

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica

Títol: Estudi d'una suspensió amb sistema antibalanceig hidràulic

Document: Memòria i Annexes

Alumne: Oriol Dachs Pérez

Tutor: Dr. Lluís Ripoll Masferrer

Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

Àrea: Mecanismes i Fluids

Convocatòria (mes/any): Setembre 2019

ÍNDEX

INTRODUCCIÓ	6
Antecedents	6
Objecte	7
Abast i especificacions	8
1.1.1. Abast.....	8
1.1.2. Especificacions.....	8
SISTEMA ANTIBALANCEIG	10
Principals moviment de la massa sospesa d'un vehicle.....	10
Sistema antibalanceig més coneguts en la Formula Student	14
.....	15
UNITATS DE MOLLE ESMORTÉIDOR	22
Unitat de Pitch i Heave.....	22
Unitat de Roll Warp.....	22
Pistons Composts	24
Altres elements	25
Trapezis	25
Suports	25
1.1.3. Guies.....	25
Estructura de la suspensió	26
Barra biarticulada de la suspensió	26
Trapezis	28
Barra biarticulada de direcció	30
Circuit Hidràulic.....	30
Resum del pressupost	31
Conclusions	31
Relació de documents	32
Annex A. Reglament tècnic referent a la suspensió i estructura de la competició.....	35
A.1 Introducció.....	35

A.2 Normativa de la Formula Student 2019.....	35
A.2.1 Requeriments generals de disseny	35
A.2.2 Esdeveniments dinàmics i estàtics.....	37
ANNEX B. CINEMÀTICA.....	40

ÍNDIX DE FIGURES

Il·lustració 1 Vehicle de formula student.....	10
Il·lustració 2 Massa sospesa del Formula Student.....	11
Il·lustració 3 Vehicle sotmès a heave o enfosament.....	11
Il·lustració 4 Vehicle sotmès a Warp.....	12
Il·lustració 5 Sotmès a Pitch.....	12
Il·lustració 6 vehicle sotmès a Roll.....	13
Il·lustració 7 Suspensió amb barra antibalanceig.....	14
Il·lustració 8 Esqueme de ls suspensió amb barra antibalanceig	15
Il·lustració 9 Sistema tercer esmorteïdor/molla	15
Il·lustració 10 esqueme del sistema amb tercer esmorteïdor/molla	16
Il·lustració 11 Sistema d'esmorteïdor creuat	17
Il·lustració 12Esquema sistema amb esmorteïdor creuat.....	17
Il·lustració 13 Esquema bàsic suspensió hidràulica	18
Il·lustració 14 Sistema hidràulic de l'universitat de Zurich	19
Il·lustració 15 Esquema del sistema hidràulic de Zurich.....	20
Il·lustració 16 Esquema del sistema hidràulic a implementar	21
Il·lustració 17 Uitats PH i RW juntes	23
Il·lustració 18 Pistó de doble efecte compost	24
Il·lustració 19 Sistema de guies i molla del Pitch i Roll.....	26
Il·lustració 20 Barra biarticulada de suspensió seccionada	27
Il·lustració 21 Conjunts trapezis i barres biarticulades davanteres muntades.....	29
Il·lustració 22 Caiguda de les rodes en funció del Roll.....	40
Il·lustració 23 Moviment de la direcció en funció del desplaçament de la roda.....	40
Il·lustració 24 Geometria antiaixecament en funció del desplaçament	41
Il·lustració 25 Geometria antienfonsament en funció del desplaçament de la roda	41
Il·lustració 26 Caiguda en funció del desplaçament de la roda.....	42

Il·lustració 27 Centre de balanceig longitudinal en funció del roll 42

MEMÒRIA

1. INTRODUCCIÓ

1.1. Antecedents

L'Escola Politècnica Superior de la Universitat de Girona, disposava d'un equip d'estudiants que formaven una associació universitària anomenada *UdG Racing Team*. Aquesta associació va ser fundada a finals del 2013 per participar en projectes de l'àmbit automobilístic i universitari a escala mundial.

La més transcendent és la *Formula Student*. La Formula Student, coneguda a Amèrica com a *Formula SAE*¹, és la competició universitària més important del món en l'àmbit de l'enginyeria d'automoció. Aquesta competició pretén inspirar i desenvolupar nous enginyers innovadors i emprenedors. Permet als estudiants posar en pràctica els coneixements adquirits. Els equips treballen com una empresa per tal d'assolir els seus objectius. Aquests han de construir un monoplaça de competició que ha de competir contra altres universitats. Al llarg de la competició els equips són avaluats en l'àmbit teòric i pràctic.

En aquestes competicions els estudiants hauran d'exposar els seus vehicles superant les normatives exigides per tal de poder participar a la competició. La competició consta d'una sèrie de proves on el pilot i el vehicle hauran de demostrar les seves habilitats i eficiència. No només es valora el rendiment del monoplaça, sinó també altres elements com el disseny, fiabilitat, màrqueting, costos... els quals també tenen un paper important en la puntuació final de la competició. Podem veure concretament de què consten aquestes proves en l'Annex A - Esdeveniments i proves a superar en la competició.

Els equips d'estudiants de cada universitat fabricaran, a partir dels seus coneixements, un vehicle de competició de combustió, elèctric o autònom. Els equips es divideixen en seccions per tal d'optimitzar el procés de fabricació del vehicle. Hi ha un total de 7 seccions: *Cordination*, és l'encarregada de dirigir l'equip per tal de que funcioni correctament i està formada per el conjunt de caps de cada una de les seccions mencionades a continuació; *Administration*, s'encarrega de la gestió i el màrqueting posant-se en contacte amb altres empreses pel

¹ Societat d'Enginyers d'Automoció (Society of Automotive Engineers)

finançament de l'equip; *Body*, s'ocupa de l'estructura principal del vehicle com el xassís i la carrosseria; *Dynamics*, s'ocupa de la dinàmica com ara suspensions, direcció, conjunt roda...; *Electronics*, que s'encarrega de la part electrònica del vehicle; *Testing*, s'ocupa de la posta a punt del vehicle i *Powertrain*, que s'encarrega del motor i transmissió. Cada secció està formada per un grup d'estudiants els quals se'ls va assignant projectes del seu àmbit per tal de poder construir un monoplaça de competició des de zero.

Per tal de realitzar aquest treball, es dissenyarà des de zero la suspensió per a un vehicle de Formula Student. Per tal que aquesta sigui competitiva es tractarà d'aplicar el mateix principi utilitzat en l'equip AMZ², que podem veure en l'apartat 2.2 - Sistemes antibalanceig més usats, per tal de evitar moviments no desitjats del cos del vehicle durant el procés d'absorció de les irregularitats de la superfície on es competeix. Com que no es disposa de

1.2. Objecte

En aquest treball de final de grau es partirà des de zero a diferència d'anteriors treballs de final de grau en el qual ja teníem la majoria del vehicle definit i partint del disseny bàsic de un Formula Student d'en desenvoluparà l'estructura i sistema esmorteïdors molles de la suspensió.

És a dir, no té per què ajustar-se a una línia ja definida, sinó que es pretén crear-ne una de nova. Partint de la premissa que el pressupost per a l'elaboració del vehicle és l'habitual en aquests equips universitaris 200000€ en material, és a dir sense contar les hores treballades, i que l'autor del treball es disposa a definir les característiques de un nou model de suspensió per al UdG Racing Team.

El disseny bàsic serà un vehicle compost per un motor de combustió 690cc 4T mono cilíndric, xassís tipus monocasc i s'hi acoblarà una suspensió amb una relació de transmissió hidràulica.

Tot i això, cal destacar que el projecte es centrarà en l'elaboració de la dinàmica d'aquest vehicle. Començant per escollir la via i la batalla idònia per aquestes competicions i indagant

en l'elaboració de una suspensió lleugera, efectiva i capaç de proporcionar en tot moment tracció al vehicle.

Per tal de aconseguir-ho es tractarà de aplicar un sistema hidràulic que actualment només s'ha vist en un equip de Formula Student. Es tracta de un circuit hidràulic que dirigeix el flux a diversos conjunts esmorteïdor molla en funció de quin sigui el moviment del vehicle.

1.3. Abast i especificacions

1.3.1. Abast

Aquest treball consisteix en el disseny de la suspensió de un vehicle de Formula Student.

Per tal de estudiar la suspensió es farà primerament un model en Lotus Shark per estudiar-ne la cinemàtica.

Per acabar es durà a terme el disseny en 3D amb Solidworks dels components de la suspensió que uneixen les rodes amb la carrosseria.

1.3.2. Especificacions

Disseny de la suspensió:

Compliment de la Normativa per poder participar en la competició

Pressupost total no superior als 15.000€.

Obtenir el màxim rendiment del vehicle especialment pel que fa a l'aparta de dinàmica i geometria del mateix.

Obtenir una suspensió lleugera (màxim 11Kg) i capaç de evitar en certa mesura el balanceig del vehicle.

Correcta distribució de pesos amb l'objectiu de aconseguir una baixa inèrcia a la hora de girar i abaixar el màxim possible el centre de gravetat del vehicle.

Sistema innovador respecte la resta d'equips

Dimensionat del sistema de suspensió per tal de garantir els 22km de la prova de resistència sense perdre la velocitat del propi vehicle amb un accés de pes.

