fabricació però les readaptacions en la geometria i el fet de trobar eines de tall suficientment llargues van poder fer tirar endavant la geometria necessària.

Un altre obstacle que es va presentar a la caixa posterior va ser pel que fa als casquets que van a l'interior del forat en forma de trèvol. Com s'ha explicat en la descripció d'aquest element durant els primers apartats, aquest presenta un encaix geomètric que té l'objectiu d'evitar la seva rotació. En un primer moment en el fons del tot de l'allotjament es trobava una geometria que s'adaptava a les necessitats d'aquest encaix geomètric, on l'esglaó mecanitzat en el semi-tub havia d'encaixar-hi

perfectament. Aquesta idea però va haver de ser descartada degut a que la geometria que es formava no era possible de mecanitzar amb la maquinaria disponible.

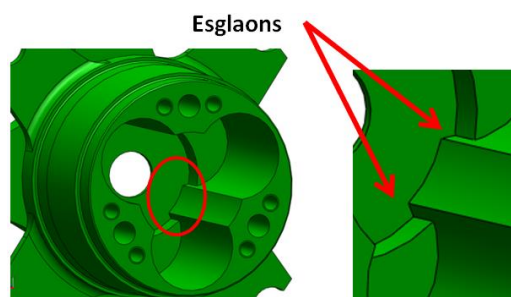


Figura 4.36 – Geometria que dificultava la fabricació en la caixa posterior

4.5. Suports del trapezi superior

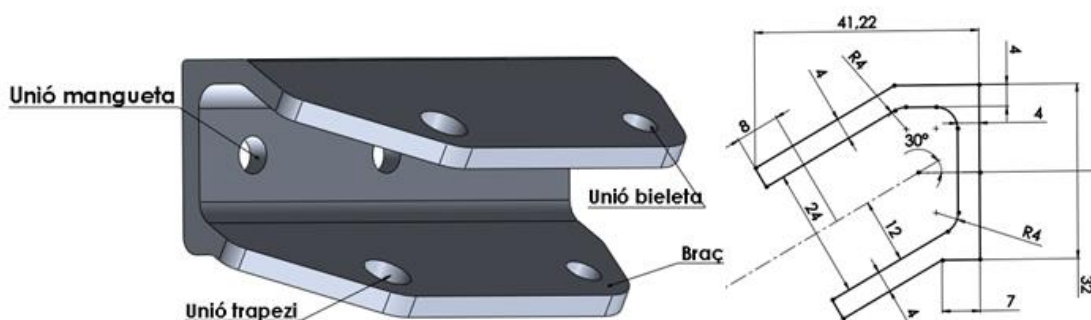


Figura 4.37 - Parts i croquis principal del suport del trapezi

El croquis principal s’ha basat en realitzar la geometria en forma de “braç” o “U” per tal de poder tenir un croquis des d’on es controlarà l’alçada i la profunditat de l’element, controlant també l’angle i l’allargada dels braços que han d’anar a agafar els trapezis. Amb l’extrusió d’aquest croquis es podrà variar l’amplada de tota la peça a través dels paràmetres d’extrusió.

Les demés operacions realitzades son secundàries i s’aniran projectant a partir del cos creat en la primera: forats, radis i extrusió per reduir material.

És un dels elements que s’ha dibuixat més en el context d’assemblatge, havent de fer nombrosos canvis en el seu cos per adequar-se al cos de la mangueta i a la geometria de suspensió.

4.5.1. Influències d’altres components

La mangueta afecta notòriament en aquest component pel fet d’estar-hi unit per la seva part posterior. Aquesta limita la profunditat del suport del trapezi en gran mesura, així com la seva amplada. El suport del trapezi es troba limitat al llarg de

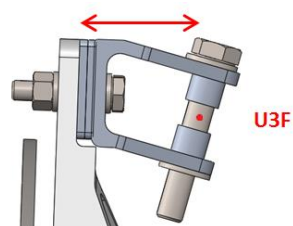


Figura 4.38 - Espai per situar el suport del trapezi

l'eix Y ja que per una banda es troba el cos superior de la mangueta i per l'altre es troba la geometria de suspensió, havent-se de situar aquesta en mig. La dependència mútua que tenen aquests dos components i la geometria de suspensió és important i el seu disseny implica la interacció constant entre els dos components, sent molt útil el dibuix de la geometria en el context d'assemblatge.

Els suports "han d'anar a buscar" el punt U3F i U3R així com el de la bieleta posterior de manera que es pugui fer el forat que permetrà subjectar trapezis superiors i suport juntament amb mangueta.

Els constants canvis que es van produint en les coordenades de U3F i U3R al llarg de l'etapa del disseny faran anar variant el cos principal del suport: allargant o escorçant els braços, fent-los més junts, disminuint l'alçada en Z, variant l'angle...etc.

4.6. Suport de la pinça

Per tal de poder controlar tots els aspectes de la forma més fàcil possible, el principi de disseny és molt senzill: projectar la geometria del cos principal en el pla XZ de forma que es pugui dissenyar una geometria que s'adapta al cos de la mangueta per la part dreta i al cos de la pinça per l'esquerra.

Es tracte d'un element que el seu cos pot presentar formes estranyes fàcilment, tenint un perfil molt canviant. Es procura minimitzar les corbes i els angles, intentant realitzar un cos que senzillament s'adapti als dos components.

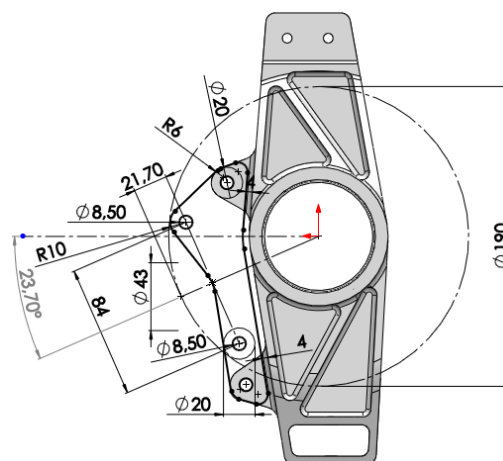


Figura 4.39 - Croquis del suport de la pinça

4.6.1. Influències d'altres components

Per tal de poder tenir en compte la geometria de la mangueta en tot moment, aquesta peça es projecta en un croquis a dins de l'arxiu de la mangueta. D'aquesta manera es pot tenir en tot moment controlat el cos de la mangueta i les seves prolongacions i els canvis constants mutus es poden realitzar de forma molt més senzilla que no pas si es dibuixen en arxius separats. Un cop es té la geometria definitiva, es copia el croquis en un arxiu nou i es crea el suport de la pinça a partir de l'extrusió del croquis.

A part de la mangueta, la pròpia pinça de fre és l'altre element que condiona la forma del suport. D'aquesta no es pot fer cap mena de canvi degut a ser un element comercial, així doncs el suport s'ha

d'adaptar totalment a la seva forma. A més a més, la seva posició relativa a l'espai condicionada pel diàmetre del disc i pel fet de voler baixar el CG també té una influència en la forma del suport.

4.7. Suport de la bieleta de direcció

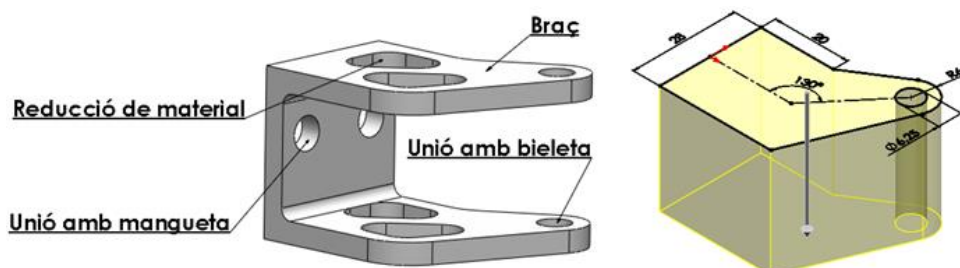


Figura 4.40 – Parts i croquis principal del suport de la bieleta

La primera operació es basa en definir el perfil del braç que s'estira fins a la posició a la que es troba el punt de la geometria de direcció. Aquest perfil permet anar fent les variacions necessàries per adaptar la geometria a les necessitats de la manqueta i el punt de la direcció. A partir del cos creat, es desenvolupen les demés operacions que permeten fer els forats i reduir material innecessari.

4.7.1. Influències d'altres components

Degut al fet que la manqueta té moltes més dependències entre components que no pas el suport de la bieleta, és aquest últim element el que s'ha d'adaptar a aquesta, més que no pas al revés. Aquesta influeix principalment en la mida de l'eix Y del suport, fent que aquesta sigui més gran o més petita per adaptar-se a la paret lateral esmenada.

Com passa en moltes de les peces descrites, la manqueta limita el suport per una banda i la geometria per l'altre. En aquest cas la geometria de direcció es troba a la part dreta, cap a l'extrem del suport. Aquesta condiona el perfil principal del braç ja que com s'ha comentat en altres ocasions, és el suport que sortint des de la manqueta "ha d'anar a buscar" el punt de la geometria de suspensió.

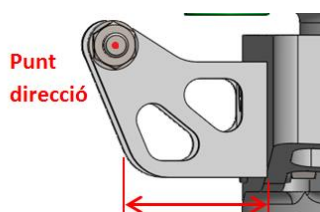


Figura 4.41 – Espai per situar el suport de la bieleta

Ens trobem de nou que el context d'assemblatge és important per tal de poder controlar la forma d'aquest element i per tal que es produeixin els canvis recíprocs entre manqueta i suport de forma

ràpida i eficaç. L'assemblatge permet veure com varia la manera amb la que la bieleta s'acosta al suport quan la roda es troba girada degut al gir del volant. La bieleta s'apropa considerablement més en aquesta situació, sent doncs important tenir en compte de nou la no mobilitat de moltes de les peces per evitar col·lisions.

Una coordenada en Y negativa excessiva de la geometria de direcció suposa un suport de la bieleta que col·lisiona amb el disc. És per això que s'ha limitat la coordenada en Y del punt, fent que la distància mínima entre els dos elements no pugui ser inferior a 3mm.



Figura 4.42 – Proximitat entre suport de la bieleta i disc

4.8. Roda del sensor de velocitat

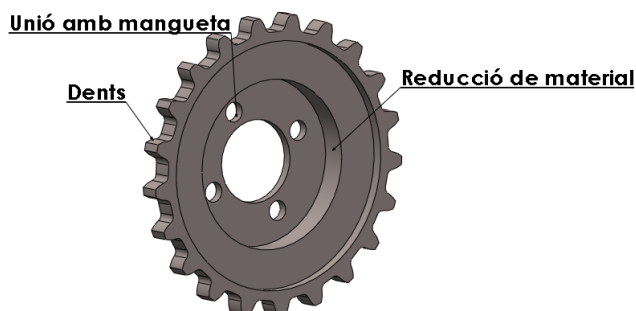


Figura 4.43 - Parts de la roda del sensor

La operació bàsica de la roda és una revolució fet a partir d'un croquis des d'on es pot controlar els diàmetres exteriors existents, així com el forat interior que permet reduir material. A continuació es realitzen les extrusions que permeten reduir material innecessari a la roda, així com fer els forats per on passaran els cargols que l'uniran a la caixa davantera.

Al diàmetre més exterior es fa l'extrusió que permet dibuixar la geometria de les dents. Aquesta geometria es fa aproximada, representant el perfil d'una dent sense entrar en cap detall, senzillament és una manera de representar-la per tal que surti en els plànols de fabricació.

4.8.1. Influències d'altres components

El cos de la mangueta repercuteix en el cos de la roda pel que fa al diàmetre. Es vol que les dents sobresurtin una mica del cos de la mangueta, fent que el diàmetre més exterior de la roda sigui una mica superior a l'amplada màxima de la mangueta. D'aquesta manera s'eviten problemes de col·lisió amb el sensor ja que aquest és considerablement gran i podria interferir amb la mangueta. El fet que la roda sobresurti una mica respecte l'amplada de la mangueta també permet fer la roda de poc gruix (direcció Y) per tal de tenir un volum el més petit possible d'aquest element.

Al estar la caixa unida a través de cargols a la roda fa que la posició dels forats en una i altre peça depenguin de l'altre per tal de poder-les unir satisfactòriament. La separació entre forats condiciona doncs a la roda el seu diàmetre exterior més petit.

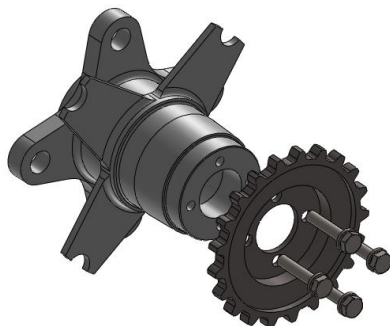


Figura 4.44 – Unió entre roda del sensor i caixa

Pel que fa als rodaments aquests determinen el diàmetre petit del cos exterior de la roda. Aquest ha d'estar en contacte amb la pista interior del rodament, seguint el diàmetre aconsellat pel fabricant per fer el contacte més adient i aconseguir el conseqüent empaquetament axial del conjunt sense problemes pel rodament.

Per tal de tenir una lectura satisfactòria hi ha d'haver una distància recomanada pel fabricant entre sensor i dents. Aquest aspecte, juntament amb la posició del suport d'aquest mateix sensor fan posicionar-lo en un determinat lloc de l'espai que pot fer variar el diàmetre exterior de la roda.

4.9. Suport de la manxa

Les operacions seguides en aquest element son molt simples. En primer lloc es realitza el cos cilíndric, a partir del qual s'hi afegeixen dues operacions, la revolució de tall que permet extreure material i la dels forats per on aniran els cargols.

4.9.1. Influències d'altres components

Aquesta, igual que passa amb la roda davantera té una influència pel que fa als forats d'unió. La separació entre ells, el número de forats i altres aspectes depenen de la caixa posterior condicionant la posició d'aquests en el suport de la manxa per tenir una unió satisfactòria.

El suport de la manxa es fa servir entre altres coses per evitar que els casquets puguin girar sobre si mateixos. L'esglaó o pestanya que evita aquest gir es troba en contacte amb el suport de la manxa a través del forat gran interior. Malgrat son els casquets els que s'han d'adaptar a la geometria del suport, aquests poden fer variar el diàmetre d'aquest forat gran situat en el cul del suport.

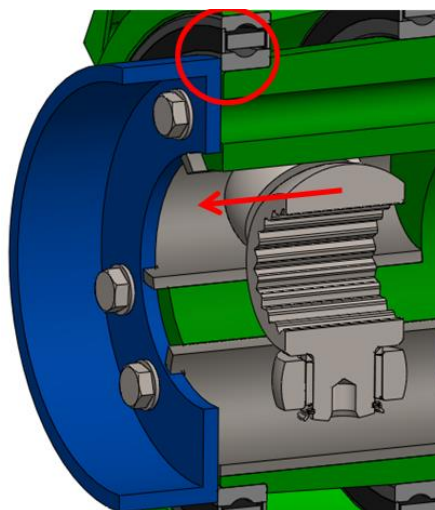


Figura 4.45 – Vista en secció del suport de la manxa i el seu context

El rodament interior és el que condiona més la mida exterior del suport. Aquest té una influència sobre el diàmetre ja que hi ha d'haver el contacte adient amb la pista exterior per tal d'obtenir l'empaquetament axial desitjat (rodejat en vermell a la imatge). El diàmetre exterior doncs serà determinat per les recomanacions del fabricant de rodaments.

L'eix o canya del palier ha de travessar a través del suport de la manxa, permetent que aquest entri a dins de la caixa però alhora fent de topall axial en cas que la junta es mogui cap a l'interior del vehicle (marcat amb una fletxa a la darrera imatge). Aquest aspecte determina el diàmetre que té el forat situat al cul d'aquesta peça.

4.10. Casquets

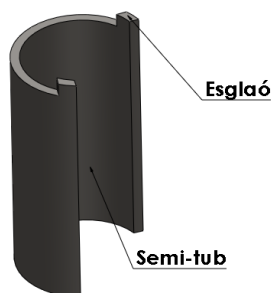


Figura 4.46 – Parts dels casquets

El dibuix es basa en tres senzilles operacions. A la primera es dibuixa el cos del tub, mentre que a les altres es fa l'extracció de material corresponent als talls longitudinal i a l'esglaó respectivament.

4.10.1. Influències d'altres components

En primer lloc el diàmetre exterior del tub comercial triat ve donat per l'allotjament mecanitzat a dins de la caixa posterior. Aquest diàmetre determinarà també el gruix que té el tub.

El suport de la manxa té un efecte pel que fa a l'esglaó que ha d'estar en contacte amb el casquet. Aquest determina exactament la forma del tall que acaba creant l'esglaó o pestanya.

El palier intervé pel que fa a la pròpia junta *tripod*. Aquesta determina el diàmetre interior del tub, així com els talls longitudinals que se li han de fer per tal que les tres peces que té la junta s'adaptin degudament a dins dels tubs.

4.11. Influències de la fabricació i resistència en el disseny CAD

Molts aspectes concrets de la fabricació i la resistència es detallen en els corresponents departaments de peça. En aquest, però, es vol mencionar aquells que han efectuat de forma general a tots o casi tots els elements dissenyats.

4.11.1. Cos general

Com s'ha dit més d'una vegada, facilitar la fabricació ajuda a evitar obstacles per aquell que la realitza i contribueix al fet d'obtenir elements que s'acostin als objectius que es volen assolir.

Es considera doncs que tots aquells elements que requereixen una màquina fresadora per a la seva obtenció es puguin realitzar sense dificultat excessiva amb una de 3 eixos CNC. Aquest aspecte

condiciona algunes peces pel que fa a la geometria dels seus cossos evitant rampes i plans inclinats que es puguin trobar als costats laterals i no fossin perpendiculars al pla del corquis del cos principal.

S'evita doncs possibles geometries com la de l'esquerra de la imatge:

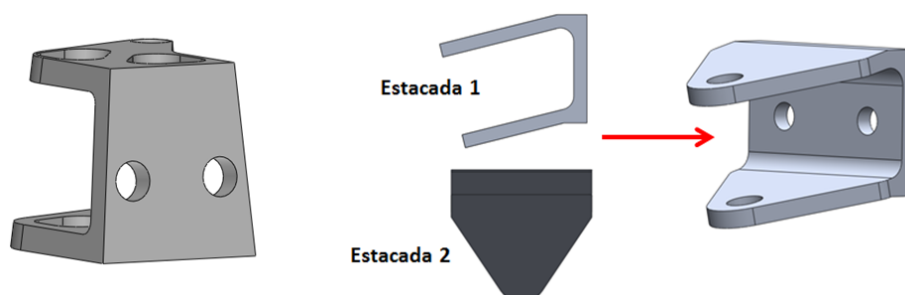


Figura 4.47 – Geometries a evitar (esquerra) i representació de les estacades

Així es procura realitzar elements que amb poques estacades de fresat, una per definir el cos principal i un altre per extreure el material entre els braços, per exemple en el cas dels suports del trapezi i de la bieleta siguin suficients com per realitzar-lo (a part dels corresponents forats).

4.11.2. Nervis i parets primes

Les recomanacions per la persona encarregada de fabricar les manguetes sobre la limitació en fer excessivament primos els nervis d'aquesta peça porten a establir límits en certes zones semblants d'altres elements que han de ser fresats. Aquests límits també tindran una repercussió positiva pel que fa a la resistència.

Aquests dos aspectes porten a definir les mides en els gruixos dels nervis de les manguetes i els braços dels suports superiors i suport de la bieleta.

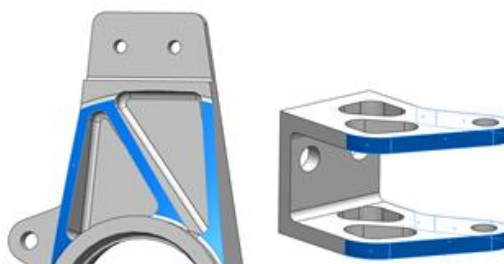


Figura 4.48 – Gruixos de nervis i braços de mangueta i suport de bieleta respectivament

Pel que fa a altres zones primes que es poden observar en altres components com ara la flor del disc de la caixa, cal dir que malgrat es tracte d'una part molt estreta, aquesta no presenta cap mena de problema pel fabricant.

4.11.3. Radis

Igual que amb el disseny resistent, aquestes geometries també tenen un paper relacionat amb la fabricació de les peces. Radis excessivament petits podrien obligar a fer servir més eines de tall del compte pel que fa al fresat que endarrerissin el procés o bé poden ser eines les quals el fabricant no en disposa.

És per això que de forma general no es vol fer radis interiors més petits de 4mm per tal que fesolins de tall del mateix radi i que son molt habituals ja poguessin dur a terme els elements buscats. Aquest aspecte també repercuteix positivament en el disseny resistent, evitant possibles concentradors de tensions des de bon començament.

