

Projecte/Treball Final de Carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Disseny del xassís d'un monoplaça de la divisió IV (Car Cross) per a curses de velocitat en circuit tancat.

Document: MEMÒRIA I ANNEXOS

Alumne: Adrià Masó Palou

Director/Tutor: Dani Trias Mansilla

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria (mes/any): Juny 2015

A la meva família i amics per haver-me acompanyat en aquest camí, que tot just comença.

A l'Aida per contribuir a fer-lo més especial.

A en Dani Trias pel seguiment i suport en aquest projecte.

Índex

1	INTRODUCCIÓ	1
1.1	Antecedents.....	1
1.2	Objecte	1
1.3	Abast i Especificacions	2
2	METODOLOGIA.....	3
3	SITUACIÓ INICIAL	6
3.1	La competició	6
3.2	El monoplaça de Car Cross	7
3.3	El Car Cross preliminar.....	7
3.3.1	Introducció	7
3.3.2	Components mecànics	8
3.3.3	Xassís.....	8
4	NORMATIVA	11
4.1	Normativa per la homologació	11
4.2	Compliment de la normativa: components mecànics	12
5	ESTUDIS PREVIS	13
5.1	Ergonomia	13
5.2	Dimensions generals propulsor.....	14
6	MATERIAL.....	16
6.1	Característiques mecàniques acer.....	17
7	ANÀLISI ELEMENTS FINITS.....	18
7.1	Introducció	18
7.2	Estudi FEM xassís preliminar.....	21
7.2.1	Introducció	21
7.2.2	Resultats hipòtesis.....	21
8	DISSENY DEL XASSÍS	23
8.1	Introducció	23

8.2	Variables de disseny.....	23
8.2.1	Rigidesa torsional	24
8.2.2	Rigidesa torsional xassís preliminar.....	25
8.3	Algorisme de disseny.....	26
8.4	Disseny inicial.....	27
8.5	Optimització xassís.....	28
8.5.1	Resultats	29
8.6	Disseny final	32
9	DINÀMICA.....	34
9.1	Assaig experimental amortidors.....	34
9.2	Modes de vibració.....	36
9.3	Freqüència en la competició	38
9.3.1	Vibracions originades al motor.....	38
9.3.2	Vibracions del circuit.....	38
10	PROCÉS DE FABRICACIÓ	39
10.1	Tall	40
10.2	Corbat de tubs.....	40
10.3	Soldadura	41
10.4	Tractament superficial	42
11	CONTINUITAT DEL PROJECTE	43
12	RESUM DEL PRESSUPOST	46
13	CONCLUSIONS.....	47
14	RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	48
15	BIBLIOGRAFIA	49
16	GLOSSARI.....	50
	ANNEX A. NORMATIVA.....	53
A.1	Introducció	53
A.2	Reglament Tècnic Vehicles Carcross.....	54
A.2.1	Document complet Reglament Tècnic	54

A.2.2	Resum Reglament Tècnic.....	64
A.3	Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat davant la R.F.E. d'A.....	68
A.3.1	Document Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat	69
A.3.2	Resum Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat	78
A.4	Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat.....	80
A.4.1	Document de Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat	80
A.4.2	Resum Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat	85
ANNEX B.	LA COMPETICIÓ I EL MONOPLAÇA.....	86
B.1	La competició: l'Autocross.....	86
B.1.1	Divisions	86
B.1.2	Circuits	88
B.2	El monoplaça: el Car Cross.....	89
B.3	El Carcross preliminar	93
B.3.1	Introducció	93
B.3.2	Components mecànics	94
B.3.3	Xassís preliminar	98
ANNEX C.	CÀLCULS ELEMENTS FINITS	104
C.1	Procés d'anàlisi.....	104
C.1.1	Introducció.....	104
C.1.2	Representació dels assajos.....	104
C.1.3	Definició de la geometria	106
C.1.4	Definir el material.....	111
C.1.5	Mallat.....	111
C.1.6	Sol·licitacions i condicions de contorn	116
C.1.7	Resultats	116
C.2	Estudi FEM del xassís preliminar	117
C.2.1	Introducció.....	117
C.2.2	Pre-procés estudi resistència materials	117
C.2.3	Resultats hipòtesis	121

C.3	Estudi FEM del xassís dissenyat.....	123
C.3.1	Introducció.....	123
C.3.2	Pre-procés estudi resistència materials	123
C.3.3	Resultats hipòtesis	127
ANNEX D.	PROCÉS DE DISSENY	129
D.1	Introducció	129
D.2	Variables i procés de disseny	129
D.2.1	Variables de disseny	129
D.2.2	Algorisme de disseny	131
D.3	Estudis previs	132
D.3.1	Ergonomia.....	132
D.3.2	Dimensions generals propulsor	136
D.4	Procés de disseny	138
D.5	Rigidesa torsional	144
D.5.1	Introducció.....	144
D.5.2	Càlcul rigidesa torsional	145
D.5.3	Rigidesa torsional xassís preliminar	147
D.5.4	Rigidesa torsional xassís dissenyat.....	149
D.6	Optimització xassís.....	151
D.6.1	Hipòtesis	152
D.6.2	Resultats	157
D.7	Disseny final	160
ANNEX E.	MATERIALS I PROCESSOS DE FABRICACIÓ	162
E.1	Introducció	162
E.2	Material	162
E.2.1	Propietats mecàniques acer	162
E.2.2	Propietats químiques acer	165
E.2.3	Preu material	165
E.2.4	Conclusions material	166

E.3	Processos de fabricació	168
E.3.1	Tall	169
E.3.2	Corbat de tubs	175
E.3.3	Soldadura	178
E.3.4	Tractament superficial	180
E.3.5	Conclusió mètodes fabricació	181
ANNEX F.	DINÀMICA DEL MONOPLAÇA.....	182
F.1	Introducció.....	182
F.2	Assaig experimental amortidors	182
F.3	Modes de vibració	195
F.4	Freqüència en la competició.....	202
F.4.1	Vibracions del motor	202
F.4.2	Vibracions circuit.....	202
F.5	Conclusions.....	203

1 INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els monoplaços Carcross, de la *divisió IV*, participen en curses d'Autocross. Existeixen diverses divisions en les que s'agrupen els vehicles amb les mateixes característiques per poder competir amb la màxima igualtat possible. L'Autocross consisteix en curses de velocitat sobre terra en les que es competeix en diferents circuits tancats formant el campionat de Catalunya o, a nivell nacional, el campionat d'Espanya. Per totes les divisions, les carreres d'Autocross estan dividides en entrenaments, diverses *mànigues* classificatòries per eliminació i, per acabar, la final. En aquesta, el pilot que arriba primer a la línia de meta es proclama el guanyador de la cursa dins la seva divisió.

Com a punt de partida, es disposa d'un monoplaça de Carcross amb 15 anys d'antiguitat que mai ha competit en cap cursa d'Autocross i no disposa de l'homologació acreditada per la Federació Espanyola d'Automobilisme necessària per a fer-ho. Aquest monoplaça es va usar com a vehicle de lloguer en un circuit de terra, tal i com seria un kart de Karting en un circuit d'asfalt. Aquest monoplaça de partida serà estudiat i analitzat per tal de poder avaluar-ne les seves característiques i comparar-les amb la solució final del xassís.

1.2 Objecte

L'objectiu que persegueix aquest projecte és fer el disseny i desenvolupament d'un xassís d'un monoplaça de Carcross de la divisió IV per a poder competir al campionat d'Espanya d'Autocross tenint en compte els elements mecànics amb què estarà compost el vehicle. Per a poder competir serà necessària l'homologació de la Real Federació Espanyola d'Automobilisme i per tant s'hauran de seguir les normes pertinents.

Es vol dissenyar un xassís que pugui ser homologat i que tingui millors propietats mecàniques i estructurals que el xassís del Carcross de partida.

1.3 Abast i Especificacions

El projecte inclourà totes les fases del disseny del xassís propi tenint en compte els elements mecànics amb els que estarà compost el monoplaça. Aquest disseny serà dut a terme seguint les normes establertes per l'autoritat competent, en aquest cas la Federació Espanyola d'Automobilisme, per tal de poder obtenir la homologació i finalment poder arribar a competir en el campionat nacional.

A més de dissenyar en base als components mecànics també es tindrà en compte la posició del pilot dins el monoplaça per tal d'optimitzar la seva conducció.

A l'hora de realitzar el disseny final s'ha de tenir en compte que només s'ha fet el disseny estructural. No s'han dimensionat els suports pels diferents elements del vehicle com per exemple els suport del motor, suspensions, direcció, rodes, etc.

En aquest projecte es defineixen els plànols per a la fabricació del xassís així com també la redacció del pressupost per a poder avaluar la viabilitat pràctica i econòmica de la proposta.

Queda fora de l'abast del projecte l'homologació complerta del xassís, ja que es realitza únicament l'estudi necessari que s'ha de dur a terme per a fer l'homologació, sense acabar de formalitzar els tràmits pertinents.

2 METODOLOGIA

En aquest apartat es descriuen els passos seguits per a la realització del projecte. En primer lloc, la Figura 1 mostra de forma esquemàtica totes les etapes del projecte i a continuació es descriu cadascuna d'elles.

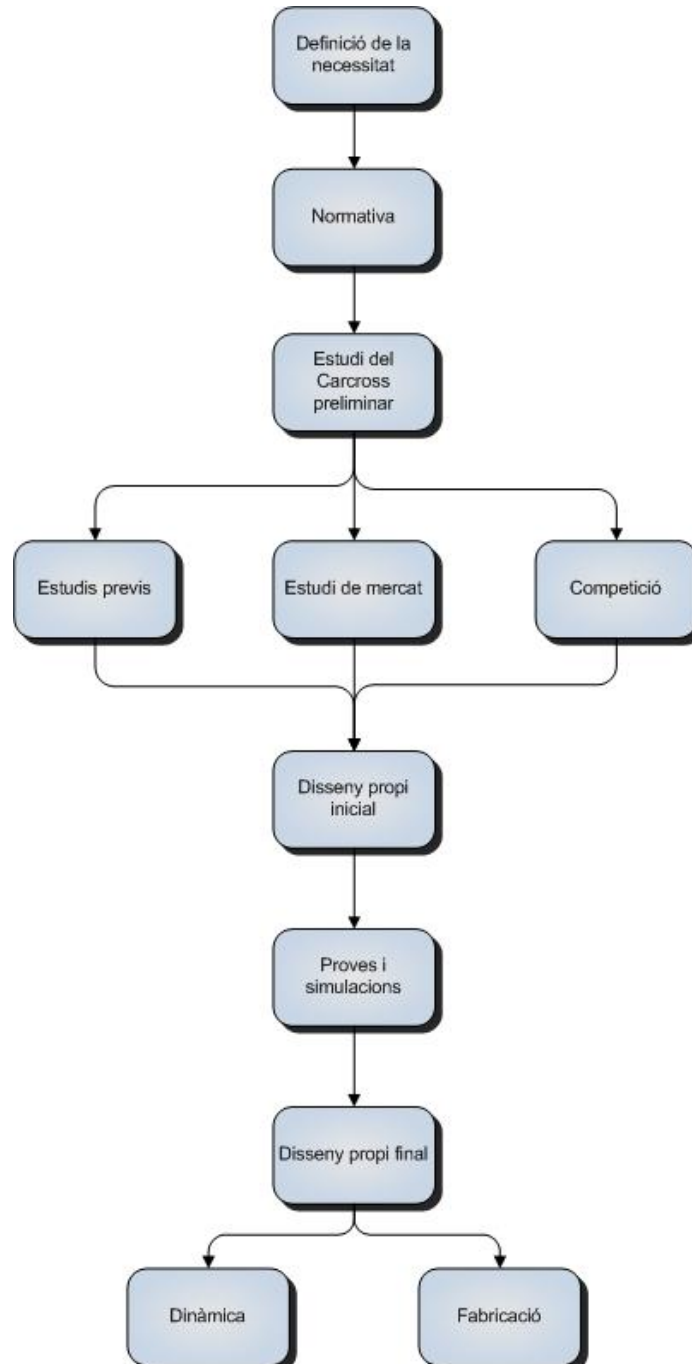


Figura 1: Esquema metodologia projecte

- **Definició de la necessitat:** es disposa d'un monoplaça de Carcross que no ha arribat a competir i es pretén utilitzar algun dels seus components mecànics per dissenyar un nou model propi.
- **Normativa:** es consulta la normativa que segueixen els vehicles que competeixen en les curses d'Autocross dins del campionat d'Espanya d'Automobilisme així com el Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat per extreure'n els requisits que permetran homologar el monoplaça.
- **Estudi del Carcross preliminar:** mitjançant un seguit de mesures dimensionals, un anàlisi de components i simulacions amb elements finits s'extreu la informació necessària per determinar quins components compleixen amb la normativa i podran ser utilitzats en el nou disseny.
- **Estudis previs:** en aquests s'analitza l'ergonomia del pilot i les dimensions generals del motor per ajustar el màxim el nou disseny del xassís a les condicions reals.
- **Estudis de mercat:** es realitza una investigació sobre les característiques comunes de qualsevol monoplaça de Carcross i les empreses constructores més destacades tant històricament com en els darrers anys.
- **Competició:** es du a terme un estudi de les característiques de la competició d'Autocross així com les diferents divisions d'aquest campionat.
- **Disseny propi inicial:** amb la informació recollida dels diferents apartats anteriors es realitza un predisseny del xassís tenint en compte els components que hi tinguin influència com per exemple la posició i dimensions del motor. En aquest apartat ja quedarà definit el material que s'utilitzarà, ja que queda molt limitat per normativa.
- **Proves i simulacions:** un cop definit un possible disseny bàsic es realitzen diversos assajos. Es destaquen els estudis de resistència de materials a través d'un programa d'elements finits. En aquest procés es realitza també l'optimització de les variables de disseny a través d'hipòtesis.

- **Disseny propi final:** a partir dels resultats dels assajos realitzats i de les consideracions que s'han assumit en l'apartat anterior es defineixen totes les característiques del xassís proposat
- **Dinàmica:** es realitza un anàlisi de vibracions del vehicle amb tots els components incloent el disseny final del xassís proposat. Concretament es busquen les freqüències naturals del monoplaça per comparar-les amb les d'un terreny representatiu dels circuits de la competició per assegurar que no entri en ressonància.
- **Fabricació:** finalment es presenten els diferents processos de fabricació que permetran fer realitat la proposta de disseny.

3 SITUACIÓ INICIAL

3.1 La competició

L'Autocross és una modalitat d'automobilisme realitzat en circuit tancat de terra i disputat amb turismes i monoplaça. Cada cursa forma part d'un campionat i es donen cita totes les divisions. Cada cursa consta d'entrenaments, mànigues, final B (si és el cas) i final. Tots els concursants han de participar en entrenaments i mànigues per poder-se classificar i optar a la final. Es realitzen finals per a cada una de les categories.

Pel que fa les categories trobem quatre divisions:

Divisió 1: Turismes i prototips de quatre rodes motrius de 4000cc de cilindrada màxima.

Divisió 2: Turismes exclusivament de grup N amb modificacions permeses segons els reglaments i amb una cilindrada inferior a 2000cc.

Divisió 2A: Turismes de grup N exclusivament de cilindrada inferior a 1600cc.

Divisió 3: Fórmules monoplaça de xassís tubular de mida reduïda amb gàbia protectora antibolcada dotats d'un motor de motocicleta de gran cilindrada en la part posterior donant tracció a les quatre rodes.

Divisió 4: Fórmules monoplaça, anomenats Car Cross, de xassís tubular de mides reduïdes amb gàbia protectora antibolcada dotats d'un motor de motocicleta de gran cilindrada en la part posterior donant tracció només a les rodes posteriors (Figura 2).

Els circuits on es disputa la competició, són de terra i poden tenir una longitud mínima de 800m i màxima de 2000m. Normalment acostumen a tenir 1 km de longitud. Pel que fa a l'amplada, interessa que sigui gran per permetre més avançaments, els límits marcats són 13m com a mínim i 25m com a màxim, generalment són de 14m.

3.2 El monoplaça de Car Cross

Els vehicles Car Cross, són monoplaques de motor posterior construïts segons el Reglament Tècnic de la Real Federació Espanyola d'Automobilisme detallat a l'annex A de normativa. Estan prohibits els que tenen quatre rodes motrius i els motors sobrealimentats. El lloc de conducció està equipat amb els mateixos comandaments habituals d'un automòbil.

Estan prohibides les caixes de canvi automàtica i semiautomàtica així com els comandaments d'aquests tipus de caixa.



Figura 2: Autocross Mollerussa 2015

A l'annex B es poden veure els principals constructors de monoplaques de Carcross de l'actualitat.

3.3 El Car Cross preliminar

3.3.1 Introducció

Primer de tot s'explica el monoplaça preliminar que s'analitzarà per extreure'n la màxima informació que serà utilitzada pel disseny final. S'analitzaran els seus components mecànics per a veure la seva viabilitat per formar part del monoplaça que es vol dissenyar. Per fer-ho s'ha de complir correctament la normativa de la Federació Espanyola d'Automobilisme.

El monoplaça de partida és una rèplica d'un Carcross francès anomenat Fouquet (Figura 3), una marca francesa, d'uns 15 anys d'antiguitat. Al tractar-se d'una rèplica no consta de cap homologació que el permeti competir.

Aquest monoplaça va ser utilitzat com a vehicle de lloguer en un circuit tancat de terra.



Figura 3: Monoplaça de partida, replica Fouquet.

3.3.2 Components mecànics

El monoplaça preliminar disposa de molts components mecànics que es pretenen reutilitzar per tal de reduir el cost final del nou monoplaça. Els possibles elements reutilitzables són:

- Motor
- Amortidors
- Sistema de direcció
- Transmissió
- Sistema de fre

Les característiques es poden veure amb més detall al punt B.3.2 de l'annex B.

3.3.3 Xassís

S'ha estudiat el xassís preliminar per a poder extreure'n informació a tenir en compte a l'hora de dissenyar el xassís final. El procés complet per obtenir la configuració i geometria del

xassís preliminar es pot veure al punt B.3.3 de l'Annex B i les dimensions es poden veure al plànol número 1 del document de plànols.

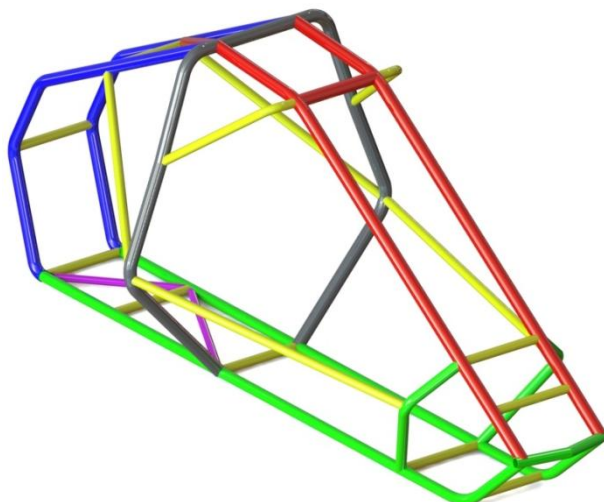


Figura 4: Estructura xassís preliminar digitalitzada en 3D

S'ha pogut identificar que hi ha 6 tipus de tubs diferents (Taula 1)

Color	\varnothing	Espessor
Black	42	2,5
Red	42	2
Blue	40	2
Green	35	2
Yellow	30	2
Purple	25	2

Taula 1: Resum dels diàmetres i espessors dels tubs

Aquestes dimensions dels tubs, tal i com es pot veure a l'apartat A.3 Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat davant la R.F.E. d'A., no compleixen la normativa de les dimensions mínimes dels tubs mostrades a la Taula 16 d'aquest Annex A. Per tant, mai podrà ser homologat per a competir.

També s'ha observat que el xassís es troba en condicions precàries. La Figura 5 mostra l'estat de les seves soldadures, que s'han anat trencat degut als esforços de fatiga i a la

corrosió que han anat debilitant l'estructura. Per tant, queda totalment desestimada la seva homologació.



Figura 5: Estat soldadura unió de tubs xassís

A continuació es llisten les dades extretes del xassís:

- Pes: **43,30 Kg**
- Centre de gravetat: $(x, y, z) = (223'57, 464'64, 0)$ Està referenciat respecte els eixos del programa Solidworks.
- Moments d'inèrcia:

$$I_x = 8,761 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_y = 21,95 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_z = 25,38 \text{ Kg/m}^2$$

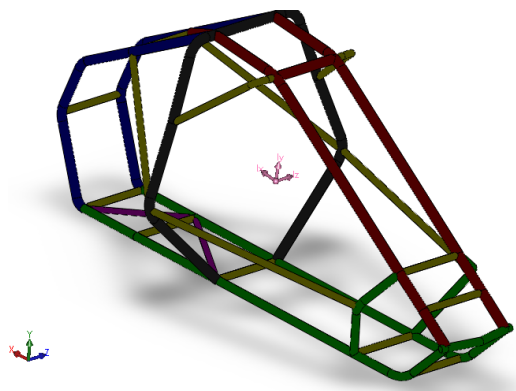


Figura 6: Moments d'inèrcia xassís preliminar

4 NORMATIVA

Els vehicles Car Cross de la divisió IV, que competeixen en el campionat d'Espanya d'Autocross, han d'estar homologats per una ADN (Autoridad Deportiva Nacional) d'acord amb els reglaments d'homologació que elabora la FIA (Federació Internacional d'Automobilisme). A Espanya, l'ADN seleccionada per la FIA és la Real Federació Espanyola d'Automobilisme (R.F.E. de A.). Per tant serà l'única entitat autoritzada per a certificar les homologacions.

4.1 Normativa per la homologació

Si es consulta el reglament Tècnic 2015 de la R.F.E. de A. es podrà veure que la divisió IV que és la CarCross s'ha de seguir únicament el reglament de la R.F.E. de A. (Taula 2).

VEHÍCULOS ADMITIDOS EN EL CAMPEONATO DE ESPAÑA DE AUTOCROSS 2015				
DIVISIÓN	GRUPO	REGLAMENTO	PESO MÍN (kg)	BRIDA MÁX (mm)
I	World Rally Car (WRC)	Art. 255/255A - Anexo J + RFEA	1200	Según año
	Kit Car	Art. 255 - Anexo J + RFEA		-
	A	Art. 255 - Anexo J + RFEA	Según art. 255-4.1 - Anexo J	-
	N	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según Ficha Homologación	- / 33
	Prototipo E1 Nacional	RFEA	Según reglamento específico	-
	Prototipo E2 Nacional	RFEA	Según reglamento específico	-
II	Off Road Modificados	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según cilindrada	-
	Off Road Series	RFEA	Según cilindrada	-
III	Super Buggy	Art. 279A - Anexo J	Según art. 279A-2.6 - Anexo J	-
IV	Car Cross	RFEA	310 (vacío)	-
	Car Cross Junior	RFEA	360 (incluido piloto y su equipamiento)	42
Grupo FIA				
Grupo RFEA				

Taula 2: Fragment del Reglament Tècnic 2015

Els tres documents que s'han consultat de la R.F.E. d'A. a l'hora de dissenyar el xassís són:

- Reglament Tècnic Vehicles Carcross
- Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat davant la R.F.E. d'A.
- Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat

Tots els documents anteriorment anomenats, així com també els resums dels apartats d'interès pel projecte es podran trobar a l'Annex A Normativa. A continuació es mostra la seva distribució per a dur a terme la homologació (Figura 7):

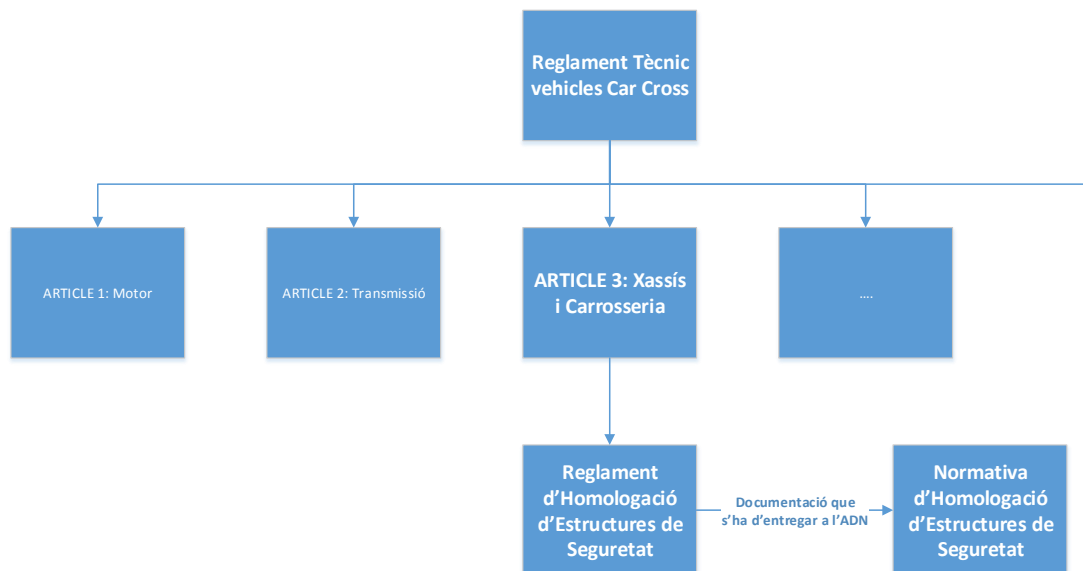


Figura 7: Organització normativa homologació Car Cross

Es poden trobar els reglaments i normatives a la pàgina web oficial de la R.F.E. d' A.

4.2 Compliment de la normativa: components mecànics

S'han analitzat els components mecànics seguint la normativa A.2 Reglament Tècnic Vehicles Carcross de l'Annex A per tal de poder saber la seva viabilitat pel nou disseny i s'ha obtingut el següent:

- Motor ✓
- Amortidors ✓
- Sistema de direcció ✗ (S'hauria d'instal·lar un sistema d'extracció del volant per a ser homologat)
- Transmissió ✓
- Sistema de fre ✓

L'anàlisi complet i les característiques es poden veure al punt B.3.2 de l'annex B.

5 ESTUDIS PREVIS

S'han dut a terme uns estudis abans de començar el disseny per tal de poder realitzar un xassís més òptim tant pel que fa al pilot, com també els elements mecànics dels quals estarà compost el monoplaça final. S'ha estudiat tant l'ergonomia del pilot com el propulsor, ja que són les dues masses més importants del monoplaça.

5.1 Ergonomia

S'ha mesurat la millor posició del pilot per tal de buscar el màxim confort dins del monoplaça. També s'ha de tenir en compte que, en cas d'emergència, el pilot haurà de ser capaç de sortir el més ràpid possible del monoplaça.

Un dels elements que tindran més contacte amb el pilot, limitant l'espai interior de l'estructura, serà el seient. El seient ha de ser de tipus "baquet" homologat per la FIA tal i com marca la normativa de l'Annex A.

Les mesures que s'han realitzat són (Figura 8):

1. Alçada màxim pilot amb casc: **1020 mm**
2. Alçada volant: **400 mm**
3. Distància volant: **60 mm**
4. Angle volant: **60°**
5. Alçada genolls: **325 mm**
6. Angle pedalaria: **50°**
7. Distància base peus: **500 mm**

També és mesura la massa del pilot per a poder saber el repartiment de masses en el monoplaça ja que saber la disposició dels elements amb més massa ens donarà molta informació del seu comportament.

8. Pes pilot: **75 Kg**

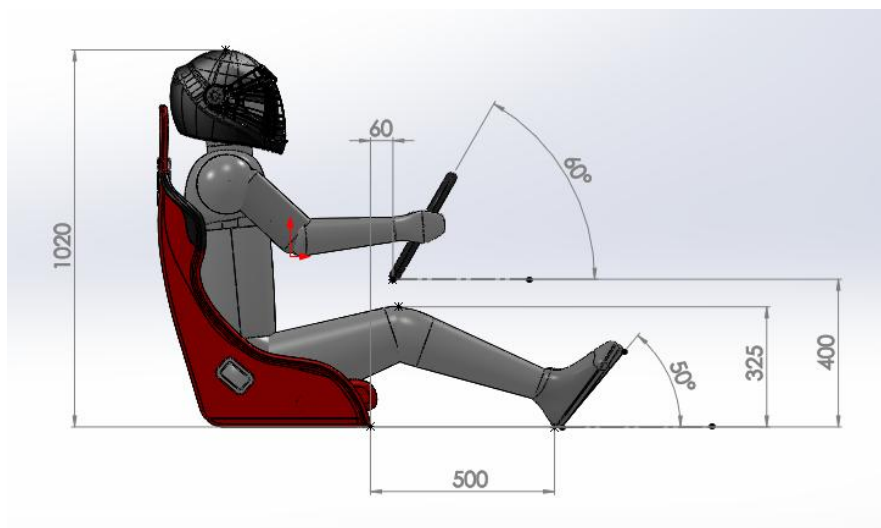


Figura 8: Mesures realitzades al pilot

Per tal de poder comercialitzar el monoplaça i poder donar-hi cabuda a un rang de pilots més gran que no només el pilot mesurat anteriorment, s'han proposat sistemes per tal d'ajustar la posició del pilot tal i es pot veure amb més detall al punt D.3.1 de l'Annex D.

5.2 Dimensions generals propulsor

Pel disseny del xassís es tindran en compte les dimensions del propulsor que s'utilitzarà al monoplaça. El motor s'ha definit a l'apartat B.3.2 Components mecànics de l'Annex B.

En primer lloc es dibuixa en 3D per tal de poder conèixer les dimensions i poder escollir-ne la millor ubicació. Aquest model també ens permetrà veure el seus possibles muntatges i triar quin sistema serà usat per fixar-lo a la seva posició final. A l'apartat D.3.2 es mostra el procés dut a terme per fer el dibuix 3D del motor.

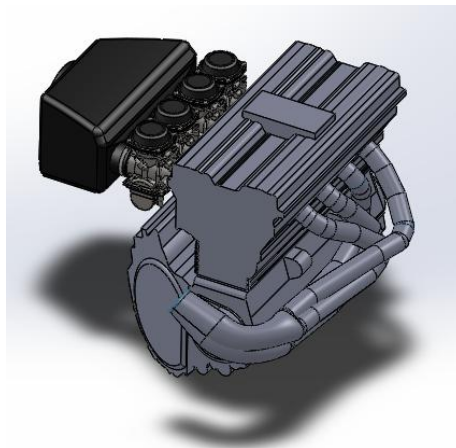


Figura 9: Conjunt complet propulsor monoplaça

La finalitat de l'estudi del motor és només conèixer les dimensions generals i no la tipologia d'unions amb el xassís. Pel disseny de les unions seria necessària una gran exactitud en el model 3D del motor. Es poden consultar les dimensions generals al plànol número 6 del document de plànols.

Tal i com s'ha fet amb el pilot, s'ha mesurat la massa del motor i els seus elements més importants ja és, juntament amb el pilot, un dels elements que té més massa i pot fer canviar el comportament del vehicle.

La massa total del propulsor és de **102 Kg**.

6 MATERIAL

El material escollit, tal i com obliga la normativa recollida a l'Annex A, ha de ser acer al carboni amb unes propietats químiques màximes imposades. Abans de l'elecció del tipus d'acer, cal recordar que s'ha de tenir en compte les característiques mecàniques i tècniques que s'adaptin millor a les necessitats del cas d'estudi.

La normativa també imposa que s'ha de fabricar el xassís amb un material conformat en fred sense soldadura. Aquest procés és el més habitual en estructures de xassís tubular, presenta el gran avantatge sobre l'acabat en calent de no oxidar-se. Degut a aquest fet, l'acabat en fred presenta una major resistència, un millor acabat superficial i una tolerància més petita.

Cercant proveïdors d'acer s'ha trobat *Almesa Grup* que ha facilitat les dades dels seus productes per poder analitzar-los i decidir la seva viabilitat. Fent un recerca molt amplia s'ha arribat a la conclusió que es necessita un material que segueixi la norma UNE-EN 10305-1 2011 o DIN 2391 i s'ha comprovat que el proveïdor seleccionat subministra material seguint aquesta norma. Degut a que la normativa de la competició ens obliga a que sigui sense soldadura i estirats en fred, es seguirà la primera part de la norma EN 10305-1, centrada en aquesta tipologia de material.

S'han de satisfer tots els requeriments imposats a l'hora d'acabar de decidir la tipologia d'acer dins la norma EN 10305-1. Per fer-ho s'han analitzat els següents punts:

- Punts que ens marca la normativa de l'annex A:
 - Haurà de ser de tubs d'acer, per tant xassís tubular. ✓
 - Composició química. ✓
 - Haurà de ser conformat mitjançant estirat en fred sense soldadura. ✓
 - La resistència a tracció dels materials no podrà ser inferior a 355 MPa. ✓
 - Aquesta condició es complirà en els materials de la Taula 34 del punt E.2.1 de l'Annex E .
 - S'haurà de disposar del certificat de colada dels materials. ✓

- A part de la normativa, també s'haurà de tenir en compte:
 - Preu ✓
 - Facilitat per a treballar el material a l'hora de fabricar-ho. ✓
 - El material escollit haurà de poder aguantar les sol·licitacions de càrrega de l normativa per poder assegurar la seguretat del pilot. ✓

Seguint aquestes indicacions es conclou que el material que permet satisfer tots els requeriments és l'acer E355 +C segons la norma EN 10305-1. El procés d'elecció del material es pot trobar al punt E.2 de l'Annex E.

6.1 Característiques mecàniques acer

Les propietats mecàniques de l'acer es poden definir per la seva resistència a la ruptura, a l'allargament i el límit elàstic. Aquests valors són extrets d'assajos de tracció que ha realitzat el proveïdor del material abans de la seva comercialització. S'han de justificar aquestes propietats al client que compra aquest el material mitjançant el certificat del material¹.