Data d'entrega: (04/09/2019) dies abans de la presentació del TFG

Reduir cost de fabricació si és possible prioritzant sempre el rendiment.

2. SISTEMA ANTIBALANCEIG

2.1. Principals moviment de la massa sospesa d'un vehicle

Tot sistema de suspensió es basa en col·locar elements elàstics o esmorteïdors entre les rodes i la carrosseria o xassís, aquesta part del vehicle té una quantitat de massa molt significativa envers al conjunt del vehicle. S'anomena massa sospesa. Un dels principals objectius a l'hora de dissenyar una suspensió és ser capaç de controlar-ne el seu moviment. És Indiferent quin sigui l'objectiu del dissenyador, per exemple, en cas que sigui el confort es buscarà reduir-ne les acceleracions per tal que els passatgers no rebin cops sobtats els provocaria cansament i malestar. En el nostre cas el que volem és la màxima tracció en tot moment.



Il·lustració 1 Vehicle de formula student



Il·lustració 2 Massa sospesa del Formula Student

Podem destacar 4 moviments relatius de la massa sospesa respecte les rodes que ens interessa controlar.

- Heave (Enfonçar): La massa sospesa s'enfonsa respecte les quatre rodes. Ens interessa controlar aquest moviment ja que la carrosseria del formula varia d'alçada en funció de la velocitat, per culpa de les altes càrregues verticals aerodinàmiques a les quals estan sotmesos i aquesta variació pot provocar que el vehicle toqui a terra i fa que perdi part de l'eficiència aerodinàmica i dinàmica en general.



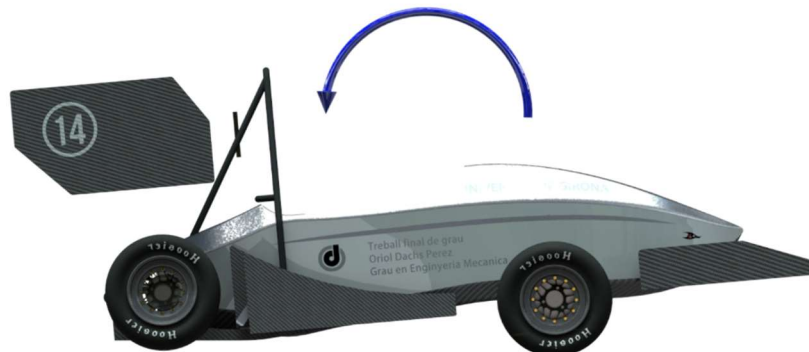
Il·lustració 3 Vehicle sotmès a heave o enfosament

- Warp (Torsió dels eixos): L'eix davanter complet gira en un sentit i el posterior gira en el sentit contrari. Un vehicle amb un incapaç de fer aquest moviment reaccionarà molt bé als canvis de sentit però no girarà en aquelles corbes que es tanquin progressivament i tampoc absorbirà els sots.



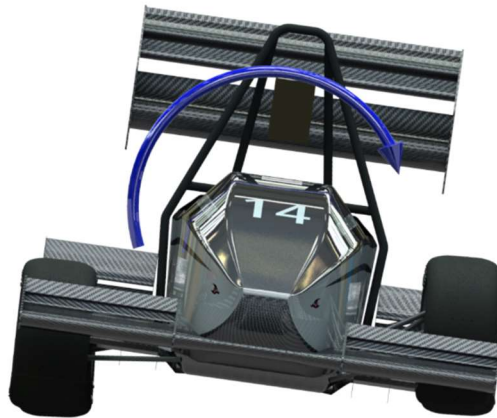
Il·lustració 4 Vehicle sotmès a Warp

- Pitch (Capcineig): L'eix davanter es comprimeix mentre que l'eix posterior s'estén o a la inversa. Aquest moviment el podem veure en el cas de la frenada i l'acceleració.



Il·lustració 5 Sotmès a Pitch

- Roll (Balanceig): En aquest cas les rodes de la dreta i les de l'esquerra es mouen en sentit contrari, provocant el balanceig de la carrosseria. Moviment que acostuma ser conseqüència de fer una corba. Aquest moviment si no esta degudament controlat podria arribar a provocar fins i tot que el cotxe volques.



Il·lustració 6 vehicle sotmès a Roll

Tots aquests moviments amb una suspensió comú, independent en cada roda, no poden ser escollits per el dissenyador. Ja que, la freqüència adequada per a un moviment no ho serà per a un altre i tots ells estan relacionats amb els mateixos esmorteïdors i molles. La finalitat de la suspensió d'aquest treball és quarar cada un dels moviments per tal que cada un tingui una molla i un esmorteïdor propi i en conseqüència se'n pugui escollir les freqüències de cada un dels modes de forma separada.

2.2. Sistema antibalanceig més coneguts en la Formula Student

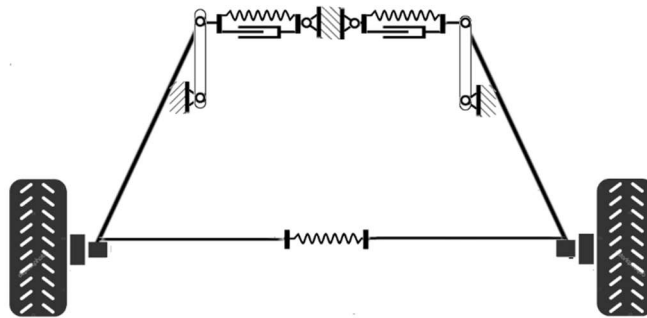
Per tal de poder explicar de forma simple el sistema antibalanceig que s'ha dissenyat, veurem primer altres sistemes més simples els quals separen menys graus de llibertat del sistema i permetran entendre més fàcilment el funcionament d'aquest.

El sistema més utilitzat el llarg de l'història per a satisfer aquesta necessitat és la barra de torsió que tal i com el propi nom indica és una barra connectada a els dos extrems de cada eix que està sotmesa a torsió.

Aquest sistema permet diferenciar el Roll i el warp de la massa sospesa del formula i els altres moviments. Afegint una molla en aquest.



Il·lustració 7 Suspensió amb barra antibalanceig

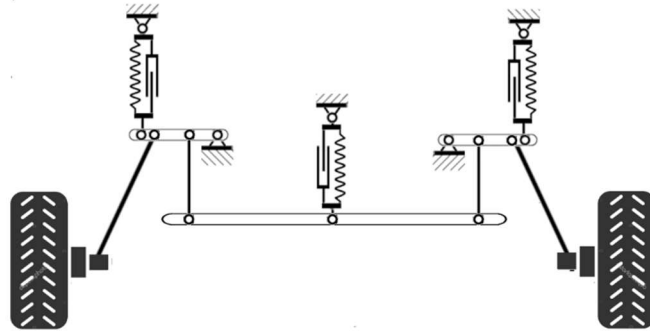


Il·lustració 8 Esqueme de la suspensió amb barra antibalanceig

Un altre mecanisme molt utilitzat en competició és el tercer esmorteïdor i molla. Aquest sistema disposa de un esmorteïdor més en cada eix i actua quan ambdues rodes de l'eix treballen paral·lelament. Això permet diferenciar el moviment dels eixos respecte els de les rodes de forma independent. És a dir, el tercer amortidor servirà per a absorbir els moviments procedents del Heave o el Pitch de cada un dels eixos. Aquest sistema no et permet regular de forma independent aquests dos moviments però tot i això permet una millora important de la dinàmica del vehicle.