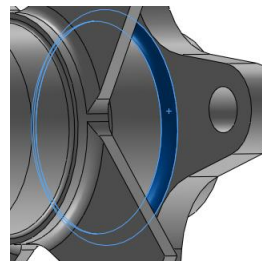


Figura 4.49 - Radis grans a la caixa

De totes formes, com s'ha mencionat en els primers apartats, les geometries i formes de les diferents peces es presenten als fabricants abans d'enviar els corresponents plànols definitius. És una forma de tenir clar quines geometries es poden fer i quines no per tal de corregir amb temps allò que sigui necessari. Els radis són doncs una de les qüestions que més es pregunta.

4.12. Influències de les unions cargolades en el disseny CAD

En aquest apartat es parla de les unions cargolades. Aquestes afecten en diferents aspectes i de forma general a pràcticament tots els elements dissenyats.

4.12.1. Influències en l'espai

Els cargols, doncs, i tot el que els acompanya com ara femelles i volanderes tenen un volum que repercuteixen en l'espai i la geometria dels elements que els allotgen. Aquest volum no és despreciable, fent que aquests hagin de tenir distàncies més grans i amb superfície suficient com perquè s'hi recolzin convenientment.

Podem trobar influències d'espai degudes a la cargolaria en els suports del trapezi o bé en el suport de la bieleta de direcció. La separació dels forats d'unió entre aquesta peça i la mangueta, així com les volanderes i caps dels cargols corresponents repercuteixen en la separació entre braços d'aquest element, així com en la seva amplada i en la de la mangueta.

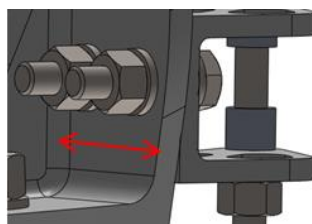


Figura 4.50 – Influència de la unió cargolada en l'amplada de la mangueta

Un altre aspecte important a destacar dels cargols son el seu muntatge i desmuntatge, havent de ser les geometries de les diferents peces adients com perquè això es produeixi satisfactòriament. En el disseny virtual es pot situar i moure elements de manera que físicament no és possible, sent doncs una aspecte important que s'ha tingut en compte per a poder dur a terme el disseny satisfactòriament. Per exemple en la unió del trapezi inferior amb la mangueta, degut a la geometria dels nervis, el cargol només pot introduir-se per la part inferior, trobant-se el cap sobresortint per a baix del cos de la mangueta i no la femella.

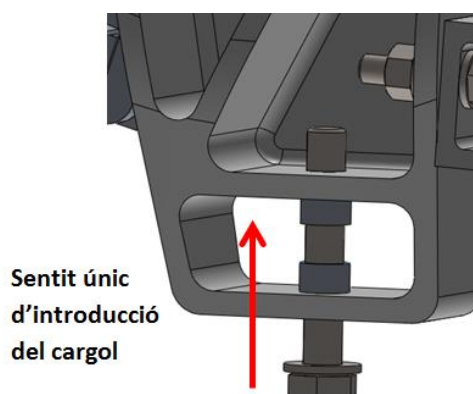


Figura 4.51 – Sentit d'introducció del cargol inferior de la mangueta

També és important el fet que per al muntatge i desmuntatge de tots aquests cargols calen claus que s'han de poder introduir en el caps i femelles per poder fer el moment necessari. Per tal d'assegurar que hi ha caben aquestes claus es verifiquen sempre les unions cargolades amb dibuixos 3D d'aquestes.

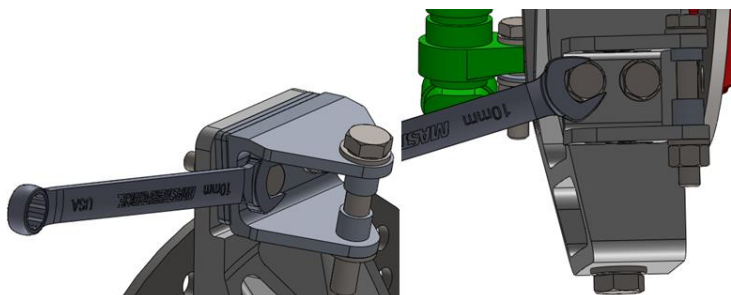


Figura 4.52 – Comprovació del correcte desmuntatge de les unions

4.12.2. Diàmetre dels forats

Per tal de poder fer el muntatge i desmuntatge de les unions cargolades amb normalitat s'adopta una mesura típica en la fabricació d'elements mecànics. La mesura consisteix en realitzar els forats per on han d'anar els cargols d'un diàmetre lleugerament superior al del diàmetre nominal d'aquest.

Aquesta mesura evita que degut als acabats de les broques pocs precisos i a les toleràncies existents, els cargols no puguin entrar amb facilitat havent de recórrer a l'ús de la massa, malmetent les canyes dels cargols i fent que també costi molt la seva extracció en el moment del desmuntatge. L'experiència de la temporada anterior motiva en gran part aquesta decisió on nombroses vegades es donaven aquests problemes.

És per això que tots els forats passants no roscats es realitzen en el CAD 0,25mm més grans en diàmetre de manera que també quedi reflectit en els plànols. Així doncs allà on hi han d'anar cargols de M6 s'hi faran cargols forats a 6,25mm de diàmetre i allà on hi hagin M8 seran de 8,25mm.

4.13. Plànols de fabricació

A través del software CAD també es realitzen el plànols en dos dimensions que permeten entendre i tenir tot allò en compte per la fabricació a aquelles persones o empreses que l'hagin de dur a terme.

La importància que se li dona als plànols de fabricació és molt alta, entenent que a través d'aquests es dona la informació necessària perquè es realitzin les peces tal i com es desitja que siguin. A continuació es detallen tots els aspectes que es tenen en compte per a les peces que s'analitzen durant el treball:

- En tot moment es fa servir la plantilla de l'equip. Aquesta s'ha fet amb el caixetí a mida pensant en la informació necessària. Conté a més a més el logo de l'equip que dona una bona imatge de cara a les empreses.
- S'ha d'indicar en el plànol la norma que es segueix per a les toleràncies generals de fabricació.
- També es té cura en no posar un excés de decimals, especialment en mides que no requereixin de precisió. Exceptuant les toleràncies indicades, totes les demés cotes segueixen les toleràncies generals, sent aquestes de l'ordre de dècimes.
- Per tal de facilitar la feina a l'operari s'especifiquen les toleràncies no només amb la lletra corresponent sinó també amb les corresponents desviacions superior i inferior.
- Es té especial cura amb detalls com els eixos de revolució, indicant adequadament totes aquelles peces que son de revolució o tots aquells forats i elements cilíndrics.

- Malgrat hi ha nombroses peces que es fabriquen a partir d'un arxiu 3D i de forma automàtica, es considera el plànol igual de necessari per tal que es vegin les necessitats i els detalls requerits.
- En elements de geometria complicada com boixa i mangueta no cal donar tota les mides de la geometria com si de es tractés de peces de fabricació convencional. Es vol donar la informació necessària sense carregar el plànol amb cotes i informació en excés.
- Es considera important acotar el mínim possible en sèrie per tal d'evitar l'acumulació d'errors, així com l'acotació de les mides generals per conèixer bé el volum de la peça.
- També son detalls que es tenen en compte el fet de posar una vista isomètrica en tots els plànols de manera que sigui més entenedor la peça a realitzar.

5. Disseny resistent i simulació amb MEF

En aquest apartat es descriuen les eines emprades per a obtenir la resistència desitjada que ens permet complir amb els objectius de fiabilitat establerts inicialment. El càlcul resistent s'ha realitzat durant tota l'etapa de disseny, formant part de les iteracions constants que aquest ha patit per a la realització de tot el conjunt de peces.

Entenem el càlcul resistent com al disseny de les dimensions d'un element per a que aquest no pateixi la fallida i deixi de poder fer la seva funció bé sigui per trencament, per deformació plàstica o bé per tenir un desplaçament excessiu (rigidesa).

L'eina més utilitzada per a garantir la resistència ha sigut el Càlcul Per Elements Finitos (MEF), formant una part important de l'etapa del disseny del conjunt d'elements de la roda. Amb ell s'ha pogut optimitzar la majoria de les peces i elements i garantir-ne el bon funcionament sense fallida. Al costat de l'anàlisi per MEF també s'han emprat mètodes analítics pel que fa al càlcul del dimensionament dels rodaments.

Altres elements que formen part del conjunt roda com ara la pinça, la llanta o els espàrrecs no s'ha cregut necessari el seu estudi ja que són components comercials pensats per a la mateixa funció que tindran en el projecte.

5.1. Criteris del disseny resistent

És en aquest apartat on es reflecteixen els motius que han portat a establir uns factors de seguretat i desplaçaments mínims a complir en els resultats dels càlculs i simulacions.

5.1.1. Factor de seguretat

Per a avaluar la resistència es fa servir la tensió màxima calculada i el conseqüent factor de seguretat. Els detalls més concrets de la determinació d'aquest, es troben desglossats a l'annexa. El límit imposat de forma general és el següent:

$$FS \geq 2,5$$

Eq. 5.1

Es tracte d'un número de referència i malgrat es procuri complir, en certs casos i zones on es disparen les tensions i es poden considerar falsos els resultats pot ser que no es desitgi complir estrictament l'expressió descrita.

Els motius que han portat a establir aquests coeficients venen donats pel fet d'anar-se adonant al llarg del disseny de diferents aspectes relacionats amb la llunyania que està un anàlisi d'aquestes característiques de la realitat i els múltiples factors que poden donar peu a càlculs falsos.

Els principals motius detallats que han portat a voler tenir un factor de seguretat alt son:

- El fet d'utilitzar el model MEF amb poca experiència, sense entrar en detalls en quan a mallat i amb dificultats per simular unes condicions de contorn calcades a les reals.
- Continuant amb allò descrit en el punt anterior, la dificultat en representar un cas real en les simulacions degut a fer-ho de forma individual, sense tenir en compte de forma acurada els contactes entre elements, els cargols, el fet d'estar en un context d'assemblatge..etc.
- L'anàlisi estàtic del conjunt d'elements quan a la realitat treballen de forma dinàmica, amb valors alternatius en magnitud de força.
- Baixa fiabilitat del les magnituds i sentits de les forces, especialment les referents a pneumàtic i el sistema de suspensió. La seva deducció es basa en models matemàtics complexos que poden donar peu a errors.
- També fent referència a les forces, cal destacar que els seus valors van canviant al llarg del disseny, a mida que evoluciona el cotxe i es va tenint més experiència i més coneixement sobre els valors reals en quan a massa i distribució de pesos. Aquesta no estacionalitat també influeix alhora de decidir tenir uns criteris de sobre-dimensionament més aviat alts.
- El fet de que pugui haver certa variació entre les propietats del material que s'utilitza pel càlcul i l'adquirit a la realitat també influeix en aquestes decisions.

Així doncs, a part dels motius esmenats en el darrer paràgraf, també cal dir que aquests coeficients ens han portat a uns resultats amb una alta confiança al llarg del desenvolupament del disseny. A més a més, s'han obtingut uns resultats més que satisfactoris en quan a compliment dels objectius específics del desenvolupament.

5.1.2. Desplaçament

Durant l'anàlisi dels resultats es té una especial cura en el desplaçament que pateixen les peces. Se li dona la mateixa importància que la del factor de seguretat, considerant, com s'ha explicat anteriorment, el fallo de la peça també en cas de sobrepassar el valor especificat de rigidesa.

El desplaçament excessiu s'intenta evitar pel fet de poder provocar algun tipus de col·lisió. En els pitjors dels casos es podrien acumular desplaçaments màxims entre dues peces que juntament amb

els possibles errors de fabricació existents provoquin aquesta situació no desitjada. Cal remarcar lo juntes que poden arribar a estar entre sí certes parts del cotxe que fan que l'espai sigui mínim i el marge d'error molt petit.

El fet de voler evitar tenir un element que no treballa en la posició amb la que ha sigut ideat i que podria induir a problemes diversos també és un motiu afegit per tenir cura del desplaçament. Aquest és el cas per exemple de la geometria de suspensió. Aquesta interessa que pateixi les mínimes variacions possibles, ja que d'altre manera el cotxe no treballa de la manera que ha sigut ideat.

El criteri establert de desplaçament segueix la següent expressió. En els annexes es poden trobar més detalls sobre la seva elecció:

$$\mu_{max} \leq 0,5 \text{ mm} \qquad \text{Eq. 5.2}$$

Malgrat no siguin desplaçaments petits, cal tenir en compte que es tracte d'aquelles situacions més crítiques que estranyament es produiran i que si ho fan es produiran molt ocasionalment.

Per justificar aquesta tria, també ens podem remetre als motius descrits a l'apartat anterior referent al factor de seguretat, on el dissenyador s'adona que les simulacions son una eina que ajuda molt però que no deixen de ser models de representació que poden estar allunyades del que passa exactament a la realitat.

5.2. Les simulacions amb MEF

El MEF es tracte d'una eina de càlcul que resol equacions diferencials en cada un dels nodes formats. Els nodes es formen a partir de crear una mallar que discretitzar la peça a simular, dividint-la en nombrosos elements, motiu pel qual té aquest nom. A partir dels nodes existents en els extrems dels elements, el càlcul s'estén mitjançant interpolacions a la resta de zones i un sistema de post-processat dona resultats visuals i numèrics a cada una de les zones de la peça simulada.

La seva utilització requereix introduir abans de fer el càlcul una sèrie de paràmetres per poder definir l'entorn al que se suposa que treballa la peça a analitzar. És l'usuari qui té el control de la informació d'entrada i ha de ser conscient d'ella per a entendre els resultats donats pel programa. Es tracte doncs d'un mètode matemàtic, d'una modelització que pot aproximar-se a la realitat però que també pot diferir-ne en gran mesura i cal ser-ne conscient per no caure en conclusions errònies.

Durant les simulacions que es van produint al llarg del disseny, com és d'esperar, es va agafant cada cop més experiència en aquest àmbit. Així doncs, la gran majoria d'aprenentatge i d'informació per a realitzar les simulacions s'adquireix a través de l'experiència pròpia desenvolupada al llarg de l'etapa

del disseny. Llibres relacionats amb el programa SolidWorks o tutorials trobats a internet també han pogut ajudar en certs casos.

El *software* utilitzat per a les simulacions també és el SolidWorks, igual que amb el dibuix CAD. El fet de poder alternar contínuament i de forma àgil el dibuix geomètric amb la simulació es creu un motiu important per a seleccionar-lo. Per a justificar amb altres motius el seu ús es pot remetre a allò d'escrit en l'apartat del disseny CAD: el seu potencial és considerat més que suficient com per garantir els resultats esperats i el fet de tenir llicència també té pes per a decidir utilitzar-lo.

En els apartats que hi ha a continuació es vol explicar tots aquells aspectes tinguts en compte durant les simulacions que tenen a veure amb el tipus d'anàlisi, els escenaris tinguts en compte per aplicar els esforços, el mallat, entre d'altres característiques.

5.2.1. Anàlisi estàtic i anàlisi per fatiga

Sobre la possibilitat de realitzar un anàlisi per fatiga, hi ha nombrosos factors exposats en els paràgrafs que hi ha a continuació que fan descartar un possible estudi d'aquestes característiques. Principalment la manca d'informació relacionada amb el comportament del cotxe, els recursos disponibles i els objectius existents han fet descartar un possible anàlisi d'aquestes característiques.

En primer lloc cal dir que el comportament de la majoria de peces com les estudiades no presenten cicles de càrrega d'amplitud fixe, com els càlculs de fatiga coneguts de la carrera, sinó que suposen cicles amb moltes variacions degudes a les diferents forces que es produeixen en funció del traçat del circuit.

La manera com varien les forces al llarg del temps no son conegudes. Obtenir aquesta informació no és possible en el moment actual, ja que suposaria modelitzar matemàticament el comportament del vehicle, cosa que no és factible fer per la manca de coneixement, la falta d'experiència i el temps limitat.

Un altre opció seria la de representar el comportament de les peces, no amb una simulació matemàtica, sinó a través d'un assaig real on s'agafés un element i se'l sotmetés a càrregues variables per obtenir dades i informació útil pel dimensionament de les peces. Es tracte d'una mesura també que es descarta, principalment per la manca de recursos per realitzar un assaig d'aquestes dimensions. El temps limitat de nou també suposa un impediment per a realitzar-ho.

Un altre aspecte que justifica la simulació estàtica és el baix nombre de cicles que han de suportar els elements dissenyats. Es tracte de peces on la seva vida útil és considerablement curta, tenint en compte que com a molt han d'aguantar dues temporades, sent molt curt el temps que ha de circular

el vehicle en comparació amb molts elements de màquina que es dissenyen per la indústria. Aquesta vida tant limitada fa treure sentit a l'estudi de fatiga.

A l'apartat A2 dels annexes es pot veure el càlcul del nombre de cicles que ha de fer un element giratori com pot ser la caixa. Aquest número està molt per sota del dimensionament habitual d'elements de màquina a vida infinita (10^6 cicles per acer). Els valors obtinguts demostren que les peces no necessàriament han de ser dimensionades per vida infinita ja que el quilòmetres a recórrer durant una temporada son molt inferiors als corresponents a 40 proves de resistència que han sortit del càlcul.

En definitiva es pot concloure que l'anàlisi estàtic s'ha considerat suficient per garantir els objectius buscats i és el primer esglaió per a la optimització i el càlcul resistent d'elements d'aquestes característiques. El càlcul per fatiga es considera l'esglaió següent, un cop ja es domini la simulació estàtica.

A continuació es mostren els càlculs que han portat a determinar la velocitat mitja angular de les rodes a la prova de resistència, el número de voltes que es faran en aquesta prova, així com el número de proves que s'haurien de fer per considerar que es tracte d'elements que aguanten a vida infinita.

5.2.2. Sobre-dimensionament

Entenem el sobre-dimensionament com aquella eina emprada per a superar incerteses relacionades amb el càlcul i el comportament real de l'element.

S'ha parlat anteriorment del factor de seguretat, sent aquesta una de les eines de sobre-dimensionament més utilitzades a l'enginyeria. Pel càlcul dels components estudiats, com es veurà a continuació, també s'han fet servir altres mètodes com pot ser la superposició d'escenaris que en teoria no es donaran (aplicar esforços de frenada i corba alhora per exemple).

Els motius que porten a aplicar aquests sobre-dimensionaments es justifiquen pel fet que un dels primers objectius és la recerca de fiabilitat i en una de les coses que el dissenyador s'adona al llarg del desenvolupament de les peces és la llunyania de poder representar de forma exacta el que passa exactament a la realitat com s'ha dit en els apartats on es parla del factor de seguretat i desplaçament màxim permès.

De forma resumida tot el sobre-dimensionament imposat i els motius que porten a tenir-los es poden veure a la figura 5.1.

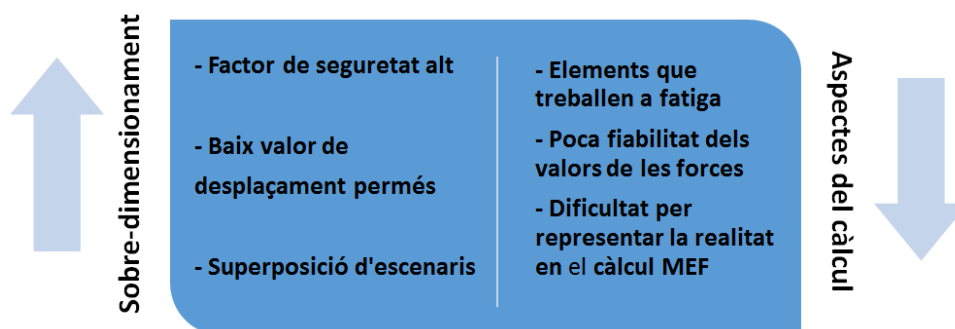


Figura 5.1 – Resum de les diferents eines de sobre-dimensionament aplicades al càlcul

5.2.3. Sol·licitacions, escenaris i condicions de contorn

Sol·licitacions i escenaris

Els resultats de les simulacions mostrades en el treball són aquelles amb els valors últims de les forces proporcionades pels corresponents departaments i amb les geometries definitives. Igual que amb el dibuix CAD o amb altres aspectes, les simulacions tenen lloc durant tota l'etapa de disseny amb les múltiples iteracions que es produeixen. Així doncs, els resultats presentats només són una part petita dins del gran volum d'informació que es va creant.

Les forces proporcionades pel departament de Suspensió són aquelles que es troben als punts geomètrics (L3F, U3F, L3R i U3R) i al punt de la bieleta posterior. El departament de Direcció, per la seva banda proporciona les forces que es produeixen al contacte pneumàtic-asfalt, així com les de la bieleta de la direcció. El membre del departament de Frens i Rodes encarregat de dimensionar el sistema de frens facilita els moments de frenada corresponents i finalment el de transmissió, donen els valors corresponents al parell de sortida en el palier.