Propietats mecàniques acer E355 +C segons EN 10305-1	
Resistència a la tracció	640 MPa
Límit elàstic	512 MPa
Allargament	4%
Mòdul de Young	$2,1 \times 10^5$ MPa
Coefficient de Poisson	0,3
Coefficient de dilatació tèrmica	$1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Densitat	7860 Kg/m ³

Taula 3: Propietats mecàniques material E355 +C

¹ Certificat del material: Document que acredita les propietats mecàniques del material a partir de l'assaig a tracció, també s'hi detallen les característiques químiques del material.

7 ANÀLISI ELEMENTS FINITS

L'estudi de la resistència de materials de l'estructura de seguretat es realitza amb el programa d'elements finits *Ansys*, concretament l'anomenat *Ansys Workbench*.

7.1 Introducció

En aquest apartat es passen a definir els estats generals per tal de generar l'estudi de resistència de materials.

S'han tingut en compte les indicacions mostrades a l'Annex A extrems del *Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A.* Concretament l'Article 4: *Estudi de resistència de materials per elements finits*. Entre d'altres detalls, aquest article especifica les sol·licitacions de càrrega que s'hauran d'estudiar.

El Departament Tècnic de la R.F.E. d'A. ha cregut que aquestes sol·licitacions són les més desfavorables ja que simulen les col·lisions que pot rebre el vehicle en una competició real. Així doncs, podem avaluar l'estructura i identificar els seus punts dèbils a través de les 4 proves de càrrega següents:

- Càrrega Vertical: 7,5 vegades el pes del vehicle en daN.
- Càrrega Longitudinal davantera: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- Càrrega Longitudinal posterior: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- Càrrega Lateral: 3,5 vegades el pes del vehicle en daN.

Tal i com es defineix al "*Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A.*" a la Taula 13, el pes mínim del vehicle per la divisió IV: Carcross és de 310 kg. A més, s'indica que s'hi han de sumar 75kg corresponents al pes del pilot. Per tant, el pes del vehicle en condicions de cursa és el següent:

$$P = 310 \text{ Kg} + 75 \text{ Kg} = 385 \text{ Kg}$$

D'aquí es podran extreure les càrregues que s'hauran d'aplicar a les diferents proves de càrrega.

La Figura 10 es mostra la direcció de les càrregues en les diferents hipòtesis de càrrega.

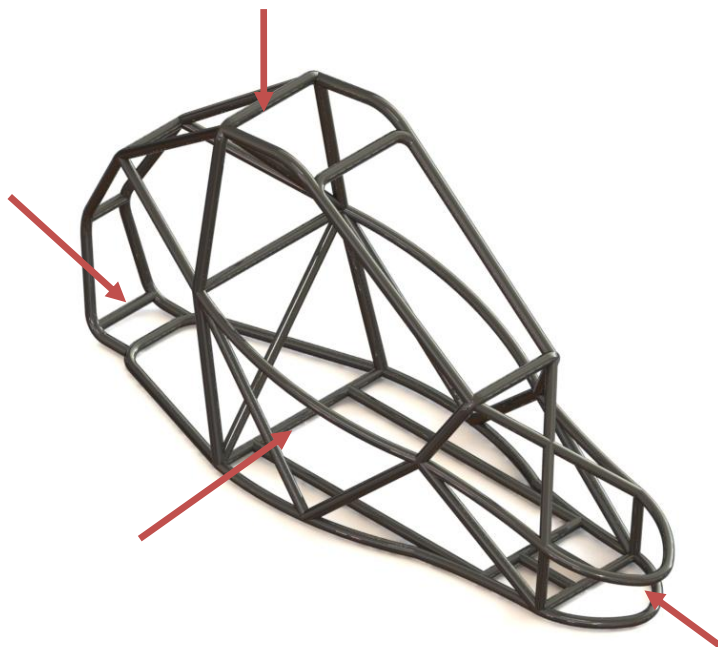


Figura 10: Representació de les direccions de les diferents proves de càrrega.

El següent pas és definir les condicions de contorn de l'estructura. Tal i com mostra la Taula 19 de l'article 4 del "Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A.". S'han de restringir tant el desplaçament com la rotació dels nusos que ens indiquen en qualsevol de les hipòtesis de càrrega.

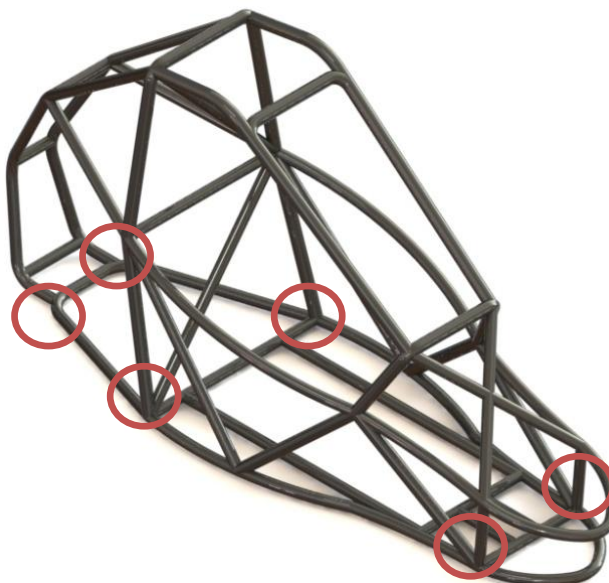


Figura 11: Representació dels punts que es restringirà el moviment.

Per acabar i poder començar a caracteritzar la geometria, s'ha de saber el criteri d'acceptació del desplaçament i de les tensions indicades a la normativa:

- 1 El desplaçament en el moment d'aplicació del 100% de la càrrega, no podrà existir en el moment de l'assaig cap desplaçament de **50mm** en cap direcció de l'espai.
- 2 Les tensions **no podran superar el límit elàstic** del material, en el cas d'un assaig lineal que serà el cas que estem estudiant.

A l'hora de resoldre els casos de càrrega amb el mètode dels elements finits s'han dut a terme aproximacions per tal de poder definir la geometria. Aquestes aproximacions són detallades al punt C.1.3 de l'Annex C.

També al punt C.1.5 d'aquest mateix annex s'ha dut a terme un estudi del mallat per tal d'usar el mateix criteri a totes les proves. Així doncs, en el punt C.1 de l'Annex C es detalla el procés a seguir per a dur a terme el mètode dels elements finits.

7.2 Estudi FEM xassís preliminar

7.2.1 Introducció

Per tal de poder analitzar si el xassís preliminar pot suportar les sol·licitacions que exigeix la normativa d'homologació es farà un estudi de resistència de materials. També servirà per extreure informació que es tindrà en compte en el nou disseny.

A l'hora de fer l'estudi dels elements finits serà necessari definir el material. Degut a que es desconeix el material es definirà l'escollit al punt E.2.3 de l'Annex E per poder realitzar els assajos i veure quins és el seu comportament. La raó per la qual s'ha escollit aquest acer és perquè és el que presenta les millors propietats mecàniques de tots els tipus d'acer que compleixen amb la norma EN 10305-1.

Aquest material definirà el cas ideal i es faran les hipòtesis amb les diferents càrregues. Si no es compleixen amb aquest material, tampoc es compliran amb qualsevol altre degut a que no hi ha cap material dins la norma EN 10305-1 que tingui millors propietats mecàniques que l'escollit.

7.2.2 Resultats hipòtesis

Una vegada resolt els 4 casos d'estudi els resultats es mostren a la Taula 4:

Nº prova	Definició	Desplaçament (mm)	Moment flector màx (MPa)
1	Càrrega Vertical	12,64	587,75
2	Càrrega Longitudinal Davanter	5,08	250,67
3	Càrrega Longitudinal Posterior	4,07	631,39
4	Càrrega Lateral	37,21	1577,90

Taula 4: Resum 4 casos d'estudi normativa seguretat

Es pot veure que en cap cas es supera el desplaçament màxim de 50 mm. Però per altre banda, sí que es supera el límit elàstic del material, que és de 512 MPa. Només en el cas de la càrrega longitudinal davantera aquest valor no és superat.

Per tant, es pot concloure que aquesta estructura de seguretat no podrà ser homologada per incompliment dels requisits dels assajos de seguretat.

Analitzant detingudament els resultats obtinguts observem que l'origen de d'incompliment dels requisits no recau tant en l'elecció del material (és el que presenta millors propietats mecàniques) sinó del disseny i dimensionament del xassís. Un clar exemple és el resultat de hipòtesi de càrrega lateral en el que es pot veure com aquesta càrrega queda absorbida per l'únic tub que disposa aquesta part del xassís.

8 DISSENY DEL XASSÍS

8.1 Introducció

Abans de començar amb el disseny del xassís s'han de tenir en compte els requisits que es seguiran per dissenyar-lo i també el procés que es seguirà per arribar-hi.

A l'hora de fer el procés de disseny, primer de tot mitjançant els estudis previs i la informació recollida es desenvoluparà un pre-disseny. Una vegada s'ha obtingut el pre-disseny s'aplicaran els càlculs pertinents i s'estudiaran per optimitzar les variables de disseny fins a obtenir el disseny del xassís final.

8.2 Variables de disseny

Les variables de disseny més rellevants a l'hora de dur a terme el disseny d'un xassís són:

- La dinàmica del monoplaça
- La comoditat de la conducció
- La seguretat imposada per la normativa
- La fabricació
- El cost del xassís
- La fiabilitat
- La rigidesa torsional
- El pes
- La disposició dels elements mecànics més importants.

Aquestes variables es podran comparar i extreure'n informació per poder validar el disseny final gràcies a haver fet l'estudi previ del xassís preliminar tal i com s'ha vist al punt B.3 El Carcross preliminar de l'Annex B.

8.2.1 Rigidesa torsional

Una de les variables de disseny que es tindrà més en compte pel disseny del xassís serà la rigidesa torsional. Aquest valor en un barra recta de secció uniforme és la relació entre el moment torçor aplicat en un dels seus extrems i l'angle girat per aquest extrem, al mantenir fixa l'altre extrem de la barra.

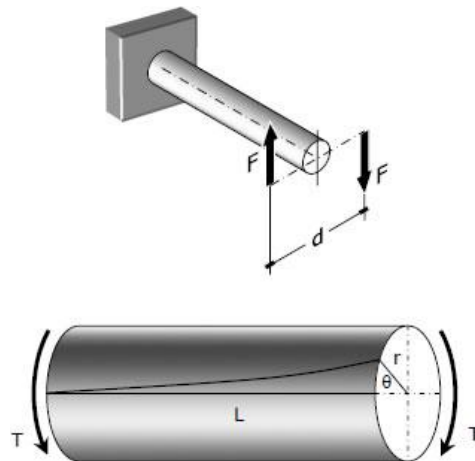


Figura 12: Rigidesa torsional

$$K_{tors} = \tau_{tors} = \frac{M_x}{\theta_x}$$

Les unitats que normalment s'utilitzen són (N·m/°). Habitualment s'expressa el parell per provocar un gir d' 1°.

En el cas d'un xassís, la rigidesa torsional és la relació entre el moment aplicat a la suspensió davantera i l'angle girat, mantenint fixa la suspensió posterior. El procés per dur a terme aquest càlcul es troba al punt D.5.2 de l'Annex D.

La rigidesa torsional és el valor més representatiu de com serà la resposta dinàmica del vehicle pel que fa al xassís. Si es té un vehicle molt rígid, la transmissió de masses serà mínima però serà un vehicle incòmode en règim sobre superfície irregular. Al ser un vehicle de competició, aquest comportament s'acceptarà degut a que la comoditat és un factor secundari.

Per a la realització del projecte es cercarà l'objectiu d'aconseguir un xassís molt rígid i permetre un major rang de millora dinàmica mitjançant el sistema de suspensió.

8.2.2 Rigidesa torsional xassís preliminar

Per tal de poder tenir una referència real de la rigidesa torsional d'un xassís amb aproximadament les mateixes característiques que el que es vol dissenyar s'ha estudiat amb detall aquest paràmetre al xassís preliminar. El procés per trobar la rigidesa torsional del xassís preliminar es pot consultar el punt D.5.3 de l'Annex D.

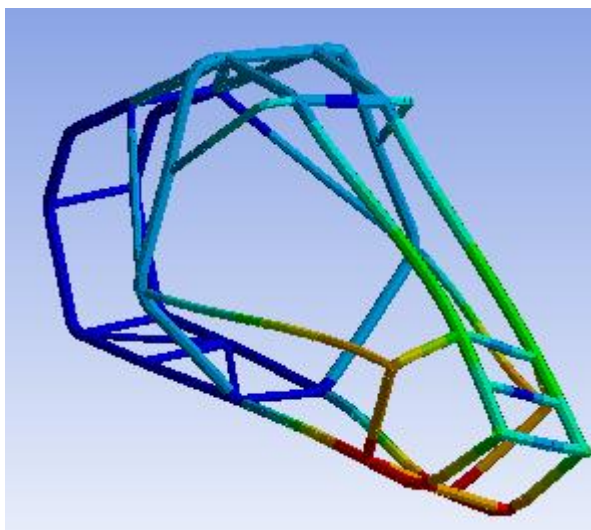


Figura 13: Resultat xassís càlcul rigidesa torsional

El resultat que s'ha obtingut és el següent:

$$Kt = \frac{M}{angle} = 1140,35 \frac{Nm}{\circ}$$

Finalment obtenim que per girar 1° el xassís s'ha d'aplicar un moment de 1.140,35 Nm.

8.3 Algorisme de disseny

Per dur a terme el xassís del vehicle es pot seguir el procés de disseny extret de "The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnson, Butterworth-Heinemann 2001" (Figura 14).

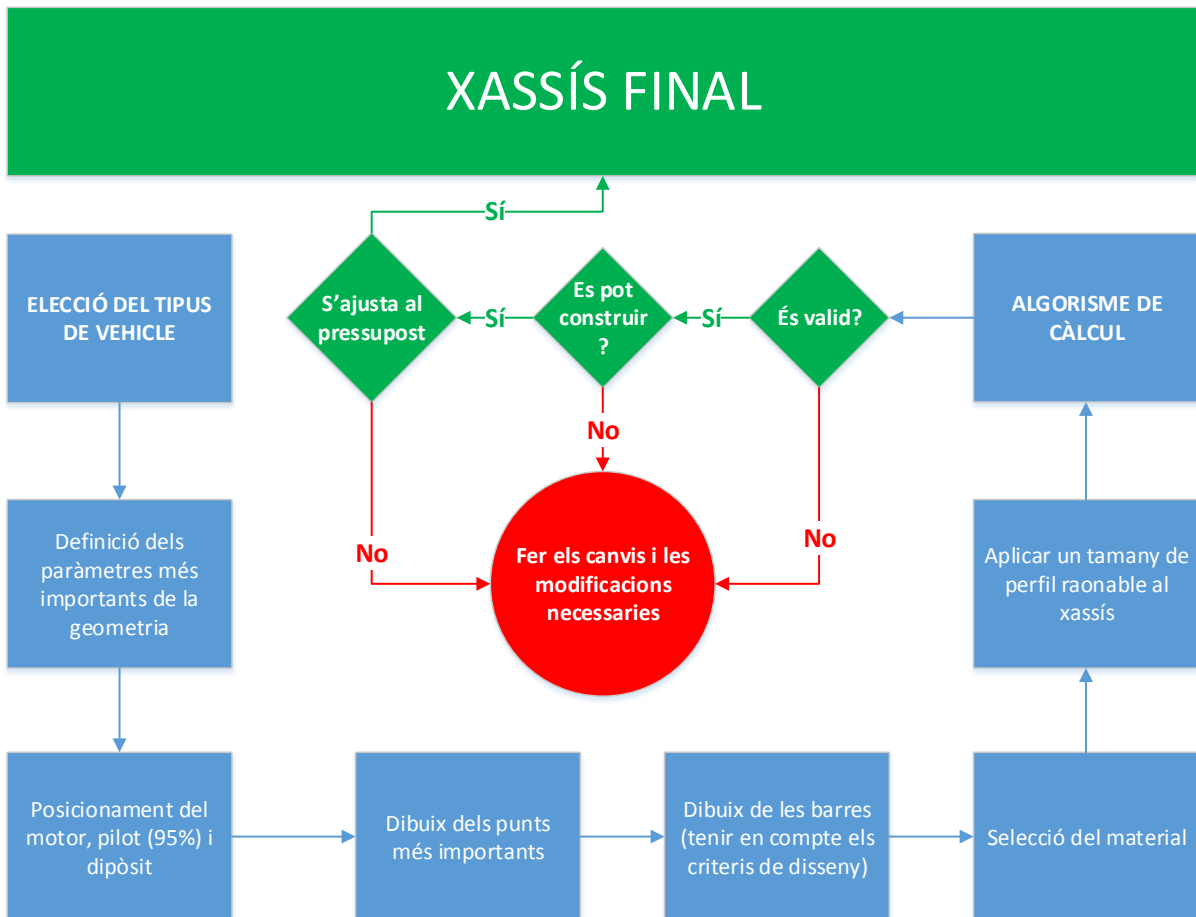


Figura 14: Algorisme de disseny (The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnson, Butterworth-Heinemann 2001)

8.4 Disseny inicial

Com que la majoria de xassís de Carcross estan composts de les mateixes barres (Figura 15), per obtenir el pre-disseny s'utilitzarà enginyeria inversa.

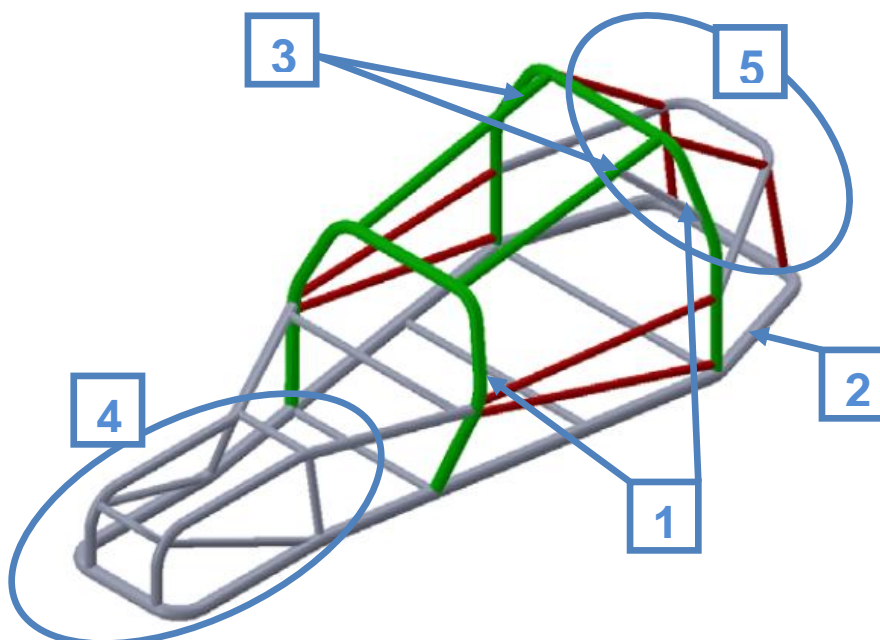


Figura 15: Xassís Carcross exemple

A continuació s'explica la composició dels xassís:

1. Estan composts per dos arcs de seguretat, un al davant del pilot i l'altre al darrera.
2. El fons del xassís és pla i paral·lel al terra.
3. Hi ha dos tirants que uneixen els dos arcs de seguretat.
4. Hi ha una estructura que protegeix les cames del pilot i on es subjecta la suspensió davantera.
5. Hi ha una estructura que envolta la zona del motor i on es subjecta la suspensió posterior.

Després del procés explicat més detalladament al punt D.4 de l'Annex D es realitza el pre-disseny del xassís tal i com mostra la Figura 16:



Figura 16: Disseny inicial xassís

A continuació es fan passos pertinents per acabar de dissenyar el xassís. A l'hora de fer els càlculs es tindran en compte les variables de disseny comentades anteriorment.

8.5 Optimització xassís

Per tal de poder arribar a la solució final s'ha d'optimitzar el disseny per poder satisfer al màxim els requeriments necessaris. Les variables de disseny que s'han escollit són el pes, el preu, la prioritat de complir amb la normativa per l'homologació, la rigidesa torsional i per acabar la posició del centre de masses. Les variables tenen diferent prioritat de decisió al disseny final.

- **El pes:** com que la normativa limita a un pes màxim de 310 Kg, és molt important poder tenir el xassís més lleuger possible.
- **El Preu:** la variable del cost és directament proporcional al pes.
- **La necessitat de complir la normativa:** és vital, ja que sense aquesta condició no serà possible l'homologació.
- **La rigidesa torsional:** es busca que el xassís sigui el més rígid possible.

- **Centre de masses:** es pretén que estigui el més a prop possible del terra per poder tenir un monoplaça més estable.

Per escollir el millor disseny final, s'han fet una sèrie d'anàlisis canviant la geometria de les barres, sempre partint del pre-disseny. S'han realitzat múltiples anàlisis, però només s'han inclòs les 7 més representatives. Al punt D.6.1 de l'Annex D es troben detallades aquestes hipòtesis.

8.5.1 Resultats

Els diferents resultats obtinguts d'aplicar les diferents hipòtesis explicades anteriorment són recollides en les taules següents:

Càrrega Vertical			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (MPa)	Compleix Material E355 +C
1	2,3253	434,83	Sí
2	1,9857	380,44	Sí
3	1,9916	380,4	Sí
4	1,8636	379,55	Sí
5	1,8636	379,57	Sí
6	1,8636	379,57	Sí
7	1,7771	362,3	Sí

Taula 5: Resultats d'aplicació càrrega vertical segons normativa

Càrrega Longitudinal Davanter			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (MPa)	Compleix Material E355 +C
1	2,6131	230,49	Sí
2	2,4459	215,74	Sí
3	2,325	214,2	Sí
4	2,4976	212,31	Sí
5	2,5536	210,79	Sí
6	2,5537	210,78	Sí
7	2,554	210,77	Sí

Taula 6: Resultats d'aplicació càrrega long. davantera segons normativa

Càrrega Longitudinal Posterior			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (MPa)	Compleix Material E355 +C
1	0,55636	215,07	Sí
2	0,55533	215,06	Sí
3	0,52093	214,72	Sí
4	0,5144	214,64	Sí
5	0,52067	214,71	Sí
6	0,52067	214,71	Sí
7	0,51998	214,7	Sí

Taula 7: Resultats d'aplicació càrrega long. posterior segons normativa

Càrrega Lateral			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (MPa)	Compleix Material E355 +C
1	10,442	330,59	Sí
2	9,2728	348,89	Sí
3	8,5964	329,67	Sí
4	6,52	239,23	Sí
5	5,4649	218,37	Sí
6	5,4454	218,23	Sí
7	4,6191	194,78	Sí

Taula 8: Resultats d'aplicació càrrega lateral segons normativa

Tal i com es pot veure, en tots els casos es compleixen els criteris d'acceptació per l'homologació de l'estructura de seguretat detallats a la normativa de l'Annex A.

A la Taula 9 es pot veure el comportament de les diferents variables com el pes, la rigidesa torsional i el centre de masses per les diferents hipòtesis. S'ha marcat de color verd el valor aconseguït que és millor en cada variable i de color groc els altres dos millors valors.

Nº hipòtesi	Pes (kg)	Rigidesa Torsional (Nm/°)	Centre de masses		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	35,4	2711,51	293,34	390,26	0,33
2	36,73	2811,91	278,11	395,84	0,55
3	37,81	3307,07	300,19	396,18	0,54
4	39,48	5416,47	292,3	391,34	0,95
5	39,71	5551,27	296,97	391,1	0,94
6	40,39	6143,33	311,68	384,5	0,95
7	41,42	8477,08	295,05	390,42	0,74

Taula 9: Resultats per cada hipòtesi de les variables de disseny

S'ha escollit finalment l'hipòtesi 7 degut a la gran rigidesa torsional que s'ha aconseguit i també per haver aconseguit un centre de gravetat força baix. Pel que fa al pes, com que majoritàriament s'han anat afegint barres o modificant les existents, ha anat pujant fins a arribar a un valor de 41,42 Kg.

Si comparem els valors del xassís dissenyat amb els del xassís preliminar s'ha obtingut que:

- Pes: El xassís preliminar té una massa de 43,30 Kg i el dissenyat finalment té 41,42 Kg. S'ha alleugerit **1,88 Kg**.
- El centre de masses: La component més important serà la Y i ha disminuït de 464,64 a 390,42 mm per tant s'ha aconseguit disminuir uns **75 mm**.
- La rigidesa torsional: Si es comparen els valors de la rigidesa s'obté que al xassís preliminar té $1140,35 \frac{Nm}{\circ}$ i el xassís dissenyat final té $8477,08 \frac{Nm}{\circ}$. Així doncs, s'ha aconseguit més d'un **600% d'augment** d'aquesta rigidesa.

Es pot assegurar que el disseny final ha satisfet totes les necessitats tan per part de la normativa com pel que fa a comportament dinàmic. Es pot veure detalladament com s'ha estudiat amb el mètode dels elements finits el xassís final al punt C.3 de l'Annex C, i també al punt D.5.4 de l'Annex D es pot veure el procés per aconseguir la rigidesa torsional.

8.6 Disseny final

Finalment i després de tot el procés explicat a l'Annex D, s'ha obtingut el disseny final del xassís (Figura 17). Per poder veure amb més detall tant les longituds dels tubs i seccions, com les dimensions, es pot consultar els plànol número 2 del document de plànols.

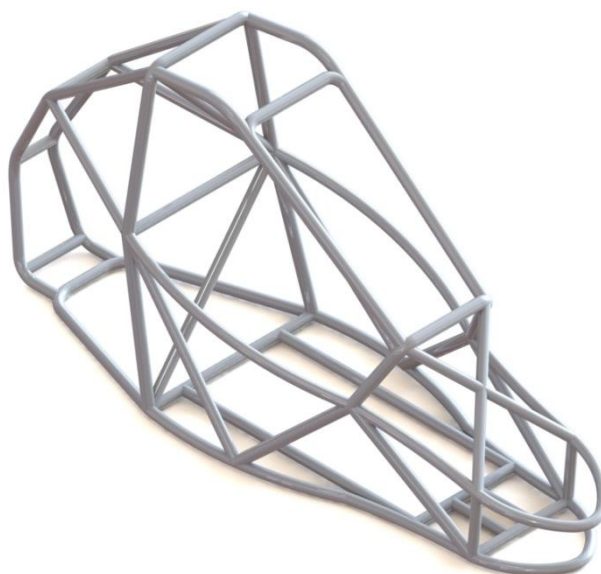


Figura 17: Disseny final del xassís

Mitjançant els eines que ens proporciona el programa *Solidworks* i havent definit les característiques del material escollit s'ha pogut calcular el pes, el centre de gravetat i els moments d'inèrcia del xassís:

- Centre de gravetat: $(x, y, z) = (295'05, 390'42, 0'74)$ Està referenciat respecte el punt central de la barra inferior de l'arc principal tal i com es mostra a la Figura 18.

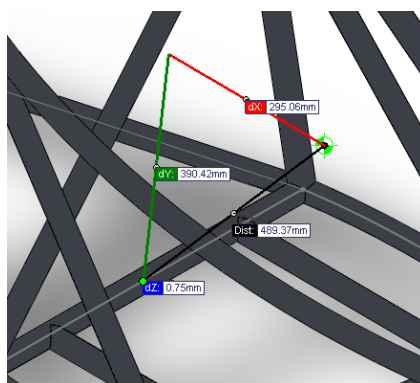


Figura 18: Distància centre de masses des de l'arc principal

– Pes: **41,42 Kg**

– Moments d'inèrcia:

$$I_x = 7,335 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_y = 16,41 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_z = 19,61 \text{ Kg/m}^2$$

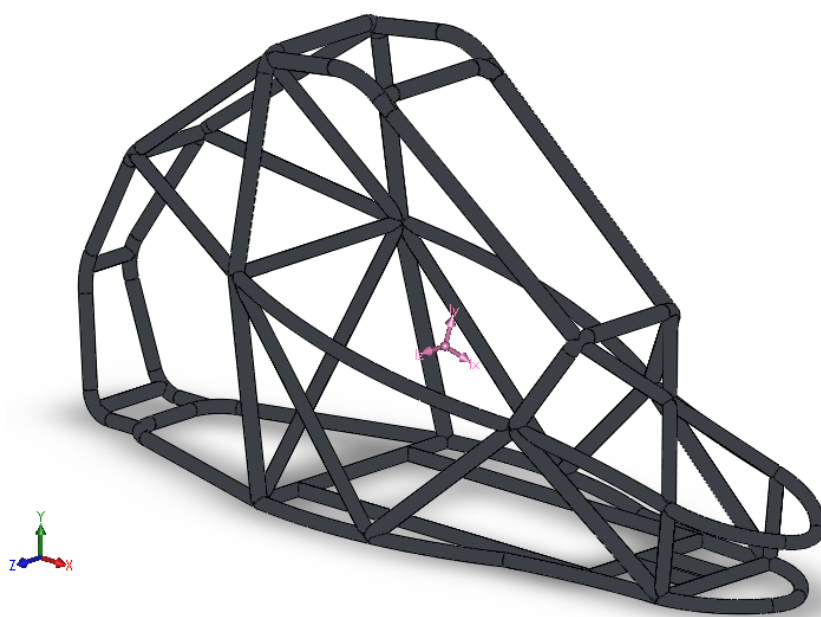


Figura 19: Direcció dels moments d'inèrcia del xassís dissenyat

9 DINÀMICA

S'han estudiat les freqüències naturals del monoplaça amb el xassís dissenyat que es compararan amb les possibles freqüències que es pot trobar un vehicle de Car Cross en una competició per poder comprovar que no entri amb ressonància. Per a poder fer aquest estudi s'ha hagut de fer un anàlisi previ del monoplaça per tal de poder obtenir totes les variables necessàries per a trobar les freqüències naturals. Una de les més importants és la constant elàstica del amortidors, que s'ha trobat fent un assaig experimental dels amortidors.

9.1 Assaig experimental amortidors

Es du a terme un assaig per cada tipus d'amortidors, un pels de la part davantera i un pels de la part posterior. L'objectiu de l'assaig al laboratori és poder extreure el valor la constant elàstica de la molla. L'estudi detallat de com s'ha realitzat aquest assaig es pot trobar al punt F.2 de l'Annex F.

El muntatge utilitzat per fer els assajos és el mostrat a la Figura 20 i al plànol número 3 del document de plànols.



Figura 20: Muntatge assaig experimental amortidor

Resultats

A la es mostren les gràfiques resultants obtingudes de cada amortidor :

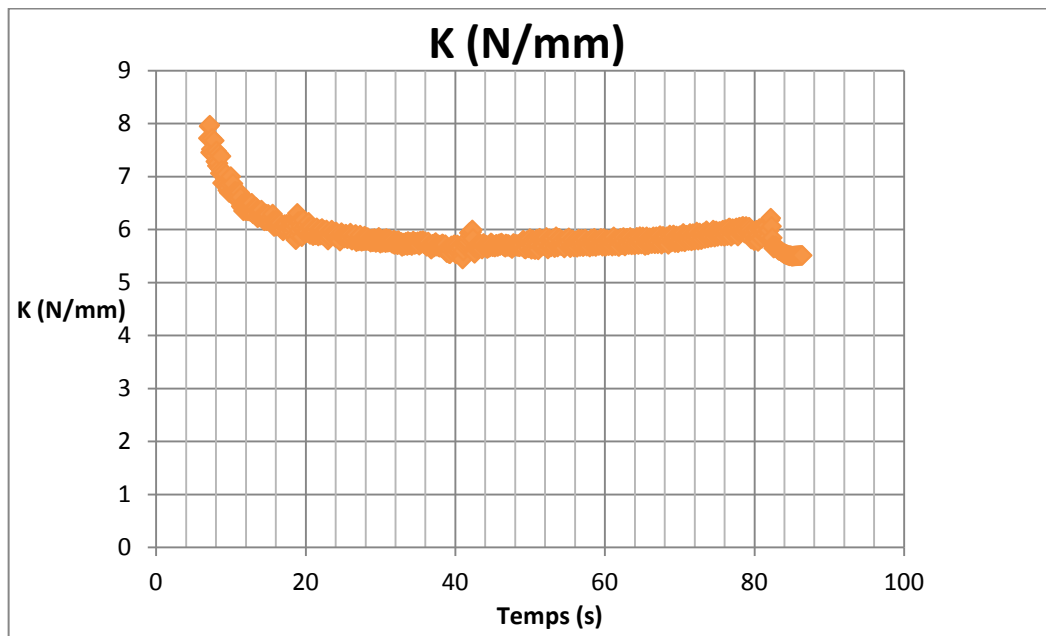


Figura 21: Gràfica obtinguda de l'assaig a l'amortidor davanter

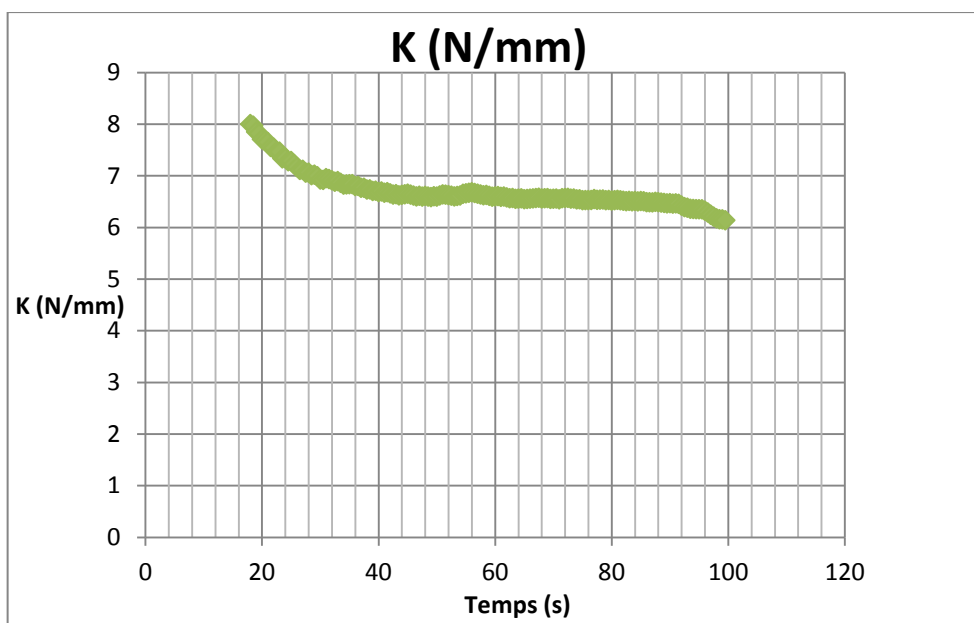


Figura 22: Gràfica obtinguda de l'assaig a l'amortidor posterior

S'han fet proves amb diferents freqüències però s'ha observat que no és necessari augmentar la freqüència a més de 10 mesures per segon (10Hz). Podem veure a la Taula 10 un resum dels resultats obtinguts.