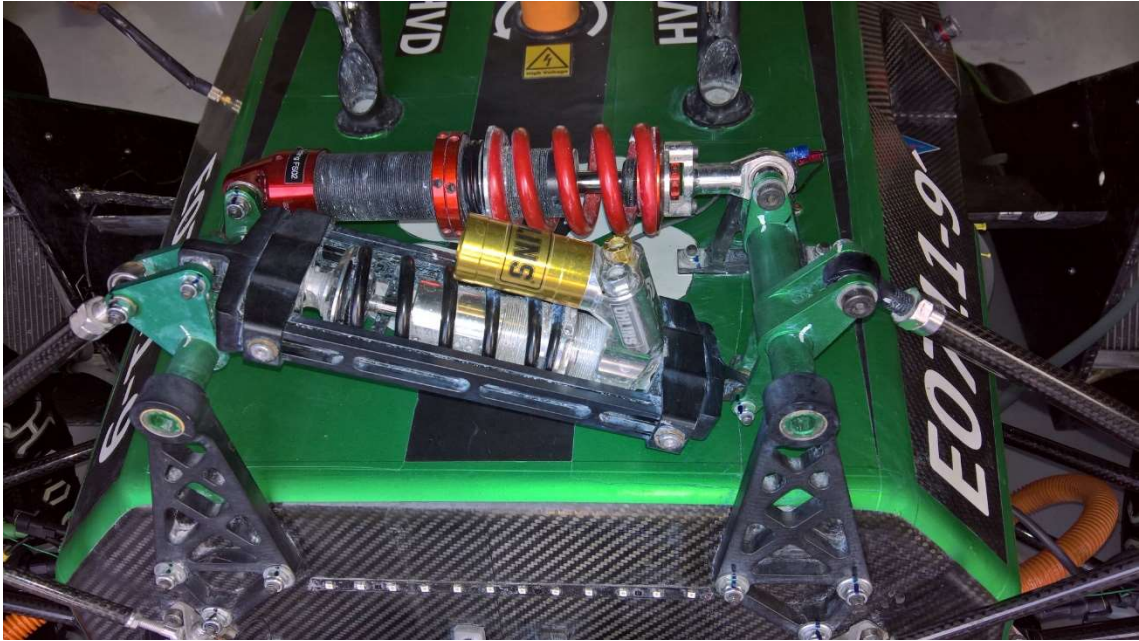


Il·lustració 9 Sistema tercer esmorteïdor/molla

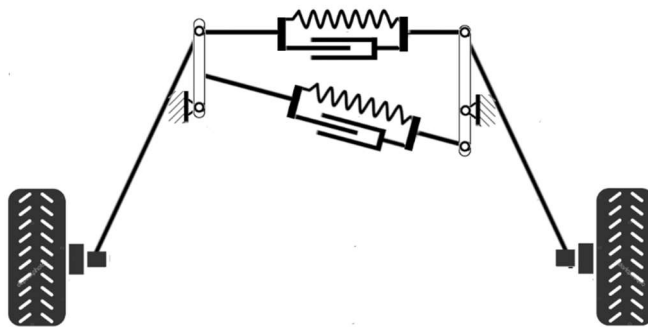


Il·lustració 10 esquema del sistema amb tercer esmorteïdor/molla

Un dels sistemes més recents són l'esmorteïdor i molla creuada. És un mecanisme que uneix els dos anteriors, i a més a més té un avantatge respecte l'anterior i és que s'estalvia el tercer esmorteïdor i molla. En aquest cas es té una suspensió MonoShock, amb un sol esmorteïdor que connecta els dos trapezis i en conseqüència les dues rodes de cada eix. Aquest esmorteïdor absorirà tant Heave com pitch de cada un dels eixos de la mateixa forma que ho feia l'anterior. I a l'hora s'hi connectarà una altre esmorteïdor MonoShock però en aquest cas estarà creuat, de forma que treballi quant el trapezis van en el mateix sentit. El mecanisme de molla creuada requereix un element que provoqui que una molla comú pugi treballar tant quan l'esmorteïdor esta sotmès a tracció com quan esta sotmès a compressió. La solució trobada és molt senzilla un sistema amb dues o quatre guies les quals tenen el recorregut limitat a la màxima a la mitat de l'extensió de l'esmorteïdor de tal forma que quant sobrepassi aquest longitud actuarà com una barra biarticulada que comprimirà la molla contra l'esmorteïdor. Aquest esmorteïdor absorirà el Roll i el Warp. El sistema permet separar Pitch, Heave i Roll i Warp. Però no et permet separar els dos primers ni els dos segons entre ells.



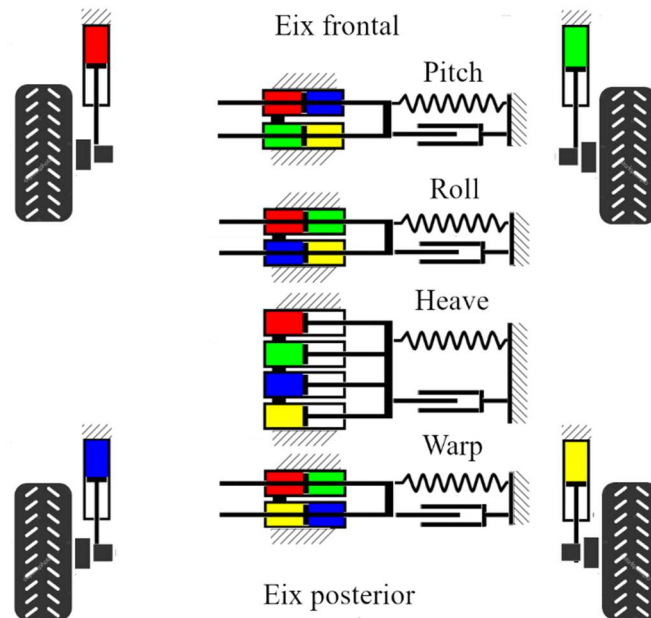
Il·lustració 11 Sistema d'esmoreïdor creuat



Il·lustració 12 Esquema sistema amb esmoreïdor creuat

És per això que s'ha decidit anar més enllà i crear un sistema capaç d'absorbir els quatre moviments explicats en l'apartat 2.1. Principals Moviments de la massa sospesa d'un vehicle. Aquest sistema només l'utilitza un equip de formula Student en tot el món, La Universitat de Zurich i consisteix en el següent: Les molles i els esmoreïdors no estan connectats

directament a les rodes. De fet, a les rodes hi ha connectats uns pistons hidràulics de simple efecte i mitjançant un circuit hidràulic s'obté quatre pistons els quals cada un d'ells es mou o no en funció del Heave, Warp, Pitch i Roll al qual estigui sotmès la massa sospesa.



Il·lustració 13 Esquema bàsic suspensió hidràulica

Aquest sistema té un desavantatge molt clar, el pes. De fet incorporar un sistema com el mencionat implica quatre pistons a les rodes els quals aniran connectats quatre tubs que posteriorment es distribuïran en quatre cilindres més. És a dir, s'hauria d'afegir respecte una suspensió independent sense cap sistema antibalanceig quatre pistons de simple efecte, quatre tubs amb una entrada i quatre sortides i quatre pistons compostos de múltiples efectes:

Pistó Heave: Es necessita que les quatre rodes es moguin igual, de forma aquest pistó tindrà en total 4 pistons de simple efecte que comparteixen la tija.

Pistó Warp: El pistó en realitat estarà format per dos pistons de doble efecte units de tal forma que quan les rodes d'una diagonal comprimeixin i la contrària s'estengui el pistó anirà en un sentit i quant passi el contrari anirà en el sentit invers.

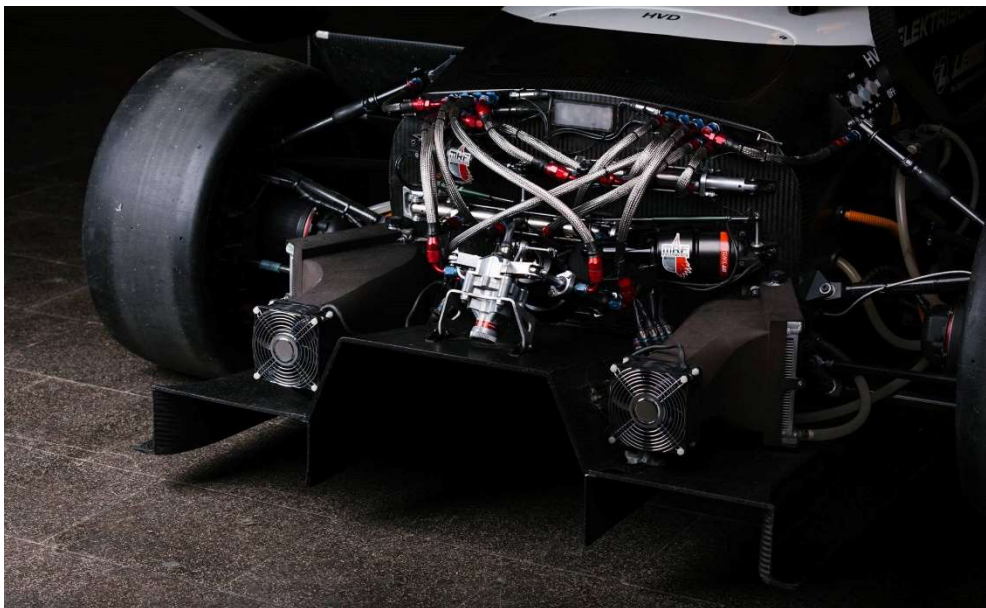
Pistó Pitch: En aquest cas també es necessita dos pistons de doble efecte units de tal forma que quan les dues rodes de davant es comprimeixin i les dues de darrera s'estenguin o a la inversa el pistó es desplaça en un sentit o en el contrari.

Pistó Roll: En aquest cas el pistó compost també serà de dos pistons units de doble efecte, però connectant en un sentit les rodes de la dreta i en l'altre sentit les rodes de l'esquerra.

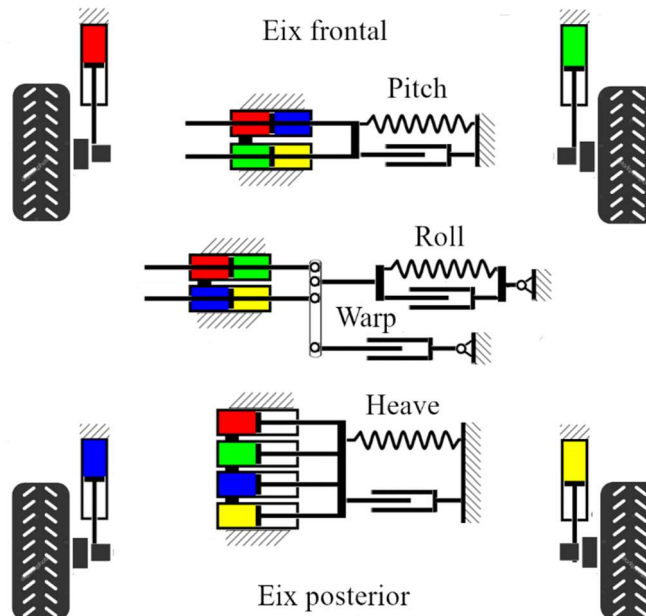
A més a més a tot això cal sumar-li un trapezi a cada un dels pistons que serà necessari per poder aprofitar tot el recorregut dels esmorteïdors.