Com és lògic, per a dimensionar els components es té en compte els pitjors casos possibles que aquests poden patir. En els casos estudiats, es considera que el pitjor cas es dona amb acceleracions a 1,5G, tan per frenada, arrancada, com per corba. Aquesta suposició es justifica a través de la informació adquirida amb el cotxe anteriorment desenvolupat.

Cada un d'aquests escenaris proporciona un conjunt de forces donades pel departament en qüestió. En funció de la seva magnitud, el dissenyador s'encarrega de triar les de l'escenari que creu més convenient o bé de superposar escenaris com a mètode extra de sobre-dimensionament, tal i com s'ha explicat en l'apartat anterior.

Departament	Càrrega provinent de	Localització	Escenari
Suspensió	Geometria de suspensió	Punts U3F, L3F, U3R, L3R	Acceleració, frenada i corba a 1,5G
		Punt bieleta posterior	Acceleració, frenada i corba a 1,5G
Direcció	Pneumàtic	Contacte pneumàtic-asfalt	Acceleració, frenada i corba a 1,5G
	Geometria de direcció	Punt bieleta de direcció	Corba a 1,5G
Frens i Rodes	Parell de frenada	Eix anterior	Frenada a 1,5G
Transmissió	Parell-motor	Eix posterior	Parell màxim provinent del motor

Taula 5.1 – Característiques de les càrregues proporcionades pels departaments

També cal destacar que en molts aspectes la base de disseny és la prova més exigent que ha de dur a terme el monoplaça. La prova de resistència o *endurance* és aquella a partir de la qual es basa el dimensionament de molts components i sistemes del vehicle.

Condicions de contorn

Malgrat haver realitzat certes proves de simulació amb assemblatges de múltiples peces, aquests es van decidir descartar per la dificultat que presentaven. Aspectes com el poc coneixement en els contactes a aplicar i els nombrosos errors de càlcul produïts van motivar la decisió. Així doncs, la major part d'estudis realitzats corresponen a simulacions de forma individual, una per cada element dibuixat en CAD.

Malgrat es realitzin simulacions de peces individuals representar de forma acurada el model que es té a la realitat en les simulacions no és feina fàcil. El lloc d'aplicació de l'encastament que anul·la la condició de sòlid rígid, per exemple, ha presentat dubtes en certes peces. Cada peça doncs, presenta una modelització concreta, on cal establir aquelles condicions de contorn que es cregui que modelitzen millor la forma real en que aquesta treballa.

Per solucionar aquests obstacles, al llarg de l'etapa de simulació dels components s'han realitzat certes proves per tal de fer comparacions de resultats i establir aquells criteris més adients. Les peces que més han patit aquestes proves han sigut boixa i mangueta.

5.2.4. Mallat del model

La malla es l'eina que permet dividir en petits trossos o element el component a analitzar. En funció de la seva forma i del número de nodes seleccionat, es tindran més graus de llibertat o menys, el càlcul serà més o menys precís i trigarà més o menys temps en acabar-lo.

En el cas del SolidWorks 2013 utilitzat, només disposa d'un tipus d'element 3D: sòlids tetraèdrics. Aquesta és considerada un bon element, adequant-se a formes estranyes com les que es poden trobar en els components estudiats. Els tetràedres utilitzats a més a més són parabòlics o de 2on ordre, sent l'element més precís que té el programa, tot i que també el que més temps de càlcul necessita.

Degut a la influència que pot tenir la malla en els resultats, es té certa cura durant el mallejat de les peces, procurant obtenir malles amb certa uniformitat i realitzant simulacions amb diferents refinament de la malla per poder comparar i avaluar millor els resultats.

Les opcions de malla escollides per a les simulacions definitives han sigut:

- Malla basta: existent per defecte en el programa on el cursor de densitat de malla es troba situat a la meitat del recorregut. La mida de l'element malgrat no ser gaire petita és suficient com per tenir resultats útils. Aquesta opció permet fer simulacions amb molt poc temps de càlcul sent de gran utilitat en proves ràpides i com a primera intuïció del comportament de l'element.
- Malla basta amb "transició automàtica": la pestanya de "transició automàtica" es troba activada fent que de forma automàtica es creïn més elements al voltant de forats i radis.
- Malla basta basada en curvatures: igual que amb la transició automàtica es creen mides d'element considerablement més petites al voltant de certes zones. Permet tenir una malla que s'adequa a geometries complexes amb corbes i arestes, com moltes de les existents en les peces analitzades.
- Mallejat fina: en aquest cas el cursor es troba situat el més a la dreta possible, generant una mida d'elements considerablement petita. S'aplica en simulacions més definitives per comprovar zones amb punts singulars i avaluar millor els resultats.
- Malla fina amb transició automàtica: de nou, la pestanya corresponent es troba activada duent a terme encara elements més petits en les zones crítiques. Serveix per corroborar zones amb punts singulars.
- Malla fina basada en curvatures: ens serveix igual que l'anterior però és una simulació més que ens aporta informació útil.

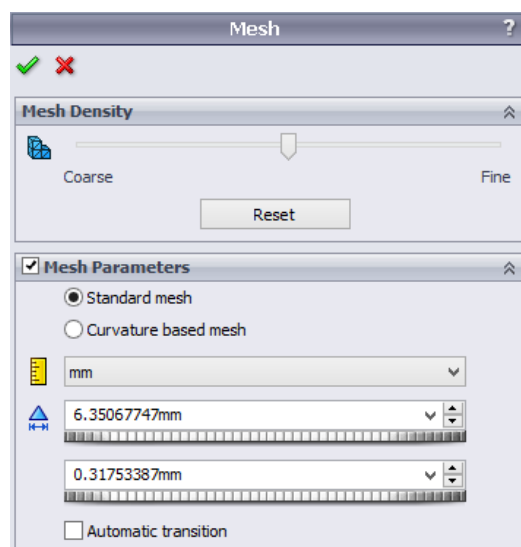


Figura 5.2 - Quadre de control de la malla

5.2.5. Anàlisi de resultats

Els resultats visualitzats durant les simulacions han sigut la tensió, la deformació, el desplaçament i el factor de seguretat calculats pel programa, sent els que s'han considerat més adients per poder validar la resistència i la rigidesa dels components dissenyats.

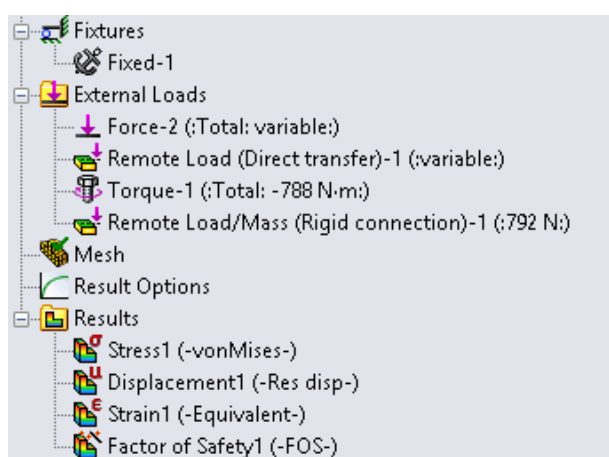


Figura 5.3 – Arbre amb el control dels aspectes de la simulació i els resultats desitjats

A continuació es detalla de forma més específica la observació dels resultats i altres aspectes tinguts en compte per a prendre decisions i fer la valoració d'aquests.

Tensió, deformació, factor de seguretat i desplaçament

Pel cas de la tensió, la visualitzada es tracta de l'equivalent de Von Mises que ens permet tenir un resultat global prou fiable del conjunt de tensions existents, tant tallants com normals. Serà un dels resultats que més influirà en les decisions posteriors.

Seguint els criteris establerts d'anàlisi resistent els resultats de tensió equivalent de Von Mises màxima permès correspon a la tensió màxima de l'equació 5.1.

Pel que fa a la tensió de fluència, aquesta la té present el programa en tot moment ja que s'assigna de forma automàtica quan s'escull el material desitjat per a l'element d'estudi. Sense aquesta informació el programa no podria dur a terme els càlculs de la simulació.

Amb els resultats de tensió màxima i límit elàstic, el programa ja té la informació necessària com per calcular el factor de seguretat, que serveix per anar verificant en tot moment si es sobrepassa els límits de tensió fixats.

Pel cas de la deformació, és un resultat que tot i que proporciona el mateix mapa de colors que el de tensions, és d'utilitat especialment per veure resultats elementals. Per defecte el SolidWorks

proporciona el mapa de colors que té cada element sense difuminar les transicions de colors en el cas dels resultats de deformació. Això permet analitzar millor on es troben exactament els punts singulars.

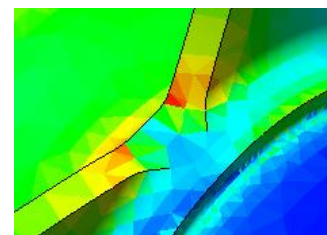


Figura 5.4 - Resultats de la deformació

Concentradors de tensions i punts singulars

Es té especial cura amb aquelles zones que poden ser propenses a acumular tensions: zones on s'apliquen condicions de contorn, radis, forats, cantonades...etc. Aquests punts poden ser crítics i és en aquests on acostuma a haver la tensió màxima i el factor de seguretat mínim existent. Per donar veracitat a les simulacions s'apliquen els 6 diferents tipus de malla descrits, de manera que si s'estabilitzen les tensions i es produeixen poques oscil·lacions, es donen com a fiables els resultats obtinguts. La utilització de gràfics és molt útil per a l control d'aquest aspecte.

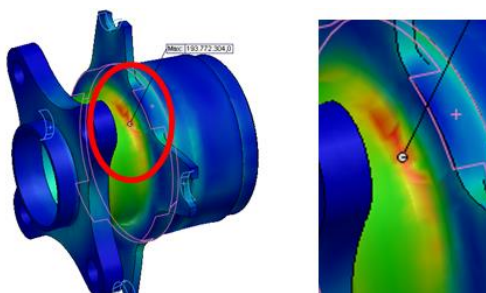


Figura 5.5 – Zona amb tensions màximes de la caixa posterior

Entenem punts singulars com aquelles zones d'un element simulat amb MEF on els resultats en tensió es disparen, sent aquests irrealment degut a irregularitats en la creació de geometria per part del sistema CAD o bé degut a la puntualitat en les forces aplicades a aquella zona, tenint una superfície que tendeix a zero i per tant disparant les tensions a l'infinit.

Es té especial cura amb aquelles zones que poden ser propenses a acumular tensions, vigilat que no siguin punts singulars. Per detectar-los es controlen les múltiples simulacions, disminuït amb cada una d'elles la mida de l'element, fent cada cop més fina la malla. Si en aquests casos les tensions sempre van en augment, significa que es tracte d'un punt singular.

Altres opcions

Altres opcions de les simulacions també han sigut utilitzades per tal de tenir un millor criteri a l'hora d'avaluar els resultats.

La opció de retalls de secció o la opció de ISO superfícies o *ISO Clipping en anglès*, per exemple, han sigut una eina bastant emprada per la informació detallada que pot proporcionar.

5.3. Manguetes: Simulació amb MEF

En aquesta secció es parla de tots els detalls relacionats amb la simulació de les manguetes, sent un dels components que més temps se li ha dedicat. Es separa en diferents subapartats de manera que es doni la informació de la manera més clara possible pel que fa a sol·licitacions, condicions de contorn i la corresponent justificació dels resultats finals.

5.3.1. Sol·licitacions

A partir de les càrregues proporcionades pels departaments (veure

Taula 5.1), s'escullen els escenaris i magnituds de càrregues que es creuen més pertinents per a dimensionar les manguetes. Com ja s'ha dit en altres ocasions es solapen escenaris, no només com a forma de sobre-dimensionament, sinó també com a forma de reduir el temps de simulació i la seva quantitat.

La mangueta al trobar-se en contacte amb els trapezis i amb els rodaments, i com que de la zona dels rodaments no es té informació, les forces principals que es consideren agafar són les situades en els punts d'unió trapezi-mangueta (L3F, U3F, L3R i U3R).

De les forces conegudes, per l'anàlisi de les manguetes també s'agafen les corresponents a la bieleta de direcció pel cas del davant i la bieleta posterior pel cas de la mangueta del darrere. Aquestes provoquen un moment flector que es considera important tenir en compte.

Com ja se sap, el sistema de frens format pel sistema hidràulic atura les rodes produint un parell de frenada que s'oposa al gir de la roda. Aquest parell de frenada es produeix quan els pistons de la pinça pressionen el disc de fre, produint-se dissipació d'energia per fregament. Aquest fregament produeix un parell resistent oposat que es transmet a la pinça i d'aquesta al lloc on es troba fixada. S'agafarà doncs els parells del sistema de frens, sent més gran a l'eix anterior degut a la transferència de càrrega.

Tots els valors de les forces escollits i el seu sentit direccional es troben descrits als annexes.

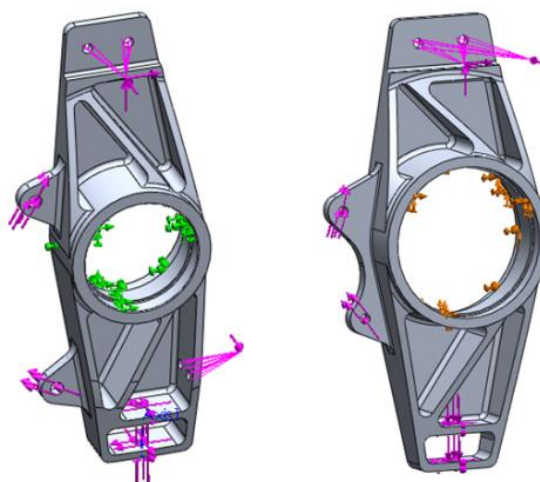


Figura 5.6 - Càrregues aplicades a les manguetes

A mode de resum les simulacions i situacions representades son les següents:

- A1 - Simulació de la mangueta anterior amb les forces de frenada en els punts L3F i U3F i el corresponent parell de frenada aplicat al les prolongacions.
- A2 - Simulació de la mangueta anterior amb la sol·licitació de la frenada i la del braç de la bieleta de direcció. Correspon al solapament de dues situacions que no es produiran, és una forma de sobredimensionar i comprovar resistència.
- A3 - Simulació de la mangueta posterior amb les forces d'acceleració en els punts L3R i U3R i el parell de frenada al suport de la pinça. Es solapen dues situacions per tal de poder simular el parell de frenada amb forces elevades. De nou és una forma de sobredimensionar.
- A4 - Simulació de la mangueta posterior amb les forces d'acceleració en els punts L3R i U3R, el parell de frenada al suport de la pinça i la sol·licitació del braç de la bieleta posterior. És el cas més extrem de sobre-dimensionament.

Cada una d'elles es pot descompassar en diferents simulacions amb les mateixes càrregues però aplicant les diferents condicions del mallat descrites en apartats anteriors: A11, A12...etc. fins a A16 i així successivament.

Aplicació de les càrregues

Les càrregues de les manguetes s'apliquen principalment a les superfícies on es troben els forats. D'aquesta manera es representa la transmissió de forces entre cargol i mangueta.

Pel cas de les càrregues dels punts inferiors del trapezi (L3R i L3F), aquestes s'introdueixen per fer l'anàlisi dividint-se entre les superfícies dels dos forats de la part inferior i superior de la finestra per on passarà el cargol per tal de representar les forces que exercirà aquest cargol (esquerra figura 5.7).



Figura 5.7 – Aplicació de les càrregues a L3F i la càrrega remota a U3F

Pel cas de les forces dels punts superiors U3F i U3R s'aplicarà una càrrega remota ja que aquests punts es troben desplaçats del pla superior de la mangueta i provocaran un moment flector que es pot representar d'aquesta manera.

Al aplicar la càrrega remota es selecciona la opció de connexió rígida per tal de representar les corresponents peces que es troben entre càrregues i mangueta.

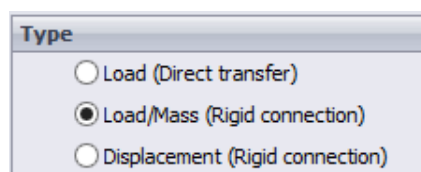


Figura 5.8 – Selecció de connexió rígida per a la simulació amb càrregues remotes

Com es pot veure a la figura 5.9, de nou s'aplica una càrrega remota per representar la força que s'exerceix sobre el suport de la bieleta, tant la de direcció com a la posterior.

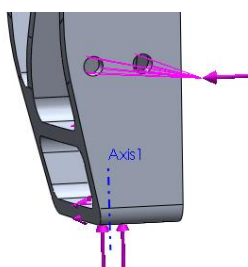


Figura 5.9 – Càrrega provinent de la bieleta de direcció

Pel que fa al parell de frenada aquest el rep a les seves prolongacions pel que fa a l'eix anterior i al suport de la pinça pel que fa al posterior. Les càrregues s'apliquen de nou als forats d'unió.

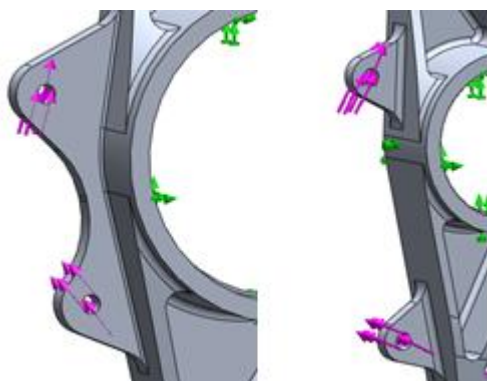


Figura 5.10 – Aplicació del parell de frenada a les manguetes

Per tal que avanci el cotxe les rodes roten en sentit antihorari si s'observen des de la vista en alça del conjunt roda esquerra. Per tant el parell de frenada produïts en els eixos és en sentit antihorari.

5.3.2. Condicions de contorn

Com bé s'ha explicat les dues zones de contacte principals de les manguetes son als extrems inferior i superior amb les unions amb els trapezis i al centre amb la unió amb la caixa a través dels rodaments. Degut a que els valors de les forces coneguts es troben a les unions amb els trapezis, la

zona que ha de rebre les reaccions de les forces es considera que ha de ser la zona dels rodaments. És doncs en aquestes superfícies on s'apliquen les subjeccions i encastaments.

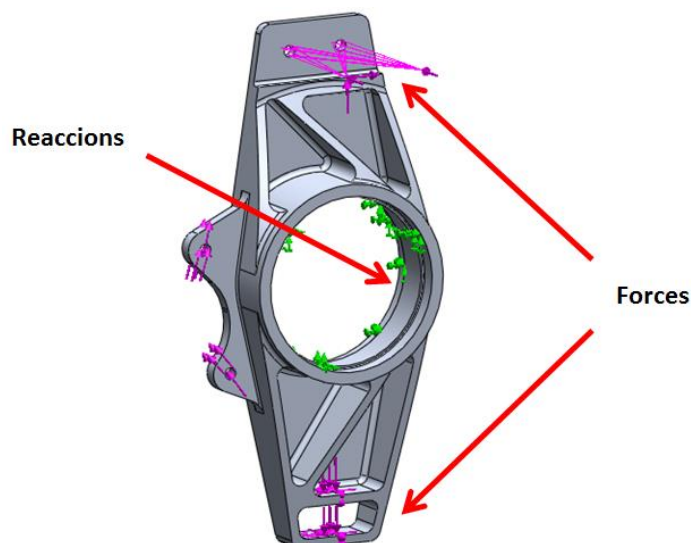


Figura 5.11 – Reaccions a les superfícies dels rodaments de les manguetes

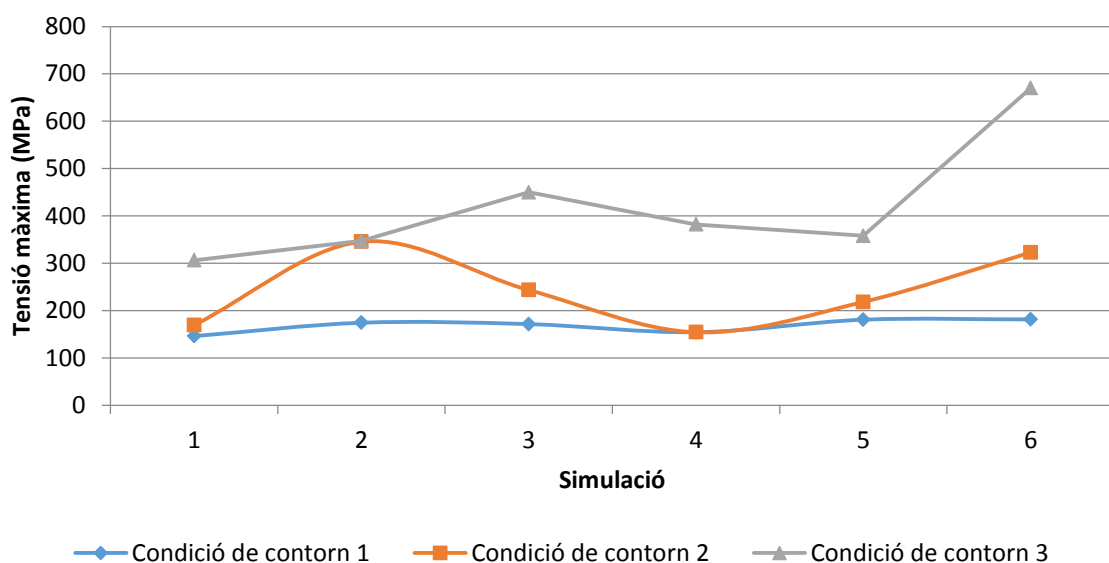
L'encastament (*fixed geometry* en el SolidWorks) anul·la la condició de sòlid rígid i és inevitable la seva utilització. Malgrat això, aquesta és una condició amb una imposició molt forta ja que anul·la tots els graus de llibertat Geometria fixa: (els tres de translació i els tres de rotació) i la seva ubicació exacta no s'ha volgut triar així com així. És per això que es van provar diferents opcions durant l'inici de les simulacions per establir la condició més adequada i fer-la servir a partir d'aleshores en totes les simulacions:

- Condició de contorn 1 (C1): encastament a les dues superfícies cilíndriques i a la paret que fa contacte axial amb el rodament.
- Condició de contorn 2 (C2): encastament a la paret que fa contacte axial i anul·lació del moviment radial per a les dues superfícies dels rodaments.
- Condició de contorn 3 (C3): encastament a la paret que fa contacte axial i recolzaments lliscants a les dues superfícies dels rodaments.