	Amortidor davanter		Amortidor posterior		
	5 Hz	10 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz
d màx (mm)	87	85	84	85	86
F màx (N)	549	533	533	539	562
K mitja (N/mm)	5,98	5,97	7,04	6,99	7,01
K final (N/m)	5980		7020		

Taula 10: Resum assaig amortidors

Finalment, podem extreure que la constant elàstica de l'amortidor davanter és **5980 N/m** i la de l'amortidor posterior **7020 N/m**. El fet de que el valor de l'amortidor posterior sigui més gran que el davanter pot ser degut a que la massa del vehicle està més concentrada a la part posterior i es pot concloure que els resultats són coherents.

9.2 Modes de vibració

Per tal de poder acabar l'estudi de vibracions s'han de dur a terme una sèrie d'aproximacions. L'estudi es simplificarà analitzant la meitat del monoplaça, ja que aquest és simètric respecte l'eix longitudinal (Figura 23).

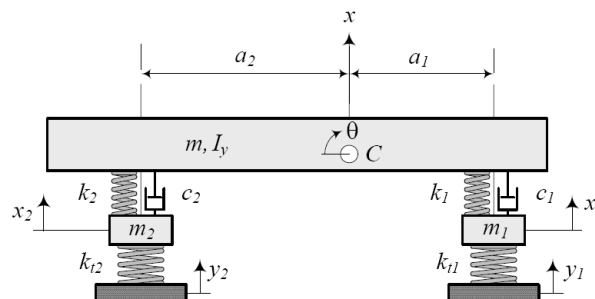


Figura 23: Model de vibració calculat

A continuació es recullen les variables que es necessiten per poder obtenir les freqüències i el seu valor (Taula 11). L'anàlisi detallat de com s'han obtingut aquests valors es mostra al punt F.3 de l'Annex F.

Variable	Valor	Significat
m	120,60 Kg	Meitat de la massa del cos del monoplaça
m_1	30,28 Kg	Massa suspesa de la roda davanter
m_2	45,42 Kg	Massa suspesa de la roda posterior
K_1	5.980 N/m	Constant elàstica davantera
K_2	7.020 N/m	Constant elàstica posterior
$k_{t1} = k_{t2}$	200.000 N/m	Constant elàstica pneumàtics
I_y	29,155 Kg/m ²	Meitat del moment d'inèrcia lateral
a_1	1,3 m	Distància del CG a l'eix davanter
a_2	0,55 m	Distància del CG a l'eix posterior

Taula 11: Paràmetres mode vibració meitat del vehicle

S'han obtingut els resultats de les freqüències naturals següents:

$$w_1 = 9,549 \frac{rad}{s} \approx \mathbf{1,52 Hz}$$

$$w_2 = 20,474 \frac{rad}{s} \approx \mathbf{3,26 Hz}$$

$$w_3 = 67,547 \frac{rad}{s} \approx \mathbf{10,75 Hz}$$

$$w_4 = 82,552 \frac{rad}{s} \approx \mathbf{13,14 Hz}$$

9.3 Freqüència en la competició

Per tal de poder analitzar si el vehicle entrarà en ressonància, s'han analitzat dos fenòmens que esdevenen una font de vibracions a la competició. El primer fenomen és la vibració que pot provenir del motor, i el segon les vibracions provinents del relleu del circuit.

9.3.1 Vibracions originades al motor

Sabent que el règim de gir del motor a màxima potència és de 11.000 rpm, es determina que durant una competició el valor del règim de gir estarà entre 7.000 i 13.000rpm. També s'han analitzat les vibracions en estat de ralenti, ja que serà el moment on el motor produeix vibracions a unes freqüències més baixes.

- Durant la competició s'han obtingut freqüències de **117 Hz** a 7.000 rpm fins a **217 Hz** a 13.000 rpm.
- En ralenti a 1.500 rpm s'han obtingut **25 Hz**.

9.3.2 Vibracions del circuit

Per a determinar les vibracions que pot ocasionar la superfície del circuit s'ha tingut en compte que en aquest existeixen ondulacions de diferents amplituds que es generen vibracions al monoplaça quan hi passa pel damunt amb una certa velocitat. Amb les hipòtesis detallades al punt F.4.2 de l'Annex F s'han obtingut resultats de la Taula 12

Distància entre ondulacions (m)	20 Km/h	100 Km/h
0,1	55,56 Hz	277,78 Hz
0,2	27,78 Hz	138,89 Hz
0,3	18,52 Hz	92,59 Hz
0,4	13,89 Hz	69,44 Hz
0,5	11,11 Hz	55,56 Hz

Taula 12: Freqüències resultants ondulacions circuit

Finalment es conclou al punt F.5 de l'Annex F que no hi ha perill de ressonància del monoplaça per les dues hipòtesis plantejades anteriorment.

10 PROCÉS DE FABRICACIÓ

Per a poder fabricar el xassís s'han de conèixer els processos que s'hauran de dur a terme com seran el tall o serrat, la preparació de les unions per la soldadura, la soldadura i finalment l'acabat superficial. El procés que s'ha de seguir és seqüencial, s'ha de treballar de manera ordenada i buscar l'optimització de tots els recursos que hi intervinguin. Els passos més important que s'hauran de seguir són els següents:

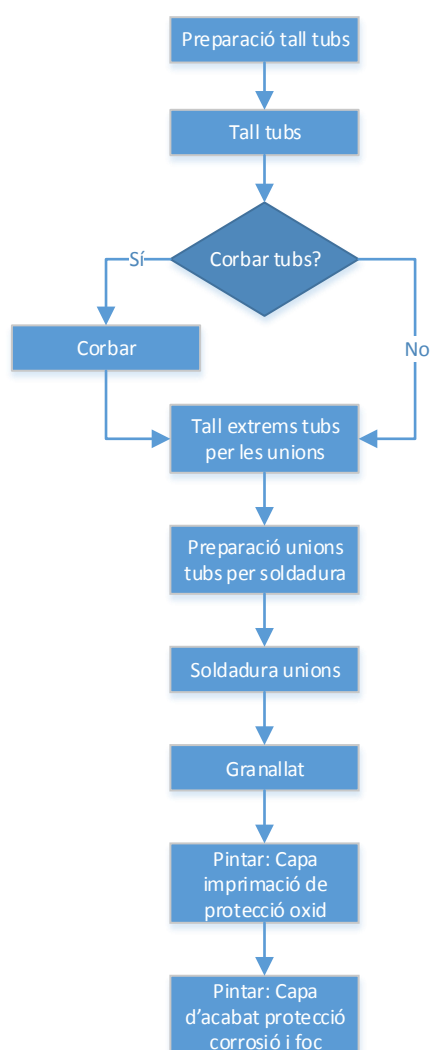


Figura 24: Seqüència de fabricació

Pel que fa al mètode de fabricació escollit per dur a terme el xassís, després de fer un estudi de les diferents possibilitats, es decideix seguir el mostrat a continuació:

10.1 Tall

Per tal de poder soldar els tubs entre sí, les unions s'han de tallar degudament, posant especial atenció a les geometries més complexes. Com més tubs s'uneixin en una mateixa unió, més complex serà el tall dels seus extrems. També s'ha de tenir en compte a l'hora de tallar les unions, quines barres són elements principals i quines són elements de reforç pel xassís, ja que sempre es tallaran les barres de reforç per adaptar-se a les principals (Figura 25).

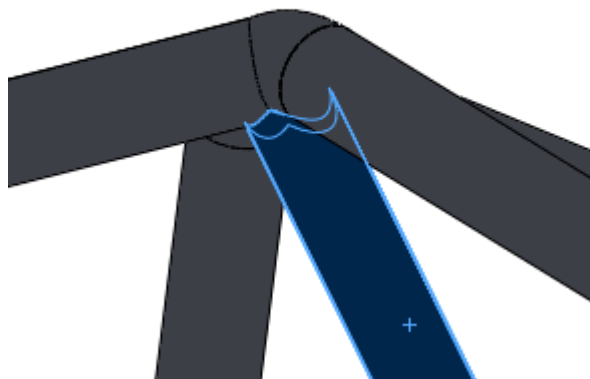


Figura 25: Unió arc principal i reforç diagonal

El tall dels extrems de les barres es durà a terme amb el mètode de tall per serrat. S'han estudiat altres mètodes per a fer el tall, com es pot veure al punt E.3.1, però finalment s'ha escollit aquest degut a que és més econòmic i no es necessita una maquinària complexa.

10.2 Corbat de tubs

Els perfils tubulars es poden corbar tant en fred com en calent. S'usarà el primer cas atès que els costos de producció són menors, per aquest motiu s'utilitzarà el corbat en fred. Uns dels mètodes més usuals per corbar tubs en fred són els mostrats a la Figura 26.

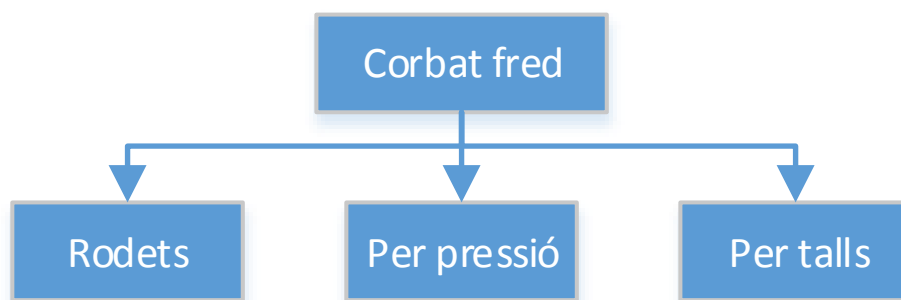


Figura 26: Mètodes de corbat en fred tubs secció circular

De tots els mètodes que s'han vist per corbat els tubs s'utilitzarà el corbat en fred mitjançant els rodets, degut a que amb aquest mètode podem aconseguir radis de corbat molt grans en funció dels diàmetre.

10.3 Soldadura

Pel que fa a la soldadura, el tipus utilitzat per soldar les unions dels perfils tubulars és la de fusió. Es pot trobar 5 tipus de tecnologies diferents dins la fusió:

1. **Autògena**
2. **Per resistència elèctrica**
3. **Per un feix d'electrons**
4. **Per plasma**
5. **Per arc metàl·lic:** És el més utilitzat per soldar unions de perfils tubulars. Podem trobar 4 tipus diferents de soldadura per arc metàl·lic.
 - Soldadura per arc amb elèctrode revestit (SMAW o soldadura STICK)
 - Soldadura per arc amb nucli de fundent (FCAW)
 - Soldadura per arc metàl·lic i gas (GMAW o soldadura MIG)
 - Soldadura amb arc de tungstè i gas (GTAW o soldadura TIG)

La soldadura utilitzada serà per fusió amb arc metàl·lic de tipus TIG, descrita àmpliament al punt E.3.3 de l'Annex E. S'utilitzarà el material d'aportació amb les mateixes propietats que el material de partida a soldar. El gas inert que s'utilitzarà serà argó i elèctrodes de tungstè.

10.4 Tractament superficial

El tractament superficial que s'aplicarà al xassís serà un lacat de polièster per tal d'augmentar la resistència a la corrosió i millorar l'aspecte visual, aquest mètode és més resistent que les pintures convencionals. La pintura que s'utilitzarà serà polièster en pols, que s'aplicarà al xassís amb pistoles electrostàtiques.

Un cop definit tots els mètodes de fabricació i material, ja queda totalment definit el xassís. A l'Annex E es pot trobar l'estudi complert dels mètodes de fabricació així com també un estudi d'altres possibles mètodes de fabricació que s'haurien pogut aplicar al nostre xassís.

11 CONTINUITAT DEL PROJECTE

Per tal de poder seguir amb el disseny del monoplaça de Carcross es podria continuar en tres vies:

Dinàmica

- Estudi complet de la dinàmica del monoplaça.

Per tal de fer l'anàlisi complet de la dinàmica del monoplaça i poder extreure'n informació del comportament es podria usar el programa "CarSimulator".

En primer lloc caldria recopilar totes les dades possible que defineixin amb exactitud el vehicle. A continuació s'entrarien aquestes al programa juntament amb informació complementaria sobre les condicions amb les que es vulgui analitzar el vehicle. Com poden ser, carreres, velocitats, girs, etc. Finalment es podrien extreure les simulacions gràfiques pertinents.

En la fase de concepció del projecte ja es començar a treballar amb aquest programa. però degut a la gran quantitat de variables necessàries es va creure que quedava fora de l'abast del projecte. A continuació es mostra una imatge obtinguda amb el programa:

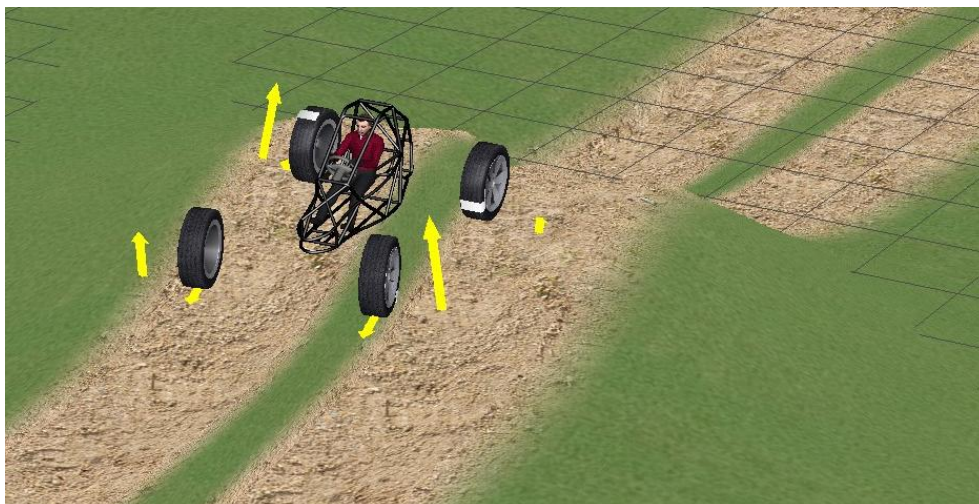


Figura 27: Proves amb el programa "CarSimulator"

- Estudi geomètric del sistema de suspensió.

Es tractaria de dissenyar la geometria que haurien de tenir les manguetes i els triangles de suspensió, així com també analitzar diferents punt d'ancoratge amb el xassís per tal de definir els angles de la roda com el de caiguda, l'avanç de les rodes, etc.

Per realitzar-ho es podria usar un programa específic per realitzar aquesta tasca com és el "Lotus Suspension Analysis (SHARK & RAVEN)" (Figura 28).

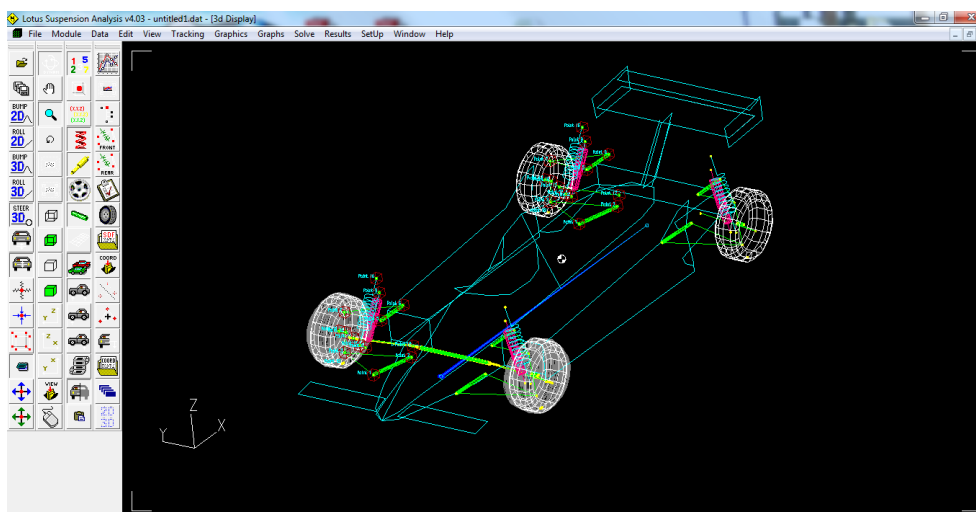


Figura 28: Programa "Lotus Suspension Analysis"

Propulsor

- Estudi de la refrigeració del motor.

El motor està refrigerat per aire i per un intercanviador de calor on el líquid refrigerador és oli. S'hauria d'avaluar si en la posició en la que es troba el motor en un Carcross, aquesta refrigeració és l'adequada. Si no ho fos caldria fer una recerca de sistemes alternatius.

Carrosseria

- Disseny de la carrosseria del monoplaça.

Es podria realitzar un disseny de la carrosseria tenint en compte la normativa que hi afecta i buscant la millor solució tant aerodinàmica com econòmicament. També s'haurien de definir els processos de fabricació i els materials emprats.

Per realitzar els càlculs aerodinàmics es podria usar per exemple el programa "ANSYS Fluent".

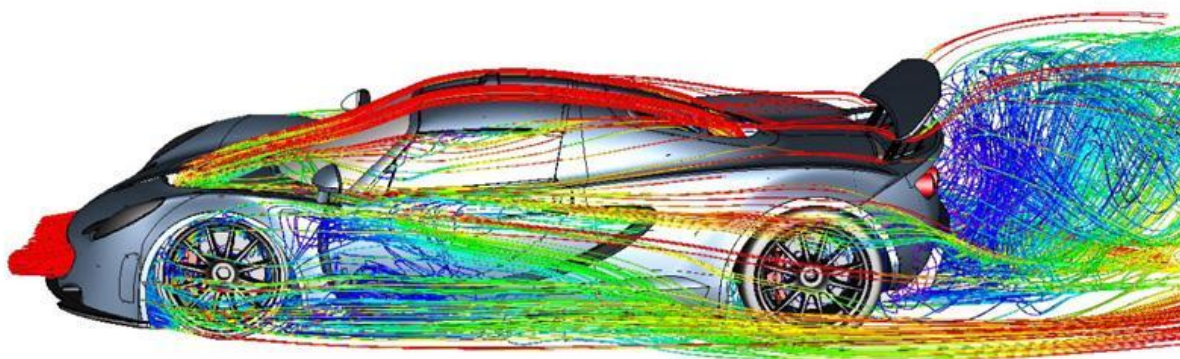


Figura 29: Programa ANSYS Fluent

12 RESUM DEL PRESSUPOST

El Pressupost d'Execució per Contracte a falta d'IVA és d'una quantitat de **DOTZE MIL CENT SETANTA-UN EUROS AMB TRENTA-QUATRE CÈNTIMS (12.171,34€)**

13 CONCLUSIONS

Per la realització d'aquest projecte ha estat imprescindible en primer lloc conèixer les diferents normatives i el funcionament de la competició per tal de prendre decisions adients i proposar millores en el disseny final del xassís. En aquesta primera part s'ha de destacar la tasca de destriar la normativa necessària a tenir en compte a l'hora de realitzar el projecte. També ha tingut gran importància l'anàlisi del monoplaça preliminar per determinar els punts a millorar en el nou disseny del xassís.

Mitjançant l'estudi del monoplaça preliminar també s'han pogut detallar els components mecànics que són vàlids per a formar part del nou monoplaça. S'ha buscat fer un disseny del xassís intentant salvaguardar el màxim possible les dades reals. S'han dut a terme estudis previs d'alguns elements com per exemple les dimensions generals del propulsor o l'ergonomia del pilot per donar un punt de partida al disseny. Aquests estudis han estat primordials a l'hora de realitzar el projecte.

Amb els resultats obtinguts a través del mètode dels elements finits s'ha aconseguit comprendre el comportament del xassís davant de diferents situacions de la competició. També s'han pogut calcular les diferents tensions i deformacions obtingudes de les hipòtesis de càrrega imposades per la normativa a l'hora d'aconseguir l'homologació.

Finalment s'ha obtingut un xassís que, comparat amb les dades extrems del xassís preliminar, ha millorat totes les variables de disseny analitzades: el pes, la posició del centre de masses i la rigidesa torsional. Aquesta última ha sigut la més decisiva en el comportament dinàmic del xassís a la competició. El fet de disposar dels amortidors del nou monoplaça, ha permès estudiar si el vehicle podria entrar en ressonància. Aquesta opció queda desestimada amb les hipòtesis que s'han plantejat.

Tot i quedar molta feina a fer abans de gaudir del monoplaça completament acabat, s'han assolit tots els objectius inicialment proposats en aquest projecte i s'ha aconseguit un molt bon punt de partida per a continuar treballant amb el disseny.

14 RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document 1: Memòria

- MEMÒRIA
- ANNEX A: NORMATIVA
- ANNEX B: LA COMPTEICIÓ I EL MONOPLAÇA
- ANNEX C: CÀLCULS ELEMENTS FINITS
- ANNEX D: PROCÉS DE DISSENY
- ANNEX E: MATERIALS I PROCÉS DE FABRICACIÓ
- ANNEX F: DINÀMICA DEL MONOPLAÇA

Document 2: Plànols

Document 3: Plec de condicions

Document 4: Estat d'amidaments

Document 5: Pressupost

15 BIBLIOGRAFIA

- [1] AEN/CTN 36 - SIDERURGIA, UNE-EN 10305-1:2011, Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío. 13/07/2011.
- [2] ANTONIO A., Diseño de chasis para vehículo FSAE. Universidad Carlos III de Madrid. 2012.
- [3] ALONSO, J. Técnicas del automóvil. Chasis. 6a edición. Madrid. 2005.
- [4] DUTTA, D., WARDENIER, J., YEOMANS, N., SAKE, K., BUCAK, O., PACKER, J. Guía de diseño para la fabricación, ensamble y montaje de estructuras de perfil tubulares. Colonia. 1998.
- [5] REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOBILISMO, Reglamento Técnico de vehículos CarCross 2015, Departamento Técnico R.F.E. de A., 12/12/2014, (<http://www.rfeda.es/tecnica/reglamentos.asp>)
- [6] REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOBILISMO, Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A., Departamento Técnico, 20/01/2015, (<http://www.rfeda.es/tecnica/homologaciones.asp>)
- [7] REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOBILISMO, Normativa de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A., Departamento Técnico, 20/01/2015, (<http://www.rfeda.es/tecnica/homologaciones.asp>)
- [8] FEDERATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE, Technical List n°12 - Seats homologated on the basis of the FIA Standard 8855-1999. FIA Technical Department. published 19/05/2015. (www.fia.com/homologations)
- [9] REIMPELL, J., STOLL, H., BETZLER, J. The Automotive Chassis: Engineering Principles. Elsevier editorial. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2001
- [10] REZA N. JAZAR, Vehicle Dynamics. Theory and Application, Springer, Dept. of Mechanical Engineering, Riverdale, NY. 2008.

16 GLOSSARI

- **ADN:** Autoritat Esportiva Nacional.
- **R.F.E. d'A.:** Reial Federació Espanyola d'Automobilisme.
- **Arc frontal:** Estructura tubular continua de seguretat per la part superior del pilot.
- **Arc principal:** Estructura tubular continua de seguretat per la part davanter del pilot.
- **Cartela:** Element de reforç per un angle o unió d'una estructura de seguretat fet de xapa doblegada en forma de U d'espessor no inferior a 1 mm.
- **Cockpit:** El cockpit és la cabina del pilot i on hi ha tots els controls per a poder pilotar l'aparell.
- **Divisió:** Són els diferents grups de cotxes amb les mateixes característiques que competeixen dins d'una cursa d'Autocross.
- **FEM:** Mètode dels elements finits.
- **FIA:** Federació Internacional d'Automobilisme.
- **HANS:** és un collar dissenyat per a reduir considerablement el risc de lesions al cap i coll dels pilots d'automobilisme i motociclisme provocades per la enorme desacceleració que pateixen al xocar bruscament.
- **Manguetes:** Element mecànic d'unió entre la caixa de la roda i es trapezis de suspensió.
- **Mànigues:** Es tracta de curses de màxim 10 voltes on competeixen un grup de pilots de la mateixa divisió on la finalitat es la de classificar-se per la màniga final.
- **Palier:** són els eixos a través dels quals es transmet el moviment des del diferencial a les rodes motrius.

- **Seient baquet:** Un baquet és un seient d'una plaça utilitzat en vehicles de competició. La seva funció és la de protegir l'ocupant i juntament amb els cinturons, subjectar-lo fermament al seient per tal d'impedir que es mogui degut a les força centrífuga de les corbes.
- **Sobreviratge:** és el fenomen del lliscament de l'eix posterior que pot passar en un automòbil al tractar de fer un gir o quan ja s'està fent. Es diu quan les rodes posteriors no segueixen la mateixa trajectòria que les rodes davanteres, sinó que llisquen cap a l'exterior de la corba.
- **Subviratge:** és un fenomen que es produeix durant la conducció d'un vehicle que provoca que el gir real del mateix sigui menor al que teòricament haurien de prendre les rodes davanteres, allargant el gir de la corba.

ANNEX A. NORMATIVA

A.1 Introducció

Com ja s'ha anomenat anteriorment, la finalitat és poder competir en curses d'Autocross del campionat d'Espanya d'Automobilisme. Per a poder-ho fer, prèviament s'ha d'homologar el vehicle seguint la reglamentació de la prova a la qual es vulgui competir.

Els monoplaços per competir en Autocross, sigui quin sigui el país, han de seguir la reglamentació de l'ADN (Autoridad Deportiva Nacional) d'acord amb els reglaments que elabora la FIA (Federación Internacional de Automovilismo). La FIA és l'encarregada d'escollir l'ADN a cada país; que serà la que representarà i vetllarà per que les seves reglamentacions es duguin a terme satisfactòriament. A Espanya, l'ADN és la R.F.E. de A. (Real Federación Española de Automovilismo). Per tant, per homologar el monoplaça es consulta la R.F.E. de A.

Si es consulta el reglament Tècnic 2015 de la R.F.E. de A. es podrà veure el següent (Taula 13):

VEHÍCULOS ADMITIDOS EN EL CAMPEONATO DE ESPAÑA DE AUTOCROSS 2015				
DIVISIÓN	GRUPO	REGLAMENTO	PESO MÍN (kg)	BRIDA MÁX (mm)
I	World Rally Car (WRC)	Art. 255/255A - Anexo J + RFEA	1200	Según año
	Kit Car	Art. 255 - Anexo J + RFEA		-
	A	Art. 255 - Anexo J + RFEA	Según art. 255-4.1 - Anexo J	-
	N	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según Ficha Homologación	- / 33
	Prototipo E1 Nacional	RFEA	Según reglamento específico	-
	Prototipo E2 Nacional	RFEA	Según reglamento específico	-
II	Off Road Modificados	Art. 254 - Anexo J + RFEA	Según cilindrada	-
	Off Road Series	RFEA	Según cilindrada	-
III	Super Buggy	Art. 279A - Anexo J	Según art. 279A-2.6 - Anexo J	-
IV	Car Cross	RFEA	310 (vacío)	-
	Car Cross Junior	RFEA	360 (incluido piloto y su equipamiento)	42
Grupo FIA				
Grupo RFEA				

Taula 13: Fragment del Reglament Tècnic 2015

Es pot veure que la divisió IV que és la CarCross s'ha de seguir únicament el reglament de la R.F.E. de A., també es pot veure que el pes mínim en buit, sense pilot i líquids (líquid polvoritzador i combustible) és de 310 kg.

Es consulta el reglament tècnic de la divisió IV, en aquest document queden definides totes les normes que s'han de seguir per tal de poder homologar el monoplaça. El reglament tècnic és el següent:

A.2 Reglament Tècnic Vehicles Carcross

A.2.1 Document complet Reglament Tècnic

Definició

Els vehicles Car Cross, són monoplaques de motor posterior construïts segons el Reglament Tècnic mostrat a continuació. Estan prohibits els 4 RM i els motors sobrealimentats. El lloc de conducció estarà equipat amb els mateixos comandaments habituals d'un automòbil.

Estan prohibides les caixes de canvi automàtica i semiautomàtica així com els comandaments d'aquests tipus de caixa.

1) MOTOR

Aquest reglament està redactat en terminis restrictius i per tant, tot el que no estigui expressament permès, serà prohibit.

Per la temporada actual, la versió de motor més moderna admesa serà la tingui, com a mínim, dos anys d'antiguitat. El concursat haurà d'estar en possessió del manual de taller original del fabricant del motor.

1.1 Modificacions autoritzades

El motor haurà de ser estrictament de sèrie (d'origen) amb una cilindrada màxima de 600cc. No esta permesa cap modificació i estarà subjecte a las condicions següents:

Tota mecanització, que impliqui: alleugeriment, llimat, polit, equilibrat, o qualsevol tipus de tractament físic, químic o mecànic sobre qualsevol element del motor està prohibit. També està prohibida l'addició o eliminació de qualsevol peça constructiva del motor i/o caixa de canvis.

1.2 l'espessor de la junta de culata es lliure, havent de mantenir l'altura de culata mínima de sèrie.

1.3. Els conductors d'admissió en la culata, així com els cossos d'admissió, ha de mantenir les seves mides originals, havent de permetre a les papallones d'accionament mecànic o elèctric, en la seva posició original i funcionament.

1.4. L' injecció de combustible ha de ser estrictament d'origen, havent de mantenir la marca i tipus d'injectors.

1.5. Els arbres de llebes han de ser els originals, s'ha de mantenir en estricta sèrie tot el perfil de lleba. El seu posicionament respecte al P.M.S. del motor és lliure. Per tant, ho serà el posicionament de les politges en els arbres de llebes, -que deuen ser de sèrie- tot i que sense mecanitzar el seu sistema d'arrossegament original.

1.6 Sistema electrònic del control del motor (E.C.U.).

Es pot optar pel següent:

A) Substituir la original per una altra centraleta programable amb aspecte exterior idèntica a la original. En aquest cas, No es permet el muntatge de les centraletes anomenades "intermèdies".

B) Mantenir la original. En aquest cas, es poden muntar centraletes intermèdies.

En qualsevol dels dos casos, està prohibit el control de tracció ja sigui per mapes específics o per canals matemàtics.

1.7 Tots els perifèrics del motor (sensors, alternador, motor d'arrancada, caixa d'admissió, trompetes, etc) han de ser estrictament de sèrie i no es permet cap modificació, tots han de funcionar correctament i no es permès la seva anulació o desactivació. Únicament es poden eliminar els cables, sensors i/o actuadors que no enviïn informació a la centraleta (a menys que siguin els sistemes d'antipol·lució i papallones d'escapament) i que tinguin funcions no utilitzades de la instal·lació elèctrica original (llums, intermitents, clàxon, pinya de commutadors, sensor de pota de cable i similars), es pot modificar el cablejat elèctric pel que fa a la longitud, però NO en la seva secció i/o funcions. Es pot substituir el commutador d'arrencada original per un altre i la clau de contacte per el talla corrents.

1.8 La marca i grau tèrmic de les bugies es lliure, però la longitud de la seva part roscada a la culata, ha de mantenir-se d'origen.

1.9 Es permet la substitució dels discs de fricció d'embragatge, mantenint el seu número. Les molles d'embragatge han de ser estrictament les originals. Es permet suprimir els arcs del diafragma.

1.10 L'escapament és lliure, tot i que estan prohibits els col·lectors d'escapament de titani. Han de complir:

- La sortida de l'escapament serà per la part posterior del vehicle i estarà situada a un màxim de 80 cm i un mínim de 10 cm respecte el terra. S'ha d'evitar que els gasos d'escapament puguin perjudicar al pilot del vehicle situat al darrera. Cap element de l'escapament sobrepassarà el perímetre de l'estructura del xassís, ni de la carrosseria vist des de dalt.

1.11 Quan es deixa anar el pedal de l'accelerador, el sistema de control de les papallones d'admissió s'han de poder tancar "totalment" en qualsevol moment.

1.12 S'autoritza el muntatge d'un radiador d'oli quan el motor no el tingui d'origen o substituir-lo per un altre en cas de tenir-lo, sempre que NO es modifiqui el motor. En cas

d'instal·lar-lo, només es permetrà adaptar els ràcords o conductes d'entrada i sortida de l'oli. Haurà de respectar tota la normativa sobre radiadors i conduccions del present reglament.

1.13. El vehicle haurà d'estar equipat amb una bateria sòlidament fixada i protegida. Si es situa en l'interior de l'habitacle ha d'estar recoberta per una protecció aïllant i estanca.