(Imatge del sistema)

Per tant, aquest sistema és el més complex i pesat però a l'hora el que permet al dissenyador diferenciar de forma més clara cada un dels moviments de la massa sospesa que interessa diferenciar. Per tal d'alleugerir el pes del sistema els estudiants de la Universitat de Zurich han trobat una solució molt interessant. Consta en alleugerir el pes del conjunt disminuint la quantitat de pistons, substituint-los per mecanismes més lleugers. En aquest cas el mecanisme més lleuger serveix per substituir els pistons de doble efecte de Roll i Warp. Aquests passen a ser dos cilindres de doble efecte comuns i en ells hi ha connectats en un extrem les rodes de la dreta i en l'altre extrem les rodes de l'esquerra de tal forma que quan la massa sospesa està sotmesa a Warp els pistons giren en sentit invers i en cas que es trobi en Roll anirien en el mateix sentit. A Zurich es decideix connectar els esmorteïdors i molles de forma molt similar a com es connecta els tercers esmorteïdors. De tal forma que el parell que exerceixen els pistons quan van en sentits oposats seria l'equivalent a les rodes de forma independent i els pistons quan s'estenen o es comprimeixen simultàniament actuarien de la mateixa forma que ho fan els eixos sencers en la tercer esmorteïdor i molla. Però en aquest cas s'ha vist que les molles independents no són necessàries per el Warp de forma que a Zurich van substituir aquests dos esmorteïdors i molles lineals per un esmorteïdor rotacional.

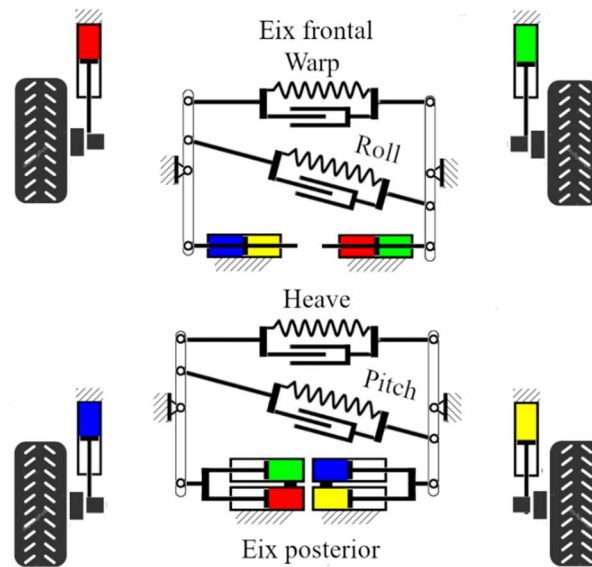


Il·lustració 14 Sistema hidràulic de l'universitat de Zurich



Il·lustració 15 Esquema del sistema hidràulic de Zurich

Una vegada coneguda la feina de els alumnes de Zurich, ha arribat l'hora de millorar-la. Es coneix que el sistema de tercer esmorteïdor i molla es pot substituir per un esmorteïdor i molla creuats de tal forma que obtenim el mateix resultat amb només dos esmorteïdors comuns. Per tant la primera millora introduïda en aquest treball consta en substituir un esmorteïdor rotacional per un esmorteïdor lineal comú. D'aquesta forma es redueixen el costos i s'aconsegueix un mecanisme més compacte. Ara bé el sistema de pistó de múltiple efecte utilitzat per el Roll, Warp i Pitch és el mateix i el Heave només requereix que els quatre pistons es moguin per igual de forma que el que s'ha fet amb el Pitch és una vegada més dividir el cilindre múltiple en dos però en aquest cas s'ha de complir que ambdós es moguin en el mateix sentit, això s'aconsegueix amb dos pistons de simple efecte dobles oposats.



Il·lustració 16 Esquema del sistema hidràulic a implementar

Amb aquesta nova distribució es presenta l'oportunitat d'augmentar la rigidesa dels elements de la suspensió i concentra els punts d'unió de forma que les forces quedin en direccions oposades i en alguns casos es contrarestin.

A més a més aquesta geometria permet que els pistons rebin la força de forma totalment lineal, per a desplaçaments de roda de 25-50mm, la qual cosa interessa molt per al correcte funcionament dels esmorteïdors.

Aquesta nova distribució presenta un nou repte i és que cal que tant els esmorteïdors com les molles treballin en ambdues direccions. Això s'aconsegueix amb un mecanisme guia com el que s'ha comentat anteriorment en el sistema de molles i esmorteïdors creuats d'aquest mateix apartat.

3. UNITATS DE MOLLE ESMORTEÏDOR

3.1. Unitat de Pitch i Heave

Ja s'ha vist que per aquesta unitat és necessari un cilindre que no és molt comú. Es tracta de un cilindre amb dues càmeres i pistons de simple efecte units. Degut a la complexitat del sistema i la necessitat de reduir pes del conjunt s'ha hagut de crear un sistema propi. En aquest cas s'ha optat per unir-los mitjançant les canyes dels pistons.

En aquest cas s'ha decidit que el Heave treballi quan els dos pistons fessin el mateix moviment mentre que quant el moviment de un i altre sigui en sentits oposats, un es comprimeixi i l'altre s'estengui o a la inversa, el Heave només es traslladarà i el que treballarà serà el conjunt molla esmorteïdor de Pitch.

En el cas del heave és molt senzill d'aplicar ja que només necessitem que el sistema torni a la posició inicial en una direcció, quant la massa sospesa baixa en conseqüència o bé de un sot o bé de la força aerodinàmica a la qual està sotmesa, en conseqüència només es col·locarà una molla a compressió en aquest sistema mentre que l'esmorteïdor treballarà en ambdós sentits.

Per altre banda el pitch no és tant fàcil de controlar, ja que el sistema necessita oposar resistència tant quan la massa sospesa s'inclina endavant com quan s'inclina enrere. Raó per la qual s'ha dissenyat un sistema de guies que l'única que té és que en tot moment el sistema esmorteïdor molla es comprimeixi indiferentment de si esta sent sotmès a compressió o a tracció.

3.2. Unitat de Roll Warp

Ambdues unitats tenen moltes similituds així que parlem directament d'allò que canvia entre una i altre.

En el cas del Pitch i el Heave un és la composició de l'altre, és a dir, si ens mirem els moviments relatius de les rodes respecte el xassís es poden moure les de davant en un sentit i les de darrera en un altre (Pitch) o totes en el mateix sentit (Heave). Però en el cas del Roll Warp no és així sinó que podríem dir que un moviment és l'oposició del 'altre. Per una banda tenim les rodes de la dreta movent-se en una direcció i les de l'esquerra movent-se en una altre (Roll) mentre que en l'altre les rodes d'una diagonal es mouran en una direcció mentre que les de l'altre diagonal es mouen en la direcció inversa (Warp).

És per aquesta raó que en aquest cas els cilindres no són de simple efecte sinó que són de doble efecte, amb les càmeres oposades. En cas que els dos cilindres s'estenguin o es comprimeixin actuarà el Warp. En cas contrari actuarà el Roll.

El Warp només necessita un esmorteïdor, ja que, un automòbil que presentés molta oposició a aquest moviment no giraria en corbes que es tanquen progressivament i seria molt difícil de conduir en línia recta, ja que, el mínim sotrac provocaria que el vehicle es mogués sobtadament. Per tant, el Warp no necessita el sistema de guies utilitzat per al Pitch ja que l'esmorteïdor ja treballa en ambdues direccions.

Per altre banda, el Roll sí que necessita un element que oposi resistència a aquest moviment. Per tant, en ambdós casos utilitzarem el mateix sistema de guies. Ja que tal com podem veure a l'Annex E. Estudi del Vehicle ambdós estan sotmesos a càrregues similars.

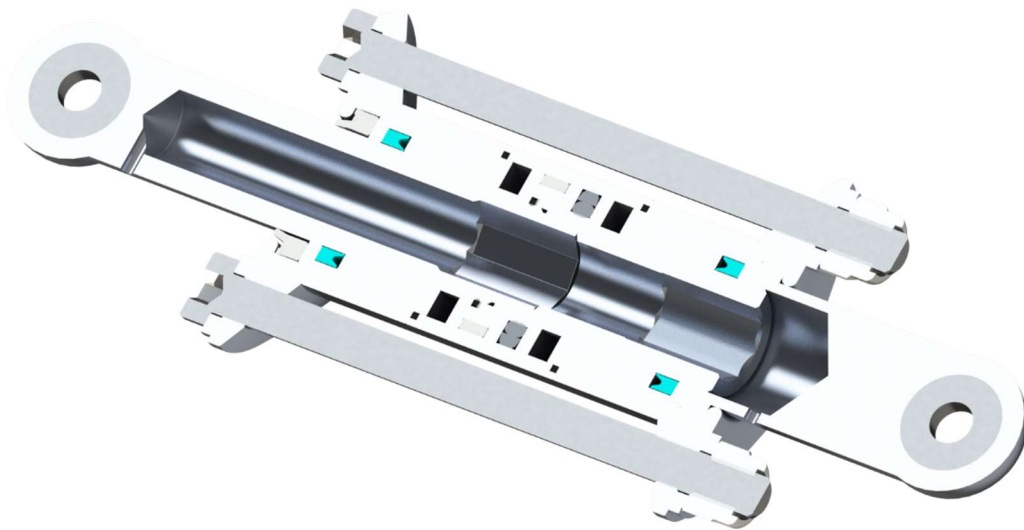
S'ha decidit en els dos casos col·locar com a esmorteïdor/molla creuats aquells conjunts que tenen la guia per què d'aquesta forma s'aconsegueix abaixar el centre de gravetat del conjunt. Un altre motiu molt important n'és que el conjunt esmorteïdor molla que vagi creuat serà més curt que l'altre, sempre que es vulgui mantenir la mateixa relació de transmissió. Per raons geomètriques, la hipotenusa d'un triangle sempre en serà el costat més llarg.