Figura 5.12 – Fixacions introduïdes al SolidWorks (C1, C2 i C3 d'esquerra a dreta, respectivament)

Si els resultats de tensió per aquests tres casos es posen en un gràfic es pot obtenir un resultat molt visual per poder determinar quina és la condició més adequada:



Gràfic 5.1 – Tensió màxima de la mangueta en funció de la malla i de les condicions de contorn

Com es pot veure al gràfic la condició 1 és la que presenta menys alteració en els resultats. Les altres dues es consideren no adequades per presentar valors oscil·lants que porten a considerar que el càlcul no és gaire fiable. Així doncs, es decideix aplicar en totes les simulacions de les manguetes l'encastament a les dues superfícies cilíndriques i a la paret que fa contacte axial amb el rodament exterior, sense aplicar cap altre subjecció ni condició de contorn (veure figura 5.13).

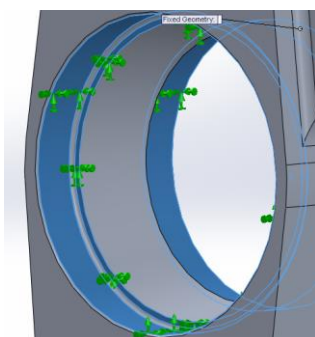
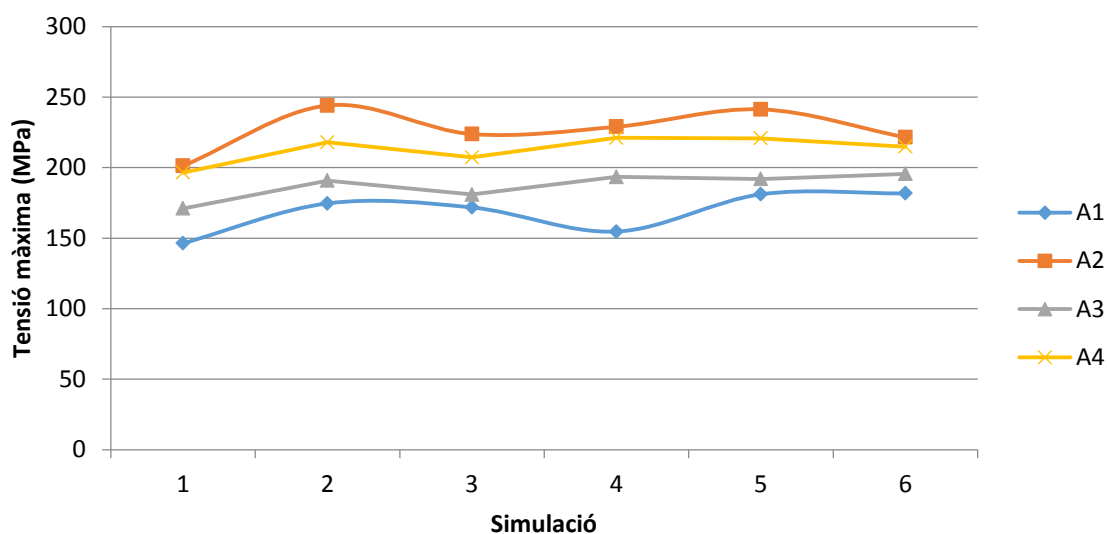


Figura 5.13 – Encastament imposat a la mangueta

5.3.3. Anàlisi de resultats

Els resultats definitius de la anàlisi porten a uns valors de tensió màxima que s'ajusta molt al valor màxim buscat. Es pot veure com molts dels valors es troben al voltant dels 200 MPa corresponents al factor de seguretat de 2,5. Malgrat hi poden haver casos on es sobrepassa (A2), aquests corresponen a les simulacions més sobredimensionades pel que fa a solapament de situacions, considerant com a bons els resultats.



Gràfic 5.2 – Variació de les tensions màximes de les manguetes en funció de la malla

Com a zones que es poden destacar per ser llocs on es dispersen les tensions es té el radi del pla superior, els radis dels rebaixos i els radis de les prolongacions. Son doncs zones geomètriques propenses a concentrar tensions i que també pot ser que siguin altes degut a algun punt singular.

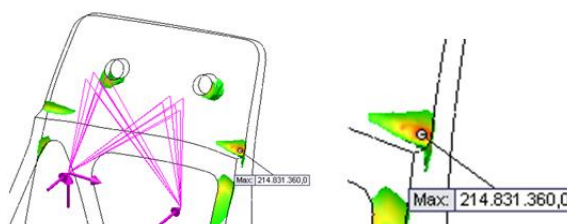


Figura 5.14 – Visualització ISO Clipping amb els valors màxims de tensió

Malgrat el que s'acaba de destacar, cal dir que els valors mitjos de tensió i de factor de seguretat es troben lluny dels límits establerts i per tant es pot considerar que les dues manguetes es tracte d'elements que compleixen els resultats esperats pel que fa a tensions.

També ha sigut el desplaçament que ha tingut pes alhora de decidir la geometria final. Igual que amb l'estat tensional, com es pot comprovar amb els resultats, és fàcil estar a prop dels valors màxims de desplaçament establerts com a criteri, en molts casos fregant els 0,5mm imposats. En les simulacions de la mangueta posterior amb la força del braç de la bieleta fins i tot es superen aquests 0,5mm, malgrat això es considera un cas excessivament sobredimensionat com per donar-li importància a sobrepassar lleugerament el límit establert en quan a desplaçament.

Es té doncs unes manguetes que s'ha aconseguit tenir-les molt ajustades pel que fa als valors màxims buscats, tant pel que fa a la rigidesa com pel que fa a la resistència.

Les zones on es produeixen desplaçaments més alts són la cantonada dreta del pla superior i la cantonada dreta de la part més inferior de les manguetes.

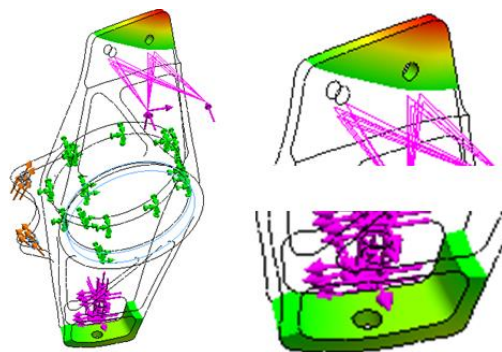


Figura 5.15 – Zones de desplaçament màxim (mangueta)

5.4. Boixes: Simulació amb MEF

Igual que amb el dibuix CAD i en general durant tot el disseny, les boixes són components principals les quals se'ls hi ha dedicat nombroses hores, també pel que a simulacions es refereix. De nou es tenen diferents apartats on es parla al detall dels aspectes de les simulacions.

5.4.1. Sol·licitacions

A continuació, igual que amb la mangueta es descriuen les sol·licitacions i com s'introdueixen de la forma que es creu més adequada a l'anàlisi MEF.

De totes les sol·licitacions proporcionades pels departaments (taula 5.1), les que es creuen adients aplicar a la caixa són les referents al pneumàtic, a més a més dels corresponents parells del motor i de frenada. La caixa es troba unida a la mangueta per la banda dels rodaments, d'on se'n desconeix els valors de les sol·licitacions, entenent que aquest és el lloc indicat per situar les fixacions o encastament. Les càrregues dels punts de suspensió es considera que no tindria sentit aplicar-les degut a la posició que ocupen.

Pel cas de l'eix anterior s'ha de tenir en compte que el sistema de transmissió que impulsa el cotxe transmet un parell torçor a la roda a través de les boixes posteriors. Aquestes patiran doncs el parell que a través del palier es transmet a la caixa a partir del contacte existent entre la junta *tripod* i les parets de l'allotjament mecanitzat a l'interior de la caixa.

Hi ha la possibilitat que el parell torçor màxim exercit pel sistema tractor exercís una força longitudinal en el pneumàtic tant gran que el pneumàtic patinés. Aquesta possibilitat s'ha tingut en

compte realitzant el càlcul i comprovant que la força longitudinal produïda pel sistema és inferior a la força longitudinal màxima que pot desenvolupar el pneumàtic.

El càlcul realitzat es troba als annexes (apartat A3) i amb aquest es corrobora que l'aplicació dels 400N·m és correcte ja que els pneumàtics segons els estudis teòrics, poden aguantar la força longitudinal que es provoca.

De nou, tots els valors de les forces i el seu sentit direccional es torben descrits als annexes.

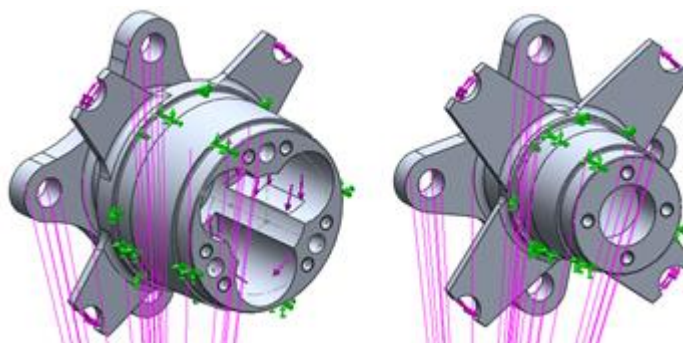


Figura 5.16 – Càrregues aplicades a les boixes

Els escenaris que s'han considerat convenient considerar per a la caixa són:

- B1 - Simulació de la caixa anterior amb les forces originades per la frenada situades en el contacte pneumàtic-asfalt amb el corresponent parell de frenada aplicat als braços de la flor del disc.
- B2 - Simulació de la caixa anterior amb les forces originades per la frenada, amb el corresponent parell de frenada i amb la força lateral del pneumàtic també aplicada al punt de contacte pneumàtic-asfalt. Es tracte de la superposició de dues situacions que no es produiran per tal de sobredimensionar.
- B3 - Simulació de la caixa posterior amb les forces màximes del pneumàtic originades per acceleració, amb el corresponent parell provinent del palier i amb l'aplicació del parell de frenada aplicat als braços de la flor del disc. Es solapen des situacions, la de frenada i acceleració que no es produiran.
- B4 - Simulació de la caixa posterior amb les forces màximes del pneumàtic originades per acceleració, amb el corresponent parell provinent del palier i amb l'aplicació del parell de frenada aplicat als braços de la flor del disc. Es solapen tres situacions, la de frenada, la d'acceleració i la de corba. No es produiran a la vegada però és útil per sobredimensionar i assegurar la resistència esperada.

Cada una d'aquestes simulacions es descomponen en diferents simulacions amb les mateixes càrregues però aplicant les diferents condicions del mallat descrites en apartats anteriors: B11, B12...etc. fins a B16 i així successivament.

Aplicació de les càrregues

Les càrregues provinents del pneumàtic s'aplicaran a través de la opció de càrrega remota i es projectaran als forats on es situen els espàrrecs que uneixen caixa i llanta. De nou la opció de connexió rígida serà activada per tal de representar la llanta.

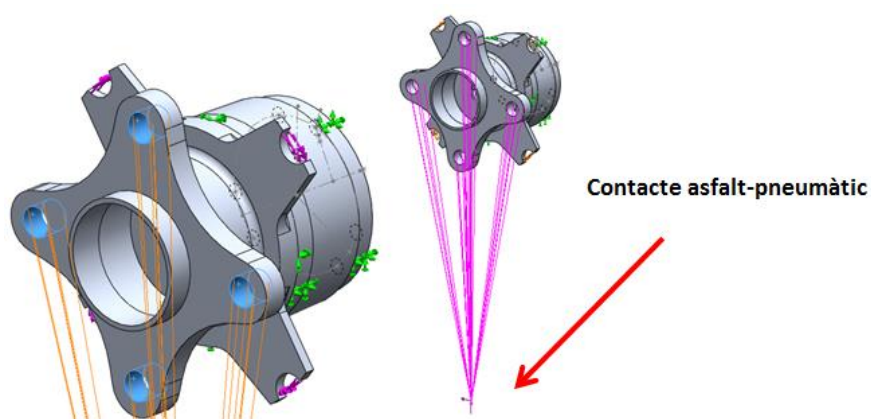


Figura 5.17 – Aplicació de les càrregues del pneumàtic als forats

Pel que fa a la càrrega lateral, aquesta es representa amb un altre càrrega remota i queda projectada sobre la superfície de la flor de la llanta ja que és la zona on la llanta queda recolzada amb la caixa.

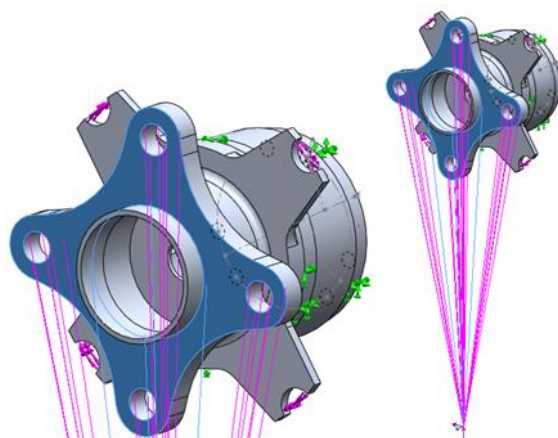


Figura 5.18 - Aplicació de les càrregues del pneumàtic a la superfície de recolzament de la llanta

Malgrat que l'estudi de la petjada de contacte podria ser només un treball, pel cas analitzat es considera que les forces es produeixen al centre del pneumàtic.

Igual que a les manguetes, el parell torçor que atura el vehicle afecta de forma considerable a la caixa, sent una de les sol·licitacions importants a les que es troba sotmesa. Aquest parell torçor es transmet dels discos a la flor de la caixa, on aquests es troben fixats. Per tant s'aplica als punts de fixació entre caixa i disc, a les superfícies cilíndriques on es situaran els bolons.

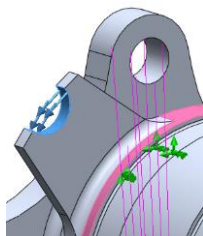


Figura 5.19 – Aplicació del parell de frenada a la caixa

El parell del sistema de transmissió s'aplica a unes superfícies creades expressament per representar una part dels casquets d'acer que hi ha entre la junta trípod i l'allotjament de la caixa. És una manera de representar la superfície més petita que hi haurà durant el contacte entre els tres elements ja que es creu irreal aplicar el parell a tota la superfície en forma de trebol.

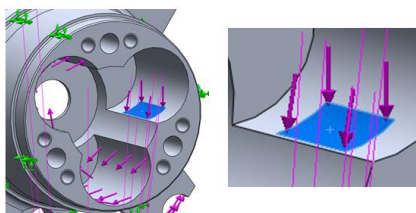


Figura 5.20 – Aplicació del parell-motor a la caixa posterior

5.4.2. Condicions de contorn

De nou es presenta una situació on definir unes condicions que representin de forma acurada el que passa realment no és feina fàcil. Igual que amb la mangueta a les superfícies dels rodaments no es coneixen els valors de les forces, sent aquestes superfícies les que patiran les reaccions a les càrregues provinents del pneumàtic.

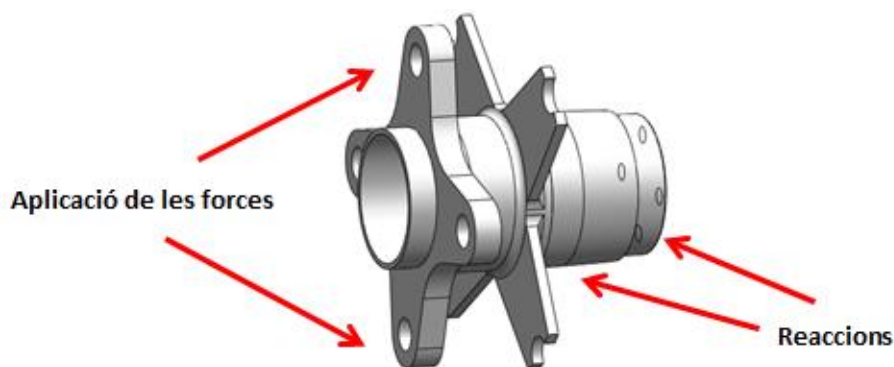


Figura 5.21 – Localització de les forces i de les reaccions (boixes)

S'entén que les forces originades pel pneumàtic es traslladen a través de la llanta fins la caixa. D'aquesta es transmeten a les manguetes a través dels rodaments i de les manguetes als trapezis amb les unions a on es situen els punts L3F, U3F, L3R i U3R. És per això que en les simulacions es considera les superfícies on han d'anar els rodaments com a zones on han de suportar les reaccions, tant amb les manguetes com amb les boixes, com ja s'ha vist.

Per tal de definir quina condició de contorn es posa a la superfície dels rodaments a les properes simulacions i a partir de quina superfície s'anul·la la condició de sòlid rígid es realitzen durant les primeres simulacions diferents proves per veure les diferències existents en els resultats.

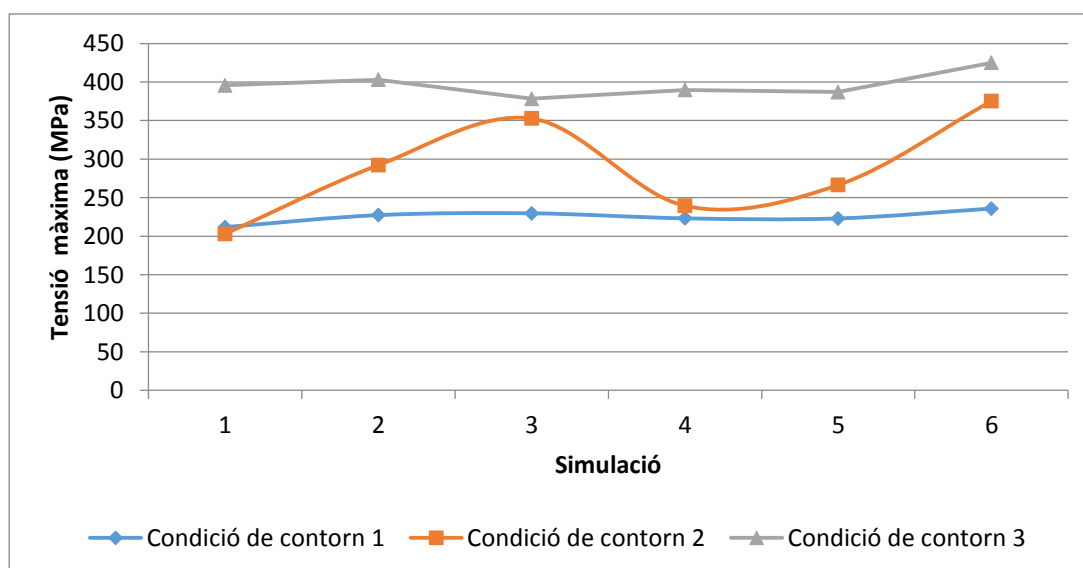
Les proves, semblant al que es va fer amb la mangueta, son les següents:

- Condició de contorn 1 (C1): encastament a les dues superfícies cilíndriques i a la paret que fa contacte axial amb el rodament.
- Condició de contorn 2 (C2): encastament a la paret que fa contacte axial i anul·lació del moviment radial per a les dues superfícies dels rodaments.
- Condició de contorn 3 (C3): encastament a la paret que fa contacte axial i recolzaments lliscants a les dues superfícies dels rodaments.