1.14. Els sistemes de tall d'encesa (Cut-off i/o similars) automàtica per canviar de marxa han d'estar autoritzats.

1.15. Es permet la instal·lació d'una bomba de gasolina elèctrica que substitueixi a la original del vehicle sempre que respecti tota la normativa que li sigui d'aplicació del present reglament. El regulador de pressió de gasolina original pot ser substituït per un altre regulat manualment.

1.16. Es permet la polvorització exterior d'aigua sobre els radiadors, sempre i quan la polvorització esmentada sigui utilitzada per refrigerar els radiadors. El dispositiu no ha d'utilitzar-se per fora del perímetre del xassís o carrosseria ni superar els dos litres de capacitat. Ha de complir l'article 10.1 del present reglament.

1.17. Els motors de carburadors hauran de tenir en compte:

- Que s'ha de mantenir el sistema de carburació d'origen del motor, essent lliures només únicament els reus reglatges de gasolina (xicles, agulles i molles). La caixa de l'aire d'admissió y les seves obertures d'aire son lliures.
- El sistema d'encesa, centraleta, bugies, cablejat, etc son lliures.

1.18. Combustible

El combustible utilitzat ha de ser conforme amb l'Art. 252-9 de l'annex J al C.D.I.

2) TRANSMISSIÓ

2.1. La caixa de canvi i l'embragatge, seran els d'origen del motor sense cap modificació. Només es permet l'accionament de les marxes amb una palanca manual amb esquema seqüencial. Es permet canviar el sistema d'accionament de l'embragatge mecànic per un hidràulic o al revés.

2.2. La relació final (pinyó-corona) és lliure. Es recomana muntar un protector de cadena eficaç.

2.3. Es prohibeix l'ús de diferencials així com control de tracció.

3) XASSÍS I CARROSSERIA

3.1. Tots els vehicles construïts a partir del 01/01/2010, hauran de tenir la seva estructura dissenyada per permetre l'ancoratge dels cinturons arnés d'acord a les especificacions necessàries per l'ús del sistema de retenció per el cap (HANS) per part del pilot, així com per ser equipats amb seients homologats FIA.

A més han de tenir una homologació de la R.F.E. de A., basada en el Reglament d'Homologacions d'Estructures de Seguretat de la R.F.E. de A.

El concursant haurà d'estar en possessió de la documentació necessària que acrediti la homologació per part de la R.F.E. de A. del seu vehicle.

3.2. Las dimensions màximes dels vehicles, inclosa la carrosseria, seran les següents:

- Longitud: 2.600mm. Sense comptar las faldilles.
- Amplada: 1.600mm. Sense comptar les faldilles.
- Altura: 1.400mm. Sense comptar l'altura del número.

3.3. El xassís del vehicle estarà construït per una estructura tubular que aculli els elements mecànics i proporcioni al pilot la protecció necessària en cas de bolcada o accident. Aquest xassís ha de ser homologat pel Dep. Tècnic de la R.F.E.d'A. segons el Reglament d'Homologació específic.

3.4. La carrosseria ha de ser rígida, de material dur i opac, presentar un acabat irreprotxable i no tenir caràcter provisional, havent d'estar firmament subjectat al xassís mitjançant un mínim de 4 ancoratges, dos a la part davantera i dos a la posterior situats en llocs de difícil contacte amb la terra, protegits de possibles cops amb altres vehicles.

No podrà presentar cap angle viu, cantonades tallants o parts punxegudes. Els angles i cantonades han de ser arrodonits.

La carrosseria ha de protegir de les projeccions de pedres i altres objectes, tant la part frontal com la part lateral del vehicle.

L'altura d'aquesta carrosseria serà, com a mínim, de 420 mm mesurats des del pla a on s'encorata el seient del pilot en el xassís fins la part superior.

Vist el vehicle des de dalt tots els elements mecànics necessaris per la propulsió (motor, transmissió) han d'estar coberts per la carrosseria.

Els panells utilitzats no podran tenir un espessor superior a 10 mm.

És obligatòria la instal·lació d'un sostre rígid i metàl·lic sobre el pilot. Aquesta estructura s'aconsella que estigui formada mitjançant l'addició d'una xapa d'acer de 1.5 mm soldada a l'esmentada estructura de seguretat per un mínim de 20 soldadures d'una longitud de 20 mm cada una. Es prohibeix foradar els tubs de l'estructura de seguretat. La carrosseria podrà acabar també en la part superior.

3.5. Els radiadors d'aigua NO podran sobresortir del perímetre del xassís o de la carrosseria i estaran situats per darrera de l'habitacle del pilot, sense que puguin estar en contacte amb ell. Els situats fora de l'habitacle del pilot no podran sobrepassar 450 mm de l'eix longitudinal del vehicle i en tot cas del perímetre del xassís.

4) PROTECCIÓ DEL PILOT CONTRA INCENDIS I CREMADES

4.1. Ha de col·locar-se una mampara vertical solidaria al terra del vehicle i als muntants de l'arc central que s'estengui a tota l'amplada dels esmentats muntants i la seva aresta superior estarà, com a mínim, per damunt de les espatlles del pilot i en cap cas la seva altra serà menor de 50 cm des del terra del vehicle.

4.2. Es obligatori la instal·lació de deflectors, panells o mampares que protegeixin eficaçment al pilot de cremades produïdes per qualsevol element mecànic (radiadors, conduccions, taps de farcit, basos d'expansió , etc) o per qualsevol fluid del motor.

4.3. Es obligatori el muntatge de llums posteriors antipols segons l'Art. 2.12.3 del Reglament Tècnic general, situades a una altura mínima de 700 mm respecte al terra.

5) PROTECCIONS LATERALS

Estan formades per una estructura en tub d'acer amb unes dimensions mínimes de 30 mm x 2 mm ancorades al xassís amb cargols mínim de 8 mm d'espessor i un mínim de 3 punts d'ancoratge, situats a ambdós costats del vehicle, a la altura de l'eix de les rodes, i ocupant, al menys, el 60% de la batalla. Aquestes estructures s'estendran cap a l'exterior, com a mínim, fins la línia imaginària que uneix les superfícies externes de les rodes en un mateix costat.

6) PARABRISSES I OBERTURES LATERALS

6.1. El parabrisse format per vidre laminat o policarbonat d'un espessor mínim de 5 mm podrà ser substituït per una xarxa metàl·lica unida al vehicle de manera segura i fixa, que recobreixi tota la obertura. El pas de la malla estarà entre 10 mm x 10 mm i 25 mm x 25 mm, essent el diàmetre mínim del fil amb els que es va teixir la xarxa d'1 mm. La malla en tot el seu perímetre haurà d'estar soldada amb un fil amb un diàmetre mínim de 5 mm.

6.2. Les obertures laterals estaran cobertes per una xarxa metàl·lica, fixada de forma segura al vehicle, hauran de tenir un tancament de sivella o semblant. Les xarxes metàl·liques tindran les mateixes característiques que les utilitzades per el parabrisa i a més hauran de ser suficientment segures segons el criteri del Delegat Tècnic del Campionat d'Espanya d'Autocross.

7) PES

En cap moment de la prova el pes mínim del vehicle podrà ser inferior a **310 kg** (amb una tolerància de -1%) sense el pilot, sense combustible, sense aigua en el polvoritzador i en ordre de marxa. L'ús de lastra està prohibit.

8) SUSPENSIONS

8.1. Els eixos estaran suspesos, no estan permès el muntatge de topalls rígids entre els eixos ni a qualsevol part del xassís. Es permet el muntatge de barres estabilitzadores.

8.2. El número i tipus de l'amortidor i dels ressorts és lliure, a excepció del seu reglatge que queda limitat a 3 vies. Es prohibeix inter connectar hidràulicament els amortidors entre ells.

9) DIRECCIÓ

9.1. El sistema de direcció és lliure, actuant únicament sobre les rodes davanteres. Els sistemes per cadenes, cables o hidràulics estan prohibits.

9.2. És obligatori usar un sistema d'extracció del volant del tipus SPA.

10) DIPÒSIT DE COMBUSTIBLE, OLI, AIGUA DE REFRIGERACIÓ

10.1. Tots els dipòsits han d'estar situats darrera del pilot i aïllats del compartiment del conductor mitjançant panells, de forma que, en el cas de fuga o ruptura del dipòsit, no pugui passar líquid a l'esmentat compartiment. Això s'aplica igualment a tots els dipòsits de combustible, amb relació al compartiment del motor i al sistema d'escapament. La boca d'emplenat de combustible ha de ser estanca i no sobresortir de la carrosseria. El dipòsit de l'aigua de refrigeració ha de tenir un tap equipat amb una vàlvula de sobrepressió.

10.2. El dipòsit de combustible ha de ser metàl·lic i ha d'estar situat darrera del seient. Ha d'estar muntat en una situació suficientment protegida i fermament ancorat al vehicle. No pot estar al compartiment del pilot, i ha d'estar separat d'ell per un panell anti-foc. El dipòsit de

combustible ha d'estar instal·lat, com a mínim a 30 cm de la culata y del sistema d'escapament, a menys d'estar separat d'ells per un panell estanc i ignífug.

10.3. Las conduccions de gasolina han d'estar degudament protegides contra el foc.

10.4. La capacitat màxima del dipòsit de combustible és de 10 litres.

11) RODES I PNEUMÀTICS

11.1. El diàmetre màxim de la llanta és de 10" i al seva amplada màxima és de 8".

11.2. S'autoritzen els pneumàtics de tacs específicament fabricats per aquests vehicles.

11.3. Es permet la instal·lació en les rodes posteriors de tapaboques del mateix material que els faldons, fixats per la part interior a la llanta de forma ferma i segura mitjançant cargols.

11.4. Es obligatòria la instal·lació de faldilles de 2 o 3 mm d'espessor, en la posició transversal i de una altura màxima respecte el terra de 50 mm quan el vehicle es troba parat, sense ningú a dins. S'han d'instal·lar darrera de totes les rodes i estar compostes d'un panell de Polietilè d'una amplada màxima igual a l'amplada de la roda completa més de 50 mm.

12) SEIENT

Tots els vehicles hauran de muntar un seient de competició homologat FIA d'acord a la norma establerta en el Art. 253-16 de l'annex J del CDI.

13) CASCS

Es obligatori l'ús d'un casc i un sistema de retenció frontal del cap en les següents condicions:

Casc:

Ha de ser conforme a l'Annex L del CDI (Capítol III. Equipament dels pilots).

A més dels casc de la Llista Técnica nº 41, es podrà usar un casc de la següent llista al que s'han d'instal·lar dos pins per l'ús del sistema de retenció frontal de la cap obligatori:

Cascs compatibles amb el sistema de retenció frontal del cap segons la norma Snell M 2005 y Snell 2010

NOM DEL MODEL	FABRICANT	HOMOLOGACIÓ
Nitro	Simpson	Snell M 2005
GS3 MX	Simpson	Snell M 2005
Motor 7R	Bell	Snell M 2005
SC-X	Bell	Snell M 2005
V1	Fox	Snell M 2005
V2	Fox	Snell M 2005
V3	Fox	Snell M 2005
MOTO8	Bell	Snell M 2005
MX1	Bell	Snell M 2005
SPXN	HJC	Snell M 2005
CLX6	HJC	Snell M 2005
MX2	Bell	Snell M 2005

Taula 14: Cascs compatibles amb el sistema de retenció frontal

Sistema de retenció frontal del cap

Han de ser conformes a l'Annex L del CDI (Capítol III. Equipament dels pilots).

Per la instal·lació dels pins del sistema de retenció frontal del cap dels cascs permesos en la llista anterior, la R.F.E.d'A ha arribat a un acord amb l'Empresa Stand 21, que serà l'única autoritzada per instal·lar-los.

Els interessats hauran de posar-se en contacte amb el Departament Tècnic de la R.F.E.d'A que donarà les instruccions al respecte.

A.2.2 Resum Reglament Tècnic

Com s'ha pogut observar en el reglament, hi apareixen descrits tots els aspectes que s'han de verificar per tal de poder competir en el campionat d'Espanya d'Autocross. El reglament tècnic moltes vegades fa referència a algun annex del CDI (Código Deportivo Internacional). Aquest codi està redactat per la FIA i l'ADN de cada país ha de vetllar perquè els concursants ho compleixin. La majoria d'annexes anomenats anteriorment en algun punt del reglament, es podran trobar a la pàgina web de la Real Federació Espanyola d'Automobilisme o directament a la pàgina web de la FIA. Pel projecte ens centrarem en l'article 3 que és el de xassís i carrosseria, però per tal de poder validar els components mecànics aprofitats del monoplaça inicial, farem referència a altres articles.

Article 1 - Motor:

Els propulsors han de ser de combustió i amb una cilindrada màxima de 600cc. Majoritàriament el propulsor ha de ser d'origen amb modificacions puntuals i son permesos els motors de carburació. El motor Suzuki 600cc compleix tota la normativa pel que fa l'article 1.

Article 2 - Transmissió:

Es prohibeix qualsevol tipus de diferencial.

Article 3 - Xassís i carrosseria :

L'article 3 indica que l'estructura ha de ser dissenyada per a poder-hi permetre l'ancoratge dels cinturons d'acord amb el sistema de retenció del cap (HANS). L'estructura de seguretat haurà de tenir l'homologació per part de la R.F.E. de A. seguint el *Reglament d'Estructures de Seguretat de la R.F.E. de A.* que s'analitzarà amb detall més endavant.

L'article 3 també defineix les dimensions màximes que ha de tenir el vehicle, incloent la carrosseria que són:

- Longitud: 2.600mm. Sense comptar las faldilles.
- Amplada: 1.600mm. Sense comptar les faldilles.
- Altura: 1.400mm. Sense comptar l'altura del número.

Pel que fa la construcció, indica que el xassís serà tubular i homologat pel Departament Tècnic de la R.F.E. d'A. segons el *Reglament d'Estructures de Seguretat de la R.F.E. de A.*

A l'article 3 també apareixen normatives de la carrosseria com poden ser:

- És obligatori un sostre rígid i metàl·lic sobre el pilot.
- Es prohibeix trepanar el xassís per algun dels seus tubs per no debilitar l'estructura.
- Tots els elements mecànics, vist des de la part superior han de quedar coberts per la carrosseria.
- La carrosseria ha de ser d'un material rígid i amb un mínim de 4 punts de subjecció amb el xassís.

Article 4 - Protecció contra incendis i cremades :

El més important és que s'ha de protegir el pilot de qualsevol font de calor amb la col·locació de panells a l'arc principal i a la part del terra del vehicle.

Article 5 - Proteccions laterals :

Hi ha d'haver unes estructures laterals de tub d'acer de com a mínim 3 punts de subjecció amb el xassís i amb una geometria mínima tal i com es mostra en aquesta imatge:



Figura 30: Detall estructures laterals

Article 6 - Parabrises i obertures laterals :

S'indica que les obertures han de ser tancades amb una xarxa metàl·lica d'una geometria concreta.

Article 7 - Pes :

Defineixen el pes mínim que ha de fer el monoplaça de **310 kg** sense pilot, ni combustible, ni aigua en el polvoritzador (amb una tolerància de -1%; per tant 306,9 kg) . Aquesta informació serà molt útil a l'hora de dissenyar el monoplaça buscant sempre el mínim pes possible dins la normativa.

Article 8 - Suspensions :

Es permet qualsevol número i tipus d'amortidor amb l'excepció del reglatge que queda limitat a 3 vies. És possible l'ús de barra estabilitzadora.

Article 9 - Direcció :

És obligatori un sistema d'extracció del volant.

Article 10 - Dipòsit de combustible, oli i aigua de refrigeració:

Tots els dipòsits han d'estar situats darrere del pilot aïllats de l'habitacle. El dipòsit de combustible ha de ser metàl·lic amb una capacitat màxima de 10 litres.

Article 11 - Rodes i pneumàtics :

El diàmetre màxim de la llanta ha de ser de 10" i amb una amplada màxima de 8". També és obligatori instal·lar unes "faldilles" per protegir als altres participants de possibles llançaments de partícules tal i com es mostra en aquesta fotografia:



Figura 31: "Faldilles" d'un Car Cross

Article 12 - Seient :

El seient ha d'estar homologat per la FIA segons la norma establerta a l'Art. 253-16 de l'annex J del CDI.

Article 13 - Cascs :

El pilot ha de dur un casc homologat per la FIA segons la norma corresponent. Aquesta restricció no ens condiciona el disseny.

A.3 Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat davant la R.F.E. d'A.

Una vegada analitzat amb més detall el reglament tècnic s'ha de passar a estudiar amb profunditat el *Reglament d'homologació d'Estructures de Seguretat de la R.F.E. de A.* que és el que limitarà el disseny de l'estructura del xassís i que s'haurà de seguir si es vol poder arribar a homologar el monoplaça per a la competició.



El reglament d'homologació és molt extens i només s'han anomenat en aquest annex les parts que fan referència a la Divisió IV, CarCross, a més de les parts comunes a totes les altres divisions com poden ser el material, condicions de contorn o criteris d'acceptació.

A.3.1 Document Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat

1. General

El present reglament està destinat a la homologació d'estructures de seguretat davant la Real Federació Espanyola d'Automobilisme (R.F.E. de A.) exclusivament per vehicles admesos en grups nacionals seguint el següent quadre:

Grupo	Especialidades	Tipo de Estructura/Homologación admitida			Observaciones
		Según Anexo J (Artesanal)	Homologada ADN	Homologada FIA	
Prototipo E1 Nacional	Rallyes Tierra - Montaña - Autocross	Art. 253-8	RH RFEdA	No	Si el chasis es multitubular solo será admitida una estructura homologada
Prototipo E2 Nacional	Rallyes Tierra - Montaña - Autocross	Art. 253-8	RH RFEdA	No	
Buggies Especiales TT	Rallyes TT	No	RH RFEdA	No	
CM España	Montaña	No	RH RFEdA	No	
Car Cross	Autorcross	No	RH RFEdA	No	
Car Cross Junior	Autorcross	No	RH RFEdA	No	

Taula 15: Tipologies d'homologació

Les estructures de seguretat especialment homologades davant una ADN no s'han de modificar en cap aspecte.

Abans de fabricar la primera unitat d'una estructura, el fabricant ha de rebre l'acceptació inicial per la R.F.E. de A. mitjançant l'enviament d'un dibuix de l'estructura completa. En cas contrari, la R.F.E. de A. podrà refusar l'acceptació. La R.F.E. de A. es reserva el dret de refusar la homologació o certificació d'una estructura de seguretat per incompliment de les prescripcions de disseny, dimensions, materials i/o criteris d'acceptació establerts en el present reglament, així com per d'incompliment de qualsevol punt de la "Normativa d'homologació d'Estructures de Seguretat davant la R.F.E. de A."

2. Disseny i dimensions

El disseny de l'estructura de seguretat presentada a la R.F.E. de A. per la seva aprovació i posterior homologació, així com les dimensions dels tubs utilitzats, haurà de ser conforme als següents articles segons el grup al qual pertanyi el vehicle.

2.1. Prototips E1 Nacional i E2 Nacional

2.2. Buggies Especials TT.

2.3. Cm Espanya.

2.4. Carcross i Carcross Junior.

2.5. Carteles de reforç (aplicable a tots els grups).

Per qualsevol grup, el conjunt de l'estructura de seguretat (disseny + dimensions) haurà de complir amb els requisits d'acceptació de l'estudi de resistència de materials per elements finits obligatori i descrit en aquest reglament.

2.4. Carcross i Carcross Junior

L'estructura de seguretat (barres ressaltades en verd i vermell) han de complir amb el disseny mínim reflectit en la Figura 32.

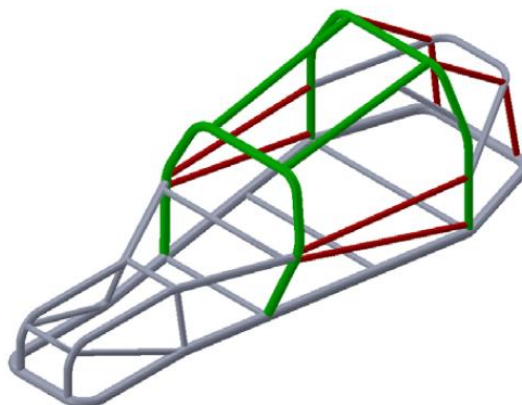


Figura 32: Disseny mínim Carcross

No obstant, aquest disseny mínim podrà tenir una disposició diferent a la mostrada amb prèvia acceptació per part del Departament Tècnic de la R.F.E. de A.

Les dimensions dels tubs que conformen l'estructura de seguretat hauran de ser com a mínim les reflectides a la Taula 16.

	Dimensions mínimes (mm)
Tub verd	Ø40 x 2 mm
Tub vermell	Ø35 x 1,5 mm
Altres tubs	Ø35 x 1,5 mm

Taula 16: Dimensions mínimes tubs

2.5. Carteles de reforç

En el cas d'existir unions (formant una creu o similar) entre:

- els membres diagonals de l'arc principal
- els reforços del sostre
- els tirants de les portes
- els tirants de les portes i els pilars de reforç del parabrises (si aquests no estan situats en el mateix pla, el reforç ha d'estar fabricat en xapa d'acer)

Han d'estar reforçats per un mínim de dos carteles d'acord amb el següent criteri:

- Reforç per un angle o unió fet de xapa doblegada en forma de U (Figura 33) d'espessor no inferior a 1 mm.

- Els extrems de la cartela (punt E) han d'estar situats a una distància del punt superior de l'angle (punt S) de 2 a 4 vegades del diàmetre exterior del tub més gran dels units.
- Es permet un tall en la part superior de l'angle (S) però el seu radi no ha de ser major de 1,5 vegades el diàmetre exterior del tub més gran dels units.
- El costat pla de la cartela pot tenir un forat el diàmetre del qual no ha de ser més gran que el diàmetre exterior del tub més gran dels units.

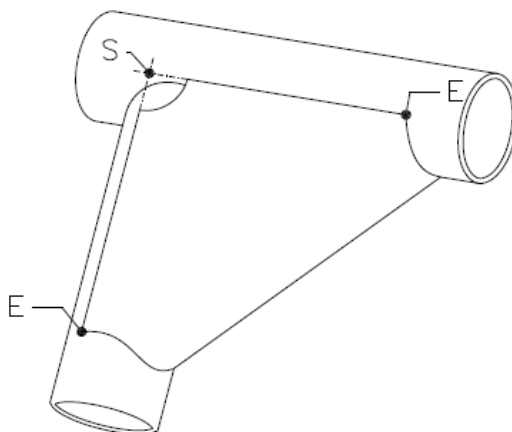


Figura 33. Cartela de reforç

3. Material

En qualsevol tipus d'estructura presentada segons l'article anterior, es podran usar els següents tipus d'acers:

- Acers aliats
- Acer al carboni no aliat amb un contingut màxim de carboni de 0.3%. Es considera que un acer al carboni no aliat pot contenir, com a màxim, els següents percentatges de components en la seva composició:

Elemento	Contenido
Aluminio	0,1
Bismuto	0,1
Boro	0,0008
Cobalto	0,1
Cobre	0,4
Cromo	0,3
Manganeso	1,6
Molibdeno	0,08
Novio	0,05
Níquel	0,3
Plomo	0,4
Silicio	0,6
Titanio	0,05
Vanadio	0,1
Volframio	0,1
Lantánidos	0,05
Otros excepto (P, C, N y O)	0,05

Taula 17: Contingut màxim d'elements d'aliatge en un acer considerat no aliat.

En tots els casos aquest acer haurà de ser conformat mitjançant estirat en fred i sense soldadura.

La resistència a tracció dels materials no podrà ser inferior a 355 MPa.

En qualsevol cas, s'haurà de disposar del certificat de colada dels materials. En aquets ha de figurar:

- Dimensions del tub.
- Composició química.
- Límit elàstic.
- Resistència a tracció.
- Allargament.

4. Estudi de resistència de materials per elements finits

L'estudi de resistència de materials haurà de ser dut a terme per un enginyer qualificat per aquest propòsit amb un programa de simulació adequat, que s'haurà de declarar en el Projecte Tècnic definit a la "Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat R.F.E. de A.".

Es podran suggerir altres modes d'aplicació de les càrregues, prèvia petició al Departament Tècnic de la R.F.E. de A., si les característiques de l'estructura i les hipòtesis dels assajos ho fan factible.

4.1. Sol·licitacions de carrega

Les forces es calculen amb la massa del vehicle en condicions de carrera més 75 o 150 kg segons el tipus. Posteriorment, aquesta massa total s'ha de multiplicar per un valor en funció de l'assaig que s'està duent a terme.

A continuació es detalla, per a cada grup, com s'han d'aplicar les càrregues. Les indicacions s'acompanyen d'uns dibuixos orientatius a on es remarquen amb colors les barres sobre les quals s'han d'aplicar les càrregues.

4.1.4. Carcross i Carcross Junior.

S'hauran d'aplicar 4 tipus de càrregues, resultants en 4 estudis diferents, sobre l'estructura:

1. Càrrega vertical: Càrrega uniformement repartida en sentit descendent de valor $7.5P$ daN sobre la part horitzontal de l'arc principal incloent la zona d'unió dels tirants longitudinals davanters i posteriors tal i com es mostra al següent dibuix.

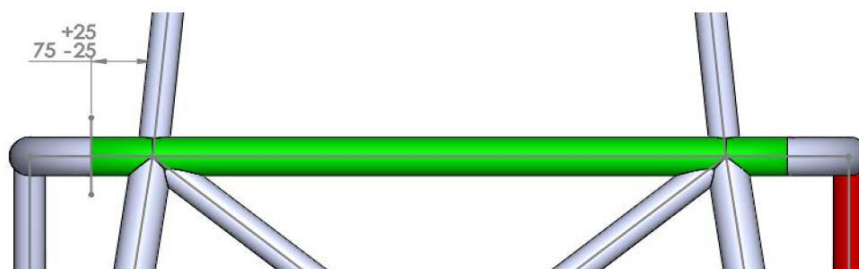


Figura 34: Vista en planta del detall de l'arc principal, cotes en mm.

2. Càrrega Longitudinal (x2): Càrrega uniformement repartida cap a l'interior de la estructura de valor 6P daN sobre la part davantera i posterior. S'haurà d'aplicar sobre els tres primers trams de les barres
3. Càrrega Lateral: Càrrega uniformement repartida cap a l'interior de la estructura de valor 3.5 daN sobre la totalitat dels reforços laterals de les portes.

A la següent imatge es poden veure les zones d'aplicació de les diferents càrregues per una estructura d'un Carcross o Carcross Junior.

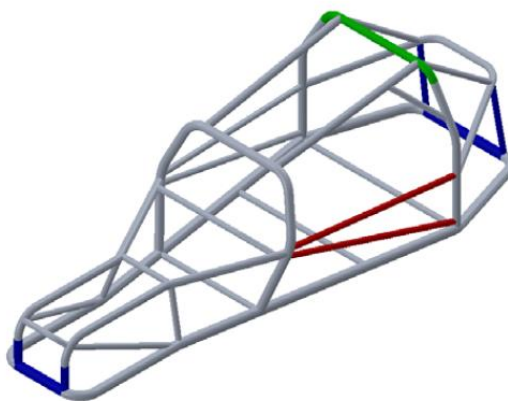


Figura 35: Superfícies d'aplicació de les càrregues dels Carcross

A la Taula 18 es recullen les sol·licitacions explicades a l'Art 4.1

Grupo	Solicitaciones de carga [daN]					Esquema explicativo
	P	Vertical	Frontal	Longitudinal	Lateral	
Prototipo E1 Nacional	Masa del vehículo [kg] + 150 kg	7,5P	3,5P	N/A	3,5P	
Prototipo E2 Nacional						
Buggies Especiales TT						
CM España	Masa del vehículo [kg] + 75 kg	7,5P	N/A	6P	3,5P	
Car Cross						
Car Cross Junior						

Taula 18: Síntesis de les càrregues que s'han d'aplicar en funció del grup.

4.2. Condicions de contorn

S'haurà de restringir el moviment de l'estructura en tots els graus de llibertat (desplaçaments i rotacions) de cada punt de fixació al xassís. En la següent taula explicativa es poden veure, en la fila superior, els punts que s'han de fixar i a la fila inferior la superfície sobre la que s'ha de restringir el moviment.

	Pototipos E1 y E2	Buggies TT	CM España	Carcross y Carcross Junior
Puntos de Fijación				
Superficie de aplicación				

Taula 19: Punts de fixació de l'estructura i superfícies d'aplicació.

4.3. Criteris d'acceptació

4.3.1. Desplaçaments

E l'instant d'aplicació del 100% de la càrrega, a l'assaig de simulació no podran existir desplaçaments superiors a 50 mm, com a conseqüència de la deformació elàstica i/o plàstica, mesurats en qualsevol direcció de l'espai i en tota la estructura. Això s'aplica en qualsevol dels casos de sol·licitacions de càrrega.

4.3.2. Tensions

En cas de realitzar un anàlisi lineal no es podrà superar el límit elàstic del material en tota l'estructura. Si es superés caldria justificar l'assaig amb un anàlisi no lineal. En cas de realitzar un anàlisi d'aquest tipus, no es podrà superar la tensió de ruptura del material en tota la estructura.

4.4. Resultats

Els resultats dels assajos hauran de presentar-se, inclosos en el Projecte Tècnic, de la següent manera:

1. Descripció complerta de la configuració de l'assaig (materials, justificació de les càrregues aplicades, condicions de contorn, característiques del mallat, etc).
2. Imatges dels resultats obtinguts, tant de tensions com desplaçaments i la seva llegenda corresponent, que ha de ser llegible i estar escalada adequadament.
3. Conclusió amb un quadre resum que reculli els valors màxims de tensions, desplaçaments, límit elàstic, resistència a la tracció i coeficients de seguretat de cada una dels assajos (segons el grup).
4. A més dels 3 punts anteriors, és recomanable afegir un informe de l'assaig si el programa usat per fer els estudis amb elements finits ho poden generar.

A.3.2 Resum Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat

Com s'ha pogut observar en el reglament, es defineixen el disseny i dimensions que haurà de tenir el xassís, així com també el seu material i l'estudi a realitzar per poder garantir la seguretat de l'estructura per al pilot. Aquest estudi es realitzarà mitjançant l'anàlisi de resistència de materials per elements finits.

Amb més detall es pot extreure que per tal de poder homologar l'estructura, abans de fabricar la primera unitat, s'ha de tenir l'acceptació inicial per la R.F.E. d'A. mitjançant un dibuix complet de l'estructura. La R.F.E. d'A es permet el dret a no homologar-la si no es compleix algun dels punts del reglament.

Pel que fa a les dimensions i disseny, és obligatori el disseny del xassís amb tubs rodons amb les dimensions mínimes tal i com ens indica l'article 2.4 del reglament. En aquest document també podem veure que es permet l'ús de carteles de reforç en determinades unions. Les carteles de reforç són utilitzades en estructures de seguretat, per exemple, de turismes. La Figura 36 és la imatge d'un turisme que permet veure la configuració que tenen les carteles en estructures de seguretat.



Figura 36: Estructura de seguretat Ford Fiesta wrc

Pel que fa al material, queda restringit a tubs d'acer. També ens indiquen que l'acer haurà de ser conformat mitjançant estirat en fred i sense soldadura. La resistència a tracció haurà de ser inferior a 355 MPa i s'haurà de disposar del certificat de colada del material. Serà necessari que hi apareixi la següent informació:

- Dimensions del tub
- Composició química
- Límit elàstic
- Resistència a tracció
- Allargament

Per tal de poder homologar el xassís s'haurà de donar aquesta informació a la R.F.E. d'A.

Per acabar, s'ha de dur a terme l'estudi de resistència de materials per elements finits per un enginyer qualificat. En primer lloc, de la Taula 18 extraïem els valors de les forces que s'hauran d'aplicar a l'hora de fer l'assaig:

$$P = 310 \text{ kg} + 75 \text{ kg} = 385 \text{ kg}$$

Una vegada tenim "P" (la massa total del vehicle) l'hauré de multiplicar per un valor en funció de l'assaig que es dugui a terme.

Per fer l'estudi de resistència de materials es realitzaran 3 casos de càrrega. Aplicant una càrrega de 7,5P verticalment, 3,5P lateralment i 6P (x2) longitudinalment cap a l'interior a la part davantera i posterior. Finalment per poder realitzar els assajos es defineixen les condicions de contorn en les que es restringirà tant desplaçament com rotació de tots els punts definits en la Taula 18.

Per tal de poder validar els assajos es mostren els criteris d'acceptació tant de tensions com de desplaçaments. Es mostra a l'article 4.3.de la Normativa.

Per acabar es defineix també com s'han d'extreure els resultats obtinguts dels assajos per tal de que a la R.F.E. d'A. pugui analitzar si aquests s'han realitzat adequadament.

A.4 Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat

Per acabar i poder saber tota la informació necessària per poder homologar una estructura de seguretat s'haurà de consultar la *Normativa d'homologació d'Estructures de Seguretat de la R.F.E. de A.* que defineix la documentació que s'ha d'entregar a la Federació.

A.4.1 Document de Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat

1. General

En la present normativa, es detallen els requeriments mínims per poder homologar una Estructura de Seguretat davant la Real Federació Espanyola d'Automobilisme (R.F.E. d' A).

Les estructures de seguretat poden ser homologades davant la R.F.E. d' A sempre i quan compleixin la present normativa, així com el reglament d'homologació que afecta al vehicle en qüestió (FIA o R.F.E. d' A).

Les estructures de seguretat que poden ser homologades davant la Real Federació Espanyola d'Automobilisme són les mostrades a taula de l'apartat següent, en la columna ADN, en la que s'especifica "Regt. Homologacions FIA (apartat ADN)" o "Regt. Homologacions R.F.E. d'A".

Els reglaments d'Homologació FIA o R.F.E. d'A. es troben disponibles a la seva plana web en la secció Dpt. Tècnic → Homologacions → Homologacions d'Estructures de Seguretat.