Il·lustració 17 Uitats PH i RW juntes

3.3. Pistons Composts

A l'hora de dissenyar aquests pistons s'ha fet tot el possible per tal que entre ells siguin el màxim de compatibles possible. D'aquesta forma es redueix la quantitat d'estocs i especialment de recanvis la qual cosa és molt important per a els vehicles de competició. Que em pocs recanvis puguis reconstruir ràpidament allò que es pugui espatllar en un accident... Per aquest motiu els pistons comparteixen. Èmbol, tija fixa, rascador i subjecta rascador, entrades, coixinets antifricció, juntes tòriques, abraçadores i antiextrusió A més a més de les volanderes i femelles pertinents.



Il·lustració 18 Pistó de doble efecte compost

En conseqüència són més cars i pesats que si s'haguessin fet exclusivament per a aquella funció que han de complir sense importar-ne la compatibilitat.

Destacar també que en la part superior no s'utilitzarà juntes antiextrusió, ja que requerien de un gruix de la de les camises molt gran i en conseqüència el cilindre pesaria més. Per habitar que les juntes tòriques s'extorsionin s'han acotat aquestes peces amb una tolerància geomètrica de perpendicularitat petita la qual no permet el pas de la junta de la mateixa forma que ho faria una junta antiextrusió.

3.4. Altres elements

3.4.1. Trapezis

Aquestes peces estaran sotmeses constantment a flexió/torsió de forma cíclica la qual cosa les faria molt vulnerables en cas de esta sotmeses a fatiga. Però com que es tracta de una màquina de competició tindrà una vida molt curta i en conseqüència es pot dimensionar la peça tenint aquest factor en compte. I així s'ha fet, l'eix principal té una inèrcia variable per tal de poder suportar millor la torsió. Per acabar destacar que una vegada més s'ha prioritzat la compatibilitat entre components davant del pes. Ja que s'utilitzarà els mateixos trapezis per a la unitat Roll/Warp que per a la unitat Pitch/Heave tot i que realment la segona Unitat està més sol·licitada. També tindran una geometria variable els braços que subjecten els pistons i conjunts esmorteïdor molla. Aquests balancins imposen al sistema una relació de transmissió de $i = 4,17$ de forma que la força que rebin per part del pistó serà aproximadament 4 vegades major que la recció del conjunt molla esmorteïdor. Per aquesta raó podem veure que en el cas del pistó els braços són massissos mentre que en el cas dels conjunts molles esmorteïdors el centre ha estat buidat per estalviar pes.

3.4.2. Suports

Els Suports han estat dissenyats per a distribuir el moment rebut per part del trapezi i pistons el més uniforme i ben distribuït possible. Per tal d'evitar que el monocasc on va collat el conjunt es danyi degut a un accés de pressió puntual.

El primer punt en el que s'ha treballat és en la distribució del conjunt per tal de evitar quest fenomen. Col·locant els cilindres oposats s'aconsegueix que en aquells moments que el sistema esta sotmès a les màximes sol·licitacions els esforços es compensin en el propi suport i no es traslladin al xassís.

També s'ha treballat en ells per a disminuir-ne el màxim el pes una vegada més amb una geometria variable la qual disminueix el moment provocat pel mecanisme. Se'n ha buidat la part interior, ja que no treballava i per acabar, per tal d'evitar que vinclin s'ha col·locat un tirant que fa una funció similar a la que faria una creu de Sant Andreu en un pòrtic.

3.4.3. Guies

Les guies han estat dissenyades amb la intenció de poder utilitzar el conjunt molla/esmorteïdor sense necessitat de ser modificat. En conseqüència el sistema és més

voluminós que altres. Però a l'hora és més senzill de fabricar. En el disseny s'ha procurat que les guies fossin el més simples i amb els mínims canvis de secció possibles per tal d'evitar la concertació de tensions. Han estat dissenyades per tal de poder suportar els cops de la forma més subtil possible, amb 4 punts de contacte per a cada xoc, però tot i així hi ha un element de les guies els casquets de baixa fricció els quals es recomanarà canviar freqüentment per evitar accidents.



Il·lustració 19 Sistema de guies i molla del Pitch i Roll

Destacar que la mida de les unitats està condicionada per la longitud dels pistons. I per tant encara que pugui semblar que el sistema podria ser més compacte realment no ho podria ser en cas que es vulgui que les dues unitats siguin compatibles a nivell de peces.

4. Estructura de la suspensió

4.1. Barra biarticulada de la suspensió

En els monoplaces comuns aquesta barra trasllada la força normal de les rodes a la massa sospesa a través d'un balanci provocant que aquesta se sostingui sobre si mateixa. Però en el cas estudiat el balanci serà substituït per un pistó de simple efecte. El pistó es col·locarà el més apropa de la carrosseria possible ja que és molt important tenir el major percentatge possible de massa sospesa en cas que no sigui així la roda serà molt pesada i en conseqüència treballarà a freqüències més baixes d'aquesta forma no absorbirà les irregularitats dels terreny.

Habitualment trobem dos tipus de barres biarticulades de suspensió en els fórmules les que treballen normalment sotmeses a compressió i les que ho fan normalment sotmeses a tracció.

En aquest cas s'ha escollit una barra biarticulada que treballi a tracció la qual cosa comporta els següents avantatges i inconvenients:

Avantatges i inconvenients de utilitzar una barra biarticulada de suspensió a tracció	
Avantatges	Inconvenients
No vinclarà (serà més prima)	Pistó més complex
Centre de gravetat més baix	Transmissió de forces menys lineal i major
Menys recorregut de mànega	-

Taula1. Avantatges i desavantatges barra biarticulada

Variar la longitud de la barra biarticulada acostuma a ser la forma més senzilla i efectiva de canviar l'altura del vehicle. Aquesta funció serà molt important en el cas del vehicle estudiat, ja que els enginyers de pista estan acostumats a disminuir o augmentar la rígides dels eixos davanter o posterior al roll mitjançant les barres antibalanceig vistes en l'episodi 2.2. Sistemes antibalanceig més usats en Formula Student, d'aquesta forma aconseguen que el vehicle sub viri (eix davanter molt rígid) o que sobre viri en el centre de la corba (eix posterior molt Rígid). Però en aquest cas el cotxe disposa de un sistema més sofisticat, el qual no permet modificar directament aquesta rígides. En canvi si que permet canviar el centre instantani de rotació de la massa sospesa de forma que jugant amb aquest longitud a l'eix davanter i posterior es podrà aconseguir que el cotxe tingui la quantitat de rígides al Roll adequada a cada eix. Si la longitud entre aquest punt i el centre de gravetat de la massa sospesa és major aquell eix serà menys rígid i ja que el moment provocat per la massa sospesa no serà absorbida per els trapezidis en cas contrari si.



Il·lustració 20 Barra biarticulada de suspensió seccionada

Per aquesta raó es col·locarà un pern amb rosca als dos caps entre el pistó i la resta de la barra biarticulada el qual permetrà variar-ne la longitud de forma molt precisa.

Per acabar la part de la barra més senzilla serà un tub de fibra de Carboni/Epoxy de diàmetre 18-12mm unit amb inserts d'alumini. Per tal d'aconseguir una barra el més rígida i a l'hora lleugera possible.

Destacar que si uneixes una barra biarticulada amb dues rosques o més s'ha de tenir en compte que si totes les rosques estan en el mateix sentit aquest es descollarà si es sotmet a torsió o simplement si es sotmet a un gran esforç indiferentment de si té contrafemella o no. Raó per la qual s'ha decidit posar una peça de rosca a dretes una peça de rosca esquerres i un pern de doble cap amb fil antigir.

4.2. Trapezis

L'estructura principal de tots els trapezis s'ha creat de la mateixa forma que s'ha fet en la barra biarticulada. Unions d'alumini 7075-T6 combinats amb un nucli de tub de fibra de Carboni/Epoxy en aquest cas però de diàmetre 16-10mm. Totes aquelles unions les quals no estan compostes de més d'un tub s'ha fet amb ròtules de diàmetre 5 mentre que en les altres s'ha integrat la ròtula en el propi insert d'alumini mitjançant un rodament d'esfera en el pla. En el cas dels trapezis superiors s'ha procurat que els inserts d'alumini tinguin la unió de la barra biarticulada de suspensió el més apropa possible de la unió entre tubs respectant sempre que la línies coincideixin en un mateix punt. Per tal d'evitar moment desitjats en el trapezi. També per aquesta raó, entre altres, s'ha col·locat els trapezis inclinats, d'aqueta forma part de la força de la suspensió que en cas que fos totalment perpendicular el terra el trapezi hauria de suporta amb un moment flector, serà suportada únicament a esforç normal.