Figura 5.22 - Fixacions introduïdes al SolidWorks (C1, C2 i C3 d'esquerra a dreta, respectivament)

De nou, si es fa un gràfic amb els resultats es pot veure de forma visual el més convenient:

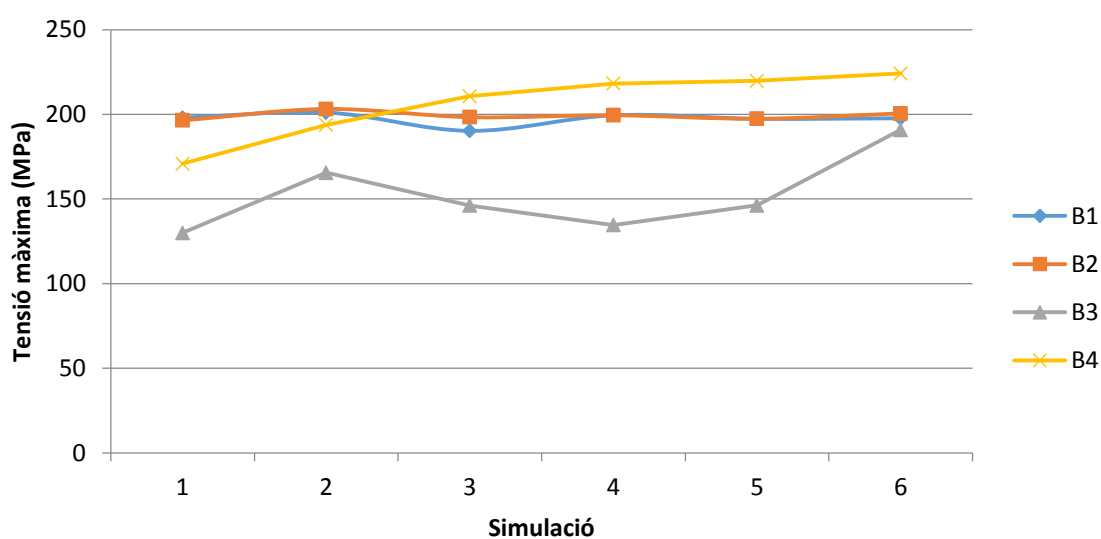


Gràfic 5.3 - Tensió màxima de la boixes en funció de la malla i de les condicions de contorn

Finalment, degut als resultats tant variats de la segona opció, així com els valors tant alts de la 3a, es decideix aplicar l'encastament a les dues superfícies cilíndriques on s'hi troben els rodaments i a la paret que fa contacte axial amb el rodament exterior, igual que es realitza amb les manguetes.

5.4.3. Anàlisi de Resultats

Pel que fa a la caixa anterior (simulacions B1 i B2) es tenen uns valors de tensió màxima que s'ajusta molt al valor màxim buscat. La caixa posterior, en canvi, presenta alteracions en els seus resultats de tensió. Es donen unes fluctuacions que poden ser degudes a certes complexitats geomètriques que presenta aquesta peça i que en canvi no té l'anterior. El fet de tenir la càrrega del parell-motor també pot influir en l'alteració del càlcul.



Gràfic 5.4 – Variació de les tensions màximes de les boixes en funció de la malla

En el cas de la simulació B3 es justifiquen les fluctuacions pel canvi de localització de la tensió màxima, produïts probablement per aquesta complexitat geomètrica que altera lleugerament el resultat (veure figura 5.23). La B4 per la seva part es considera un punt singular ja que els valors de tensió van sempre en augment i no arriba a estabilitzar-se.

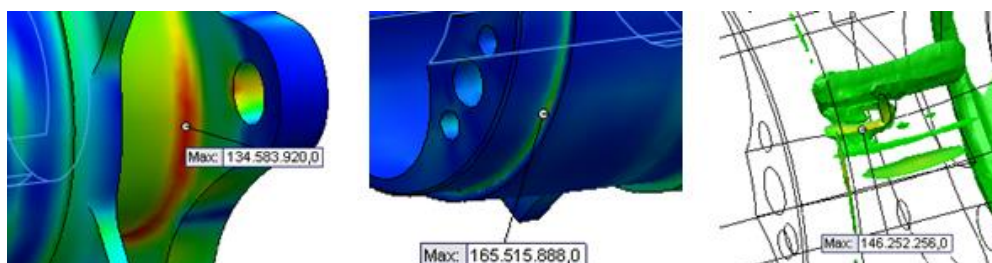


Figura 5.23 – Variació de la localització de la tensió màxima en la simulació B3

De nou, igual que amb la mangueta, cal destacar que els valors mitjos de tensió resten per sota dels límits estipulats i per tant les zones màximes es tracte de seccions crítiques o zones puntuals. Això es pot corroborar de forma molt visual amb la opció de *ISO Clipping*.

Sense tenir en compte les zones on es disparen les tensions, com a localitzacions típiques on es concentren de forma uniforme més les tensions es troba el cos cilíndric principal situat entre les dues flors que pateix considerablement la torsió deguda al parell o parells. Son zones doncs on s'ha tingut especial cura alhora de dissenyar la geometria i afegir o treure material, especialment la posterior que té una sol·licitació de més.

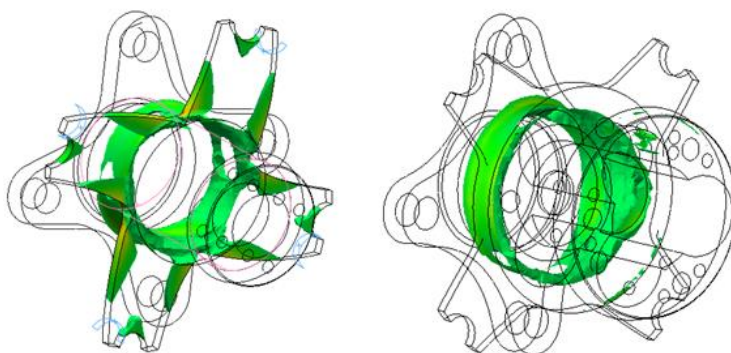


Figura 5.24 – Zones amb tensions mitges de les boixes

Com és d'esperar les zones que més desplaçament pateixen son els extrems dels braços de les flors de la llanta principalment, però també els de la flor de la boixa en el cas davanter. Tot i així, el desplaçaments màxims que es té en els múltiples resultats en cap cas supera el màxim establert per criteri, sense aquests més aviat baixos. Es considera doncs que les boixes són considerablement rígides, trobant-se ajustades pel que fa a tensions i sobre-dimensionades pel que fa a desplaçament.

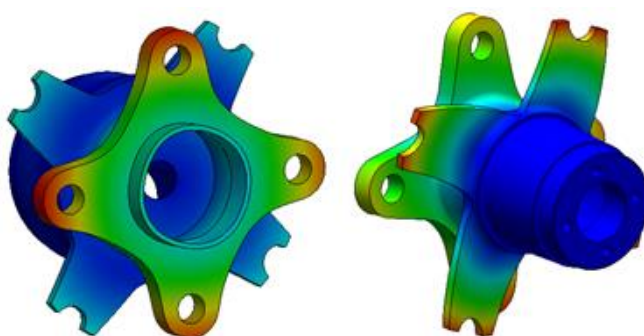


Figura 5.25 – Zones amb desplaçaments màxims de les boixes

5.5. Suports trapezi superior: Simulació amb MEF

La simplicitat geomètrica d'aquest element porta a dur a terme un estudi resistent de menys dedicació que el dut a terme amb boixes i manguetes. Un cop es té el dibuix en CAD tenint en compte els aspectes que depenen del seu entorn, entra en joc el disseny resistent que per aquest cas es basa principalment en garantir la no fallida de la peça a partir de les simulacions sense arribar a entrar en un procés d'iteracions i proves de forma reiterada per tal de reduir el seu pes, tal i com s'ha produït amb les peces principals del conjunt-roda.

Això no significa que no hi hagi hagut certes iteracions entre dibuix CAD i simulacions, senzillament es destaca que no es comparable al que hi ha hagut amb boixa i mangueta i que la reducció de pes ha sigut un aspecte més aviat secundari, entre altres coses perquè els grams que es poden esgarrapar no suposen un gran avantatge.

Garantir la bona funcionalitat de l'element ha sigut doncs la primícia alhora de dissenyar-lo, tal i com es destaca en l'apartat del concepte adoptat per la peça.

5.5.1. Sol·licitacions

Les sol·licitacions a les que es troben sotmesos els suports posteriors i anteriors són principalment les sol·licitacions ubicades als punts U3F i U3R procedents de l'estudi fet pel departament de suspensió.

Es tracte de les mateixes magnituds que anteriorment s'han aplicat a les manguetes a través d'una càrrega remota i que ara es poden aplicar directament als forats del suport ja que ara els punts no es troben desplaçats com si que passava anteriorment.

Igual que amb la mangueta, les forces es col·loquen en les simulacions situant-les a les superfícies dels forats, activant la opció corresponent per tal que es divideixin les forces entre forat superior i inferior.

Pel cas del suport posterior, s'ha de tenir en compte que aquest fa també la funció de suport de la bieleta de la roda posterior, evitant que aquesta giri. Així doncs, aquest element també haurà de suportar la càrrega procedent del pneumàtic i que s'aplica en aquest punt.

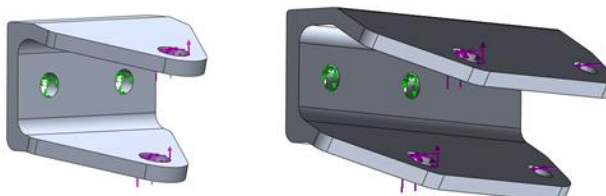


Figura 5.26 – Visualització de les càrregues aplicades als suports dels trapezis

Les situacions o escenaris aplicats son els mateixes que a les manguetes pel que a punts es refereix:

- C1 - Simulació del suport del trapezi anterior amb les forces de frenada en el punt U3F.
- C2 - Simulació del suport del trapezi posterior amb les forces d'acceleració en el punt U3R i la corresponent força provinent de traçar corba al punt de la bieleta posterior.

De nou tots els valors de les càrregues aplicades es poden trobar als annexes.

5.5.2. Condicions de contorn

Al llarg de l'etapa de simulació d'aquestes peces s'han realitzat dos casos per definir la situació de l'encastament. En el primer i més senzill es selecciona tota la superfície de la cara posterior, simulant el contacte que aquest té amb la mangueta (condició de contorn 1).

En les darreres simulacions però es creu més oportú situar l'encastament a les superfícies dels forats a on hi haurà els cargols que unirà suport i mangueta (condició de contorn 2). Malgrat la última opció no té en compte el contacte de la cara posterior, es creu més adient, ja que entre altres coses pot servir perquè es disparin una mica els valors pel fet d'aplicar-lo a superfícies més petites i així comprovar que es té un element sobredimensionat.

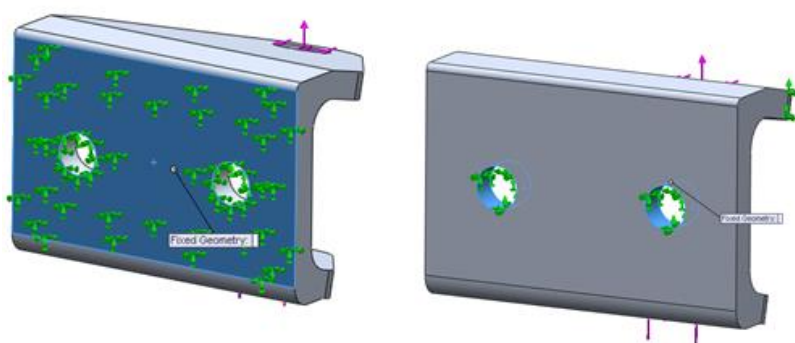
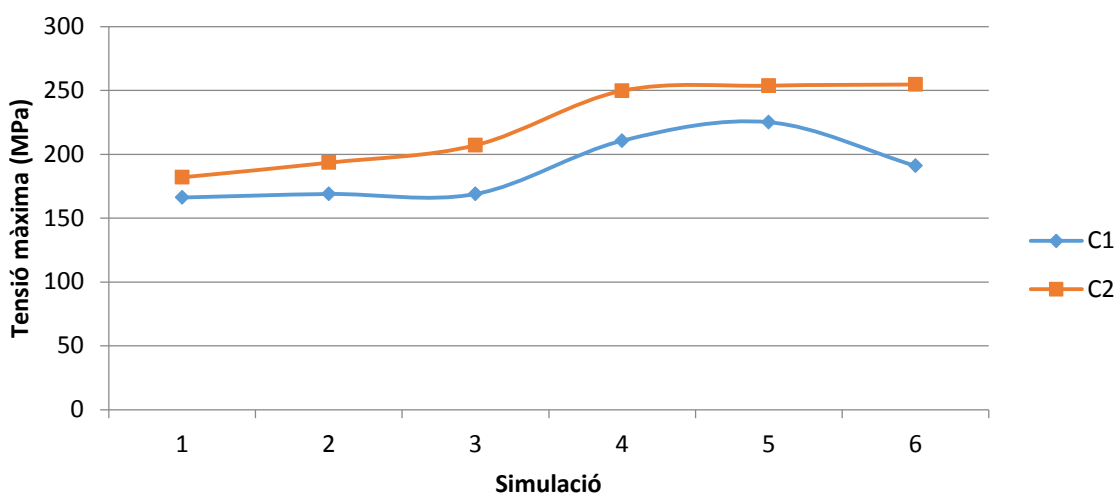


Figura 5.27 – Encastaments del suport del trapezi

5.5.3. Anàlisi de resultats

En aquest cas es tenen bastants valors per sobre de la tensió admissible segons criteri. Es tracte de resultats que es consideren punts singulars que alteren els valors màxims reals de l'estat tensional. Malgrat al gràfic les tensions sembla que es poden estabilitzar pel segon cas (suport posterior), el fet de no estabilitzar-se en el suport anterior i els resultats de la visualització amb ISO *clipping* fan concloure això.



Gràfic 5.5 - Variació de les tensions màximes dels suports del trapezi en funció de la malla

Si s’analitza el valor mig dels resultats de tensió , s’observa que els valors mitjos corresponen a zones molt petites properes al forat on hi ha els valors màxims.

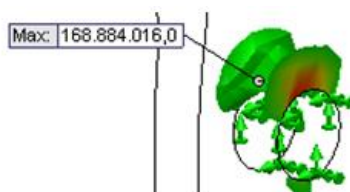


Figura 5.28 – Valor màxim de la tensió en els trapezis (simulació C12)

Tots les demás parts de la peça es troben en un estat tensional molt més baix, entenen doncs que els valors màxims es tracte de zones on es disparen de forma irreal les magnituds de tensió. Aquest fet es pot acabar de corroborar comprovant amb ISO Clipping el volum que ocupa el valor màxim i també amb els valors nodals dels resultats de deformació (dreta i esquerra respectivament a la figura següent).



Figura 5.29 – Localització màxima de la tensió i la deformació (simulació C12).

Com és d’esperar observant la geometria existent, pel que fa als valors de desplaçament, es troba que la zona amb resultats més elevats és a l’extrem del braços. Pel que fa a la magnitud màxima, aquesta no supera els 0,5mm posats com a límit ni de bon tros.

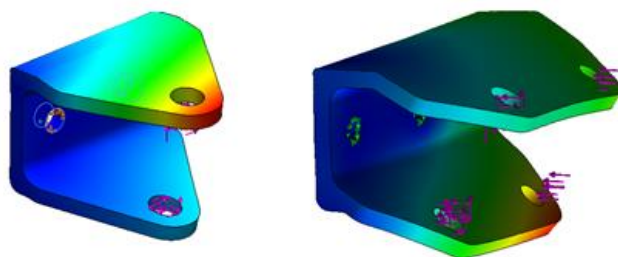


Figura 5.30 – Zones de desplaçament màxim dels suports dels trapezidis

Veient que els valors globals de tensió i de desplaçament es troben per sota dels límits imposats es pot concloure que es té uns suports dels trapezidis sobredimensionats.

Cal destacar que les condicions de contorn no representen de forma molt fidel les que existeixen a la realitat. El contacte amb la mangueta o els gruixos i cargols existents entre els dos braços no representats en son un exemple, considerant favorable doncs, el fet de no trobar-se en els límits de tensió i desplaçament.

A més a més del descrit en el darrer paràgraf, per justifica el fet de tenir una geometria sobredimensionada, també cal dir que les opcions existents de canvi de geometria per tal de reduir material portarien a un canvi de concepte en quan a peça es refereix sortint-se dels objectius perseguits o bé introduirien dificultats de fabricació que es volen evitar com s'ha explicat nombroses vegades.

5.6. Suport de la pinça: Simulació amb MEF

D'igual forma que amb els suports del trapezi superior, es té un element on els principis de disseny es basen en obtenir un element funcional, sense buscar una optimització màxima pel que fa a pes de l'element. Això ha implicat que les iteracions entre disseny CAD i residència són mínimes.

De nou, ens trobem un element que per garantir aquesta funcionalitat buscada s'ha utilitzat el mètode MEF, descrivint els aspectes més destacats en els apartats següents.

5.6.1. Sol·licitacions

Les sol·licitacions a les que es troba sotmès el suport de la pinça és únicament el parell de frenada. Aquest parell és transmet des de la unió entre pinça i disc fins a la mangueta a través d'aquest suport.

Com és habitual l'aplicació de les sol·licitacions es fa a través de les superfícies dels forats.

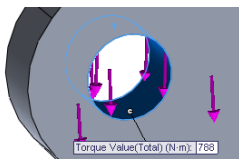


Figura 5.31 – Aplicació del parell als forats del suport de la pinça

5.6.2. Condicions de contorn

Les condicions de contorn imposades s'han basat en establir l'encastament a les superfícies cilíndriques dels forats que uneixen suport i mangueta. Es creu ser manera més adient de representar la forma en que treballa la peça.

Els forats on es cargolarà la pinça corresponen a les zones on es posa el parell torçor que ha de suportar.

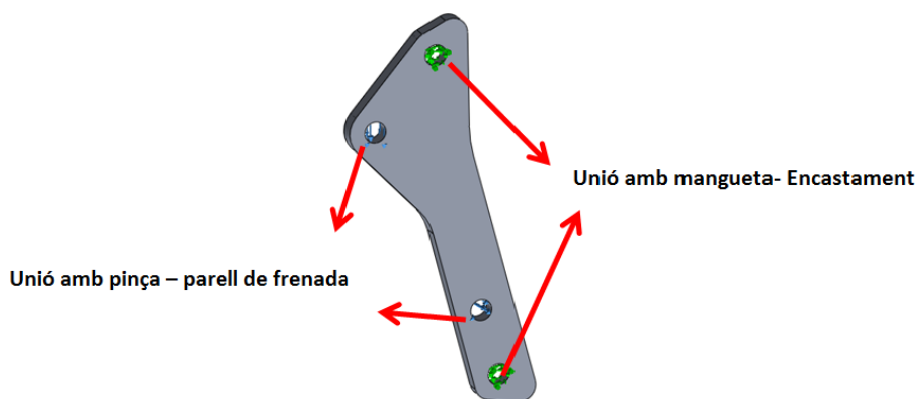
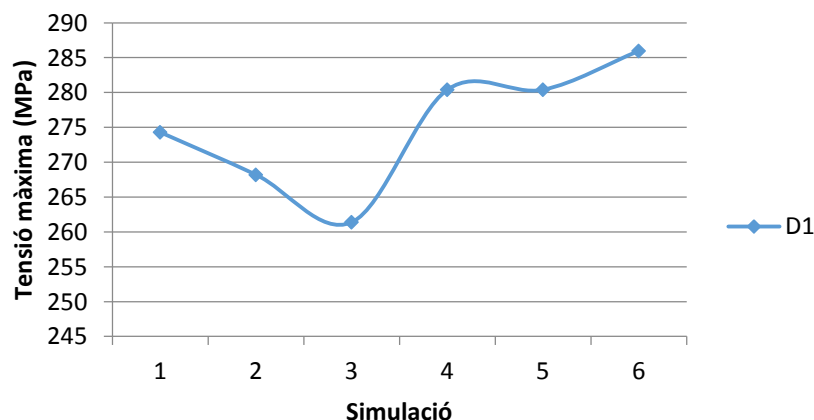


Figura 5.32 – Condicions de contorn in sol·licitacions aplicades al suport de la pinça

5.6.3. Anàlisis de resultats

Els resultats ens mostren com tots els valors màxims superen els valors límits de tensió. Aquest, però, es concentren en zones molt puntuals del forat més inferior en totes les simulacions realitzades, de la mateixa manera que passa amb els suports del trapezi, confluint que és tracte d'un punt singular.