2. Tipus d'estructures de seguretat

En la taula següent es mostren els tipus d'estructures de seguretat que es poden utilitzar en els diferents grups de vehicles admesos en els Campionats, Copes, Premis d'Espanya així com el tipus d'homologació requerida en el cas de que aquesta hagi de ser homologada.

Grupo	Tipo de Estructura/Homologación			Observaciones
	Según Anexo J	ADN	FIA	
WRC/R5/S1.GT (RRC)/S2000/S1600/Kit Car	No	No	Rgto. Homologaciones FIA	
RGT FIA	No	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	No	
A/N	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
R4/R31/R3D/R3/R2/R1	No	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
N y N+ > 2000 cc posterior al 01.01.2006	No	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
GT Rallye	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Nacional 1-2-3	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Históricos		Según Anexo K, Art. 5.13		
Prototipo 4RM	No	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Prototipo 2RM	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Prototipo E1 Nacional/E2 Nacional	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones RFEdA	No	Si es chasis multitubular solo será admitida la estructura homologada ADN
T2	Art. 283-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
T1/T3/T3 Light vehide	Art. 283-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	No	
Buggies Especiales TT	No	Rgto. Homologaciones RFEdA	No	
Regularidad TT	Art. 283-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
E2-SC/CN	No	No	Certificado FIA	
Barqueta Nacional	Art. 259	No	No	No requiere el Certificado FIA
CM España	No	Rgto. Homologaciones RFEdA	No	
E2-SH	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Silueta Nacional		Reglamento ADN procedencia		
GT2 FIA	No	No	Rgto. Homologaciones FIA	Según el Art. 257 del Anexo J 2011
GT3 FIA	No	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
GT Nacional	No	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	No	
GT4		Reglamento ADN procedencia		De acuerdo a las fichas de homologación expedidas por las distintas ADNs
A2 Monomarca		Reglamento de la Copa Monomarca de procedencia		
E1 FIA	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Off Road Modificados	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Off Road Series	Art. 253-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	Rgto. Homologaciones FIA	
Super buggy	Art. 283-8	Rgto. Homologaciones FIA (apartado ADN)	No	
Car Cross/Car Cross Junior	No	Rgto. Homologaciones RFEdA	No	

Taula 20: Estructures que es poden homologar

3. Procediment d'homologació

Per l'acceptació de les homologacions, s'haurà de presentar a la R.F.E. d' A un dossier que contingui la següent informació:

- Sol·licitud d'homologació (Dpt. Tècnic → Homologacions → Impres de Sol·licitud d'Homologacions).
- Còpia de justificant d'ingrés dels drets d'homologació.
- Projecte Tècnic que demostrï que la Estructura compleix amb el Reglament d'Homologació FIA o RFEd'A corresponent al grup de vehicle, i que contingui:

1. Descripció de l'estructura de seguretat.

2. Estudi de resistència de materials per elements finits, en el cas que sigui necessari, que compleixi amb les exigències del Reglament d'Homologacions i que estigui firmat per un tècnic qualificat.
3. Certificat de materials utilitzats a la seva fabricació, amb certificat de qualitat del proveïdor del tub d'acer, anàlisi de la colada del producte, i de l'assaig a tracció.
4. Tipus de soldadura utilitzada; màquina amb nº de fabricant i descripció del sistema; característiques del material d'aportació; certificat d'homologació de l'operari que ha realitzat la soldadura.

Tota aquesta documentació s'haurà d'enviar obligatòriament per correu electrònic a les següents direccions: homologa@rfeda.es i ingenieria@rfeda.es

Abans de fabricar la primera unitat d'un estructura, el fabricant ha de rebre l'acceptació inicial de la ADN mitjançant un dibuix 3D de l'estructura complerta que contingui les dimensions de cada tub. Si no, la R.F.E. d'A. podrà rebutjar l'acceptació de l'homologació.

Una vegada hagi donat el vist i plau al projecte tècnic, la R.F.E. d'A. assignarà un número d'homologació de la R.F.E. d'A (mai abans).

4. Identificació de l'estructura de seguretat

L'estructura de seguretat haurà d'estar obligatòriament identificada per, com a mínim, una placa d'identificació a on es mostrin les següents dades:

FABRICANT

Nº D'HOMOLOGACIÓ DE LA R.F.E. d'A.

Nº DE SÈRIE INDIVIDUAL DEL FABRICANT

Així doncs, cada estructura de seguretat homologada d'acord a la present normativa i als reglaments d'homologació pertinents haurà de contenir aquesta placa d'identificació individual on es reflectiran el nº de sèrie individual de l'estructura, així com un certificat individual per la mateixa a on es reflecteixi el nº de xassís del vehicle en el que va muntada.

Aquesta placa d'identificació haurà d'estar soldada a l'estructura de seguretat i amb la informació continguda a la mateixa encunyada, estampada o similar. No es permeten les plaques d'identificació amb la informació impresa sobre la superfície de la mateixa.

5. Certificat d'homologació

Una vegada obtingut el vist i plau del projecte Tècnic, s'haurà d'emplenar la plantilla del Certificat d'Homologació de l'Estructura de Seguretat corresponent, que serà enviada pel Departament Tècnic de la R.F.E. d'A. Per la confecció de la mateixa caldrà seguir els passos següents:

- Emplenar integrament, excepte els camps destinats a la R.F.E. d'A.
- Emplenar les dades fent doble click en els camps en gris i escriure en majúscules.
- El dibuix en 3D de la primera fulla (mai una foto) haurà de ser sobre fons blanc i indicant a on es troba ubicada la placa d'identificació.
- Les fotos hauran de ser de bona qualitat i s'hi haurà de veure bé l'estructura de seguretat buida, seguint les indicacions de cada peu de foto.
- Inserir les fotos a la mida de cada quadre (alçada x amplada = 6 x 8.44 cm). Es recomana ajustar la mida abans d'incloure-la en el quadre.
- A posteriori, si és necessari, es comprimirà el document en el Departament Tècnic de la R.F.E. d'A.
- La placa d'identificació haurà de mostrar, com a mínim, la informació recollida en l'article 4 d'aquesta normativa.
- Cada estructura de seguretat fabricada haurà de comptar amb un Certificat d'Homologació individual amb una placa d'identificació pròpia mostrant el seu número de sèrie corresponent individual.

El format en el que s'haurà de guardar la plantilla d'homologació mentre s'està emplenant serà .pdf o .doc/.docx. Tant mateix, el document final aprovat per la R.F.E. d'A. haurà de ser remés, obligatòriament, en format .doc o .docx per poder procedir al seu ajustament final així com per que sigui firmat i segellat definitivament.

6. Condicions addicionals

El fabricant, a petició de la R.F.E. d'A., haurà de demostrar que els materials segueixen els certificats presentats en el moment de la homologació. Durant la fabricació del xassís posterior a l'homologació, els equips de soldadura hauran de disposar en tot moment dels certificats segons les directrius del projecte prèviament presentades. El certificat d'homologació del soldador haurà d'estar actualitzat durant tot el període de fabricació.

La R.F.E. d'A. es reserva el dret d'acceptar o rebutjar l'homologació o certificació d'una estructura de seguretat, en conformitat amb les prescripcions de disseny establertes per aquest o per la FIA, així com per l' incompliment de qualsevol punt de la normativa.

Les estructures de seguretat especialment homologades davant una ADN no s'hauran de modificar en cap aspecte.

7. Extensions d'homologació

En el cas de que un fabricant vulgui modificar el disseny original d'una estructura de seguretat prèviament homologada, podrà sol·licitar-ho al Departament Tècnic de la R.F.E. d'A. que, prèvia recepció d'un informe detallat justificant la modificació. Llavors decidirà si acceptar-la i si aquesta implica una nova homologació de l'estructura de seguretat.

En el cas de ser acceptada, s'haurà de remetre al Departament Tècnic el següent:

- Sol·licitud d'extensió d'homologació (Dpt. Tècnic → Homologacions → Imprès de Sol·licitud d'homologació)
- Copia del justificant de l'ingrés dels drets d'homologació.

Finalment, s'emetrà la corresponent extensió en la plantilla destinada al tal afecte.

A.4.2 Resum Normativa d'Homologació d'Estructures de Seguretat

Com s'ha pogut observar en aquest document, per tal de poder dur a terme l'homologació s'han de seguir uns requeriments molt estrictes. D'aquesta es conclou que, una vegada acceptada l'homologació, és imprescindible identificar-la el amb una placa on hi aparegui la següent informació:

FABRICANT

Nº D'HOMOLOGACIÓ DE LA R.F.E. d'A.

Nº DE SÈRIE INDIVIDUAL DEL FABRICANT

Cada estructura fabricada s'haurà d'identificar amb un número diferent, mai poden existir dos números de sèrie del fabricant iguals.

També es destaca la impossibilitat de fer cap modificació a una estructura de seguretat ja homologada sense el consentiment del Departament Tècnic de la R.F.E. d'A.

ANNEX B. LA COMPETICIÓ I EL MONOPLAÇA.

Per poder saber com ha de ser el monoplaça que s'ha de dissenyar, cal tenir una visió global de la competició i així conèixer en quins escenaris competirà. En aquest annex es farà una introducció a la categoria CarCross, la tipologia de vehicles que hi participen i quina competència hi ha actualment.

B.1 La competició: l'Autocross

L'Autocross és una modalitat d'automobilisme que es realitza en circuit tancat de terra i disputat amb turismes i monoplaça. Cada cursa forma part d'un campionat i es donen cita totes les divisions. Cada cursa consta d'entrenaments, mànigues, final B (si és el cas) i final. Tots els concursants han de participar en entrenaments i mànigues per poder-se classificar i optar a la final. Es realitzen finals per a cada una de les categories. El principal campionat internacional d'Autocross és el Campionat d'Europa de la FIA.

B.1.1 Divisions

La competició es divideix en quatre divisions o categories:

- **Divisió 1:** Turismes i prototips de quatre rodes motrius de 4000cc de cilindrada màxima, s'admeten motors turbo tenint en compte que cada centímetre cúbic d'un motor turbo alimentat equival a 1.7 cc d'un motor d'alimentació atmosfèrica.



Figura 37: Turismes de divisió 1.

- **Divisió 2:** Turismes exclusivament de grup N amb modificacions permeses segons els reglaments i amb una cilindrada inferior a 2000cc.



Figura 38: Turismes de la divisió 2.

- **Divisió 2A:** Turismes de grup N exclusivament de cilindrada inferior a 1600cc.
- **Divisió 3:** Fórmules monoplaça de xassís tubular de mida reduïda amb gàbia protectora antibolcada dotats d'un motor de motocicleta de gran cilindrada en la part posterior. Són vehicles de tracció total que s'han creat al afecte amb una relació pes/potència que els dota de gran acceleració en sec i una alta velocitat en pas per corba. En la majoria dels casos són dos motors de motocicleta units a un mateix eix i tracció a les quatre rodes, en altres casos son motors de gran potència.



Figura 39: Monoplaces de la divisió 3.

- **Divisió 4:** Fórmules monoplaça de xassís tubular de mides reduïdes amb gàbia protectora antibolcada dotats d'un motor de motocicleta de gran cilindrada en la part posterior. Són vehicles de tracció posterior que s'han creat amb una extraordinària relació pes/potència que els dota d'una gran acceleració en sec i una gran velocitat en pas per corba. Es denominen *CarCross* i són molt populars per l'espectacularitat de la seva conducció i el gran nombre de monoplaques que prenen sortida.



Figura 40: Monoplaques de la divisió 4 (CarCross).

B.1.2 Circuits

Els circuits on es disputa la competició són de terra i poden tenir una longitud mínima de 800m i màxima de 2000m. Normalment acostumen a tenir 1 km de longitud. Pel que fa a l'amplada, interessa que sigui gran per permetre més avançaments; els límits marcats són 13m com a mínim i 25m com a màxim, generalment són de 14m. Existeixen circuits amb diferents dimensions a les establertes però per allotjar curses del campionat d'Espanya caldrà s'homologuin seguint les normes corresponents.

Una altra mesura important és la longitud màxima d'una recta, que pot ser de fins a 200m. Aquesta dimensió limita les velocitats que es podran assolir en una cursa. Per contrastar aquesta dimensió es pot agafar com a exemple un circuit de velocitat sobre asfalt com pot ser el Circuit de Catalunya, que disposa d'una recta de meta de 1047 m.



Figura 41: Fotografia del circuit d'Autocross d'Arteixo (Galicia).

B.2 El monoplaça: el Car Cross

Els vehicles CarCross, són monoplaques de motor posterior construïts segons el Reglament Tècnic de la Real Federació Espanyola d'Automobilisme detallat a l'annex A de normativa. Estan prohibits els que tenen quatre rodes motrius i els motors sobrealimentats. El lloc de conducció estarà equipat amb els mateixos comandaments habituals d'un automòbil.

Estan prohibides les caixes de canvi automàtica, semiautomàtica així com els comandaments d'aquests tipus de caixa.

Al ser una categoria molt atractiva, hi ha moltes empreses constructores de monoplaques de CarCross arreu d'Europa, principalment a Espanya, França, Portugal i Itàlia. Per tenir algunes referències a l'hora de dissenyar el monoplaça es realitza un estudi dels constructors més importants de la península, a Espanya hi ha mitja dotzena d'empreses constructores de monoplaques. Pel que fa al preu, ens podem trobar cotxes nous a partir de 10.000€ fins a uns 18.000€. A continuació es mostra una descripció de tres constructors de referència a Espanya:

- **Demon car:**



Figura 42. Model de Demon Car



Figura 43. Xassís de Demon Car

L'empresa que fabrica els Demon Car està situada a Vic. Són uns dels monoplaques amb més tradició dins de la competició de l'Autocross. El seu palmarès més important és el campionat de Catalunya d'Espanya l'any 2009. Ha aconseguit alguns altres subcampionats en aquests dos territoris.

- **Silver Car:**



Figura 44. Model Silver Car



Figura 45. Detall de les suspensions de Silver Car

Silver Car és d'una empresa de Navarra. Podem veure que la configuració de la suspensió del davant és relativament diferent que la d'altres cotxes buscant reduir la massa suspesa a les rodes. La majoria de marques també fabriquen altres tipologies de monoplaça per altres competicions i Silver Car és més competitiu amb altres vehicles que no pas amb els monoplaços d'Autocross.

- **CarCross Xtrem:**



Figura 46 Model de Car Cross Xtreme



Figura 48: Vista frontal de l'estructura d'un Car Cross Xtreme



Figura 47: Vista posterior de l'estructura d'un Car Cross Xtreme

El Car Cross Xtrem és d'un fabricant de Lleida. Actualment i des de fa molts anys, és el monoplaça que més victòries ha aconseguit. Ha guanyat el campionat d'Espanya fins a 13 anys diferents amb cotxes que han evolucionat per mantenir la competitivitat. És el cotxe de referència en el món del CarCross i per això es mirarà amb més detall a l'hora de dissenyar el monoplaça.

B.3 El Carcross preliminar

En aquesta secció s'explicarà el cas del Carcross de partida que servirà per dissenyar el xassís final. També es faran estudis dels seus components mecànics per tal d'avaluar la seva viabilitat en el nou xassís.

B.3.1 Introducció

Primer de tot, s'explica el monoplaça preliminar que s'analitzarà per extreure'n la màxima informació que serà utilitzada pel disseny final.

El monoplaça de partida és una replica d'un Carcross francès anomenat Fouquet (Figura 49) d'uns 15 anys d'antiguitat que no disposa homologació.



Figura 49: Fotografia Carcross Fouquet 1997

Aquest monoplaça no ha arribat a participar en cap competició i per tant no s'ha necessitat mai la homologació, només es va usar com a vehicle de lloguer en un circuit de Karting.

En la Figura 50 es pot veure una fotografia del monoplaça.



Figura 50: Fotografia monoplaça preliminar

Un cop es disposa d'una visió global del monoplaça, es passa a fer un estudi d'alguns dels seus components mecànics per poder-los usar en el xassís dissenyat si permeten complir amb la normativa. Els components que s'intentaran aprofitar seran els elements amb un cost més elevat com pot ser el motor, els amortidors i la transmissió. A part dels components mecànics també es dibuixarà, estudiarà i analitzarà el xassís per poder tenir una referència d'un xassís d'un monoplaça de Carcross i utilitzar-lo com a base per dissenyar el nou.

B.3.2 Components mecànics

Els elements analitzats són els següents:

- **Motor:**

El motor usat és un motor de 600 cc d'una moto Suzuki GSX 600F del 1994-95 (Figura 51)
Les seves característiques són les següents:



Figura 51: Suzuki GSX 600F

Make Model	Suzuki GSX 600F
Year	1994-95
Engine	Four stroke, transverse four cylinder, DOHC, 4 valves per cylinder.
Capacity	599 cc / 36.6 cu.in
Bore x Stroke	62.6 x 48.7 mm
Cooling System	Air/oil cooled
Compression Ratio	11.3:1
Lubrication	Wet sump
Oil capacity	4,7 Litres / 1.24 gal
Induction	4x Mikuni BST3 Carburetor
Ignition	Transistorized
Ignition timing	13° B.T.D.C. below 1500 rpm
Battery	12V 39.6 kC (10Ah)/10HR
Generator	Three phase A.C. generator
Headlight	12V 60/55W
Spark Plug	NGK, CR9EK
Starting	Electric
Max Power	87 hp / 64 kW @ 11000 rpm
Max Power Rear Tyre	78.1 hp @ 10700 rpm)
Max Torque	44 ft-lb / 6.1kgf-m @ 9600 rpm
Clutch	Wet, multiple discs, cable operated
Transmission	6 Speed
Final Drive	Chain, 118 links
Primary reduction Ratio	1.744
Final reduction Ratio	3.133
Frame	Duble-cradle steel pipe
Front Suspension	41mm Conventional telescopic, coil spring, oil damped. 41 mm inner tube, fully adjustable rebound damping,
Front Wheel Travel	130 mm / 5.1 in
Rear Suspension	Swingarm, progressive linkage, 4-step rebound dampind, 7-step spring preload
Rear Wheel Travel	142 mm / 5.6 in
Front Brakes	2x 290mm discs 2 piston caliper
Rear Brakes	Single 240mm disc 2 piston caliper
Front Wheel	3.50 x17 inches, cast alumium-alloy
Rear Wheel	4.50 x17 inches, cast alumium-alloy
Front Tyre	120/70 ZR17
Rear Tyre	150/70 ZR17
Rake	25,3°
Trail	99,5mm / 3,9 in
Dimensions	Length 2135 mm / 84.1 in Width 745 mm / 29.3 in Height 1195 mm / 47.0 in
Wheelbase	1470 mm / 57.9 in
Seat Height	785mm / 30.9 in
Dry Weight	200 kg / 441 lbs
Wet Weight	219 kg / 482.8 lbs
Fuel Capacity	20Litres / 5.2 gal
Reserve	5 Litres / 1.3 gal
Consumption Average	18.6 km/lit
Braking 60 - 0 / 100 - 0	13.8 m / 38.8 m
Standing ¼ Mile	11.9 sec / 181.0 km/h
Top Speed	221.7 km/h

Taula 21: Característiques tècniques moto Suzuki GSX 600F

Tal i com es pot veure a l'apartat A.2 Reglament Tècnic Vehicles Carcross de l'Annex A Normativa, aquest motor compleix la normativa ja que es tracta d'un motor original sense cap modificació. Per tant, com que es podrà utilitzar en el monoplaça que es vol dissenyar, s'haurà de tenir en compte a l'hora de dissenyar el xassís.

- **Amortidors:**

Els amortidors són uns dels components mecànics que es volen tenir en compte per usar-los en el monoplaça que es dissenya. El monoplaça preliminar està format per dos tipus d'amortidors diferents, els de la part posterior (Figura 52) i els de la part davantera (Figura 53). Les seves dimensions es poden veure als plànols número 4 i número 5.

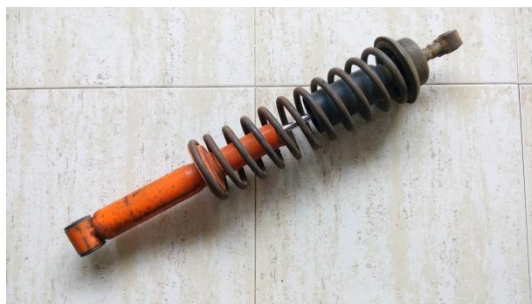


Figura 52: Amortidor posterior



Figura 53: Amortidor davanter

Segons la normativa de l'apartat A.2 Reglament Tècnic Vehicles Carcross la seva utilització serà autoritzada en el nou monoplaça. Serà necessari saber si dinàmicament aquests amortidors donaran un bon comportament al vehicle.

- **Sistema de direcció:**

El sistema de direcció del monoplaça preliminar es podrà usar en el nou monoplaça sempre i quan es faci una modificació afegint un sistema d'extracció del volant per tal de poder complir amb la normativa (Figura 54).



Figura 54: Sistema de direcció monoplaça preliminar

- **Transmissió:**

El sistema de transmissió del monoplaça preliminar no disposa de diferencial i per tant es podrà fer servir en el nou disseny. Està format per dos paliers i un plat que engrana amb el pinyó del motor (Figura 55)



Figura 55: Sistema de transmissió monoplaça preliminar

- **Sistema de fre:**

El sistema de fre, es podrà utilitzar en el nou monoplaça, ja que no es restringeix el sistema de frens al punt A.2 Reglament Tècnic Vehicles Carcross. Com que potència dels motors acostuma a ser elevada i l'adherència deguda al circuit de terra és baixa, s'acostuma a utilitzar un sistema de fre tant al davant com al darrera. D'aquesta manera hi ha més rodes en contacte amb el terra que frenen el vehicle.

B.3.3 Xassís preliminar

L'estudi del xassís del monoplaça preliminar es realitza per tres motius principals: per conèixer el seu comportament, per esbrinar el procés de fabricació i per identificar els seus punts forts i febles. El xassís preliminar es pot veure a la fotografia de la Figura 56.



Figura 56: Xassís tubular monoplaça preliminar

- ***Digitalitzar el xassís***

El primer pas que es fa és digitalitzar i dibuixar en 3D el xassís. Per poder digitalitzar-lo primer es mesuren els punts d'unió dels tubs definint el punt d'origen que s'agafarà de referència per fer donar les coordenades de les unions dels tubs. Es pot veure l'origen de coordenades escollit del xassís preliminar (Figura 57)



Figura 57: Origen de coordenades

Les eines utilitzades per a mesurar el xassís són un peu de rei, un flexòmetre, un goniòmetre i un mesurador de distàncies làser. Pel que fa al suport informàtic, en primer lloc s'utilitza un programa CAD en 2D (*AutoCAD*) en el que s'introdueixen les mesures realitzades per tal de tenir un esbós del xassís (Figura 58).

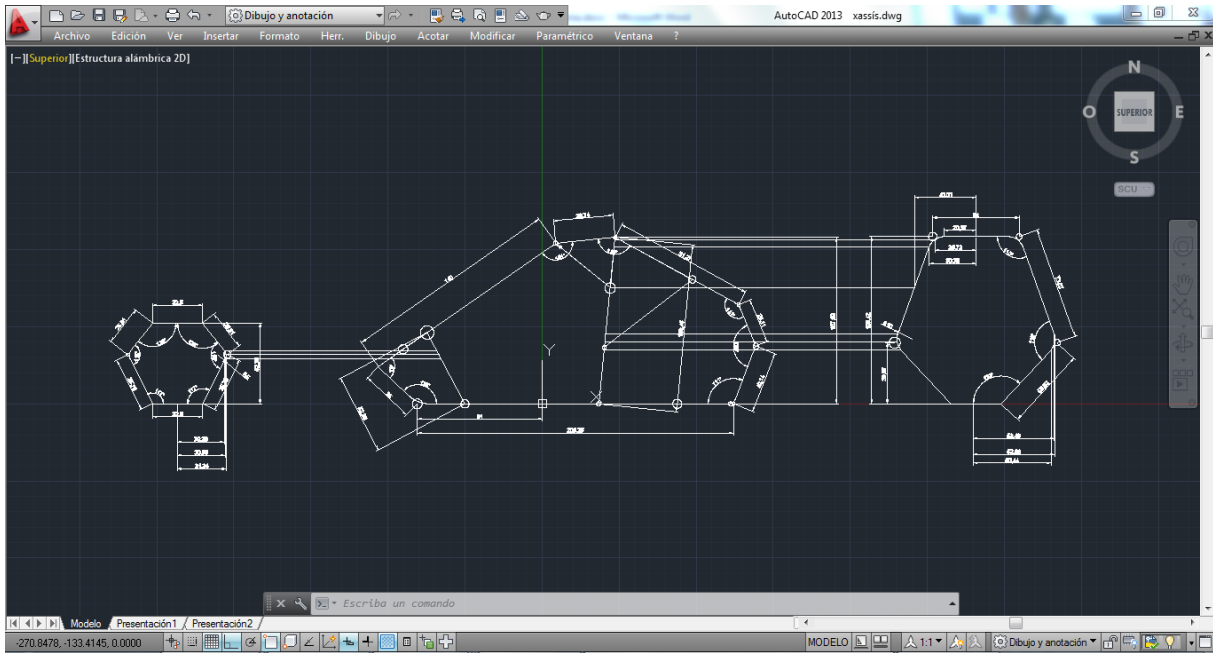


Figura 58: Programa AutoCAD utilitzat pel dibuix 3D

A continuació s'entren els punts que defineixen la geometria en un programa CAD en 3D (Solidworks) i s'uneixen mitjançant línies per obtenir el xassís. En aquest procés no es tenen en compte les seccions dels tubs (Figura 59) .

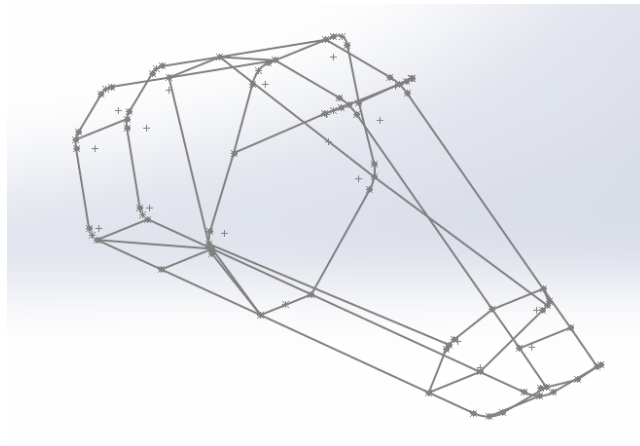


Figura 59: Xassís preliminar format de punts i línies

Per obtenir les seccions dels tubs es realitza un forat amb un trepant (Figura 60) a la majoria de tubs del xassís per tal de poder mesurar l'espessor amb un peu de rei tal i com es mostra a la (Figura 61).



Figura 60: Forat amb el trepant per obtenir l'espessor

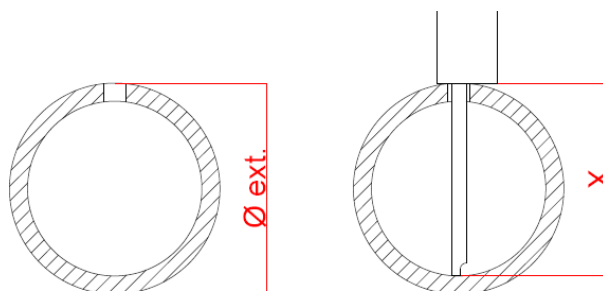


Figura 61: Sistema de mesura de l'espessor

Una vegada obtinguts tots els espessors i els diàmetres dels tubs, ja es pot acabar de definir tota l'estructura en 3D.

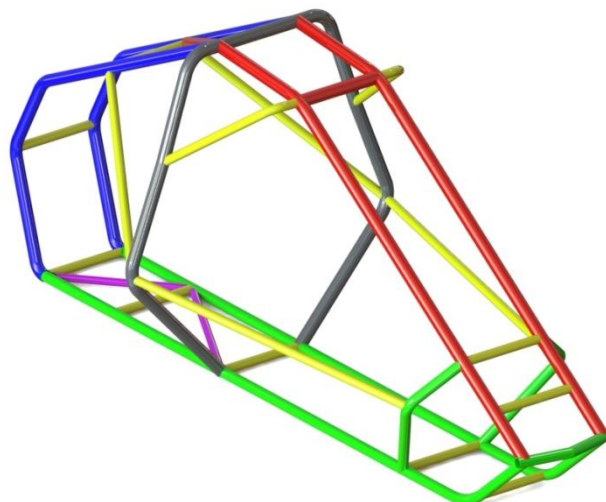


Figura 62: Estructura xassís preliminar digitalitzada en 3D

Per acabar s'ha pogut identificar que hi ha 6 tipus de tubs diferents (Taula 22)

Color	Ø	Espessor
Black	42	2,5
Red	42	2
Blue	40	2
Green	35	2
Yellow	30	2
Purple	25	2

Taula 22: Resum dels diàmetres i espessors dels tubs

Aquestes dimensions dels tubs, tal i com es pot veure a l'apartat A.3 Reglament d'Homologació d'Estructures de Seguretat davant la R.F.E. d'A., no compleixen la normativa de les dimensions mínimes dels tubs mostrades a la Taula 16 d'aquest Annex. Per tant, mai podrà ser homologat.

Un dels punts febles del xassís preliminar és l'estat de les seves soldadures. Com es pot veure en la següent fotografia, degut als esforços de fatiga i a la corrosió s'han anat trencat les soldadures debilitant-ne l'estructura.



Figura 63: Estat soldadura unió de tubs xassís preliminar

Mitjançant els eines que ens proporciona el programa *Solidworks* s'ha pogut calcular el pes, el centre de gravetat i els moments d'inèrcia del xassís.

- Pes: **43,30 Kg**
- Centre de gravetat: $(x, y, z) = (223'57, 464'64, 0)$ Està referenciat respecte els eixos del programa *Solidworks*.
- Moments d'inèrcia:

$$I_x = 8,761 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_y = 21,95 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_z = 25,38 \text{ Kg/m}^2$$

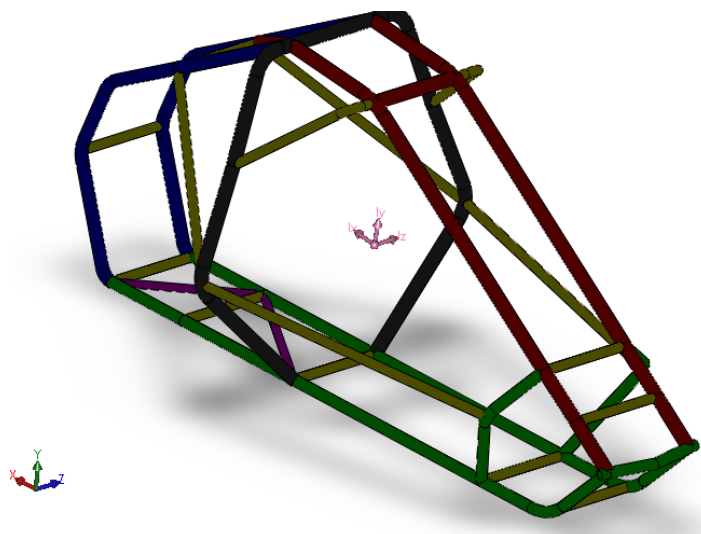


Figura 64: Moments d'inèrcia xassís preliminar

ANNEX C. CÀLCULS ELEMENTS FINITS

C.1 Procés d'anàlisi

C.1.1 Introducció

L'estudi de la resistència de materials de l'estructura de seguretat es realitza amb el programa d'elements finits *Ansys*, concretament l'anomenat *Ansys Workbench*. Aquest estudi haurà de ser presentat posteriorment al Departament Tècnic de la R.F.E. d'A.

C.1.2 Representació dels assajos

En aquest apartat es passa a definir els estats generals per tal de generar l'estudi de resistència de materials.

S'han tingut en compte les indicacions mostrades l'Annex A. Normativa extretes del *Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A.* Concretament l'*Article 4: Estudi de resistència de materials per elements finits*. Entre d'altres detalls, aquest article especifica les sol·licitacions de càrrega que s'hauran d'estudiar. El Departament Tècnic de la R.F.E. d'A. ha cregut que aquestes sol·licitacions són les més desfavorables ja que simulen les col·lisions que pot rebre el vehicle en una competició real.

Així doncs, podem avaluar l'estructura i identificar els seus punts dèbils a través de les 4 proves de càrrega següents:

- Càrrega Vertical: 7,5 vegades el pes del vehicle en daN.
- Càrrega Longitudinal davantera: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- Càrrega Longitudinal posterior: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- Càrrega Lateral: 3,5 vegades el pes del vehicle en daN.

Tal i com es defineix al "*Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A.*" a la Taula 18, el pes mínim del vehicle per la divisió IV: Carcross és de 310 kg. A més, s'indica que s'hi han de sumar 75kg corresponents al pes del pilot. Per tant, el pes del vehicle en condicions de cursa és el següent:

$$P = 310 \text{ Kg} + 75 \text{ Kg} = 385 \text{ Kg}$$

D'aquí es podran extreure les càrregues que s'hauran d'aplicar a les diferents proves de càrrega:

- Càrrega Vertical: 28875 N.
- Càrrega Longitudinal davantera: 23100 N.
- Càrrega Longitudinal posterior: 23100 N.
- Càrrega Lateral: 13475 N.

La Figura 65 mostra la direcció de les càrregues en les diferents hipòtesis de càrrega.