En el subapartat anterior 4.1 Barra biarticulada de la suspensió s'ha parlat del centre de balanceig i de l'efecte d'aquest en la rigidesa dels eixos posterior i davanter, bé, doncs en el cas del vehicle estudiat per naturalesa no té la mateixa rigidesa en ambdós eixos ja que té una gran quantitat de massa a la part posterior i aquesta esta molt elevada. Si el vehicle portes exactament els mateixos trapezis a davant i a darrera segurament no es podria ni conduir. Subviraria molt. Raó per a qual a l'hora de fer el disseny de el trapezis s'ha partir de la premissa que la diferència entre el centre instantani de balanceig davanter i el centre instantani de balanceig posterior sigui la suficient per què la massa no sospesa exerceixi exactament el mateix moment en l'eix davanter que posterior.

S'ha procurat també que el centre de balanceig es mantingui el més estàtic possible indiferentment del moviment el qual estigui sotmès el vehicle. D'aquesta forma s'evita que el vehicle faci moviments sobtats i per tant facilita el control del vehicle.



Il·lustració 21 Conjunts trapezis i barres biarticulades davanteres muntades

Un dels factors més importants a l'hora de dissenyar un conjunt de trapezis és provocar la caiguda desitjada de la roda en el moment desitjat. Ja que el pneumàtic és un elàstomer al qual en funció de la superfície de contacte amb el terra en tot moment permetrà obtenir major o menor tracció en tot moment tant longitudinalment com axialment. Habitualment major caiguda implica major capacitat de carrega lateral i a l'hora menor capacitat de carrega longitudinal. Precisament per aquesta raó podem veure en l'Annex Cinemàtica el vehicle sotmès a Roll té una caiguda de roda molt més elevada que en qualsevol altre moment ja que normalment la massa sospesa es tendeix a inclinar més en corbes ràpides que en corbes lentes. Així doncs s'obté el millor de cada secció del circuit. Destacar que les rodes de darrera tenen en general menys caiguda que les de davant ja que són les rodes motrius. Mentre que per a les rodes de davant s'ha inclinat per aconseguir un augment de caiguda en funció dels graus de gir del volant. Per més informació veure l'Annex E.

També s'ha tingut en compte el fenomen del Jacking que es produeix quan la geometria dels trapezis està confeccionada de tal manera que la força lateral de la roda es traslladi a través del trapezi inferior provocant que la massa sospesa s'elevi sobre si mateixa. La qual cosa es catastròfica a nivell dinàmic.

4.3. Barra biarticulada de direcció

Els vehicles tipus fórmula amb suspensió de trapezis en forma de A tenen la peculiaritat de tenir direcció a davant però també a darrera. En aquest cas però la direcció de darrera que interessa que sigui el més estàtica possible ha estat unida a el trapezi superior. Igual que tots els elements estructurals aquesta està composta de un tub de fibra de Carboni/Epoxy amb inserts d'alumini.

En el cas de la direcció s'ha buscat especialment que aquesta també roti respecte el mateix centre instantani de rotació que trapezis, d'aquesta forma s'elimina la possibilitat de perdre el control del vehicle quan aquest rep un cop o senzillament en qualsevol moment en que s'estigui balancejant.

Es pot veure que la direcció davantera ha estat composta amb tubs de fibra de Carboni/Epoxy de major diàmetre, la raó per la qual s'ha fet així és per tal que sigui el màxim de rígida possible i en conseqüència el pilot tingui la millor sensació possible al volant, també cal destacar que la barra davantera estarà sotmesa a petits moments constants deguts a les imperfeccions de fabricació mentre que la de darrera al ser totalment estàtica s'haurà construït i unit de forma molt més precisa i no rebrà aquests moments deguts a les desalineacions entre conjunts.

5. Circuit Hidràulic

El circuit hidràulic ha estat dimensionat per a suportar pics de fins a 350 Bar tot i que s'espera que n'assoleixi de com a molt 310 Bar. Tot i que s'han valorat moltes opcions finalment s'ha optat per a la mateixa mànega i unions que inicialment va utilitzar la Universitat de Zurich. S'ha optat per tub de PTFE de 1/8" reforçat, el qual és molt lleuger amb un pes de només 230 gr/m. Mentre que per a les connexions s'ha utilitzat entrades estàndard per al món de la competició d'alumini 7075-T6, tant per a les T que uniran uns tubs amb altres com per a les unions entre tub i pistó.

6. Resum del pressupost

Cal destacar que aquest pressupost no engloba la suspensió completa sinó únicament els mecanismes corresponents a aquest projecte.

Codi-Descripció	U	Q	€/U	€
E01- Unitat Central PH	U	1	5081,0	5081
E02-Conjunt estructural	U	1	826,6	827
E03-Conjunt Hidràulic de compra	U	1	389,0	389
Taula 2. Pressupost total dels components del mecanisme			Total:	6297

7. Conclusions

Una vegada acabat el sistema i conegut el seu pes un total de 10 Kg es pot assegurar que l'idea és bona. Tot i això sempre es podria millorar, en aquest cas es creu que la forma més senzilla d'aconseguir una millora de les prestacions és disminuir la quantitat de peces compatibles entre elles i dimensionant cada una de les peces per a l'esforç a la qual està sol·licitada. Això molt segurament suposaria un augment molt significatiu del preu dels mecanismes. Però a canvi es podria disminuir significativament el pes.

Per altre banda, el sistema es podria millorar afegint a la guia una nova peça la qual provoqui que en moure en un sentit treballi un 50% de la molla mentre que en moure cap a l'altre en treballi la totalitat. D'aquesta forma es podria compensar efectes com ara el que es produirà en accelerar i frenar el cotxe. ja que és un cotxe poc potent, pot assolir un total de 1,8g en acceleració... Mentre que en el cas de la frenada el cotxe pot arribar a assolir uns 2,2g de forma que la constant elàstica idònia per a obtenir el màxim grip en acceleració difícilment coincidirà amb la necessària en la frenada. Un altre aspecte que és millorable són el trapezis ja que són una peça que està sotmès a flexió i a torsió a l'hora i un perfil tubular no és l'idoni

per a aguantar els esforços axial. Es creu que seria millor utilitzar una peça de fabricació additiva ja que amb unes propietats del material similars es podria fer una secció molt més complexa dissenyada per a suportar aquest moviment i molt més lleuger. A més a més permetria utilitzar distàncies entre untons més petites i en conseqüència fer el sistema molt més compacte.

8. Relació de documents

- Document 1: Memòria

Annexos

- Annex A: reglament tècnic referent a la suspensió i estructura de la competició .
 - Annex B: Cinemàtica
- Document 2: Plànols
 - Document 3: Plec de condicions
 - Document 4: Estat d'amidaments
 - Document 5: Pressupost

Annex A. Reglament tècnic referent a la suspensió i estructura de la competició

Annex A. Reglament tècnic referent a la suspensió i estructura de la competició

A.1 Introducció

En aquest capítol es pot trobar tots els articles del reglament tècnic de la Formula Student 2019 que afecten directament o indirectament al disseny de la suspensió. Aquelles normes que no afecten al procés de disseny de la suspensió del vehicle no s'inclouran en aquest capítol. El dia de la competició es verificarien cada un dels components que componen el monoplaça per tal d'acceptar-lo o no dins de la competició.

Per altre banda, també es mostrarà quin serà el format de la competició, quines són les proves que han de superar els equips, per tal de poder-nos fer una idea de què busquem a l'hora de dissenyar el vehicle.

A.2 Normativa de la Formula Student 2019

A.2.1 Requeriments generals de disseny

1.1 Suspensió

1.1.1 El vehicle ha de disposar de una suspensió funcional. Com a mínim les rodes hauran de recorre un total de 25mm en compressió i 25mm en extensió.

1.1.2 L'altura mínima de qualsevol element que composi el vehicle ha de ser superior a 30mm.

1.1.3 Totes les unions corresponents a la suspensions han de ser visibles o està ocultes amb tapes de fàcil retirada.

1.2 Rodes i pneumàtics

1.2.1 Es permet utilitzar llantes superiors o iguals a 8" de diàmetre.

1.2.2 Els pneumàtics tenen de ser iguals en les 4 rodes no es permet utilitzar diferents mides per a cada roda.

1.3 Longitud i amplada entre rodes

1.3.1 La longitud mínima del vehicle serà de 1525mm

1.3.2 L'amplada mínima de l'eix més petit del vehicle ha de ser major o igual a un 75% l'amplada de l'eix més gran.

1.3.3 El vehicle ha de ser capaç de superar una força equivalent a 2G laterals sense bolcar.

1.4 Sistemes d'alta pressió hidràulics

1.4.1 En cas de tenir una línia amb pressió superior als 21000Kpa. El pilot o qualsevol persona que estigui en una àrea de 2m del vehicle ha de estar protegit en cas de ruptura, amb un protector de 1mm d'alumini o acer.