Gràfic 5.6 - Variació de les tensions màximes del suport de la pinça en funció de la malla

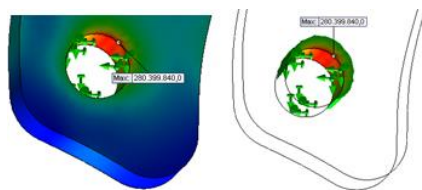


Figura 5.33 – Ubicació del les tensions màxims del suport de la pinça

Els valors pel que fa a desplaçament es refereix no son gens elevats, tenint doncs un element que suporta sobradament l'esforç torçor, tant pel que fa en residència com en rigidesa.

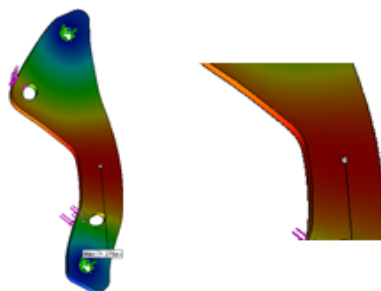


Figura 5.34 – Zones amb desplaçaments màxims del suport de la pinça

Malgrat es té un element considerablement sobredimensionat, es considera haver satisfet els objectius establerts i les consideracions inicials en quan a concepte es refereix.

Una reducció del gruix del suport o l'obertura de forats en el seu cos principal per tal de reduir pes, es consideren un guany ínfim en quan a estalvi de material i suposen la dificultat afegida en quan a fabricació o bé la debilitació excessiva de la peça.

5.7. Suport de la bieleta de direcció: Simulació amb MEF

El mètode de simulació MEF també ha estat l'eina emprada pel dimensionament resistent del suport de la bieleta de direcció.

Es tracte d'un altre element perifèric als principals, sent un més dels que el seu disseny es basa en la funcionalitat sense dedicar gran temps a la optimització del seu pes.

5.7.1. Sol·licitacions

Les sol·licitacions a les que es troba sotmès el suport de la pinça és únicament la força proporcionada per la bieleta de direcció i degudes a exercir el gir de la roda durant el traçat de trajectòria corba. Aquestes s'apliquen com és habitual als forats, dividint la força entre els dos per on ha d'anar el cargol que subjecta la bieleta.

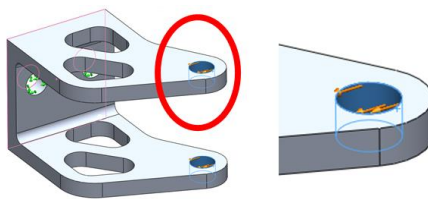


Figura 5.35 – Forces del suport de la bieleta aplicades als forats

5.7.2. Condicions de contorn

Igual que amb els suports dels trapezidis que tenen una funció semblant, el suport de la bieleta és subjectat amb les simulacions a través dels dos forats que uniran aquesta peça amb la mangueta anterior.

Malgrat aquesta opció no té en compte el contacte amb el lateral de la mangueta, es creu la opció més adient que no pas la de establir tota la cara com a encastament ja que significa rigiditzar en excés la peça, tal i com es va fer en els inicis de les simulacions.

Es té doncs els forats de suport amb la mangueta que rebran les reaccions a la força aplicada als forats de la ròtula de la bieleta.

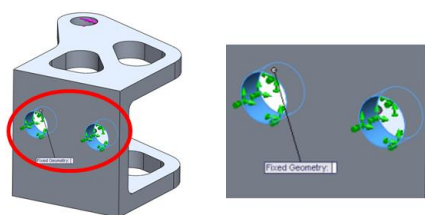
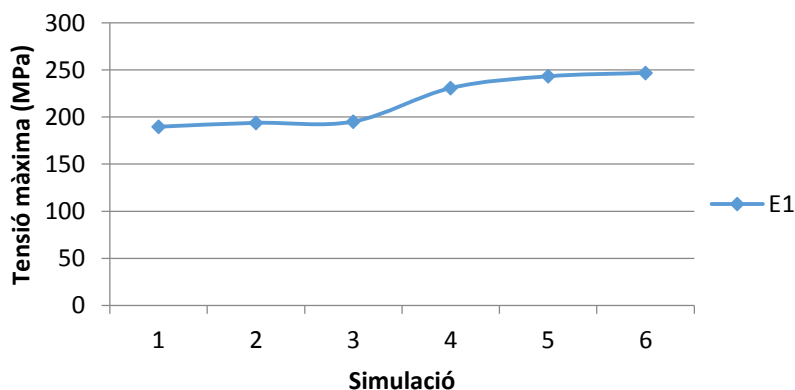


Figura 5.36 – Encastament aplicat als forats

5.7.3. Anàlisi de resultats

En els resultats de nou es concentren les tensions al voltant dels forats com a pesat en nombrosos casos. Es tracta d'un altre cas on el fet de situar l'encastament als forats provoca la creació de punts singulars, demostrats amb el progressiu refinament de les malles i pel fet que els valors generals de tensió resten molt per sota dels màxims (gràfic 5.7 i imatge esquerra de la figura 5.38).



Gràfic 5.7 - Variació de les tensions màximes del suport de la bieleta en funció de la malla

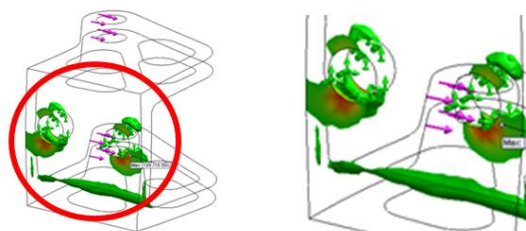


Figura 5.37 – Localització dels valors mitjos i màxims del suport de la bieleta

De nou es té un desplaçament màxim ubicat a l'extrem del braç. En cap cas s'arriba a tenir un desplaçament excessiu, sent doncs un element sobradament rígid i resistent.

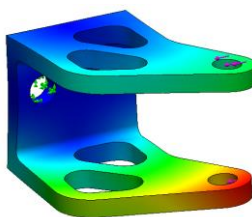


Figura 5.38 - Zones de desplaçament màxim del suport de la bieleta

Aquest és doncs el tercer element simulat que té un sobre-dimensionament considerable, més que el de boixa i mangueta. Es considera també per aquest element que una reducció dels gruixos de paret o l'obertura de forats més grans en el seu cos suposaria un guany ínfim en quan a estalvi de material i suposaria la dificultat afegida en quan a fabricació, excedint-se dels objectius i conceptes adoptats.

5.8. Càlcul resistent d'altres elements

A continuació es descriu allò aplicat a aquelles peces que pràcticament no han requerit de simulació però que s'ha realitzat aquesta per a poder validar la seva resistència. Els resultats de les simulacions que hi ha a continuació es poden trobar com és habitual als annexes, sent les simulacions amb les lletres F, G i H.

5.8.1. Roda del sensor i suport de la manxa

Juntament amb el suport de la manxa es tracte de components que pràcticament no es troben sol·licitats. Malgrat ser components de revolució, aquests no han de transmetre cap parell torçor. Al ser els encarregats d'evitar que boixa i mangueta es separin degut a una força lateral del pneumàtic, com a molt poden estar sotmesos a aquesta càrrega.

Les sol·licitacions doncs s'apliquen a la paret que es troba en contacte amb boixa i rodament, aplicant la condició de sòlid rígid a les superfícies dels forats d'ancoratge.

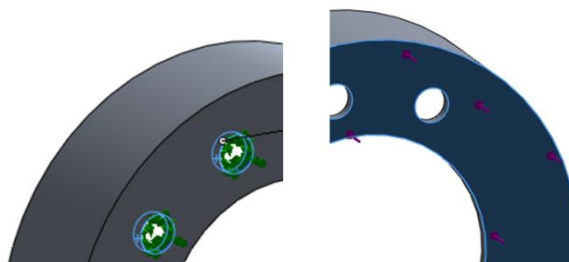


Figura 5.39 – Encastament i força aplicada al suport de la manxa

Els resultats obtinguts són baixos, tant pel que fa a tensió, com pel que fa a desplaçament. El màxim tensional es concentra al voltant dels forats com és d'esperar, tenint valors mitjos sobradament per sota dels límits de tensió.

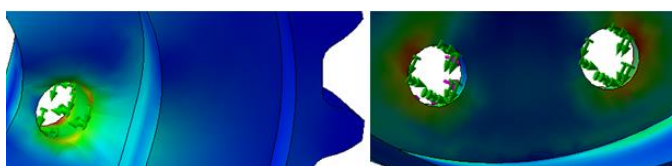


Figura 5.40 – Tensió màxima de la roda i del suport de la manxa (esquerra i dreta respectivament).

Malgrat aquest sobre-dimensionament existent, no es vol reduir en excés les parets que es troben en contacte amb la caixa ja que suposaria fer-les excessivament primes, amb possibles problemes durant la mecanització que provoquessin algun tipus d'esquerda o bé amb problemes durant l'aplicació del parell en els cargols. Aspectes com la dificultat de representar la força lateral arribant a la roda del sensor i al suport de la manxa en la simulació, també fan no voler reduir en excés el material. A més a més, l'estalvi en massa és molt poc rellevant.

5.8.2. Distanciadors

Els distanciadors, per la seva part, han de suportar les forces en sentit Z que es troben en els punts de la geometria de suspensió. Malgrat es tracti d'elements que es tindrà molt de recanvi i que poden ser canviats fàcilment, es comprova la seva resistència amb la simulació.

Les forces s'apliquen en una de les cares transversals del tub, mentre que l'encastament es situa a l'altre cara transversal.

Els resultats de tensió surten considerablement baixos, així com els de desplaçament. Malgrat això, es tracta de petites peces que el seu acabat final no sigui fàcil ja que el tall pot ser no del tot perpendicular a l'eix de revolució, sent preferible doncs tenir uns resultats alts de factor de seguretat.

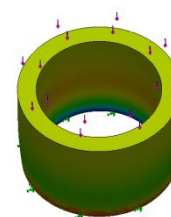
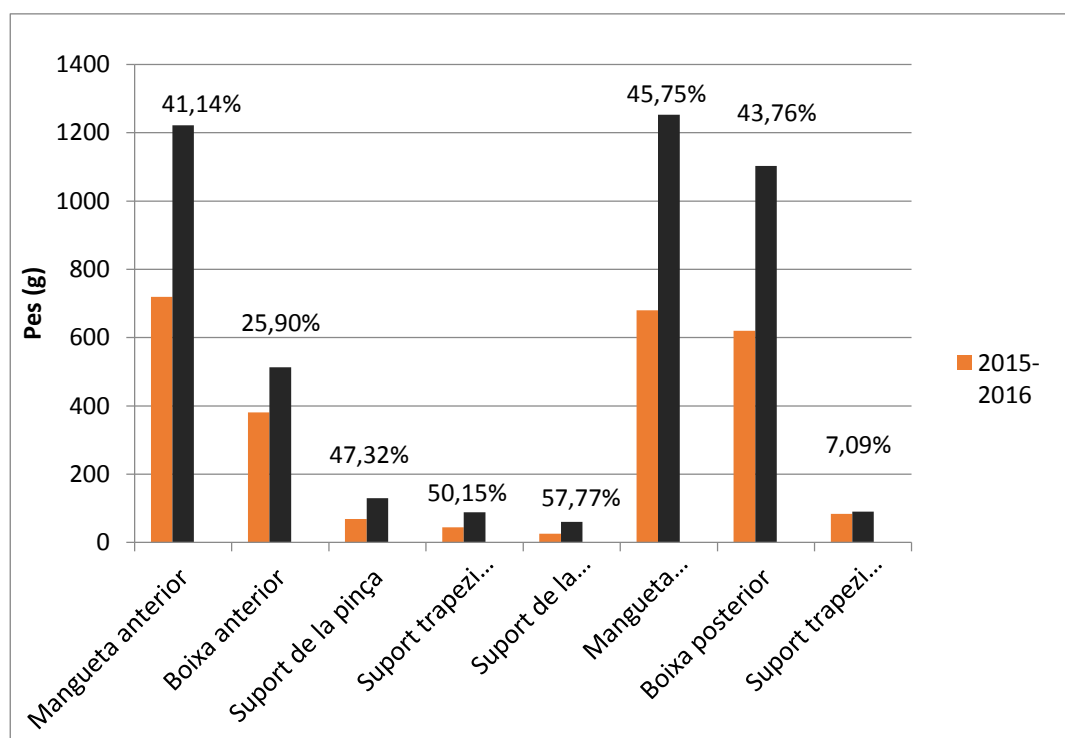


Figura 5.41 - Tensional en el distanciador

5.9. Optimització del pes

Al llarg del dibuix i disseny dels components s'ha anat controlant, no només la resistència, sinó també la seva massa. Malgrat la fiabilitat és la primícia pel fet que suposa la no fallida del vehicle, el pes té també importància degut a que suposa una millora en les prestacions del vehicle i també és un dels objectius a perseguir.

Voler aconseguir una reducció del 25% respecte les peces anteriors dutes a terme és una motivació que ha servit per encarar aquest objectiu. La comparació constantment ha permès anar veient l'evolució en la millora d'aquesta característica, aconseguint finalment una reducció superior, arribant al 40% en segons quines peces i d'un 34% a nivell global com es pot veure a continuació:



Gràfic 5.8 – Reducció els components de la temporada anterior

En els subapartats que hi ha a continuació es descriuen algunes de les formes que s'han dut a terme per tenir en compte la reducció del pes en boixa i mangueta, sent aquests components els que més cura s'ha tingut per tenir uns bons resultats.

5.9.1. Manguetes

Com s'ha parlat en la part on es descriu els disseny amb CAD, una de les zones que més pateix variacions de la mangueta per optimitzar el pes són els nervis i rebaixos de material interiors.

Les demes parts de la mangueta queden molt acotades degut a les influències dels departaments i altres aspectes de fabricació, muntatge, concepte...etc que fan que la reducció de la massa es centri pràcticament només en aquesta part.

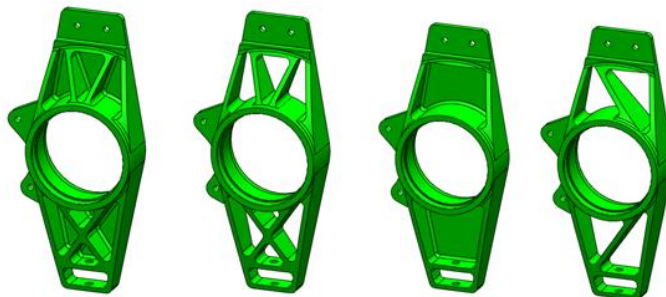


Figura 5.42 – Diferents geometries estudiades per als nervis de les manguetes

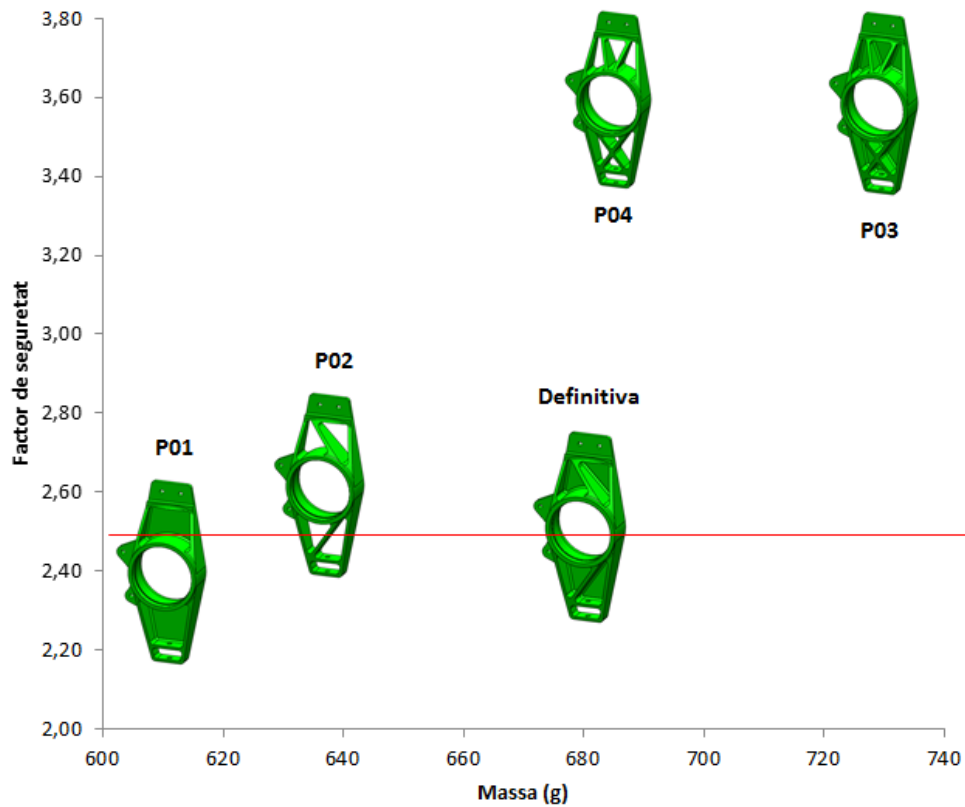
La obtenció de la geometria definitiva s'ha basat en la comparació dels diferents resultats de tensió, desplaçament i massa d'entre les diferents opcions estudiades, triant aquella que de forma general en les seves simulacions compleix amb una millor relació entre aquests aspectes.

Com es pot veure en els següents gràfics la geometria definitiva ha sigut l'escollida degut a que els seus valors mitjos de factor de seguretat i de rigidesa s'acosten molt als límits imposats.

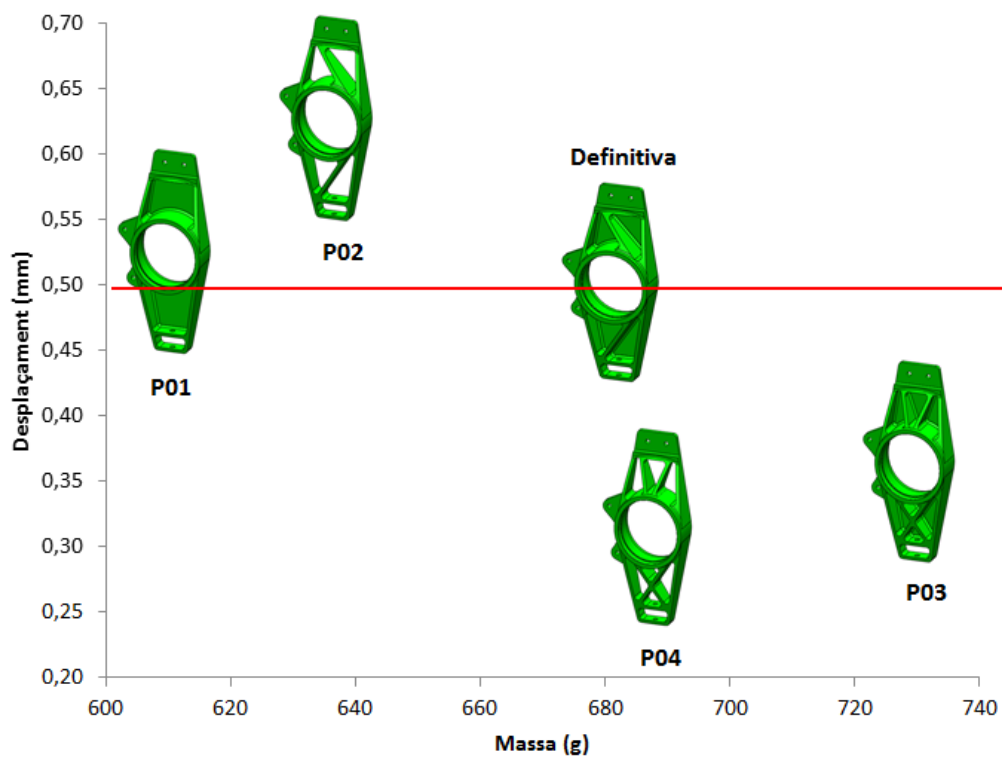
Les demás geometries que han tingut més opcions de ser escollides han sigut la P01 i P02, tenint valors que s'acosten als buscats i a més a més presentant valors de massa molt baixos en comparació amb les demás. Malgrat això, el desplaçament s'ha considerat excessiu en la P02 i el factor de seguretat lleugerament baix en la P01.

La P01 es considera molt ajustada a allò buscat, però el fet de voler ajustar-se més als límits imposats i el fet que la reducció de massa del 25% ja es complia amb la finalment seleccionada, van fer decantar-se per aquesta.

Pel que fa a la P03 i P04, aquestes es van descartar de seguida ja que la seva massa és excessiva i els valors de resistència i rigidesa no es troben optimitzats.



Gràfic 5.9 – Variació del factor de seguretat en funció de la massa



Gràfic 5.10 - Variació del desplaçament en funció de la massa

5.9.2. Boixes

Una de les coses que més redueix el pes d'una boixa és l'ús de mono-rosca en la unió d'aquest element amb la llanta. Això suposa que no hi hagi la flor on es troben els 4 forats d'unió, reduint el gran gruix de material que hi ha i mantenint el cos cilíndric en aquest extrem de la boixa, afegint únicament la rosca i una petita paret de recolzament per la llanta.