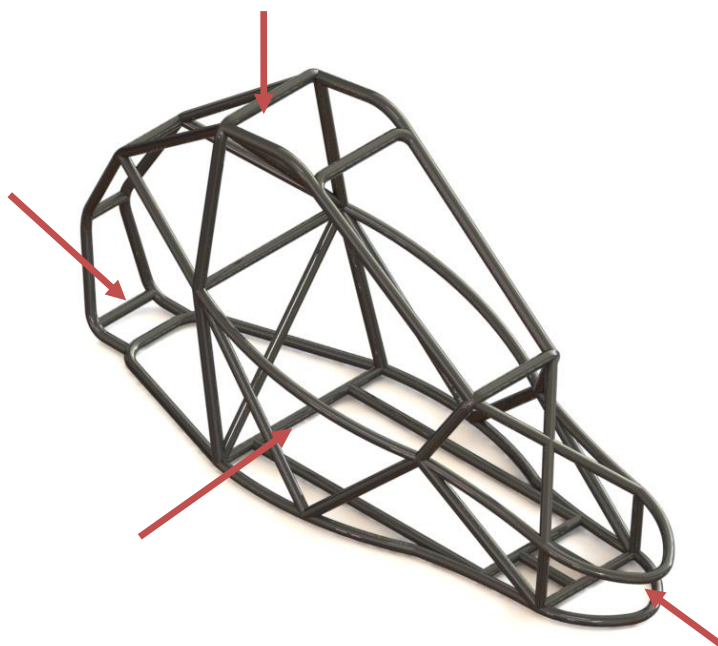


Figura 65: Representació de les direccions de les diferents proves de càrrega.

El següent pas és definir les condicions de contorn de l'estructura. Tal i com mostra la Taula 19 de l'article 4 del "Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A.". S'han de restringir tant el desplaçament com la rotació dels nusos que ens indiquen en qualsevol de les hipòtesis de càrrega.

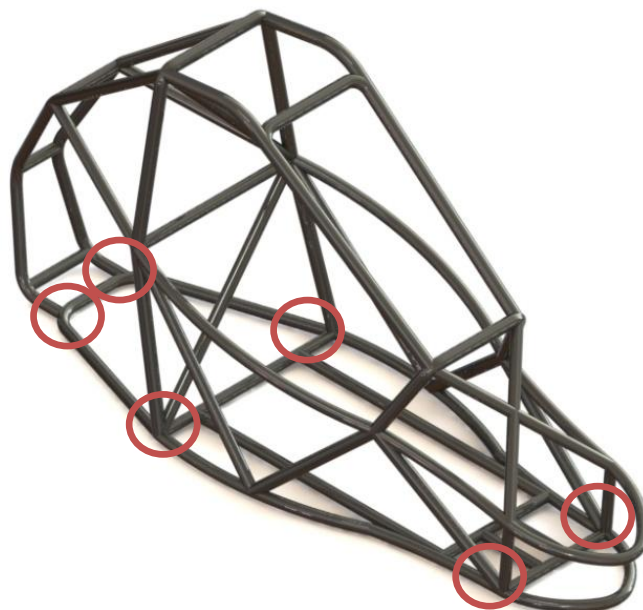


Figura 66: Representació dels punts que es restringirà el moviment.

Per acabar i poder començar a caracteritzar la geometria, s'ha de saber el criteri d'acceptació del desplaçament i de les tensions indicades a la normativa:

1. El desplaçament en el moment d'aplicació del 100% de la càrrega, no podrà existir en el moment de l'assaig cap desplaçament de **50mm** en cap direcció de l'espai.
2. Les tensions **no podran superar el límit elàstic** del material, en el cas d'un assaig lineal que serà el cas que estem estudiant.

C.1.3 Definició de la geometria

En aquest apartat es descriurà el procés seguit per introduir la geometria complexa de l'estructura de seguretat al programa Ansys Workbench.

Existeixen múltiples mètodes per fer-ho, però degut a la forma en la que s'ha caracteritzat l'estructura s'ha optat per usar un full .txt amb tots els punts d'unió del xassís i introduir-los directament mitjançant l'opció de crear punts.

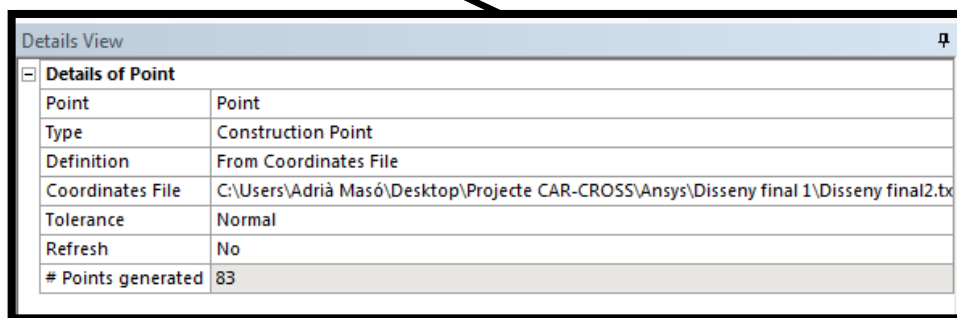
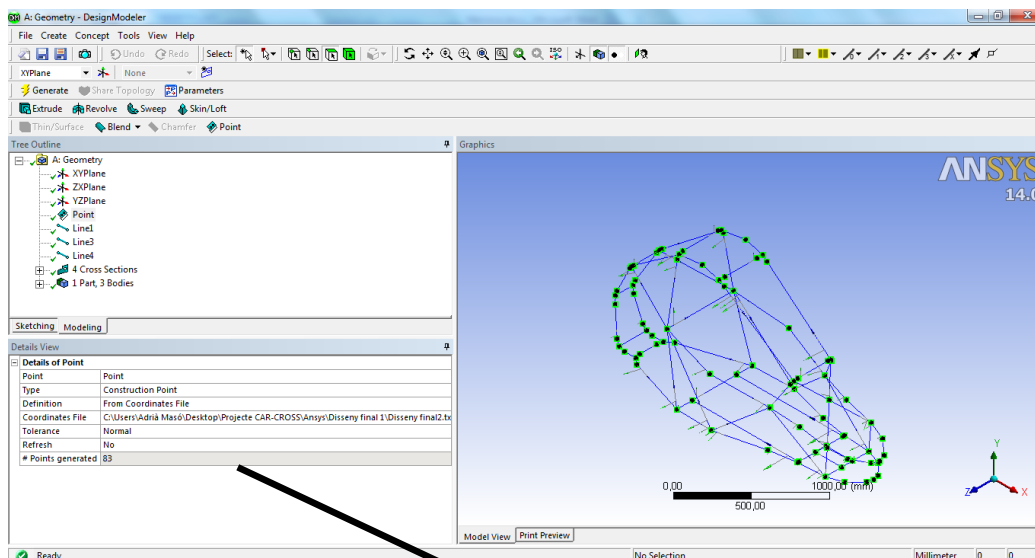


Figura 67: Captura de pantalla de la opció per crear els punts.

Els punts s'han d'introduir de la següent forma a l'arxiu de bloc de notes:

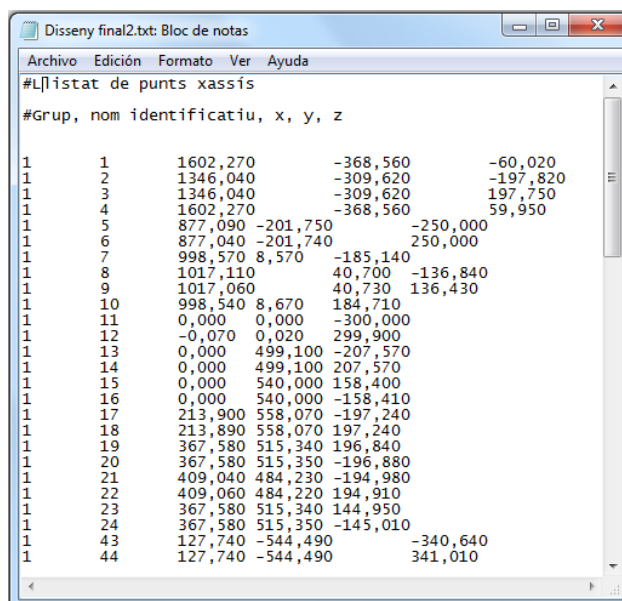


Figura 68: Arxiu .txt on es defineixen tots els punts abans d'importar-los a l'Ansys.

A la primera columna hi ha d'aparèixer el grup al qual pertanyen els punts. A la segona el nom que tindrà cada punt dins de la geometria, així es més fàcil identificar-lo i poder-lo modificar sense haver de tornar a reescriure'ls tots. A la tercera, quarta i cinquena columnes s'han de posar les coordenades cartesianes x , y , i z respectivament.

Com que es faran servir elements tipus biga, el programa no permet definir geometries corbes. En aquest punt es du a terme una aproximació de la geometria real a la geometria que es farà servir a l'hora de realitzar els assajos i s'aproxima amb elements biga sense curvatura. A la Figura 69 i Figura 70 és pot veure la diferència que hi ha entre l'aproximació i la curvatura real d'alguns tubs de l'estructura.

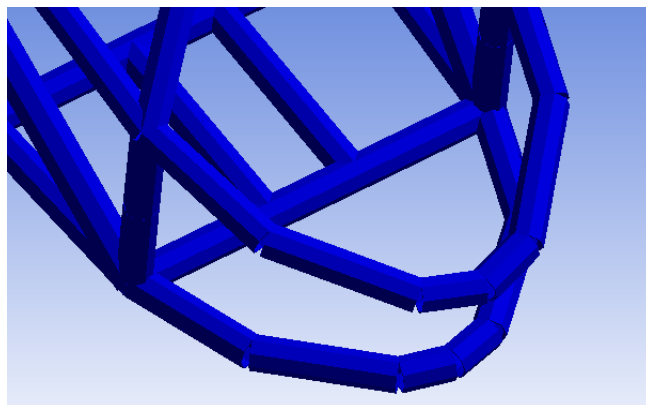


Figura 69: Aproximació usada per a fer l'estudi de la resistència de materials.

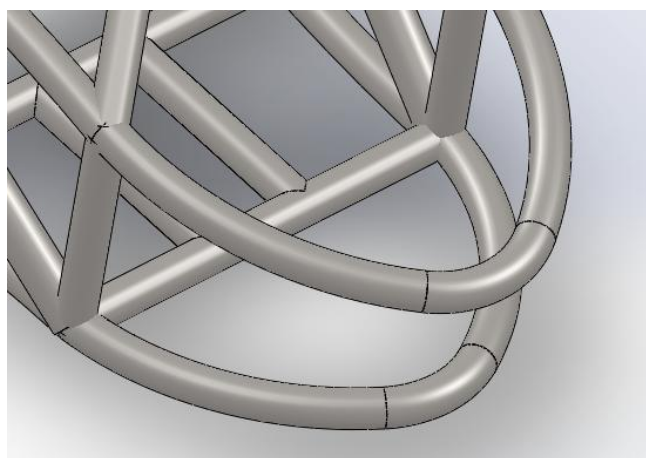


Figura 70: Geometria real, tubs amb curvatura.

Com més punts s'introdueixin, més definida quedarà la curvatura. A l'estudi realitzat, s'han introduït els punts dels extrems i el del centre de la curvatura. Amb aquest procés s'aconsegueix una bona aproximació de la curvatura real.

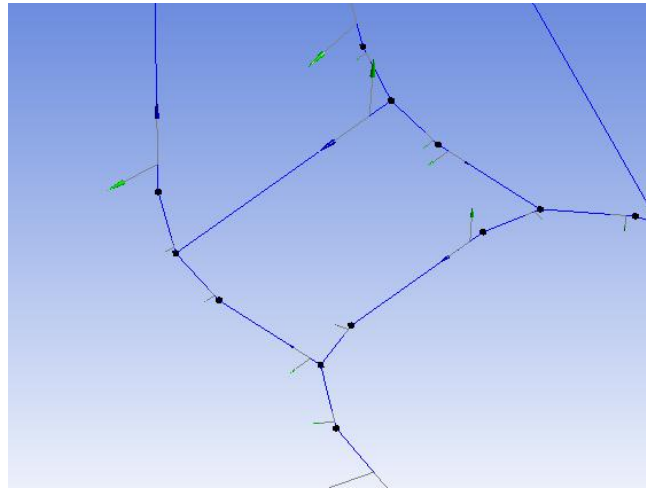


Figura 71: Representació tub corbat Ansys.

En aquest punt ja es poden començar a unir els punts per tal d'aconseguir la geometria desitjada tal i com es mostra a la Figura 72.

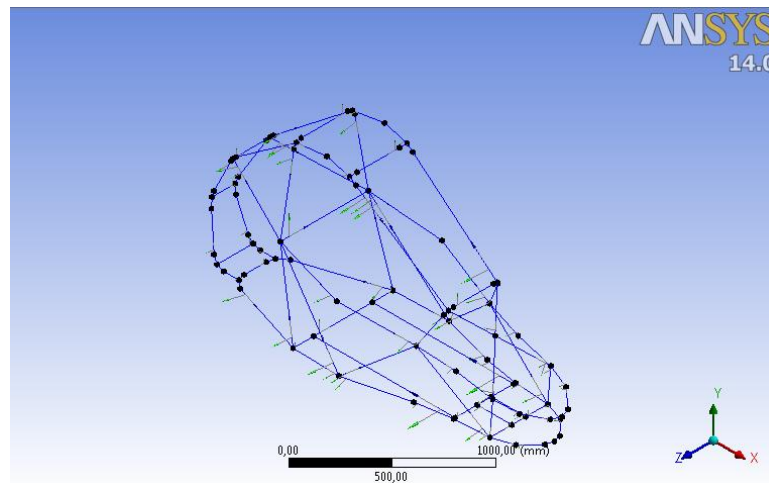


Figura 72: Geometria definida amb línies i punts.

Seguidament s'han de crear totes les seccions diferents dels tubs i definir-les a les barres de la geometria. Per fer-ho, s'usa l'opció " Cross Section → Circular Tube" . En aquesta s'introdueixen les dades corresponents als radis interior i exterior de cada secció que s'utilitzi a l'hora de fer l'estudi del xassís.

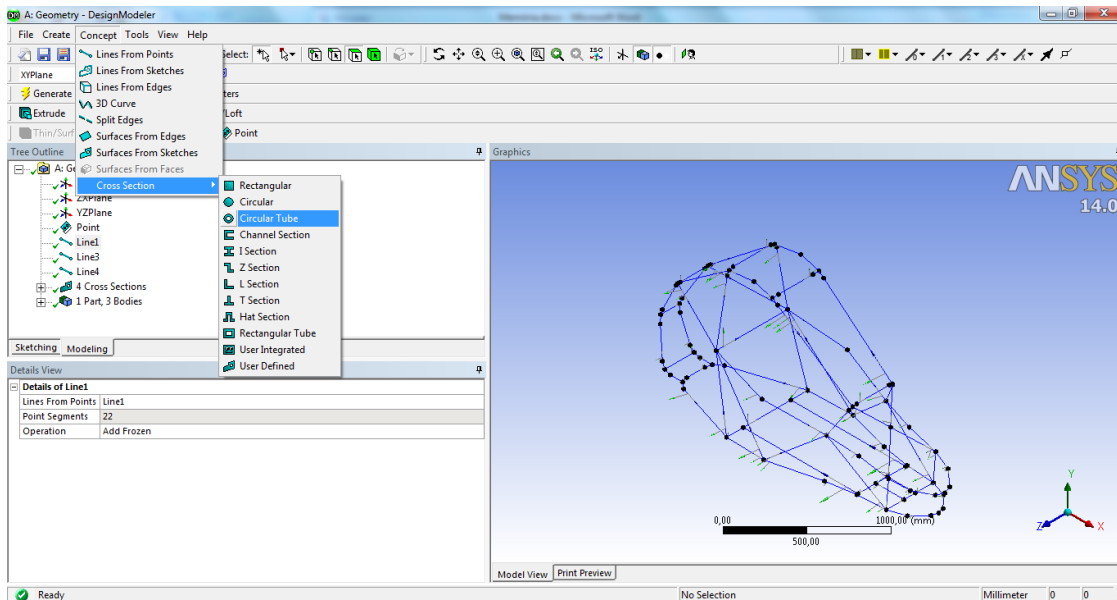


Figura 73: Opció per crear seccions.

Una vegada creades les seccions es definirà cada barra amb la secció corresponent. Ho podem fer per diferents grups de barres directament. Arribat aquest punt, ja s'ha definit tota la geometria. (Figura 74)

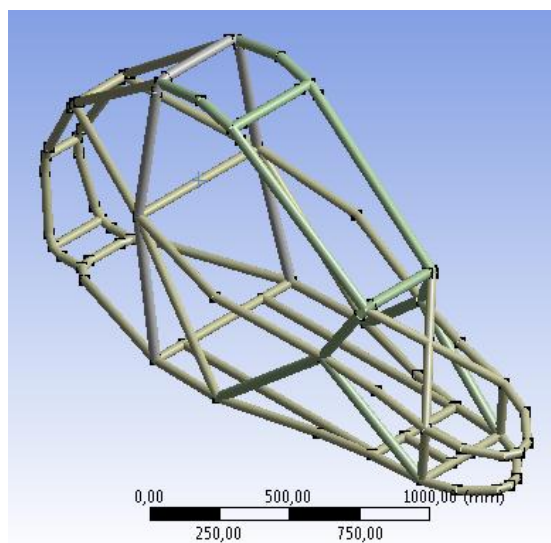


Figura 74: Geometria final.

C.1.4 Definir el material

Per tal de poder fer un anàlisi real, s'han de definir les característiques del material amb el que es fabricarà l'estructura tubular. Segons l'article 3 del "Reglament d'homologació d'estructures de seguretat davant la R.F.E. d'A." el material ha de ser acer. Per tant, es necessitaran les característiques del possible acer per poder-les introduir dins de "Engineering Data" de l'Ansys Workbench. Aquesta llibreria ja conté la definició d'alguns materials però se'n poden crear de nous o modificar-ne d'existents per a poder reproduir amb més exactitud el material usat.

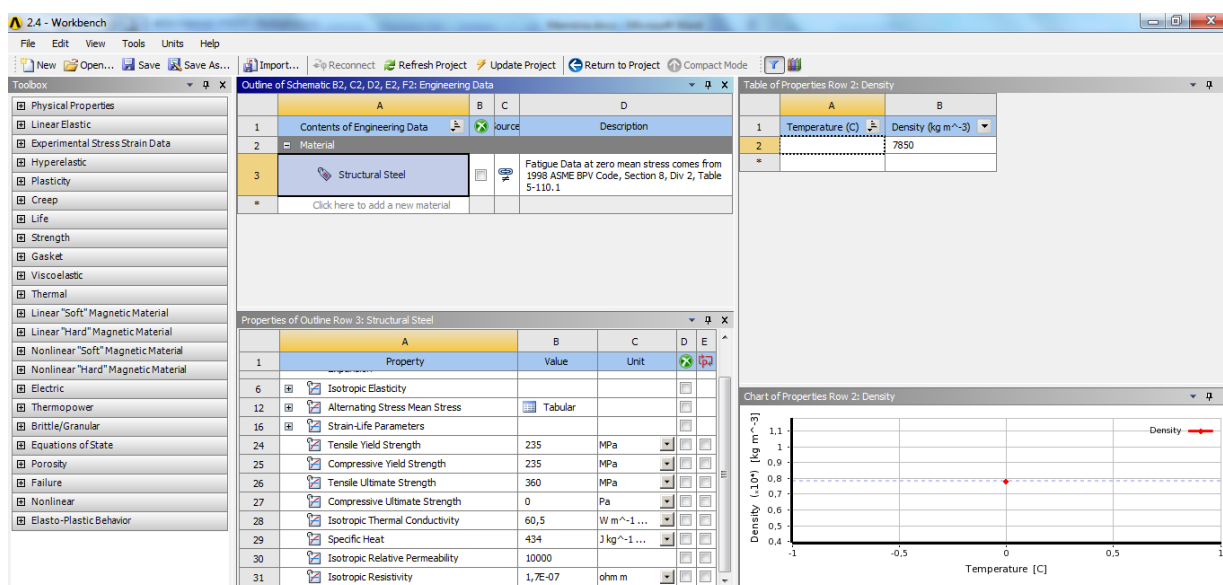


Figura 75: Llibreria amb les propietats de l'acer S235.

C.1.5 Mallat

El següent pas és mallar la geometria per tal de poder dividir l'estructura en elements petits, i així poder estudiar-ne les tensions i desplaçaments individualment. Aquest pas és imprescindible per poder resoldre el nostre estudi. L'Ansys Workbench facilita un mallat automàtic que és pot modificar segons convingui. Normalment com més elements formin la geometria, més exacta serà la resposta obtinguda, el problema recau amb el temps de càlcul que trigarà en fer el mallat.

Es realitzen algunes proves modificant la qualitat del mallat per tal de buscar l'equilibri entre temps de càlcul i el resultat que s'obindrà.

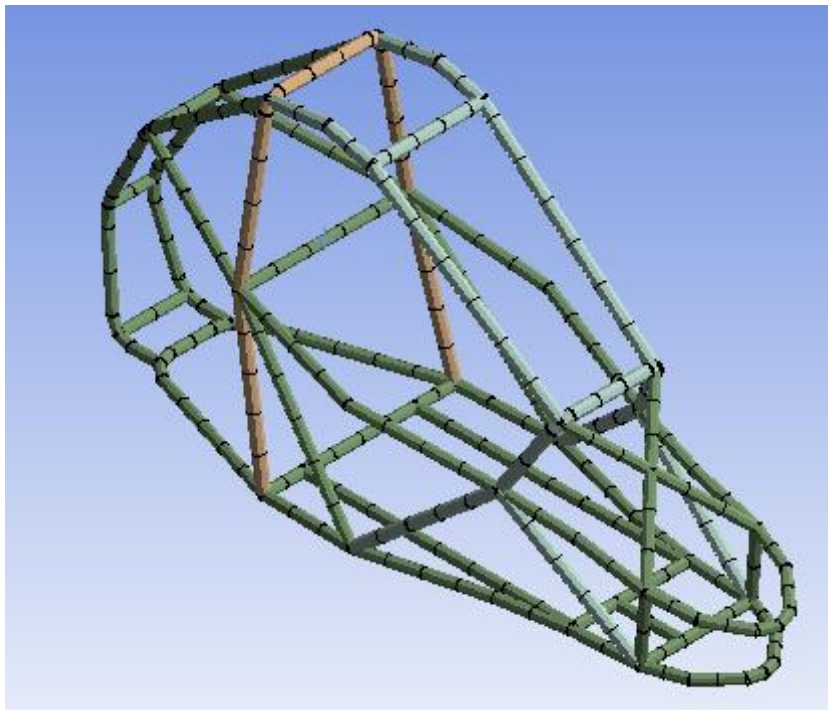


Figura 76: Mallat obtingut automàticament.

Per dur a terme aquestes proves es canvien alguns paràmetres en les opcions del mallat detallades a continuació:

Relevance: És el paràmetre més basic a l'hora de modificar la mida del mallat. Va de -100 a +100. Essent -100 el valor més bast i +100 el valor bo. Per defecte l'Ansys aplica el valor 0. A la Figura 77 és poden veure les opcions del mallat de l'Ansys Workbench.

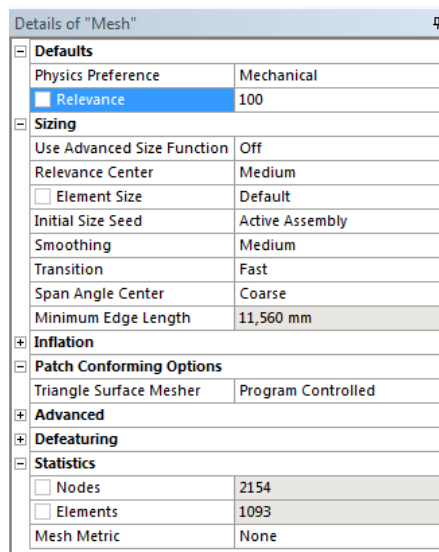


Figura 77: Opcions del mallat Ansys Workbench

Entre d'altres informacions també podem saber els elements que tenim al nostre model depenent dels paràmetres de mallat.

Relevance Center: És un paràmetre que ens mostra el punt mig de la dimensió de l'element. A la Figura 78 és pot veure un esquema amb la relació dels dos paràmetres. Per defecte l'Ansys aplica un "Relevance Centre" mitjà.

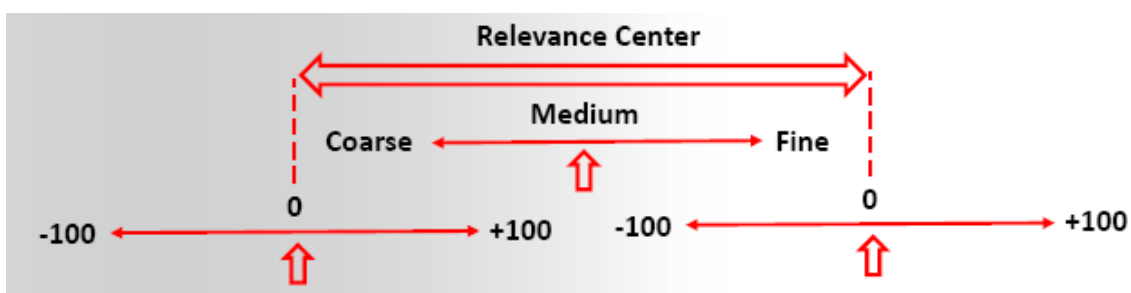


Figura 78: Esquema relació entre "Relevance Centre" i "Relevance"

També podem modificar el mallat depenent de com sigui la geometria. Podem mallar disminuint la mida dels elements a les proximitats d'un forat com es veu a la Figura 79.

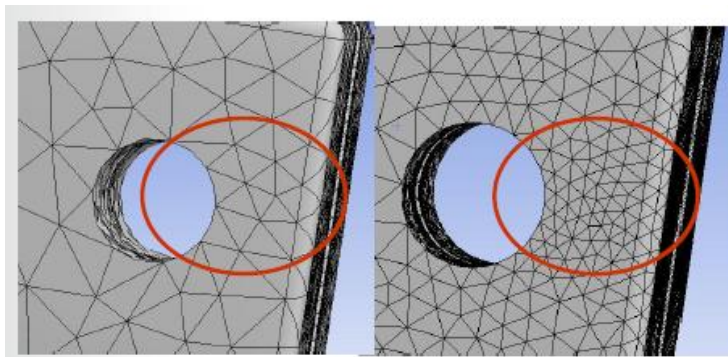


Figura 79: Malla fent servir la funció avançada del mallat de proximitat.

Dins de les funcions avançades de mallat hi ha diferents opcions a part de la de proximitat, però en el nostre model no es faran servir degut a que tenim elements de tipus biga i no sòlid. Per tant, millorarem el mallat únicament modificant els paràmetres "Relevance" i "Relevance Centre".

Un cop introduïts els dos paràmetres i executat el mallat, s'obtenen els resultats següents:

Relevance Centre	Relevance	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (Mpa)	Nodes	Elements
0	Coarse	5,0817	177,58	540	286
0	Medium	5,1393	177,98	956	494
100	Medium	5,1419	197,39	1480	756
0	Fine	5,1421	203,28	1586	809
100	Fine	5,1434	217,78	2260	1146

Taula 23: Resultats obtinguts per diferents paràmetres del mallat.

Es pot observar que a mesura que hi ha més elements, més petit és el desplaçament i gairebé no canvia, en canvi, el moment flector màxim augmenta considerablement. Les causes d'aquest augment són les següents:

Gràcies a les dades que proporciona l'Ansys Workbench, es pot veure que, en afinar el mallat, cada vegada el moment flector màxim és més a prop de la unió de tubs. L'explicació a aquest fenomen es troba en la concentració de tensions tal i com és pot veure a la Figura 80.

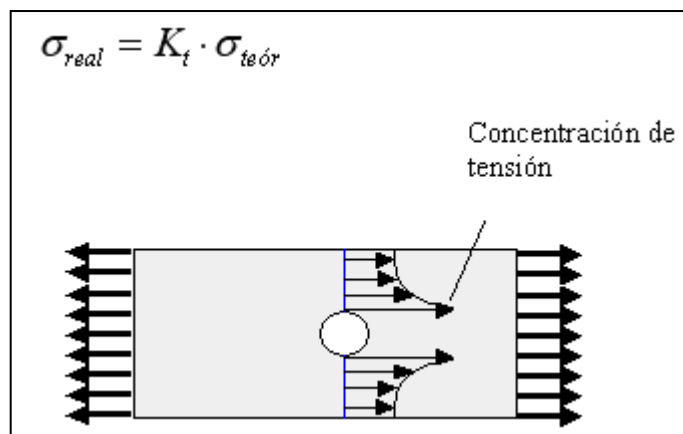


Figura 80: Exemple fenomen de concentració de tensions

A la estructura tubular passa una situació similar. L'Ansys divideix els segments amb elements tant petits com s'hagi fet el mallat, i fa una aproximació dins l'element en qüestió. En l'exemple anterior, l'element que està situat a la part més exterior i més allunyat del forat presenta una tensió mitjana propera a $\sigma_{teòrica}$. En canvi, l'element que està situat més a prop del forat presenta una tensió mitjana molt més gran que $\sigma_{teòrica}$ degut a K_t . Així doncs, en aquest exemple, tal i com succeeix al nostre cas, cada vegada que es fan els elements més petits, el valor de la tensió mitjana es fa més gran.

Per tant, a l'hora de fer el mallat de l'estructura no es tindrà en compte el moment flector màxim sinó que es mirarà el desplaçament. Per establir una pauta de treball, s'escollirà la configuració que tingui un error relatiu inferior a un 1%. Es pot veure que el desplaçament és pràcticament nul amb la configuració "Relevance Centre" = 100 i "Relevance" = Medium, i amb un error relatiu de 0,05% respecte el cas de mallat anterior. Per tant, serà l'escollida per a realitzar el mallat de les hipòtesis de càrrega.

C.1.6 Sol·licitacions i condicions de contorn

Un cop fet el mallat, ja es poden aplicar les forces i definir les condicions de contorn de l'assaig en concret.

El valor de les forces i la direcció queden definits per la normativa. Cada assaig tindrà unes sol·licitacions de càrrega diferents. Per poder definir aquestes forces s'han de seleccionar les arestes que ens indiqui la normativa. Per definir la direcció existeixen dues opcions, fer-ho com si fos un vector o a partir de coordenades.

Pel que fa a les condicions de contorn, tal i com mostra la Taula 19 de l'Annex A. Normativa s'ha de restringir el moviment en tots els graus de llibertat (desplaçament i rotació) de cada node de fixació. Per tant, escollirem tots els nodes indicats i en restringirem el moviment amb l'opció "Suport fix".

C.1.7 Resultats

Com que els criteris d'acceptació són la tensió i desplaçament, s'indica que es vol que els resultats que es mostrin en pantalla siguin amb element biga, per tant, es farà servir l'opció de "beam tool" que permetrà obtenir tant el desplaçament com el moment flector màxim entre d'altres resultats. A la Figura 81 és mostra com extreure els resultats l'Ansys.

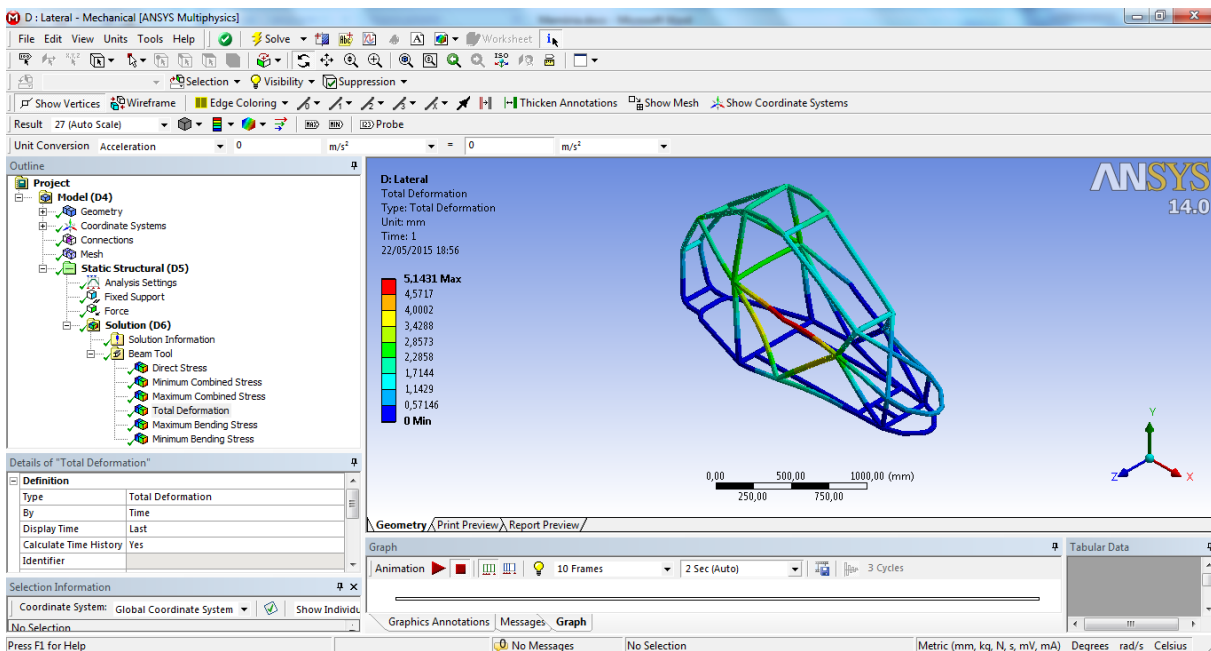


Figura 81: Exemple de resultat de desplaçament obtingut aplicant càrrega lateral.

Es pot veure l'escala de valors entre el màxim i el mínim, com estan distribuïts a l'estructura i on es troba el valor màxim. Així doncs, d'una manera visual es pot analitzar quines barres són les que reben més esforços i quines no són tan importants.