1.5 Unions

1.5.1 En el cas de les unions cargolades cal utilitzar mínim cargols de qualitat 8.8.

1.5.2 Cal utilitzar cargols de cabota hexagonal ISO 4017, ISO 4014 o bé cargols amb cabota interior hexagonal ISO 4762, DIN 7984, ISO 7379 incloent les seves versions de rosca fina.

1.5.3 És necessari utilitzar elements que evitin que es descolli en cas que s'apliqui un parell.

Fil de seguretat

Clip de seguretat

Femelles amb anella de nylon tipus ISO 7040, ISO 10512, EN 1663

Femelles antiblocatge

Nota: Qualsevol sistema antiblocatge besat en pretensions o adhesius estan prohibits.

1.5.4 És necessari que els cargols collats tinguin una longitud mínima de dos fils de rosca superior a la longitud operativa del cargol.

1.5.5 Totes les unions que continguin ròtules no poden estar en voladís.

A.2.2 Esdeveniments dinàmics i estàtics

2.2.1 Esdeveniments estàtics

Actualment, la competició de la Formula Student es pot classificar en dos grups de proves al llarg de la competició, les proves estàtiques i les proves dinàmiques. Tot seguit farem esment de les proves que componen cada grup en particular.

Esdeveniments estàtics

Aquests poden aportar fins a un màxim de 350 punts. En aquestes proves es valora els recursos de l'equip en disseny, costos i planificació.

- Presentació del pla d'empresa: L'equip ha de realitzar una presentació explicant l'estratègia que seguiria l'empresa fictícia per la fabricació i venda d'una línia de producció de 1000 monoplaques com el construït per l'equip.
- Disseny: Entrega de la documentació relativa al disseny del vehicle, on també caldrà defensar el perquè del disseny del monoplaça escollit.
- Anàlisi de cost i manufactura: Presentació d'un informe detallat on quedin reflectits els preus de totes les peces del vehicle. Caldrà explicar els diferents passos que s'han seguit a l'hora de fabricar-les i raonar la metodologia seguida.

Prova	Punts
Presentació pla d'empresa	100
Anàlisi de cost i manufactura	100
Enginyeria i disseny	150
Total	350

Taula 3. Estàtiques

Esdeveniments dinàmics

Les proves dinàmiques poden aportar fins un total de 675 punts. Consisteix en tot el conjunt de proves on el monoplaça entra en moviment. En aquesta prova únicament s'hi pot accedir en cas d'haver superat una inspecció tècnica conforme el vehicle compleix amb la normativa especificada i pot participar en la competició de forma segura.

- Prova d'adherència o Skid-Pad: En la pista es forma un circuit amb cons amb un parell de cercles concèntrics de diàmetre 18,25 m i amplada 3 m formant un 8. En aquesta prova s'avalua la velocitat de pas per corba del vehicle. Cal fer les dues voltes al circuit en forma de 8 tant ràpid com sigui possible. Es disposa de dos intents, un per pilot.
- Prova d'acceleració: S'avalua la capacitat d'acceleració del monoplaça en una recta de 75 m de longitud començant amb el vehicle completament aturat. Es disposa de dos intents un per pilot.
- Prova de volta ràpida o autocros: Consisteix en fer el millor temps en un circuit de cons de 1 Km de longitud aproximadament.
- Prova de resistència o Endurance: El mateix circuit d'autocros s'utilitza per posar a prova la durabilitat del vehicle durant aproximadament 22 Km. El principal objectiu és fer-lo el més ràpid possible i corroborar que el monoplaça és fiable i és capaç de superar els 22 km sense problemes. A més, corren quatre cotxes a la vegada, de manera que hi ha punts per avançament realitzat. És l'esdeveniment que més puntua.
- Prova d'eficiència: Es mesura el consum que ha tingut el vehicle durant la prova de resistència. Aquesta puntua un màxim de 100 únicament si s'ha aconseguit finalitzar l'esdeveniment de resistència.

Prova	Punts
Prova d'adherència	75
Prova d'acceleració	75
Prova de volta ràpida	100
Prova de resistència	325
Prova d'eficiència	100
Total	675

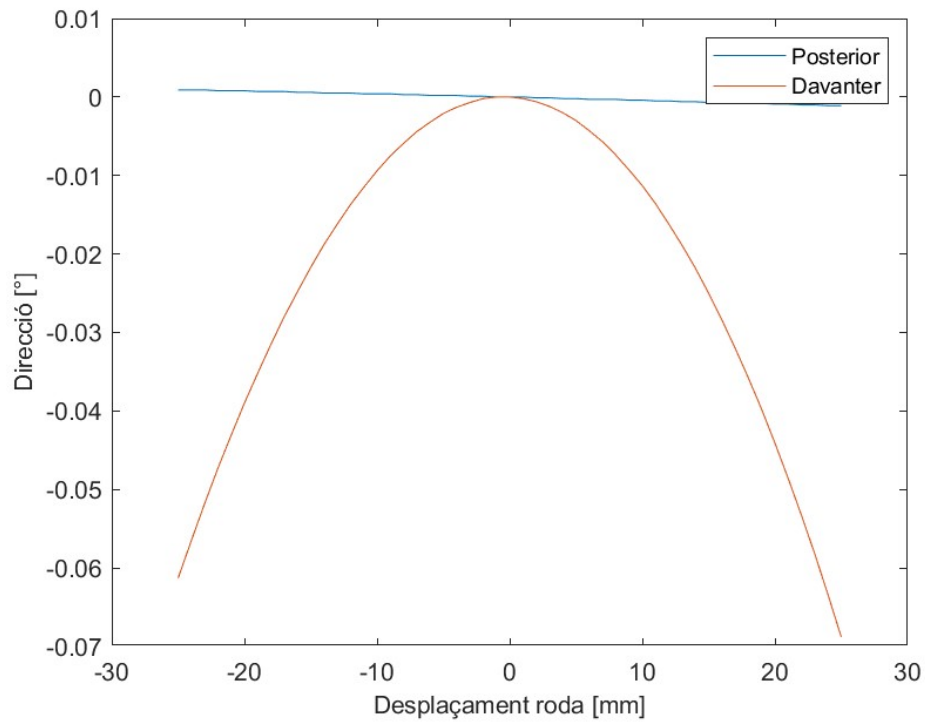
Taula 4. Preves dinàmiques

ANNEX B.