Figura 5.43 – Exemples de boixes amb mono-rosca de l'equip ETSEIB Motorsport

Aquest però és una opció descartada des del primer moment ja que no correspon amb els objectius i amb el context que té l'equip. Com s'ha dit quan es parla del concepte de la llanta, la escollida és la mateixa que la utilitzada la temporada anterior, entenent del tot innecessari comprar-ne una de nova pel malbaratament de recursos que suposa. L'ús de mono-rosca es deixa doncs com a bona opció de futur per a millorar el pes d'aquestes peces.

Tal i com s'ha parlat en la part de disseny amb CAD, les boixes no presenten les mateixes possibilitats que la mangueta en quan a variacions de formes i reducció de material. Mantenint el concepte de les dues flors i amb les influències existents relacionades amb els demés departaments, és fàcil anar a parar a la geometria que s'ha acabat duent a terme.

Les proves de reducció de material i optimització s'han basat doncs en realitzar proves de diferents opcions geomètriques a les potes de la flor del disc i en la reducció de material del cos principal, procurant tenir una paret el més prima possible.

Reducció de material a la flor del disc

Malgrat haver fet forats i geometries que redueixin material (P01, P02 i definitiva d'esquerra a dreta de la imatge que hi ha a continuació), les proves no han sigut satisfactòries, considerant que el millor cas per allò buscat és la forma simple de les potes que s'ha fet definitivament, sense cap rebaix de material i eixamplant la base per suportar millor la flexió que provoca el moment.



Figura 5.44 – Proves a les potes de la caixa

Els motius que porten a descartar fer forats a les flors és l'acumulació de tensions en els forats, debilitant aquesta part de la caixa que ha de suportar l'alt parell que pateix. A més a més, el poc guany en massa es creu que no val la pena fer aquesta opció, perdent la fiabilitat esperada.

Fins i tot es pot veure a la següent taula que pel cas P01 la massa ni tant sols es redueix, n'augmenta, i a més a més es dificulta la fabricació i es té concentradors alts de tensions amb els petits radis que s'haurien de fer.

Boixa	Massa (g)	σ_{\max} (Mpa)
Definitiva	375,45	198
P01	380,25	260
P02	369,59	290

Taula 5.2 – Resultats de massa i de tensió mitja màxima de les opcions de la caixa

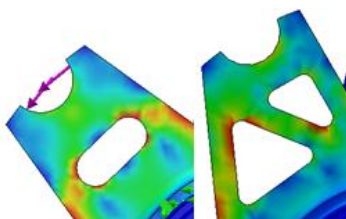


Figura 5.45 – Acumulació de tensions en els braços de la caixa

Gruix de la paret del cos principal

Com s'ha dit en altres ocasions la forma del cos principal es procura fer el més uniforme possible (per la caixa posterior pràcticament no és possible), evitant canvis de diàmetre en la mesura del possible que evitin esglaons i radis que provoquen concentradors de tensions.

A partir d'aquest principi es procura extreure una gran quantitat de material en el cos principal, deixant en termes generals un cilindra buit pel seu interior. Una de les sol·licitacions importants de les boixes és el parell torçor que pateixen, sent doncs favorable la manera d'extreure material ja que les tensions màximes per aquest cas es concentren a l'exterior.

Per cada augment de 1mm de diàmetre del buidat interior s'obtenen unes reduccions de material considerables:

Boixa	Massa (g)
Definitiva	375,45
P03	358,52
P04	341,22
P02	323,56

Taula 5.3 - Reducció de material en funció del rebaix interior

Malgrat interressi extreure el màxim de material, hi ha aspectes que no estan contemplats en les simulacions. El fet que hi hagi un ajust degut als rodaments, provoca acumulacions de tensions no previstes. Això, junt amb el fet que no es té en compte els contactes durant les simulacions, fa que el gruix de les parets es vulgui limitar, creient convenient reduir-lo però fins a cert punt.

És per això que s'estableix que els gruixos de paret per a la boixa anterior no poden ser inferiors a 3,8mm, evitant problemes de deformació o de muntatge:

$$e \geq 3,8mm$$

Eq. 5.3

On:

- e (mm) és el gruix de la paret que forma el cos cilíndric interior i exterior de les boixes.

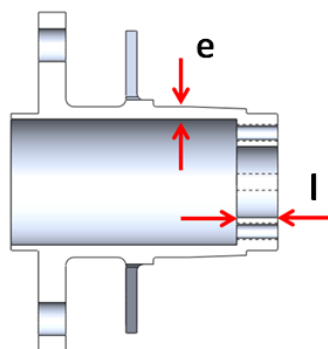


Figura 5.46 – Gruixos e i l de les boixes

Les zones d'espessor mínim corresponen a la majoria de zones cilíndriques, a excepció de la part del centrador de la llanta. Aquesta té la funció únicament d'encarar la llanta col·locant-la concèntrica abans de cargolar les femelles que la subjecten.

Per al disseny de la part on es troben els 4 forats roscats on es cargolarà la roda del sensor de velocitat es decideix realitzar una paret amb prou material en direcció axial que asseguri una bona posició dels cargols un cop cargolats i que permeti salvar l'amplada de l'allotjament on es trobarà el

rodament més interior (el de diàmetre més petit). D'aquesta manera s'assegura que hi hagi secció de material suficient com per patir la flexió degut a les càrregues radials que hi hauran en els rodaments (marcat com a "l" a la figura anterior).

La caixa posterior presenta més dificultats per reduir el seu material. La seva estranya geometria deguda a l'allotjament de la junta tríode provoca variacions en el diàmetre que fan que es vulgui assegurar més la seva resistència, encara que suposi tenir més material.

El fet de tenir també el parell torçor provinent de la transmissió es vol que l'espessor de la paret entre les dues flors sigui prou ample, tenint en compte que s'hi concentren la majoria de tensions mitges comprovat amb les simulacions.

A més a més, es presenten dificultats de mecanització, ja que el diàmetre del centrador està limitat per la llanta muntada i fa que per reduir la paret hagi d'haver un esglaó (part esquerra de la imatge esquerra).

Malgrat no es guanyi gaire reducció de pes, s'ha considerat favorable fer forats per reduir material a les zones del voltant de l'allotjament de la junta (foto dreta).

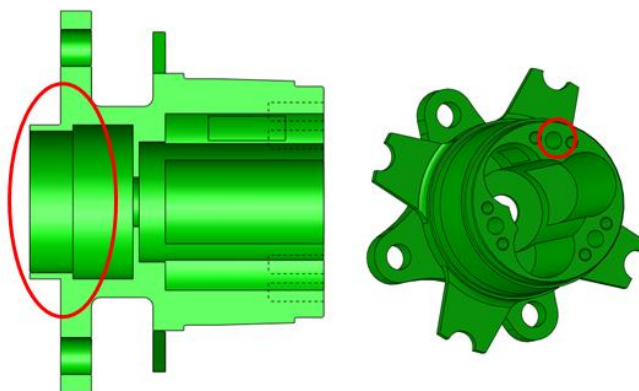


Figura 5.47 – Esglaó degut al centrador i forat de reducció de material de la caixa posterior

5.10. Dimensionament dels rodaments

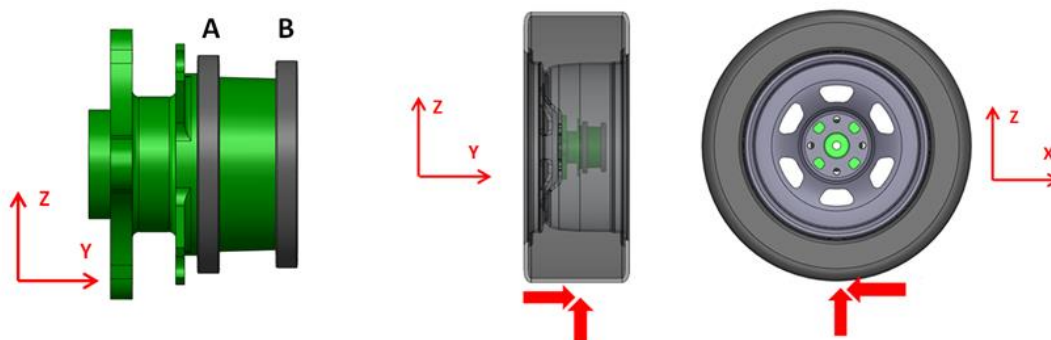


Figura 5.48 – Representació de les forces que actuen al pneumàtic i denominació dels rodaments

L'anàlisi realitzat pels rodaments és una forma d'assegurar que els que es muntaran es troben sobredimensionats i en cap cas es pretén dimensionar els rodaments buscant aquells que satisfan de forma acurada les necessitats justes en quan a sol·licitacions.

En primer lloc això es decideix fer així perquè com s'ha vist, s'està molt lluny de saber exactament quines són les sol·licitacions real ja que estem en una situació dinàmica. A efectes de recursos com ara coneixements per a fer un anàlisi d'aquestes característiques s'està molt allunyat i no té sentit invertir-hi temps en una cosa tant específica i concreta ja que suposaria desmarcar-se del camí a seguir per executar el conjunt mecànic de la roda amb els objectius desitjats.

En segon lloc i no menys important, es desestima fer un dimensionament acurat dels rodaments pel fet que com s'ha dit anteriorment es prioritza la reducció de pes de la caixa i la seva fiabilitat en quan a resistència. Entre altres coses això suposa evitar al màxim canvis en diàmetre al llarg del cos principal i suposa buscar un diàmetre del cos més aviat gran que porta a tenir rodaments de diàmetre relativament gran i consegüentment sobredimensionats.

Per al càlcul es segueixen les indicacions que el fabricant proporciona a la seva pàgina web. L'objectiu és calcular les hores de funcionament que poden suportar els rodaments i comparar-les amb les hores que ha de durar la prova més exigent de la competició.

Tots els càlculs realitzats es troben detallats als annexes. Dels resultats sorgits es pot veure com la vida útil mínima recau sobre el rodament B posterior, sent aquesta d'aproximadament 32 hores.

Amb les condicions sobredimensionades del model i suposant que la prova més exigent pot arribar a allargar-se 40 minuts, es consideren resultats suficientment bons com per concloure que suportaran les exigències a les que es trobaran sotmesos.

Cal dir que malgrat el càlcul realitzat ha suposat tenir un resultat positiu, el que realment fa estar segur dels rodaments muntats és el contacte amb el servei tècnic de l'empresa, que des de bon principi va aconsellar l'ús dels rodaments escollits, considerant que eren adequats per l'ús que se li vol donar.

5.11. Dimensionament dels cargols

El dimensionament de pràcticament tots els cargols es fan en base a les dimensions de les ròtules escollides pel departament de suspensió i direcció. La persona encarregada del Conjunt-roda tracta només el dimensionament de les unions cargolades entre caixa i suport de la manxa o roda del sensor.

Per a escollir la mida dels cargols es segueix un mètode i segur fiable que és seguir els consells del fabricant proporcionats a través dels catàlegs. Aquests consells es basen en funció de quin tipus de sol·licitació es troben sotmesos i de com seran collats. Els passos es descriuen a continuació.

En primer lloc cal dir que degut a la configuració geomètrica existent al darrere es decideix col·locar 6 cargols mentre que al davant 4. Aquests han de suportar la força lateral del pneumàtic. Sabent la força que cada un ha d'aguantar es busca el valor a una taula (678N i 401N).

Per a càrregues dinàmiques axials s'ha de pujar 2 nivells en la fila inicial trobada i pel cas de ser apretats amb clau manualment com en el cas estudiat, s'han de pujar 2 nivells més en dimensionament (4 nivells en total per a cada una de les càrregues prèviament escollides).

Carga en N	1	2	3	4
	Diámetro nominal en mm.			
	Clase de calidad			
	12,9	10,9	8,8	
250				
400				
630				
1000				
1600		3	3	3
2500		3	3	4
4000		4	4	5
6300		4	5	5

Figura 5.49 – Taula seguida per al dimensionament dels cargols

Pel nostre cas, on s'obtenen cargols qualitat 8.8 ens queda doncs un cargol de M4 per al cas posterior (suport de la manxa) i un M5 per al cas anterior (roda del sensor). Aquest de M5 s'acaba passant a M6 ja que a afectes pràctics és molt més habitual en altres parts del cotxe i el M5 no s'utilitza.

6. Fabricació, muntatge i validació

En aquesta secció es vol explicar tot allò referent a aquella etapa en que es finalitza el disseny i es dona pas a la fase de realització de les peces, del seu muntatge i de la validació amb el funcionament del vehicle. Es tracte d'una etapa diferent i especialment motivadora ja que tot allò que fins ara es trobava a l'ordinador en forma virtual passa a ser peces físiques úniques i de les peces a un monoplaça de competició.

En aquest apartat es vol tractar doncs, tot allò realitzat en aquest moment en que es requereix més de l'ús de les mans per a fer muntatges, fabricacions, ús de eines... etc i menys de l'ús d'aquestes per a fer anar l'ordinador.



Figura 6.1 – Boixes en procés de fabricació (esquerra) i conjunt de boixes i manguetes acabades de fabricar (dreta)

6.1. Forat dels espàrrecs - Determinació del diàmetre

Aquest apartat té l'objectiu d'explicar tot allò dut a terme per determinar el diàmetre al qual s'ha de fer els forats que allotjaran els espàrrecs que permetran fixar la llanta. La mala experiència de la temporada anterior fan variar el concepte adoptat, tenint especial cura i volent-li dedicar cert temps per evitar els problemes tinguts anteriorment.

És un tema del que no hi ha experiència i el problema plantejat a mecànics i professors no ha resultat en respostes concretes. A més a més, és una situació gens freqüent ja que en els vehicles turismes no es fa servir boixes d'alumini com en el cas analitzat, fet que dificulta el problema. És per això que al final s'ha decidit optar per un assaig de prova i error.

L'espàrrec està format pel seu cap que fa de contacte amb la boixa i inhabilita el moviment en un sentit de la direcció axial. La part estriada és aquella que té unes estries o dents com el seu nom

indiquen, que eviten que l'espàrrec giri quan se li aplica un parell al afluir i collar la femella corresponent. Per últim es pot distingir la canya roscada que permet roscar-hi la femella.

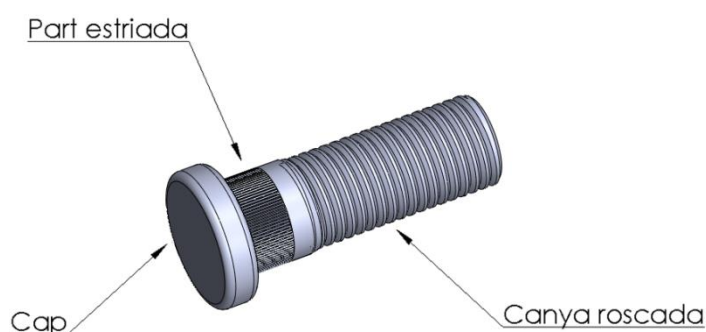


Figura 6.2 – Parts d'un espàrrec de vehicle turisme

Un dels inconvenients que es dona és que la diferència entre el diàmetre de la part estriada i el diàmetre de la part roscada o canya és de només unes dècimes de mil·límetres, fet que dificulta fer un forat on la canya roscada entri sense interferència i la part estriada sí. A més a més les broques que en un primer moment estaven disponibles són les de 11, 11,5 i 12mm. Si es forada a 12mm de diàmetre l'ajust es produeix amb total joc i si es forada a 11 o 11,5 l'ajust és amb massa serratge, inclús havent interferència entre la part roscada i el forat per aquest últim cas. La solució recau doncs en trobar broques d'entre 11,5 i 12mm satisfent les dues necessitats.

Un cop conegudes les dificultats es procedeix a adquirir dues broques de 11,7 i 11,6mm de diàmetre i dirigir-se al taller per fer proves amb un tros d'alumini i uns espàrrecs com els que es volen muntar:

- En primer lloc, amb els forats ja fets amb les dues broques s'introdueixen els espàrrecs amb l'ajuda de la premsa, comprovant com reacciona l'alumini i com ho fa el propi espàrrec.
- A continuació es procedeix a roscar-hi un femella com la que anirà a la roda i amb l'ajuda de la subjecció del cargol de banc s'hi aplica el mateix parell que s'aplicarà a les llantes amb la clau dinamomètrica: 110 Nm.
- Es fa una marca amb un retolador per comprovar si hi ha moviment relatiu entre el tros d'alumini i espàrrec i es repeteix el procés al voltant de 25 cops.



Figura 6.3 – Proves realitzades amb l'espàrrec

Amb els resultats favorables, sense moviment aparent, es decideix utilitzar la broca de diàmetre més petit, de 11,6mm. El motiu de triar aquesta i no la de 11,7mm és que dona més seguretat el fet de tenir un ajust amb més serratge, ja que no tots els forats poden quedar com el realitzat, a més a més que podria ser necessari desmuntar un espàrrec en cas que es trenqués, fet que segur faria disminuir l'ajust inicial.

Per últim també cal dir que hi havia certa por a que es malmetés la rosca de l'espàrrec pel fet que el forat sigui més petita que aquesta i com que no hi ha inconvenient en cap dels dos casos estudiats degut a que l'espàrrec és molt més dur que l'alumini es decideix tirar endavant l'ajust més fort.

6.2. Fabricació dels components

Un cop ha finalitzat el disseny i s'ha donat el vistiplau dels plànols per part dels fabricant, es procedeix a la compra de la matèria prima que es necessita per a dur a terme els components, tractant-se dels blocs de material a partir dels quals es traurà material amb la mecanització. Hi ha fabricants com ara tots els suports auxiliars que proporcionen ells el material base, per altres com el cas de boixes i manguetes els ha d'adquirir i portar l'equip i/o departament.

La determinació de la mida dels blocs es fa seguint les necessitats dels fabricants, tenint com a regla general augmentar com a mínim 10mm les mides màximes de les peces en cada un dels tres eixos.



Figura 6.4 – Blocs d'alumini entregats pel proveïdor

La majoria de components no requereixen fer cap mena de seguiment de la seva producció, senzillament un cop s'han portat els blocs de material a aquelles empreses que no han proporcionat també el material base es dona també l'arxiu 3D amb el que es produiran els components de forma semi-automàtica. Els arxius requerits solen ser en format neutre com pot ser “.idgs” o “.step” o bé “.dwg” pel cas de les peces que es produeixen amb tall làser.

Aquells components que no es fabriquen de forma automàtica requereixen de dedicació, participant en alguns casos en la seva producció o en seu seguiment, com es descriu en els apartats següents.

6.2.1. Fabricació de la roda del sensor

Tot i no ser un element que en la seva majoria es va fabricar personalment si que va suposar haver de controlar les diferents etapes que va tenir, parlant amb les persones encarregades de dur-la a terme i dedicant-li temps per portar-la d'un lloc a l'altre. L'Escola del Treball i l'empresa Mulet S.A. van ser els dos organismes implicats, la primera amb el tornejat i la segona amb el dentat.

Com s'ha explicat la roda del sensor va requerir de tres etapes per a poder-la dur a terme. Com que es tracte d'un element on se li extreu molt de material, està formada per parets molt primes que poden dificultar la subjecció, especialment durant la realització de les dents, motiu pel qual es recomana que les dents es facin quan encara no hi ha la reducció interior de material.

La primera etapa consisteix doncs en a partir del bloc d'acer tornejar els dos diàmetres exteriors desitjats i tornejar el forat passat interior.

La segona etapa de fabricació suposa portar la peça a l'empresa que es dedica a la realització de rodes dentades i elements de transmissió de tot tipus perquè realitzin les dents seguint les especificacions desitjades.

La tercera etapa consisteix en realitzar de nou, a l'Escola del Treball, al costat de l'EUETIB, l'etapa final amb la reducció de material interior a través del mandrinat. Pel que fa a la realització dels forats es van realitzar per la persona encarregada de la peça amb les eines i material del taller de l'equip.



Figura 6.5 – Evolució de la roda del sensor al llarg de les seves tres etapes



Figura 6.6 – Roda de sensor virtual i real

6.2.2. Fabricació dels Casquets

Aquest element és una de les peces que es va fabricar manualment. Com s'ha explicat en la descripció hi va haver certs obstacles durant la fabricació que van crear la necessitat de dedicar-li més temps de lo esperat.

En primer lloc cal dir que a l'hora de posar-se a fabricar els casquets hi havia una petita geometria que no era possible de fer i es va haver de produir certs canvis del disseny per facilitar la producció. El disseny de l'esglaó en un primer moment té un perfil radial o circular que s'adapta perfectament al diàmetre del suport de la manxa. Aquesta geometria que és molt fàcil de dibuixar amb CAD no es pot fer de forma precisa si es fabrica manualment.