C.2 Estudi FEM del xassís preliminar

C.2.1 Introducció

Per tal de poder analitzar si el xassís preliminar pot ser capaç de suportar les sol·licitacions que exigeix la normativa d'homologació es farà un estudi de resistència de materials. Per dur-ho a terme és seguirà el punt B.1 d'aquest Annex amb algunes peculiaritats.

C.2.2 Pre-procés estudi resistència materials

En aquest punt es detallarà la preparació de les condicions amb les que s'ha de fer l'estudi de resistència de materials del xassís preliminar.

Pel que fa als assajos, tal i com s'ha explicat al punt C.1.2, s'aplicaran 4 casos diferents:

- 1. Càrrega Vertical: 7,5 vegades el pes del vehicle en daN.
- 2. Càrrega Longitudinal davantera: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- 3. Càrrega Longitudinal posterior: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- 4. Càrrega Lateral: 3,5 vegades el pes del vehicle en daN.

Per començar, es definirà la geometria obtinguda en digitalitzar l'estructura explicada al punt B.3.3. de l'annex B, d'allà es treuen tots els punts del xassís. També s'haurà de tenir en compte l'aproximació que s'ha fet pels tubs corbats. Aquesta aproximació i tot el procés per definir la geometria està detallat al punt C.1.3 de l'annex C.

Una vegada feta la geometria, s'ha de definir el material. Com que desconexim el material amb el que es va fabricar l'estructura, definirem el material escollit a l'annex E, per poder realitzar els assajos i veure quins és el seu comportament. Aquest material doncs serà l'acer E355 +C que compleixi la norma EN 10305-1. Les seves propietats mecàniques són les que apareixen a la Taula 36 de l'Annex E més concretament al punt E.2.3. La raó per la qual s'ha escollit aquest acer és perquè és el que presenta les millors propietats mecàniques.

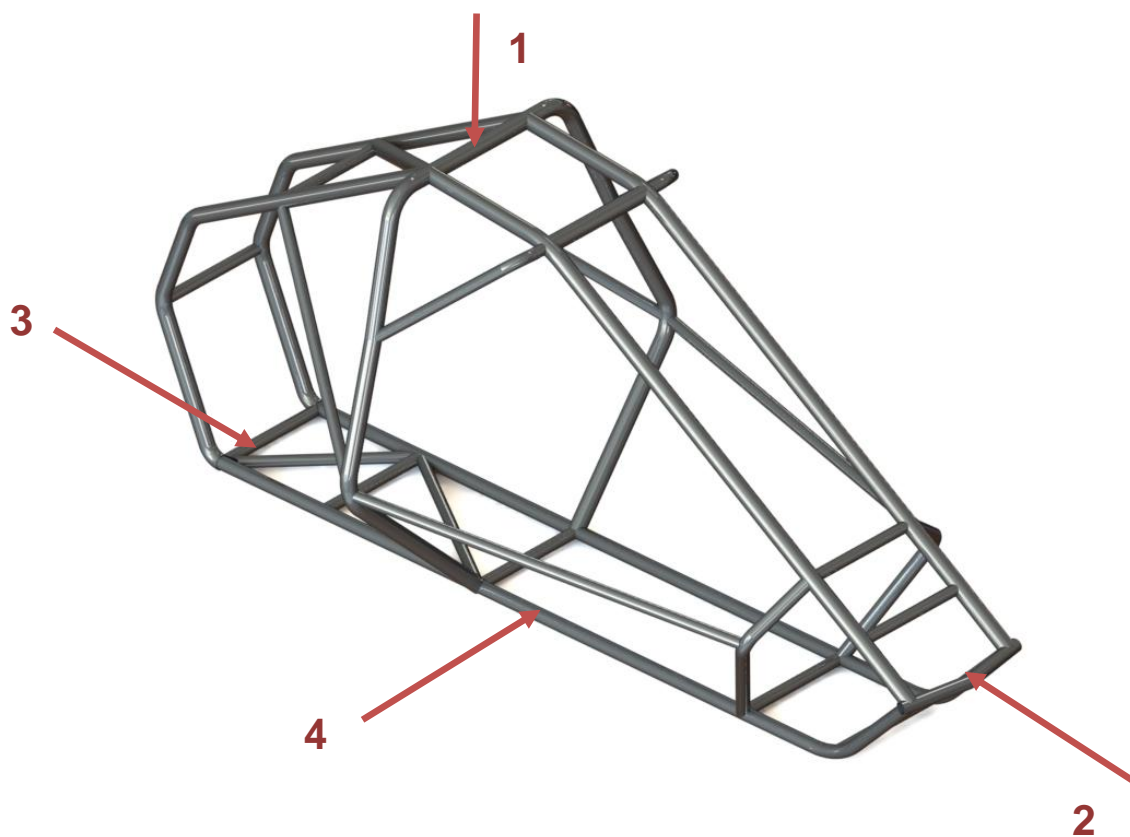
Aquest material definirà el cas ideal i es faran les hipòtesis amb les diferents càrregues. Si no es compleixen amb aquest material, tampoc es compliran amb qualsevol altre.

Pel que fa al mallat, tal i com vam poder veure a punt C.1.5. Mallat, s'escull "Relevance center" = 100 i "Relevance" = Medium, tal i com es va concloure a l'anàlisi del mallat.

Les sol·licitacions i condicions de contorn s'aplicaran tenint en compte el punt C.1.6. Els valors de les càrregues en Newtons seran els següents:

- Càrrega Vertical: 28875 N.
- Càrrega Longitudinal davantera: 23100 N.
- Càrrega Longitudinal posterior: 23100 N.
- Càrrega Lateral: 13475 N.

A continuació s'indiquen les direccions de les càrregues i el seu punt d'aplicació.



1. Punt d'aplicació de la força vertical segons la Figura 34 del punt 4.1.4 del Reglament d'homologació que es troba a l'Annex A serà el següent:

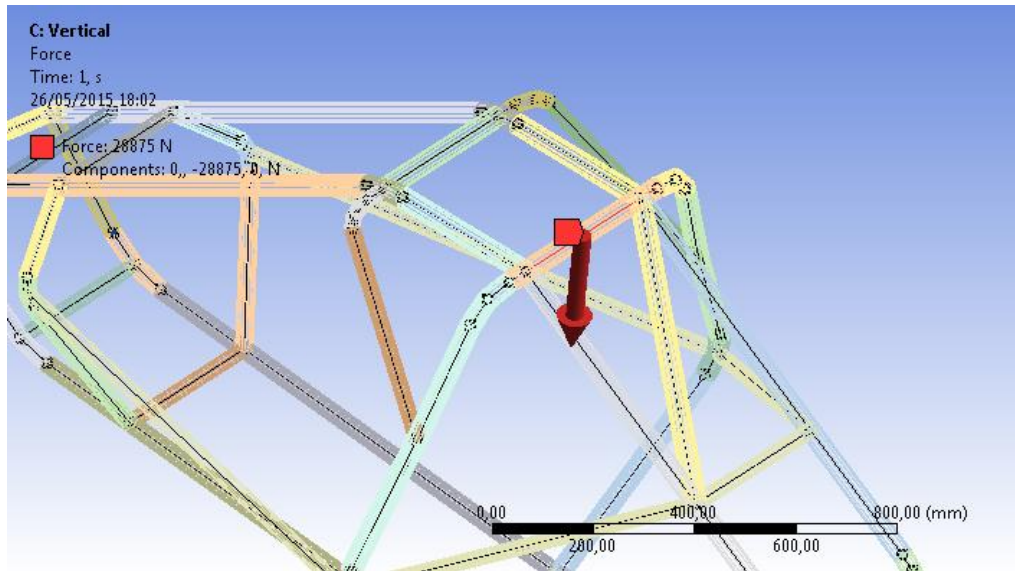


Figura 82: 3 barres on s'aplica la força vertical

2. Punt d'aplicació de la força longitudinal davantera.

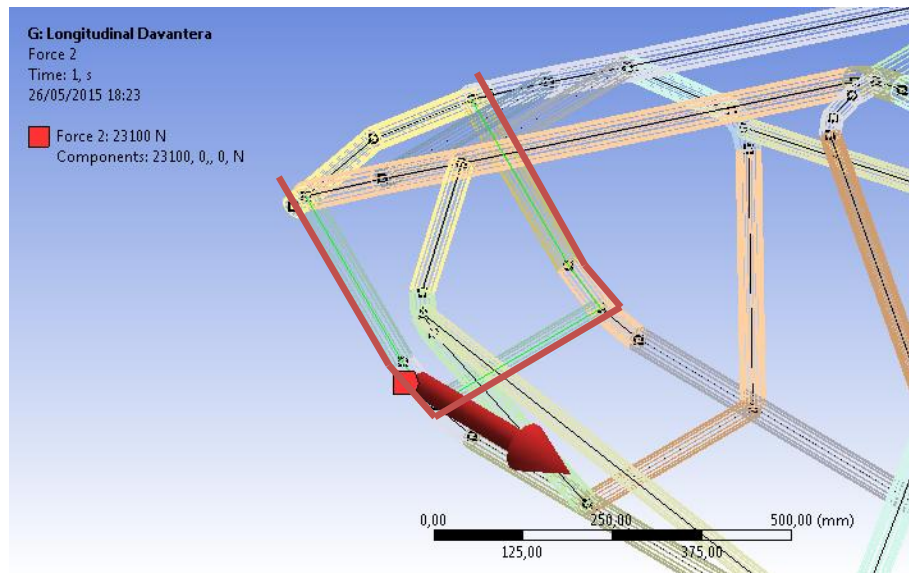


Figura 83: 5 barres on s'aplica la força longitudinal davantera.

3. Punt d'aplicació de la força longitudinal posterior:

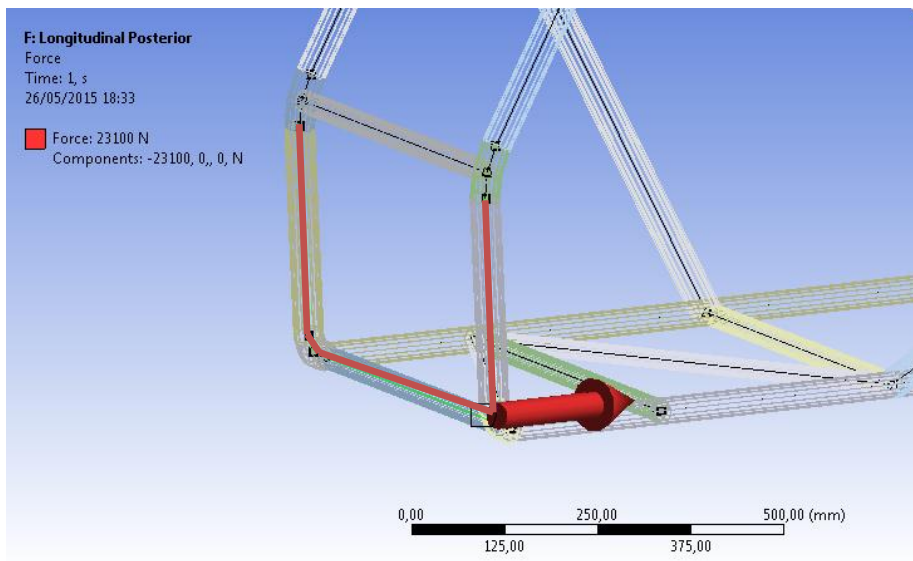


Figura 84: 5 barres on s'aplica la força longitudinal posterior.

4. Punt d'aplicació de la força lateral:

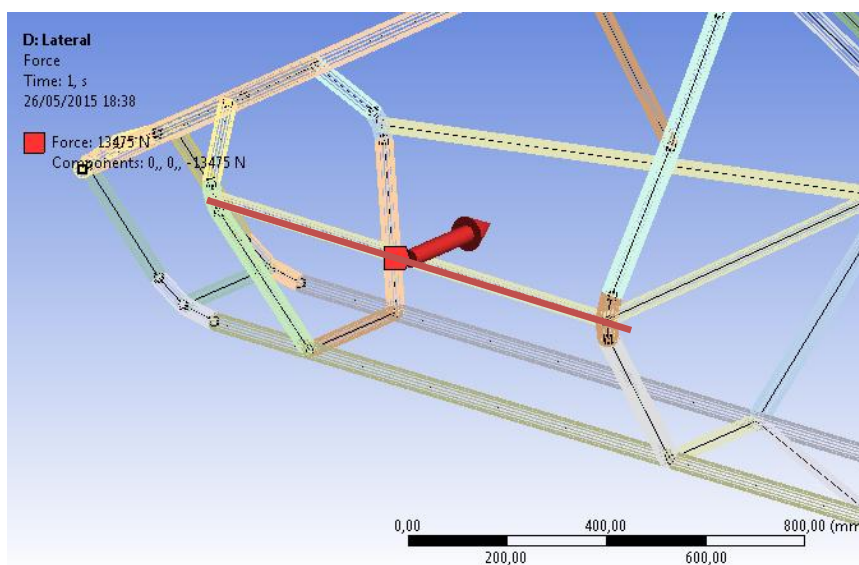


Figura 85: barra on s'aplica la força lateral

S'ha agafat com a referència la Figura 35 a l'hora d'aplicar les forces dels 4 casos, ja que la normativa al ser general, s'ha d'adaptar al cas concret de cada xassís.

Les condicions de contorn s'escullen seguint la Taula 19 i restringint tant el desplaçament com la rotació, tal i com indica el punt 4.2 del Reglament d'homologació. Els punts escollits en el xassís preliminar són els mostrats a la Figura 86.

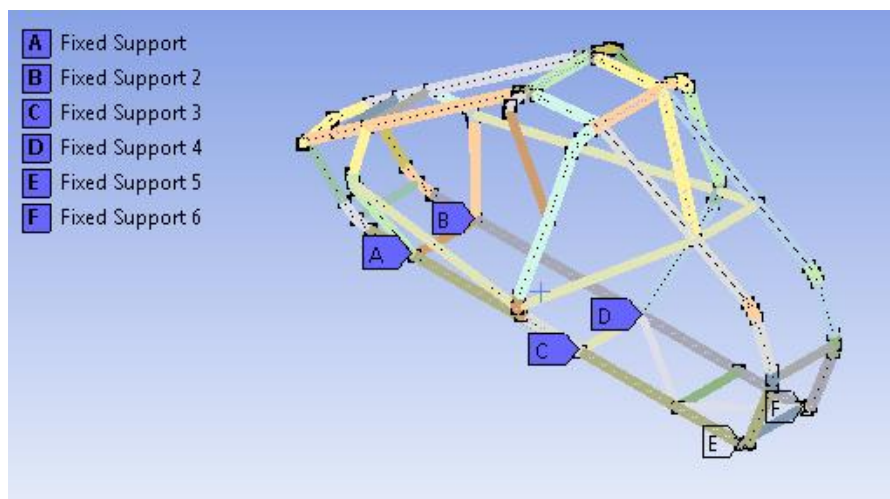


Figura 86: Punts de fixació.

C.2.3 Resultats hipòtesis

Una vegada resolt els 4 casos d'estudi els resultats es mostren gràficament a la Figura 87 i numèricament a la Taula 24:

Nº prova	Definició	Desplaçament (mm)	Moment flector màx (MPa)
1	Càrrega Vertical	12,64	587,75
2	Càrrega Longitudinal Davanter	5,08	250,67
3	Càrrega Longitudinal Posterior	4,07	631,39
4	Càrrega Lateral	37,21	1577,90

Taula 24: Resum 4 casos d'estudi normativa seguretat

Es pot veure que en cap cas es supera el desplaçament màxim de 50 mm. Però per altre banda, sí que es supera el límit elàstic mostrat a la Taula 36 al punt E.2.3 de l'Annex E, que és de 512 MPa. Només en el cas de la càrrega longitudinal davantera aquest valor no és superat.

Per tant, es pot concloure que aquesta estructura de seguretat no podrà ser homologada per incompliment dels requisits dels assajos de seguretat. S'ha comprovat que en la major part dels casos es supera límit elàstic i encara que es canviés la tipologia d'acer estirat en fred sense soldadura complint amb la Norma EN 10305-1, sempre s'aconseguirien valors superiors a aquests. Les propietats mecàniques d'aquests acers es poden veure a Taula 32.

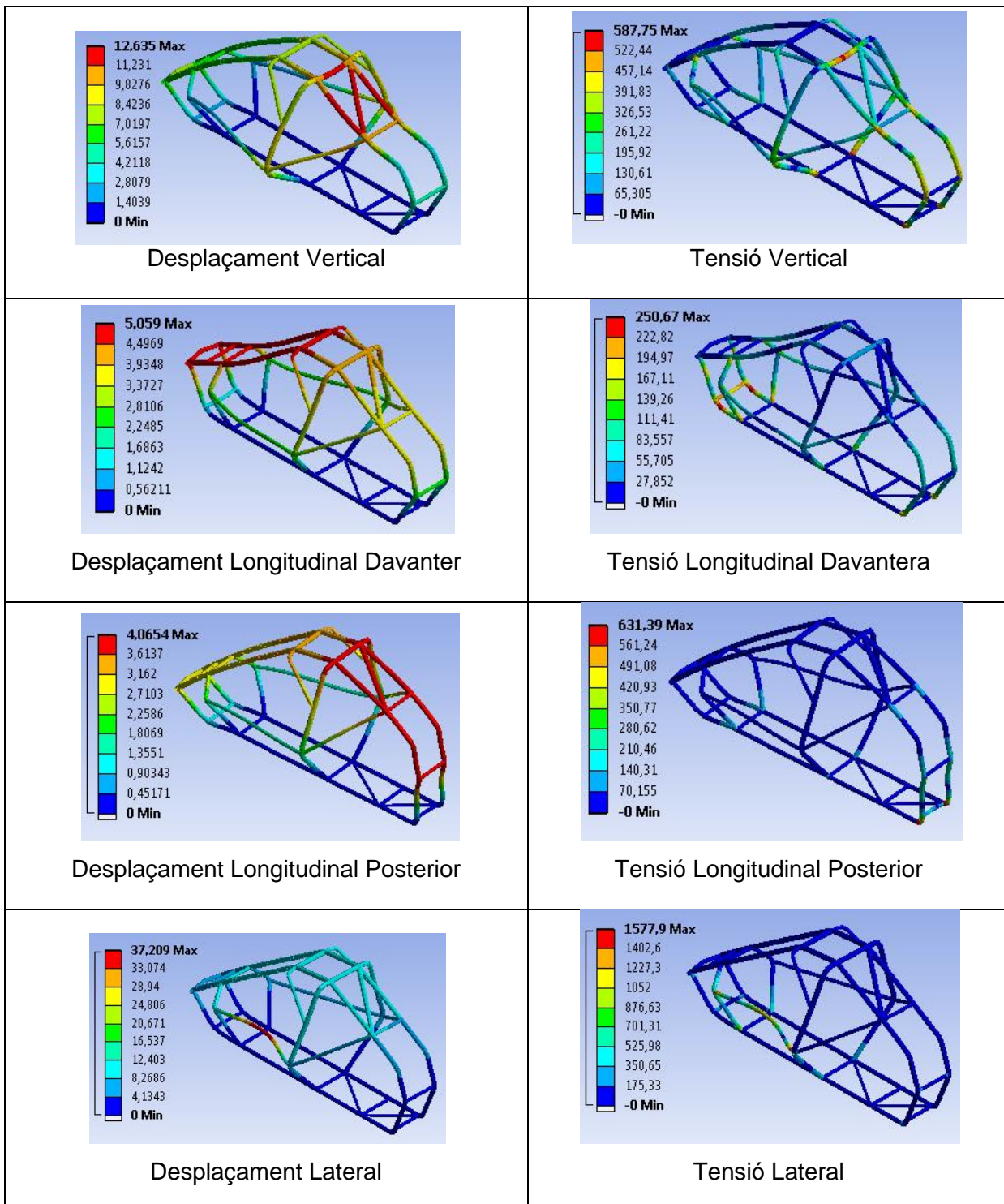


Figura 87: Resum sol·licitacions per zones xassís preliminar

Analitzant detingudament els resultats obtinguts observem que l'origen de d'incompliment dels requisits no recau tant en l'elecció del material (és el que presenta millors propietats mecàniques) sinó del disseny i dimensionament del xassís. Un clar exemple és el resultat de hipòtesi de càrrega lateral en el que es pot veure com aquesta càrrega queda absorbida per l'únic tub que disposa aquesta part del xassís. La justificació d'aquest disseny, que com s'ha vist anteriorment és una rèplica d'un Fouquet francès, pot ser que en el moment de la seva creació la normativa de seguretat no era tant estricta.

De cares al nou disseny, es tindrà en compte la necessitat de reforçar aquesta zona, ja sigui augmentat diàmetre i espessor del tub, com reforçant amb altres barres per poder repartir més l'esforç.

C.3 Estudi FEM del xassís dissenyat

C.3.1 Introducció

Per tal de poder analitzar si el xassís dissenyat pot suportar les sol·licitacions que exigeix la normativa d'homologació es farà un estudi de resistència del materials. Per dur-ho a terme és seguirà el punt B.1 d'aquest Annex amb algunes peculiaritats.

C.3.2 Pre-procés estudi resistència materials

En aquest punt es detallarà la preparació de les condicions amb les que s'ha de fer l'estudi de resistència de materials al xassís final escollit a l'annex D al punt D.7.

Pel que fa als assajos, tal i com s'ha explicat al punt C.1.2, s'aplicaran 4 casos diferents:

- 1. Càrrega Vertical: 7,5 vegades el pes del vehicle en daN.
- 2. Càrrega Longitudinal davantera: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- 3. Càrrega Longitudinal posterior: 6 vegades el pes del vehicle en daN.
- 4. Càrrega Lateral: 3,5 vegades el pes del vehicle en daN.

Per començar, s'extrauran els punts dels nodes mitjançant el disseny final en 3D definit a l'apartat D.7 de l'Annex D i també s'haurà de tenir en compte l'aproximació que es va haver de fer per tal de no tenir tubs corbats a l'Ansys Workbench. Aquesta aproximació i tot el procés per definir la geometria esta detallat al punt C.1.3 de l'annex C.

Una vegada feta la geometria, s'ha de definir el material. Com es pot veure a l'apartat E.3 de l'annex E, el material escollit és acer estriat en fred sense soldadura E355 +C.

Pel que fa al mallat, tal i com vam poder veure a punt C.1.5. Mallat, s'escull "Relevance center" = 100 i "Relevance" = Medium, tal i com es va concloure a l'anàlisi del mallat.

Les sol·licitacions i condicions de contorn s'aplicaran tenint en compte el punt C.1.6. Els valors de les càrregues en Newtons seran els següents:

- Càrrega Vertical: 28875 N.
- Càrrega Longitudinal davantera: 23100 N.
- Càrrega Longitudinal posterior: 23100 N.
- Càrrega Lateral: 13475 N.

A continuació s'indiquen les direccions de les càrregues i el seu punt d'aplicació.

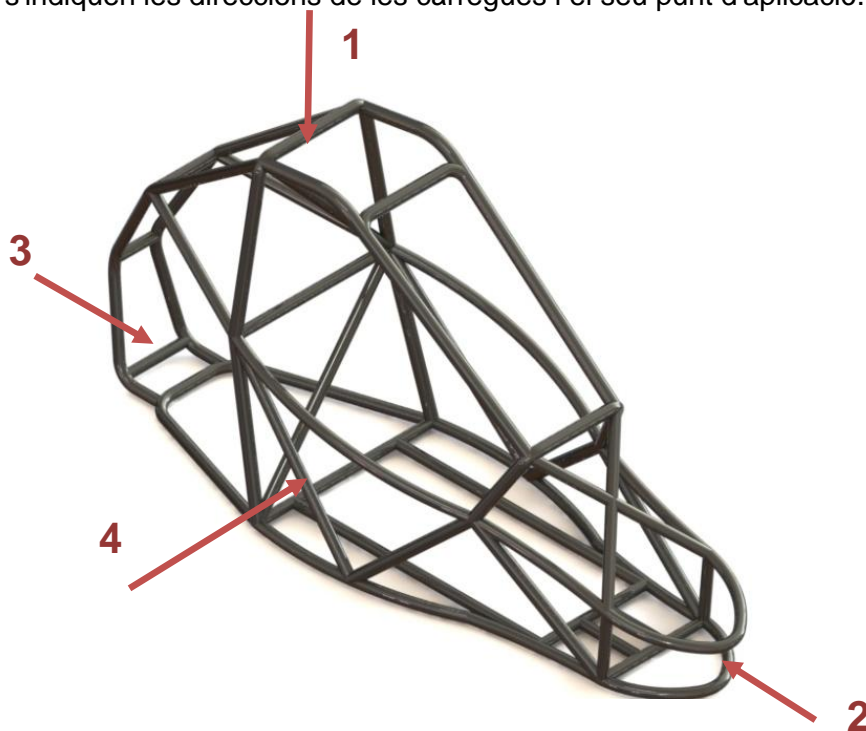


Figura 88: Disposició càrregues en el monoplaça

1. Punt d'aplicació de la força vertical segons la Figura 34 del punt 4.1.4 del Reglament d'homologació que es troba a l'Annex A serà el següent:

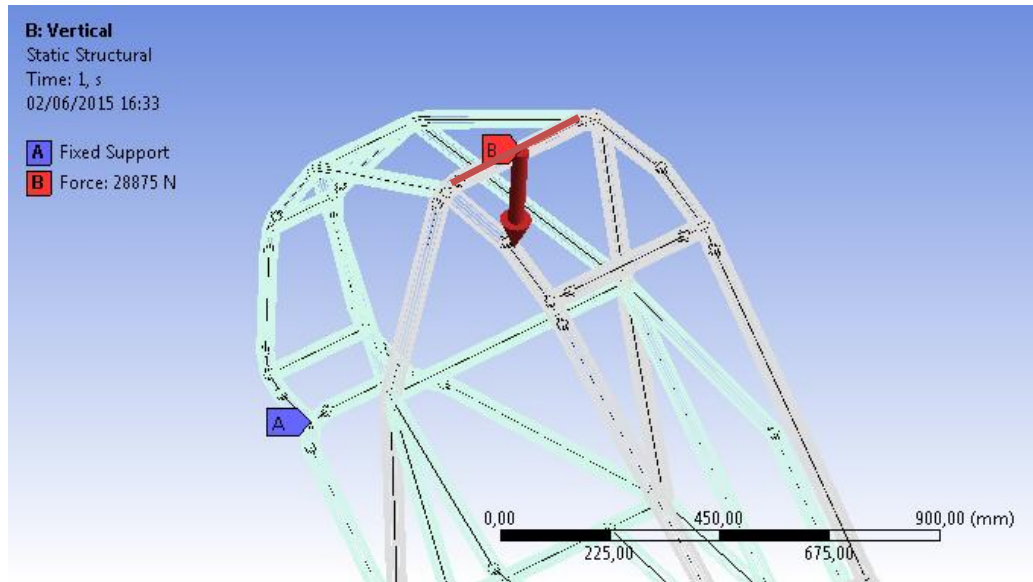


Figura 89: 3 barres on s'aplica la força vertical

2. Punt d'aplicació de la força longitudinal davantera.

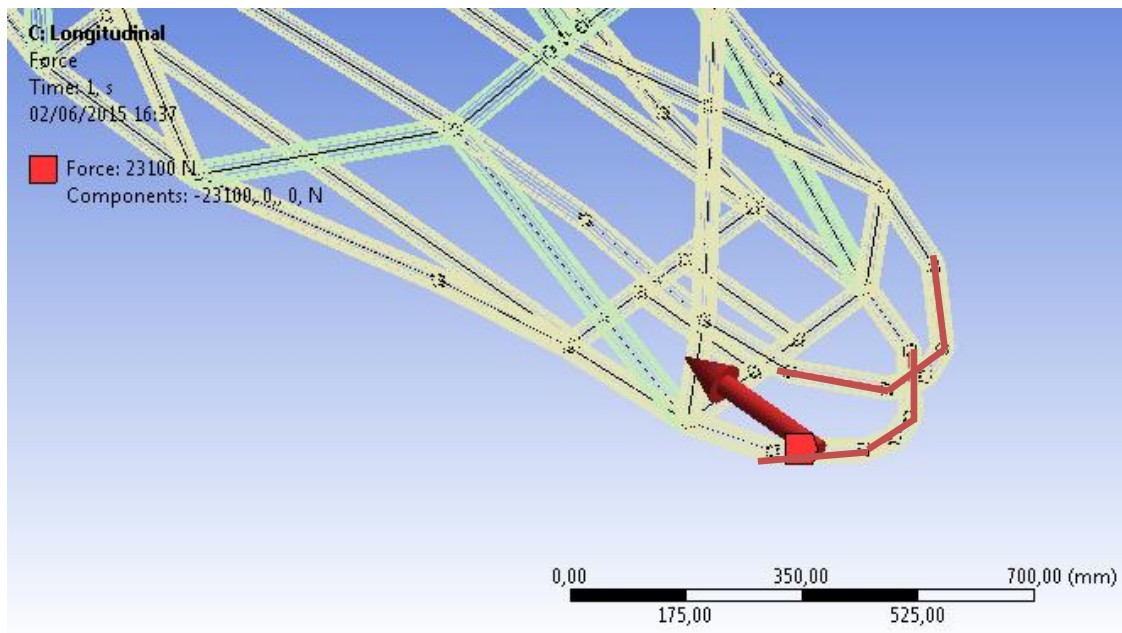


Figura 90: 5 barres on s'aplica la força longitudinal davantera.

3. Punt d'aplicació de la força longitudinal posterior:

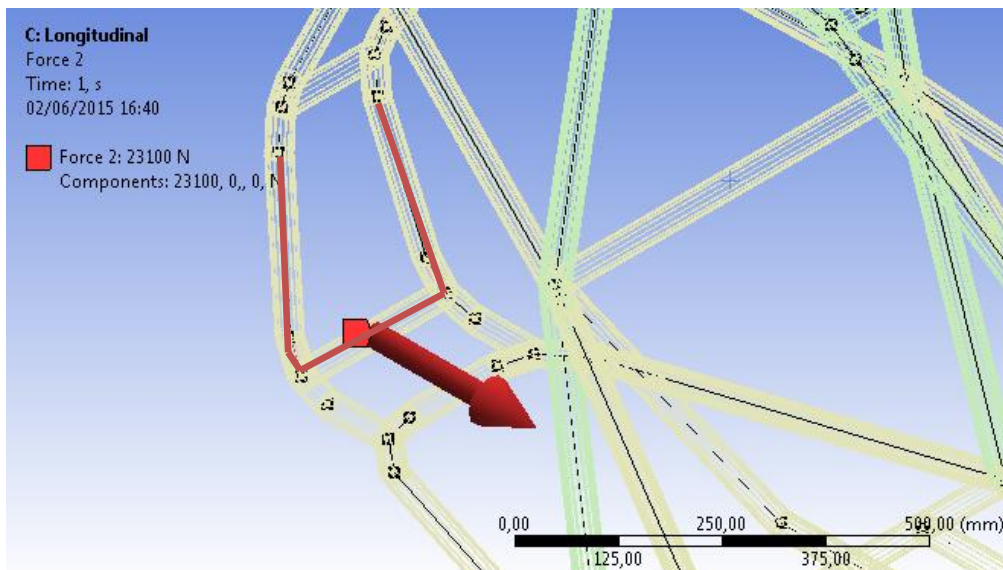


Figura 91: 5 barres on s'aplica la força longitudinal posterior.

4. Punt d'aplicació de la força lateral:

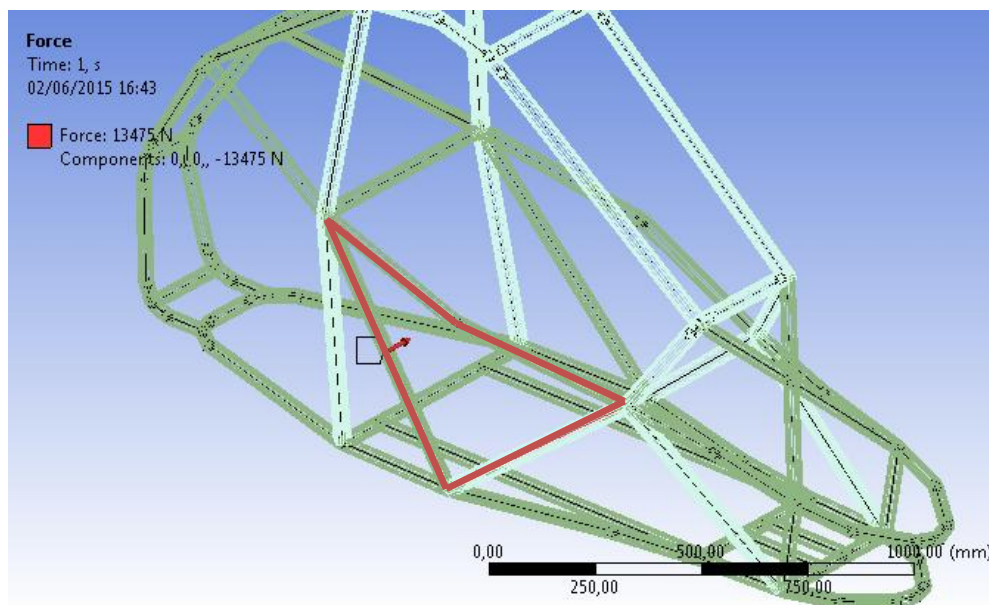


Figura 92: barra on s'aplica la força lateral

S'ha agafat com a referència la Figura 35 a l'hora d'aplicar les forces dels 4 casos, ja que la normativa al ser general, s'ha d'adaptar al cas concret de cada xassís.