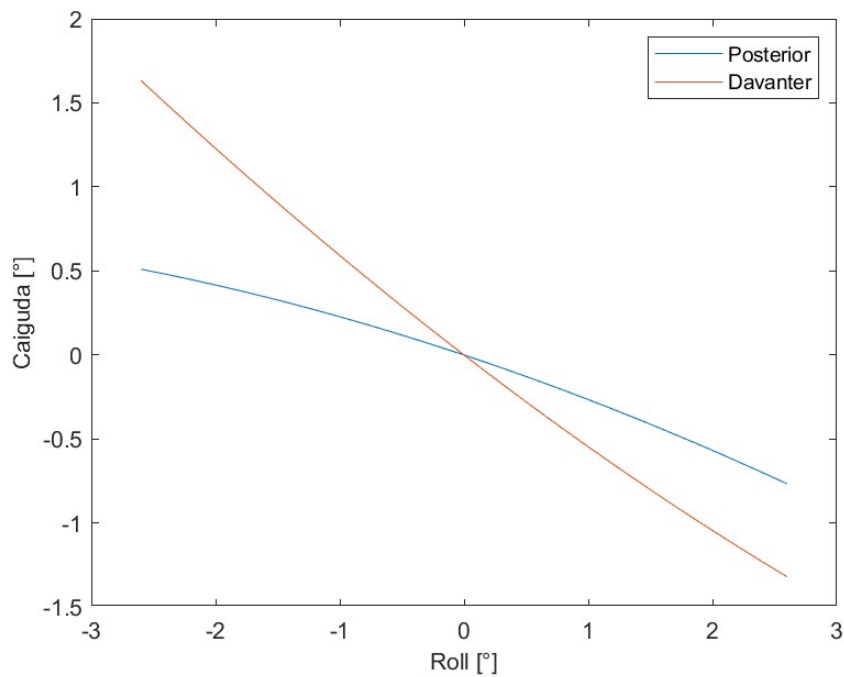
CINEMÀTICA

ANNEX B. CINEMÀTICA

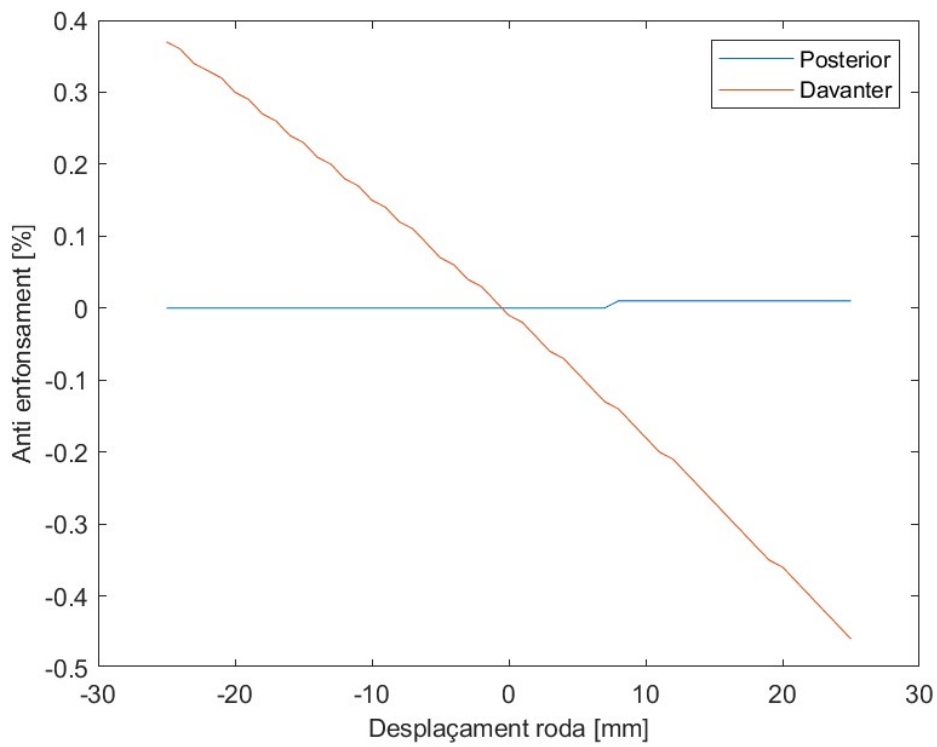
S'ha estudiat a cinemàtica del vehicle amb el programa Lotus Schark per tal de obtenir una resposta adequada en tot moment.



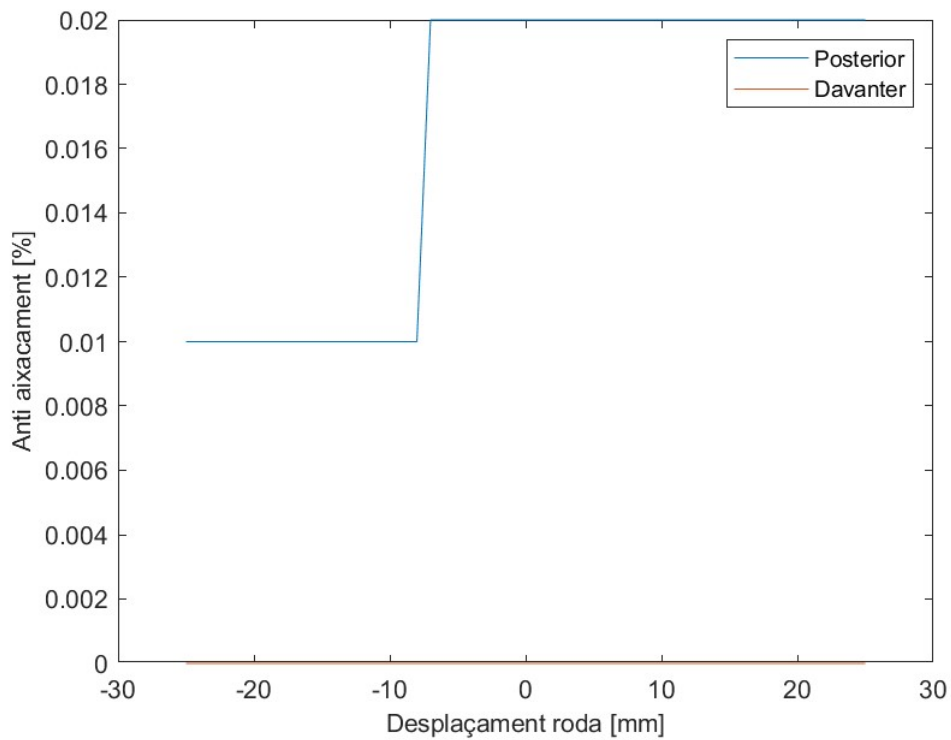
Il·lustració 22 Caiguda de les rodes en funció del Roll



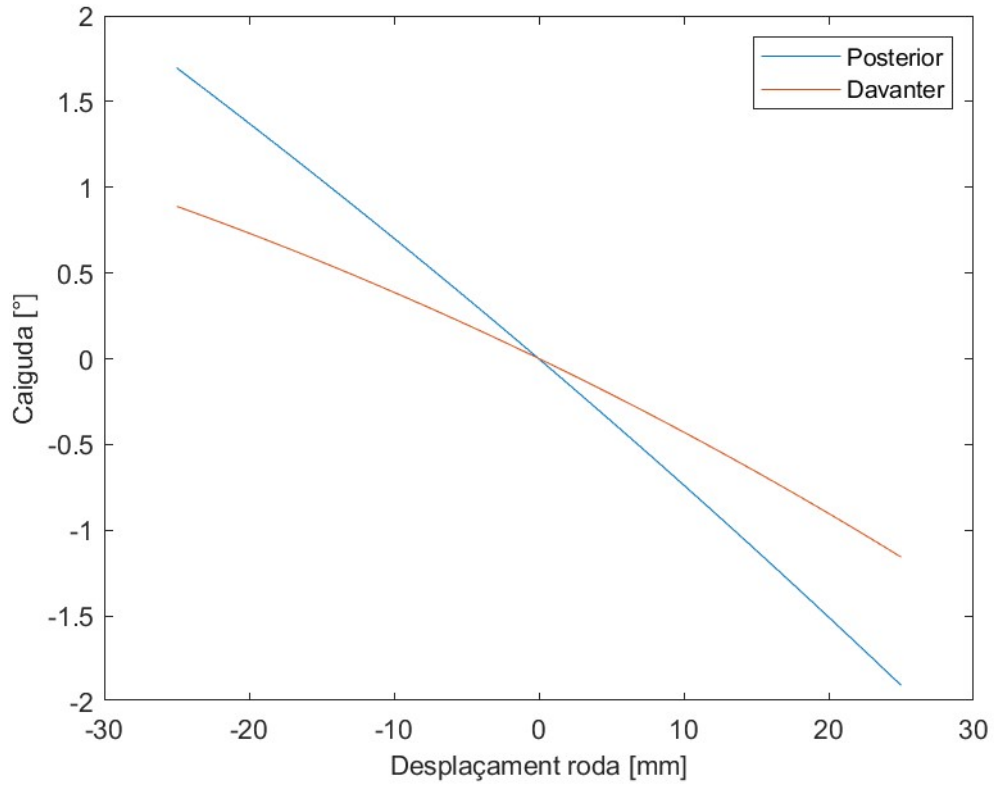
Il·lustració 23 Moviment de la direcció en funció del desplaçament de la roda



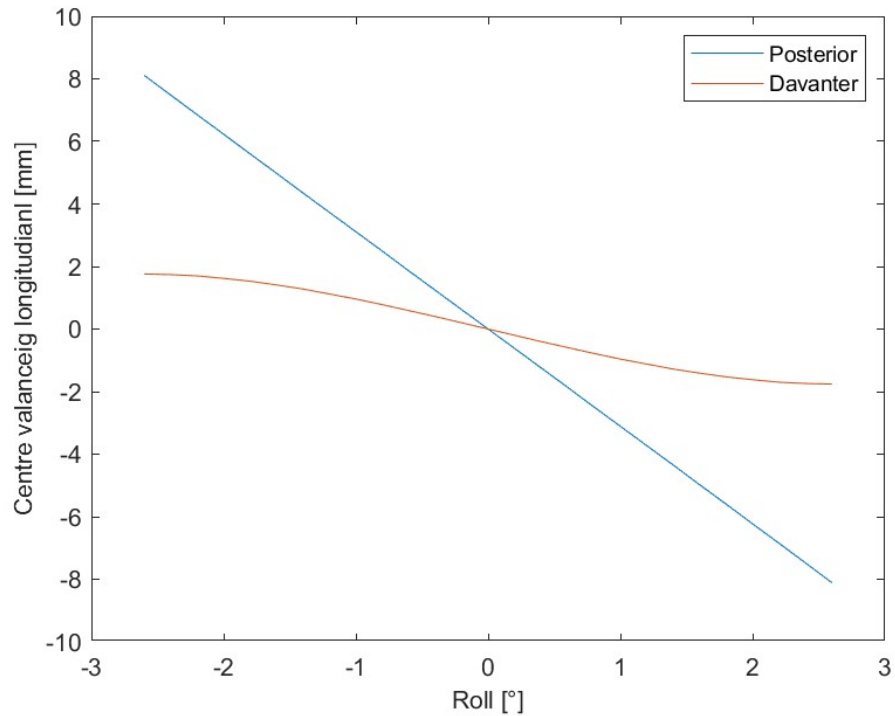
Il·lustració 24 Geometria antiaixecament en funció del desplaçament



Il·lustració 25 Geometria antienfonsament en funció del desplaçament de la roda



Il·lustració 26 Caiguda en funció del desplaçament de la roda



Il·lustració 27 Centre de balanceig longitudinal en funció del roll

Tal i com es pot veure s'ha buscat en tot moment una geometria molt neutre en la qual els trapezis no afecten en cap moment a el Pitch ni al Roll del vehicle. Per altre banda la deferència entre centre de balanceig al roll igual que la de la direcció és molt pròxima a 0 gràcies a això s'aconseguirà una gran estabilitat envers a zones amb molts vots.