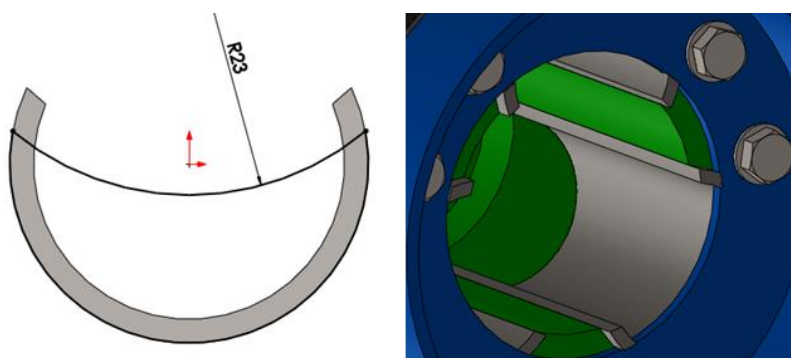


Figura 6.7 – Geometria circular de l'esglaó del casquet

En un primer moment quan no se sabia on es fabricaria la peça es va deixar aquesta forma en el cas que s'utilitzés algun sistema automàtic de fabricació CNC com pot ser una fresa o electroerosió. Un cop es va decidir que es realitzaria de forma manual es va adaptar el plànol perquè aquest perfil no sigues circular sinó recte.

Per la seva fabricació en un primer moment es fan els talls longitudinals per tal d'obtenir el semi-tub. Aquests talls provoquen que el tub s'obri, especialment tenint en compte que es tracte de tubs soldats i no fabricats per extrusió, cosa que obliga a fer algunes repeticions.

Un cop els talls longitudinals es troben fets es procedeix a realitzar l'esglaó o esglaons fent un tall transversal i a continuació llimant fins a obtenir les mides dels esglaons desitjades. Els múltiples talls fets a mà fan que la geometria sigui bastant irregular, donant pas a esglaons poc rectes. També es produeixen certs inconvenients al provar d'introduir els 3 tubs en una de les boixes i fer que després encaixi a sobre adequadament el suport de la manxa.



Figura 6.8 – Proves d'encaix amb l'esglaó del casquet acabat de llimar

Aquests obstacles s'acaben superant a base de prova i error, fent contínuament extracció de material amb la llima i a continuació provant com encaixa tot. Malgrat al final els esglaons i talls no queden amb les formes exactes del plànol es pot considerar obtenir les peces amb èxits, encaixant sense problemes sense girar sobre si mateixes.

6.2.3. Fabricació dels distanciadors

Malgrat la importància d'aquests elements no és essencial com la d'altres peces es creu convenient mencionar la seva fabricació. Gràcies a aquests distanciadors les ròtules queden a la distància que pertoca segons el disseny i s'eviten jocs i moviments no desitjats.

Es tracte d'unes peces que malgrat les va fer un professor de l'Escola del Treball, es va col·laborar en la seva obtenció i van haver de ser posteriorment llimades requerint de temps i dedicació per a encaixar degudament.

En primer lloc però, s'agafa el material base que es tracte dels tubs comercials adquirits en longituds llargues de metres i es porten a l'Escola del Treball, lloc on es fan nombroses peces de tot el cotxe inclosos els distanciadors.

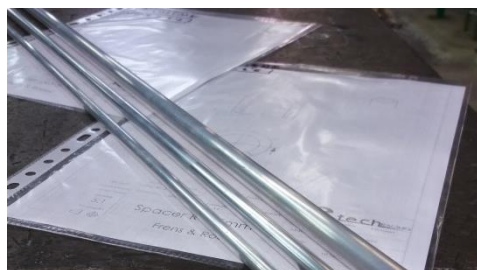


Figura 6.9 - Tubs per fabricar els distanciadors

La primera operació és tallar en trossos més petits amb la serra per tal que es pugui treballar adequadament en el torn. Un cop posat en el torn el professor procedeix a tallar els tubs a les diferents mides desitjades mostrades en els plànols. Es considera el torn com l'eina més apropiada ja que la serra no té la precisió adequada.

Malgrat el torn es pot considerar la millor manera de fer aquestes peces, aquestes és fàcil que no quedin a la mida desitjada sinó que siguin d'una longitud lleugerament més gran. El motiu ve donar pel fet que es fàcil deformar els tubs o que aquests rellisquin de les garres del torn ja que no poden estar gaire ben subjectats perquè sinó s'aixafarien.

La operació final doncs consisteix en anar llimant amb paciència cada un dels petits tubs o distanciades obtinguts i anar provant amb el cargol de canya calibrada i amb el cotxe mig muntat en el taller de l'equip fins que es troben a la mida adequada. La operació es realitza amb llima, procurant en tot moment fer-ho de forma recte. El fet de ser elements poc resistents fa que s'hagin de repetir en alguns casos i es fa un número d'unitats més gran de les justes necessàries ja que és fàcil que alguns es malmetin o bé que es perdin amb el desmuntatge i muntatge constant del Conjunt-roda.

6.2.4. Fabricació del suport del sensor

El suport del sensor suposa una dedicació mínima. No obstant es considera adient explicar-ne la manera com es va obtenir.

Consisteix en agafar un tros de xapa d'un retall de material del taller. Després de tallar-lo de forma rectangular es procedeix a realitzar els dos forats amb el trepant. Un cop realitzats els forats s'arrodoneixen les cantonades i a continuació amb l'ajuda del cargol de banc es doblega a un angle de 90°.



Figura 6.10 - Suport del sensor fabricat

6.3. Muntatge dels components

En aquesta part es procedeix a explicar el muntatge que consisteix en l'assemblatge d'elements permanents, aquells que no s'han de desmuntar a no ser que sigui estrictament necessari. Requereixen l'ús de la premsa per a fer els ajustos de rodaments i espàrrecs, sent aquestes operacions delicades que impliquen dedicar-li temps sense pressa i requereixen de l'ús de certs útils per a realitzar-ho satisfactòriament.

6.3.1. Muntatge dels espàrrecs

El muntatge dels espàrrecs es realitza en el taller de l'ETSEIB, mateix lloc on s'ha realitzat la mecanització de boixa i mangueta.

El muntatge requereix que la boixa estigui ben recolzada ja que la premsa realitza molta força i qualsevol moment produït per un mal recolzament podria fer tombar el muntatge i malmetre boixa o espàrrec. La geometria de la boixa dificulta una mica aquesta tasca ja que el centrador de la llanta obliga a que s'hagin de col·locar uns gruixos per tal que el recolzament es produeixi degudament a la flor de la llanta.

També s'ha de vigilar en deixar lliure els forats per on han d'entrar els espàrrecs de manera que no hi hagi cap obstacle que impedeixi el seu avanç pel forat.

Per últim es destaca la necessitat de fer servir un útil que permeti entrar l'espàrrec en el seu tram final ja que el cos del cilindre de la premsa és molt gran i acaba xocant amb la flor del disc. La solució passa per posar entre el cilindre de la premsa i l'espàrrec un bloc cilíndric d'acer d'un diàmetre lleugerament més gran que el cap del cargol, evitant cap interferència amb les potes de la flor.

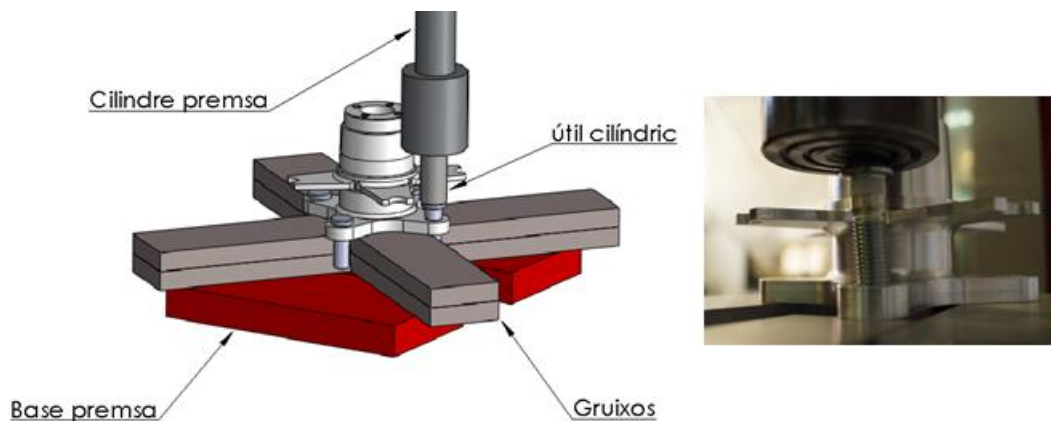


Figura 6.11 –Representació de la inserció dels espàrrecs a la caixa (esquerra) i foto del moment real (dreta)

El procés es realitza acuradament amb cada una de les 4 boixes, mirant en tot moment com reacciona el material de la caixa i l'espàrrec a la força exercida per la premsa.



Figura 6.12 - Caixa posterior amb l'espàrrec ja muntat

6.3.2. Muntatge dels rodaments

Un cop es tenen els espàrrecs ja posats a la caixa es procedeix al muntatge dels rodaments. L'ordre seguit té un sentit, ja que el muntatge dels rodaments significa unir caixa i mangueta de forma permanent, sent impossible entrar els espàrrecs al seu lloc si ja s'ha fet aquesta operació.

El muntatge dels rodaments implica l'ús d'utils per tal de fer la força de forma adequada a la pista corresponent per evitar al màxim possible la transferència de forces a través de les boles. Aquesta transferència de forces es produeix si es fa força amb la premsa en aquella pista que no es troba en contacte amb la peça i pot significar desplaçar les pistes, desmuntar el rodament o provocar alguna alteració que afecti al funcionament.

Com a utils s'utilitzen tubs d'acer estructural d'una mida que s'adeqüi a cada un dels diàmetres dels 4 rodaments. Aquests s'utilitzen per fer força en la pista exterior per introduir-los en la mangueta.

Un cop es troben els rodaments a dins de la mangueta s'introdueix la caixa fent força amb la premsa a través d'aquesta. En tot moment s'ajuda amb uns gruixos que permeten repartir la força i eviten

marcar les peces. El procediment es fa amb calma observant com penetren els allotjaments en el seu allotjament i controlant que entrin de forma recte i concèntrica.

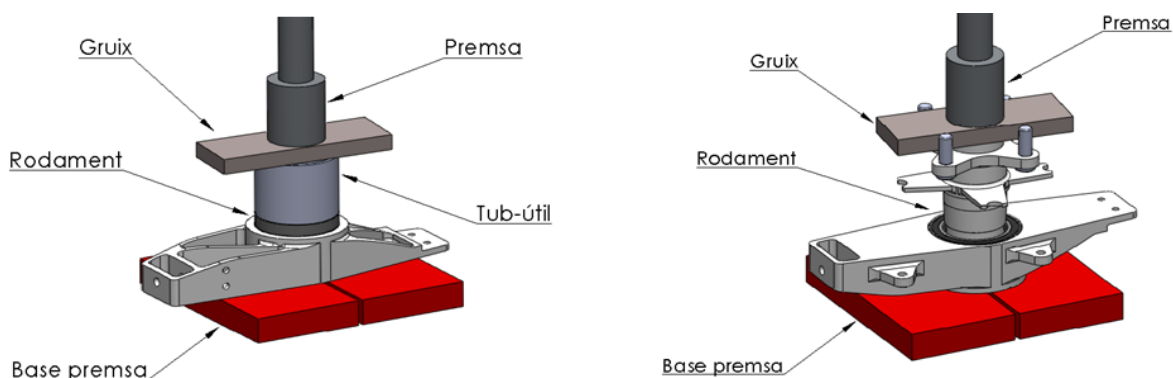


Figura 6.13 – Representació de la introducció dels rodaments

Un cop ha finalitzat aquest procés el conjunt caixa i mangueta ja es troba llest per afegir-hi les demés peces que s'hi han de carregar i es pot començar a muntar amb la resta del cotxe.



Figura 6.14 – Conjunt entre caixa i mangueta acabat de muntar

6.3.3. Muntatge general i compliment de la normativa

Pel muntatge general s'entén tot aquell muntatge que requereix de carregar els components entre si. Aquests però seran desmuntats un gran nombre de vegades, tant durant els primers dies on es va muntant i desmuntant nombroses parts del cotxe, com en el moment en que el vehicle comença a córrer i a fer test.

El Conjunt-roda requereix de ser desmuntat infinitat de vegades respecte els trapezidis i la resta del cotxe, de manera que sobretot el departament de suspensió pugui treballar en les operacions que es requereixen, així com el departament de transmissió pugui fer les seves en les rodes amb el palier.

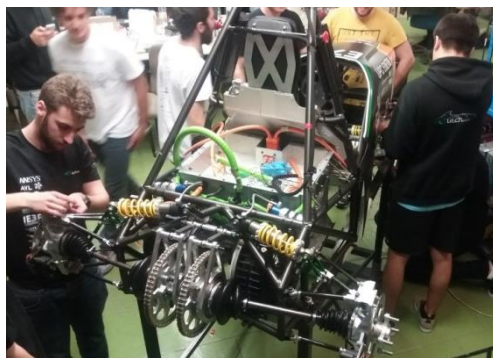


Figura 6.15 – Realització de feines en el taller

Pel que fa al compliment de la normativa des del departament es deixa tot a punt tant el més aviat possible malgrat puguin faltar setmanes per anar a la competició. Els sistemes que eviten que es desenrosquin femelles i cargols (*safety wiring*) requereix de temps per foradar correctament tots el caps dels cargols i per tal que quedi tot exactament com es vol.



Figura 6.16 – Filferro fent de *safety wiring* als cargols de la roda del sensor

Es creu necessari destacar la importància que se li dona al fet d’assegurar que tot els cargols i elements es troben muntats degudament en el moment de baixar el cotxe al terra, especialment en el moment en que el vehicle ha de circular. Per aquesta raó es decideix que s’ha de complimentar una taula de manera que s’asseguri que totes els unions es troben collades degudament i que compleixen la normativa. La taula es pot trobar a l’annex.

CHECK LIST-Tornilleria			
DEPARTAMENTO: Wheels and tires			
	Test nº:	Fecha:	
Localización	N·m	Estado	Check

Figura 6.17 – Llista de comprovació de les unions cargolades

6.4. Funcionament i validació

Durant els mesos d’estiu i un cop el cotxe es troba finalitzat es comencen a fer les sessions de test, moment en el qual es posa en funcionament el vehicle per arreglar i fer els canvis i ajustos que siguin necessaris, així com per practicar les proves que s’hauran de realitzar durant la competició.

És en aquest moment on es valida el Conjunt-roda, posant a prova la seva resistència, el compliment de la seva funció i els dels objectius marcats. Els primers moments que el vehicle es posa en funcionament el control de les peces es existiu, desmuntant i verificant que no hi hagi problemes com interferències i xocs entre components o fins i tot esquerdes o qualsevol altre problema.

Així mateix també es desmunten i munten nombroses vegades cada cop que es necessita fer canvis en el sistema de suspensió o degut a altres necessitats, comprovant que el muntatge i desmuntatge de les unions cargolades es pot fer de forma satisfactòria, podent treballar adequadament amb les eines i l'espai existent.

Durant el transcurs d'aquesta etapa, juntament amb la de la competició no es troba cap problema relacionat ni amb el departament ni amb el Conjunt-roda, satisfent doncs els objectius marcats pel que a fiabilitat es refereix.



Figura 6.18 – Jornada de test amb l'e-Va

Conclusions

Sobre l'experiència a l'equip

L'experiència viscuda com a membre de l'equip és clarament positiva. El fet de desenvolupar tasques amb responsabilitat i el fet de ser necessari treballar en equip ha permès créixer professionalment. Haver-se d'organitzar per encarar el disseny i complir amb allò establert amb un temps clarament delimitat també ha suposat un aprenentatge molt ben valorat.

Es pot dir doncs que l'experiència a dins de l'e-Tech Racing i en general d'un equip de Formula Student és completa. No només suposa encarar aspectes tècnics de disseny sinó que també requereix de realitzar tasques totalment comparables a les del desenvolupament d'un producte del els sector industrial: disciplina, responsabilitat, organització, tracte amb empreses i proveïdors..etc.

Pels que fa als resultats globals obtinguts, aquests son ben valorats pel conjunt de l'equip. La millora respecte el vehicle de la temporada anterior és indiscutible, assolint grans reduccions de pes. La fiabilitat global del vehicle va costar de trobar, presentant-se nombrosos problemes durant les setmanes prèvies a la competició. Malgrat això, el fet de tenir un vehicle elèctric amb uns objectius establerts considerablement exigents i el fet de poder solucionar finalment els obstacle fa que es consideri haver assolit també aquest objectiu amb èxit.

Sobre el Conjunt-roda

Sobre el desenvolupament de tot els components tractats es pot concloure que s'han satisfet de forma clara els objectius posats a principis de temporada. La seva persecució amb la forma d'encarar el concepte de les peces i l'execució del disseny en general han portat a complir-los amb èxit, aconseguint al fiabilitat i la reducció material que es desitjava.

Així mateix es pot dir que el compliment dels objectius marca la possibilitat de fer-los més exigents a partir d'ara en les properes temporades. Les possibilitats de millora en aspectes com la simulació, poden portar a reduccions de material més grans que millorin la manera d'optimitzar els components. Aspectes com la simulació de conjunts, la millora en el mallat o el millor coneixement en dinàmica per a poder deduir les forces a les que es troben sotmesos els components son camps que serien molt positiu investigar per a poder seguir millorant el disseny.

La incertesa existent en tot moment ha fet adonar-se de la dificultat que es presenten en el món de l'enginyeria en general. El fet de veure que és difícil representar les situacions desitjades amb el CAE i la poca fiabilitat en els resultats de certes simulacions ha sigut difícil per afrontar el disseny en certs moments, deixant pas però a una possibilitat d'experimentació infinita que crea motivació per aprendre més sobre aquest camp i conèixer millor els mètodes per al disseny i desenvolupament d'elements de màquines.

Sobre el desenvolupament del treball

Pel que fa a l'execució del Treball Fi de Grau pròpiament dit, la feina de plasmar tot allò fet i experimentat de forma escrita es valora de forma positiva. L'execució de la memòria ha permès adonar-se encara més de la feina feta i de molts detalls que durant l'experiència pràctica un no s'adona que ha hagut de viure i tenir en compte .

També cal dir que no ha sigut fàcil certes parts del desenvolupament del treball. Els principal obstacle trobat ha sigut la ordenació de la informació. La gran quantitat de coses a explicar, i sobretot el fet de voler buscar la millor manera de fer entendre tot allò realitzat i tingut en compte ha comportat de temps per a organitzar els apartats.

En definitiva es pot concloure com una bona experiència especialment pel fet que ha permès motivar-se i veure que els camps per desenvolupar-se a dins de l'enginyeria mecànica son molt amplis i cada tema o aspecte que s'ha hagut d'afrontar pot ser tot un món per descobrir.

Bibliografia

- Milliken, William F. i Milliken, Douglas L. *Race car vehicle dynamics*. Society of Automotive Engineers, 1995.
- Smith, Carroll. *Tune to Win*. Aero Publisher, 1978.
- Jen Wong Andrew. *Design and Optimization of Upright Assemblies for Formula SAE racecar*, 2007.
- Davis William, Carney Kristen, Leitha Jonathan i Kirschner Anton. *Design and obtimization of a Formula SAE racecar*, 2012.
- Bakker, Tom. *Design of drivetrain for a FS racecar*, 2009.
- Gomez Sergio. *SolidWorks Simulation*, 2010.
- G. Budynas Richard i Keith Nisbett, J. *Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley*. 8ED, Mc Graw Hill, 2008.
- Ortiz Moron, Pedro. Apunts assignatura Teoria i Disseny de Màquines i Mecanismes II. Barcelona: EUETIB, 2015.
- Jorba Peiró, Jordi i Llumà Fuentes, Jordi. Apunts assignatura Ciència i Enginyeria de Materials. Barcelona: EUETIB, 2015.
- Travieso Rodriguez, José Antonio. Apunts assignatura Enginyeria de Processos de Fabricació. Barcelona: EUETIB, 2016.
- Formula SAE® Rules. SAE International, 2016.

Webgrafia destacada:

- Articles d'opinió relacionats amb disseny de vehicles Formula Student:

<https://www.formulastudent.de>

- Vídeos d'autoaprenentatge de SolidWorks:

https://www.youtube.com/channel/UC0NX5I_sS-y14xc9XtPzsPw

- Consultes tècniques dels rodaments:

<http://medias.schaeffler.com/medias>

Webgrafia de les figures:

Figura 2.1 - www.formulastudent.de/

Figura 2.5 - www.sterlingparts.com.au

Figura 2.6 - www.gfau.com

Figura 2.8 - www.km77.com

Figura 2.9 - <http://universityracing.tue.nl/cars/>

Figura 2.10 - <https://racing.tugraz.at/en>

Figura 3.7 - www.monoblocorn.com.br i www.blog.bavauto.com

Figura 3.10 - www.blog.atingo.es/cambiar-la-junta-homocinetica/

Figura 3.30 - www.schaeffler.es/