Les condicions de contorn són escollides seguint la Taula 19 i restringint tant el desplaçament com la rotació tal i com ens indica el punt 4.2 del Reglament d'homologació. Els punts escollit en el cas del xassís dissenyat són els recollits a la Figura 93.

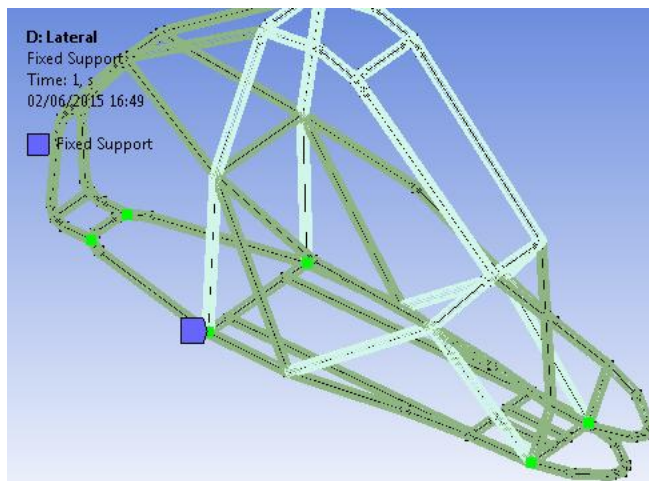


Figura 93: Punts de fixació.

C.3.3 Resultats hipòtesis

Una vegada resolt els 4 casos d'estudi els resultats són els següents (Taula 25):

Nº prova	Definició	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (Mpa)
1	Càrrega Vertical	1,78	362,30
2	Longitudinal Davanter	2,55	210,77
3	Longitudinal Posterior	0,52	214,70
4	Càrrega Lateral	4,62	194,78

Taula 25: Resultats 4 casos d'estudi normativa de seguretat

Es pot veure que cap dels valors obtinguts ni de tensió, ni de desplaçament sobrepassen el valor el màxim que determina la normativa de la Federació Espanyola d'Automobilisme per homologar el xassís.

També es mostren les zones amb majors tensions i desplaçaments del xassís a la taula següent (Figura 94):

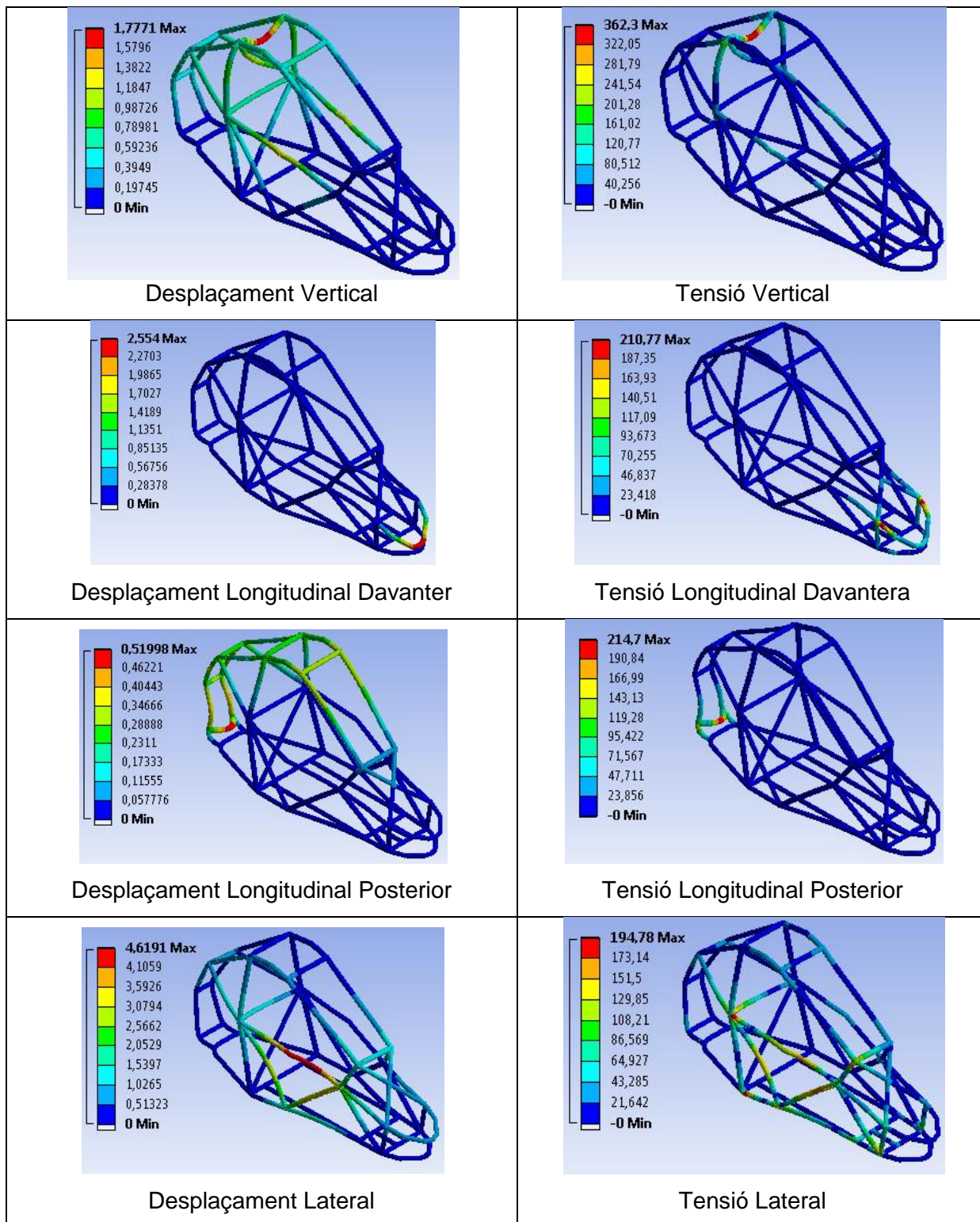


Figura 94: Resum sol·licitacions per zones xassís dissenyat

ANNEX D. PROCÉS DE DISSENY

D.1 Introducció

En aquest annex es mostrarà el procés que s'ha seguit a l'hora de desenvolupar el xassís final i els estudis previs que s'han efectuat per arribar a aquest disseny.

S'ha de tenir en compte en tot moment que, degut a que el xassís és l'element estructural de seguretat del pilot, s'han de seguir unes normes descrites a l'annex A d'obligatori compliment per aconseguir l'homologació de la Federació Espanyola d'Automobilisme.

A l'hora de fer el procés del disseny, primer s'ha dut a terme un estudi de l'ergonomia del pilot per tal de poder saber quin espai serà necessari per a poder efectuar la millor conducció i també un estudi de les dimensions generals del propulsor. Una vegada obtingut el pre-disseny s'aplicaran els càlculs i estudis pertinents per optimitzar les variables de disseny fins a obtenir el disseny del xassís final.

D.2 Variables i procés de disseny

Abans de començar amb el disseny del xassís s'han de tenir en compte els requisits de disseny i també el procés que es seguirà per arribar-hi.

El xassís és l'estructura de suport de tots els elements mecànics que permet al pilot realitzar una conducció eficient. Per aconseguir unir tants sistemes i poder aconseguir un bon comportament en la competició s'han de tenir en compte moltes variables.

D.2.1 Variables de disseny

Les variables de disseny més rellevants a l'hora de dur a terme el disseny d'un xassís són:

- La dinàmica del monoplaça
- La comoditat de la conducció
- La seguretat imposada per la normativa
- La fabricació
- El cost del xassís

- La fiabilitat
- La rigidesa torsional
- El pes
- La Disposició dels elements mecànics més importants.

Un exemple de les variables que s'haurien de tenir en compte a l'hora de dissenyar el xassís d'un monoplaça de les nostres característiques és el següent (Figura 95):

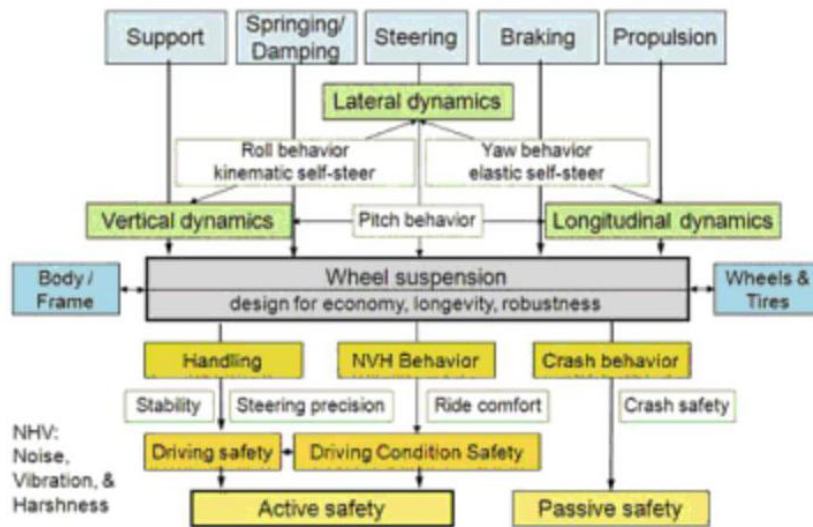


Figura 95: Variables de disseny monoplaça

Degut a que l'estudi de totes aquestes variables seria pràcticament impossible amb els medis que es disposem, es tindran en compte únicament les variables exposades anteriorment. L'estudi previ del xassís preliminar del punt B.3 de l'Annex B, permetrà comparar i extreure informació de les variables per poder validar el disseny final.

D.2.2 Algorisme de disseny

Per dur a terme el xassís del vehicle podem fixar-nos amb l'algorisme extret de "The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnßen, Butterworth-Heinemann 2001" (Figura 96).

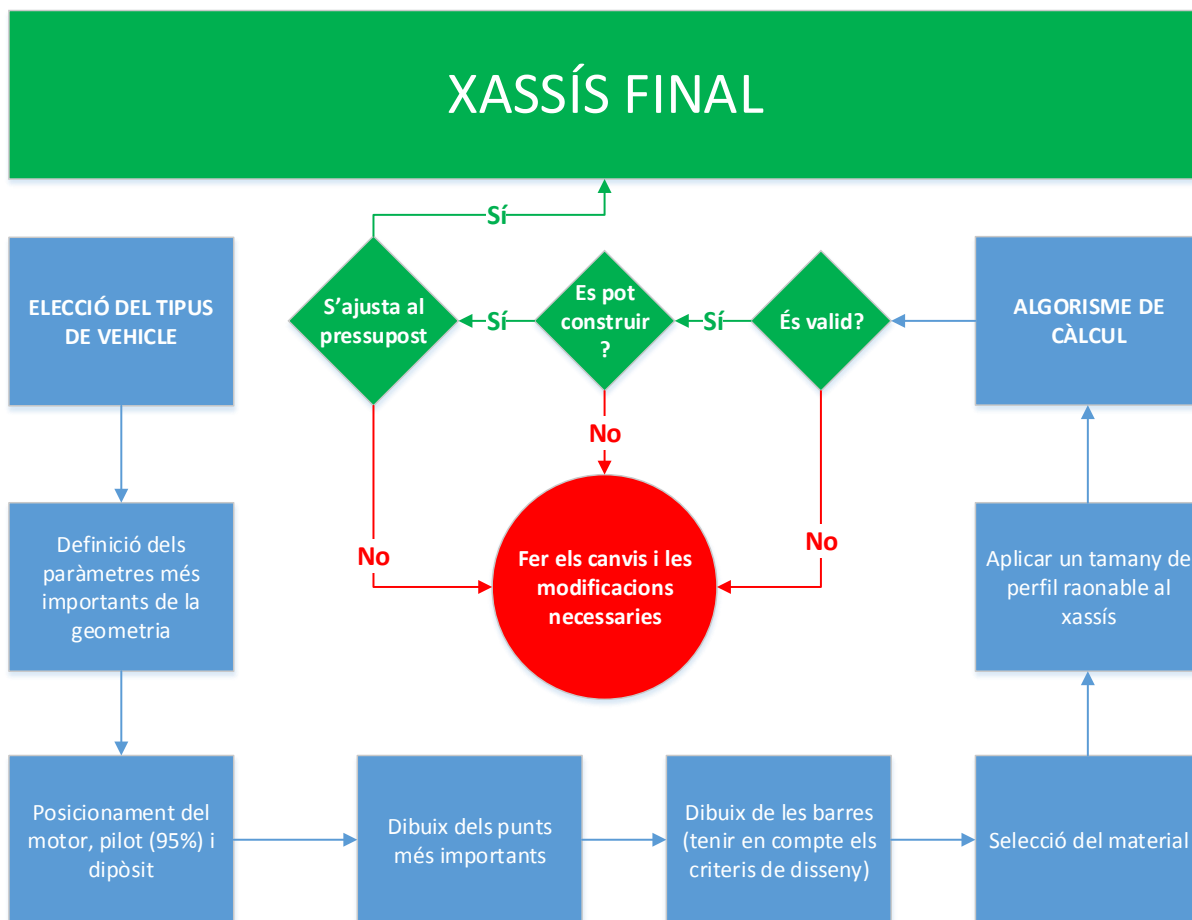


Figura 96: Algorisme de disseny (The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnßen, Butterworth-Heinemann 2001)

D.3 Estudis previs

Es realitzaran els estudis previs de l'ergonomia del pilot i també l'estudi de les dimensions generals del motor per a poder ajustar el màxim possible a les condicions reals.

D.3.1 Ergonomia

Un aspecte molt important a l'hora de dissenyar un xassís és el confort del pilot dins el vehicle. El pilot ha de poder estar assegut amb una posició el més còmoda possible i poder tenir a l'abast tots els comandaments necessaris per a realitzar una conducció el més eficient possible. Els comandaments necessaris pel pilot són el volant per controlar la direcció del monoplaça, la palanca del canvi de marxes i els pedals del gas, embragatge i fre. Els últims seran controlats pels peus i el volant i la palanca del canvi amb les mans.

També s'ha de tenir en compte que en cas d'emergència, el pilot ha de ser capaç de sortir el més ràpid possible del monoplaça. En aquest cas, la normativa ens obliga a tenir un sistema d'alliberament del volant per facilitar aquest fet.



Figura 97: Sistema d'alliberament de la direcció

A més de pensar en l'ergonomia del pilot a l'hora de manipular els comandaments, s'ha de tenir en compte que el pilot ha de cabre correctament dins de l'estructura i en el moment de manipulació d'algun comandament no pot interferir cap part del cos amb cap element del monoplaça. Per tant, la gàbia de seguretat s'ha de dissenyar pensant en aquest propòsit.

Un dels elements que tindran més contacte amb el pilot limitant l'espai interior a l'estructura serà el seient, que ha de ser de tipus "baquet" homologat per la FIA tal i com marca la normativa.

S'ha buscat un seient comercial que compleixi la normativa i tingui l'homologació de la FIA. L'escollit és un Sparco REV (Figura 99).



Figura 98: Seient tipus "baquet" Sparco REV

FIA

Liste N°12

N° Homol.	Constructeur du siège Seat manufacturer	Modèle Model	Date	Supports à utiliser Supports to be used	S2000 ⁽²⁾
.CS.915.98	SPARCO	Rev	06.98	Latéraux ou inférieurs Lateral or Lower	
.CS.916.98	SPARCO	Ultra	06.98	Latéraux ou inférieurs Lateral or Lower	
.CS.917.98	SPARCO	Pro 2000	06.98	Latéraux ou inférieurs Lateral or Lower	
.CS.918.98	SPARCO	EVO	06.98	Latéraux Lateral	
.CS.919.98	MOMO	Mirage	06.98	Latéraux Lateral	
.CS.922.98	EKTOR	START EVO	06.98	Latéraux Lateral	
.CS.924.98	OMP	ARS	07.98	Latéraux	

Figura 99: Fragment de la llista n°12 de la FIA on apareix l'homologació del Sparco REV.

Les dimensions del seient són les següents (Figura 100):

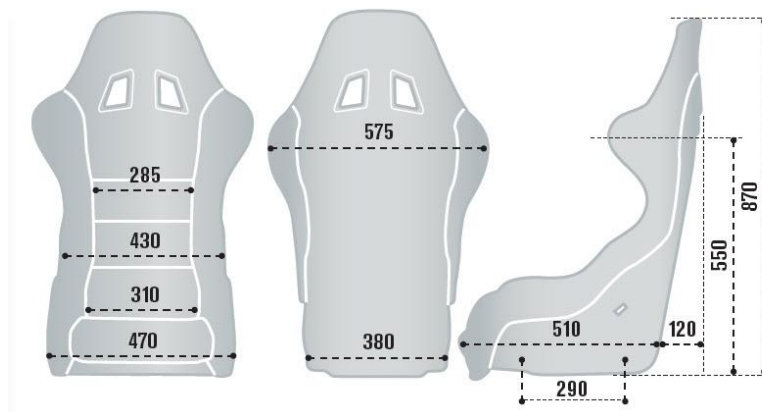


Figura 100: Dimensions del seient escollit

El pes total del seient és de **7'4 Kg**

Una vegada tenim el seient, s'ha de mesurar el pilot o pilots que conduiran el monoplaça. Majoritàriament es dissenyen els monoplaques per tal de poder-lo comercialitzar i han de poder allotjar la major varietat de pilots possible.

En el cas de construir el monoplaça per un sol pilot, es podria optimitzar al màxim i adaptar-lo al pilot al 100%, però aquest fet augmentaria molt el seu preu. Per tal de poder trobar la millor configuració per allotjar-hi el nombre màxim de pilots s'agafen les mesures més extremes com per exemple, agafant el pilot més alt i el més baix. La majoria de monoplaques contenen sistemes per ajustar les dimensions a diferents pilots mitjançant per exemple diferents posicions de les subjeccions del seient (Figura 101).



Figura 101: Guies de subjecció del seient regulables

En el nostre cas es dissenyarà el xassís tenint en compte les mesures d'un sol pilot però es buscarà la possibilitat de poder allotjar-hi més pilots mitjançant les guies anteriorment anomenades.

Les mesures que s'han estudiat són (Figura 102):

9. Alçada màxim pilot amb casc: **1020 mm**
10. Alçada volant: **400 mm**
11. Distància volant: **60 mm**
12. Angle volant: **60°**
13. Alçada genolls: **325 mm**
14. Angle pedalària: **50°**
15. Distància base peus: **500 mm**

També és mesura la massa del pilot per a poder saber el repartiment de masses en el monoplaça. Conèixer la disposició dels elements amb més massa ens donarà molta informació del seu comportament.

16. Pes pilot: **75 Kg**

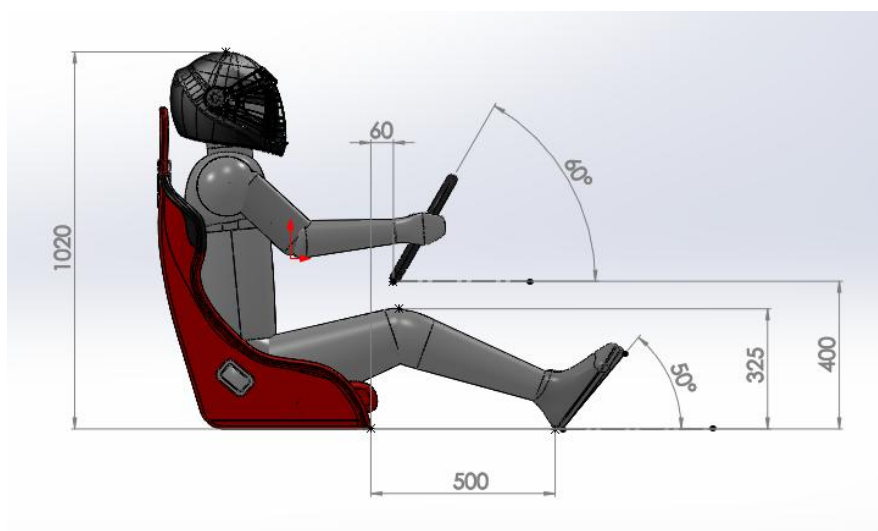


Figura 102: Mesures realitzades al pilot

Una vegada representat en 3D el pilot ja es pot començar a delimitar la zona pel pilot. Es tindrà en compte que la distància entre el pilot i xassís sigui prou gran per evitar la col·lisió en el moment del pilotatge.

D.3.2 Dimensions generals propulsor

Pel disseny del xassís es tindrà en compte les dimensions del propulsor que s'utilitzarà al monoplaça. El motor s'ha definit a l'apartat B.3.2 Components mecànics de l'Annex B.

Primer de tot s'ha de dibuixar en 3D per tal de poder conèixer les dimensions i poder escollir-ne la millor ubicació. També tenir el motor en 3D serà positiu per a poder veure que serà possible el seu muntatge i quin sistema serà usat per introduir-lo a la seva posició final.

Tal i com s'ha usat fins ara per digitalitzar elements del monoplaça, s'utilitzarà el programa Solidworks.

Digitalització en 3D del propulsor

Per digitalitzar-lo es farà servir una eina del Solidworks que ens permet inserir una imatge, escalar-la usant una cota real, i poder fer servir la imatge per fer el croquis (Figura 103). No es la manera més exacta de digitalitzar-lo, però com que no és necessària gran exactitud, s'ha decidit fer-ho d'aquesta manera.

La finalitat de l'estudi del motor és només tenir les dimensions generals i no el disseny de les unions amb el xassís. Pel disseny de les unions seria necessària una gran exactitud en el model en 3D del motor.

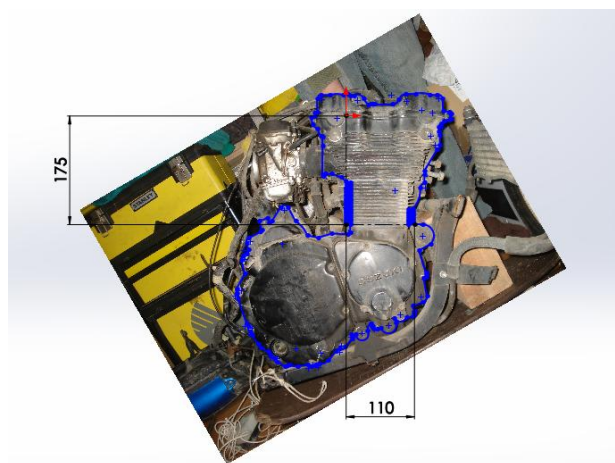


Figura 103: Fotografia del motor usada de referència pel dibuix en 3D

Una vegada obtingut el contorn del motor, amb les eines de Solidworks ja s'hi poden acabar de dibuixar els detalls. El bloc, culata, carter i caixa de canvis serà un mateix sòlid (Figura 104) per no haver de desmuntar el motor completament.

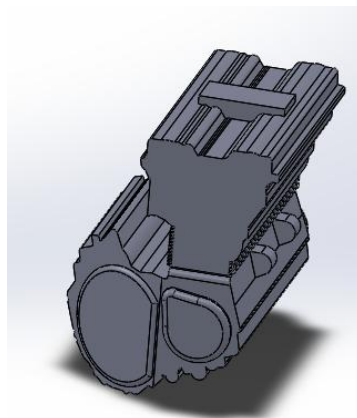


Figura 104: Sòlid motor Suzuki

Per acabar s'han dibuixat els components de fàcil accés i desmuntatge com el filtre de l'aire, els carburadors i les toveres d'admissió. També es dibuixa aproximadament quina disposició tindrien els tubs d'escapament dels gasos d'escapament.

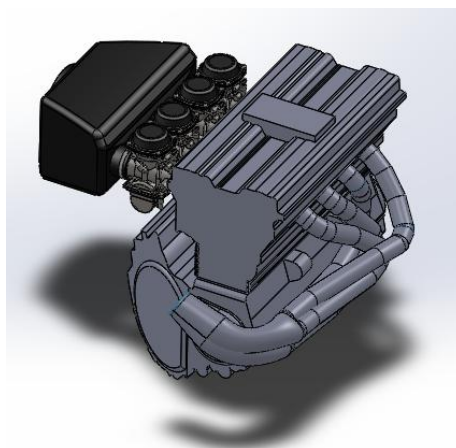


Figura 105: Conjunt complert propulsor monoplaça

Com ja s'ha explicat, no es busca més detall en el dibuix del motor ja que només és un estudi de les dimensions generals per tenir-lo en compte en el disseny del xassís final. Es poden consultar les dimensions generals al plànol número 6 del Document de plànols.

Tal i com s'ha fet amb el pilot, s'ha mesurat la massa del motor i els seus elements més importants ja que juntament amb el pilot, és un dels components que té més massa i pot fer canviar el comportament del vehicle. La massa total del propulsor és de **102 Kg**.

D.4 Procés de disseny

Amb tota la informació obtinguda tant de l'estudi del pilot com del motor, ja es pot començar a pre-dissenyar el xassís. Per fer-ho s'ha fet una recerca de la majoria de monoplaques de Carcross esmentats al punt B.2 de l'Annex B i altres monoplaques amb característiques semblants per a poder extreure conclusions de l'enginyeria inversa.

Un monoplaça que ha cridat l'atenció quan s'ha consultat ha sigut el mostrat a la Figura 106:



Figura 106: Monoplaça Hyper Pro Racer (origen Americà)

Es un monoplaça que competeix en circuits d'asfalt i el format de competició és molt semblant a la del Karting. Però a diferència del Karting, el monoplaça consta de suspensió i cockpit, en canvi el Karting (Figura 107) el xassís és obert i no contenen sistema de suspensió. La massa d'aquest monoplaça és de 185 Kg i també consta de sistema de fre a cada roda.



Figura 107: Monoplaça de karting

Una vegada es té la idea bàsica i la informació de l'ergonomia del pilot ja es pot començar a muntar el xassís amb les barres principals. Com es pot veure a la Figura 108 majoritàriament tots els xassís de Carcross estan compostats de les mateixes barres.

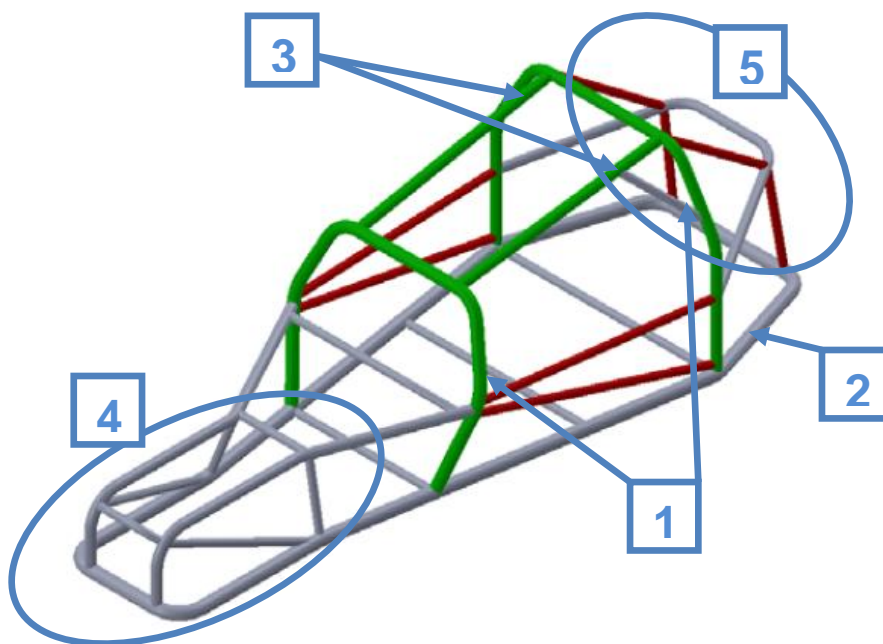


Figura 108: Xassís Carcross exemple

1. Estan compostats per dos arcs de seguretat, un al davant del pilot i l'altre al darrera.
2. El fons del xassís és pla i paral·lel al terra.
3. Hi ha dos tirants que uneixen els dos arcs de seguretat.
4. Hi ha una estructura que protegeix les cames del pilot i on es subjecta la suspensió davantera.

5. Hi ha una estructura que envolta la zona del motor i on es subjecta la suspensió posterior.

S'ha començat dimensionant les barres de l'arc principal i l'arc davanter sempre tenint en compte l'informació aportada a l'estudi de l'ergonomia (Figura 109).



Figura 109: Primeres barres dimensionades (arc frontal i posterior)

S'ha trobat necessari que el pilot pogués comptar amb la màxima visió a través del xassís cap al circuit. Principalment degut a que la competició s'esdevé en circuits de dimensions reduïdes, tal i com s'ha explicat al punt B.1.2 de l'Annex B, i també per la mala visibilitat que originen les partícules de pols en suspensió que provoquen els monoplaques que van al davant en el moment de la competició. Tal i com es pot veure a la Figura 110 el pilot podrà veure un objecte a una distància de **1,34 m** aproximadament de la part davantera del monoplaça. Aquest camp de visió serà el màxim que es podrà obtenir si es respecta la bona posició de conducció del pilot analitzada a l'estudi ergonòmic.

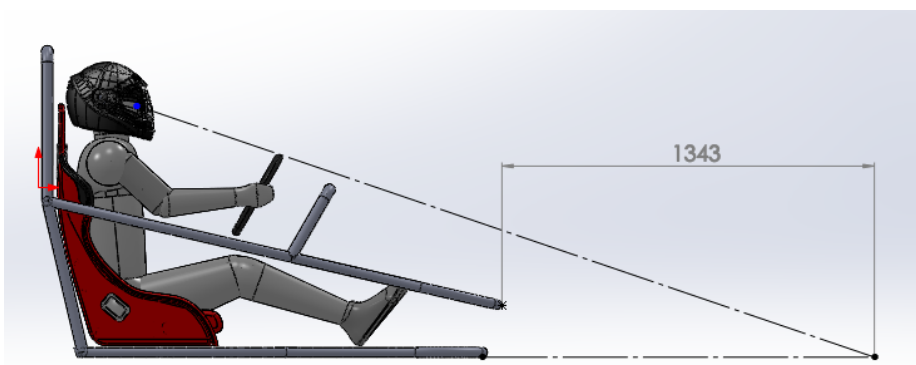


Figura 110: Punt de visió del pilot

Aquesta distància es considera correcta per les necessitats de la competició. Seguidament es dimensionen els tirants que uneixen els dos arcs de seguretat. S'ha tingut en compte que es complexin tots els apartats de la normativa anomenats al punt A.2.1 de l'annex A. El fragment que condiciona el disseny dels esmentats tirants és la següent:

- *Es obligatori la instal·lació d'un sostre rígid i metàl·lic sobre el pilot.*

A la Figura 111 i a la Figura 112 es pot veure com en tot moment s'ha mirat la comoditat del pilot i que el cos no interferís amb cap barra del xassís tenint el suficient espai per a poder conduir.



Figura 111: Xassís amb els tirants dels arcs de seguretat

També es pot veure que s'han posicionat les dues barres on anirà subjectat el seient per tal d'aconseguir el fons pla del xassís.



Figura 112: Tirants vista lateral

Per acabar s'unirà l'arc de seguretat frontal amb la base inferior del monoplaça (Figura 113) acabant de dimensionar el cockpit.



Figura 113: Cockpit pre-disseny del xassís

En aquest moment és en el que s'ha de començar a dimensionar la part on s'allotjarà el motor i la transmissió usant les dimensions generals del propulsor. Es vol aconseguir un vehicle de longitud reduïda per tal de poder ser molt maniobrable en circuits amb corbes i estrets (Figura 114).



Figura 114: Pre-disseny amb el propulsor

Per complir amb la normativa, s'han de contenir tant la transmissió i el dipòsit com el propulsor dins del xassís. Amb això s'acabarà de dimensionar aquesta zona (Figura 115).

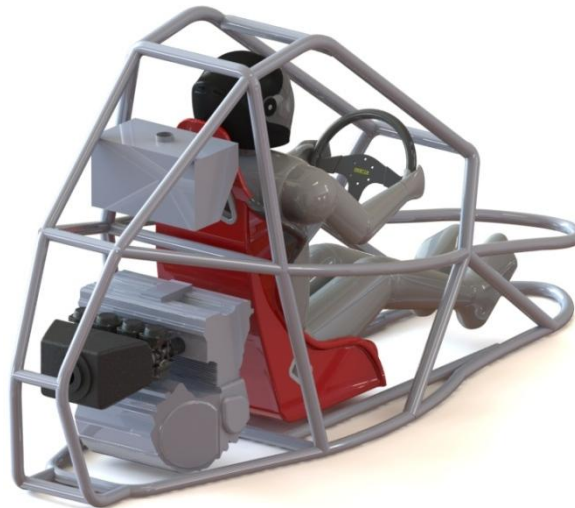


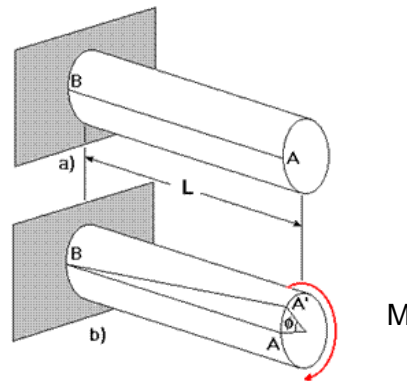
Figura 115: Tubs zona transmissió i propulsor

Un cop definit el pre-disseny cal fer els càlculs pertinents per tal d'acabar de dissenyar el xassís. Per fer-los es tindran en compte les variables de disseny comentades anteriorment.

D.5 Rigidesa torsional

D.5.1 Introducció

Un paràmetre de disseny del xassís serà la rigidesa torsional. Aquest valor en un barra recta de secció uniforme és la relació entre el moment torçor aplicat en un dels seus extrems i l'angle girat per aquest extrem, al mantenir fixa l'altre extrem de la barra.



$$K_{tors} = \tau_{tors} = \frac{M_x}{\theta_x}$$

Les unitats que normalment s'utilitzen són (N·m/°). Habitualment s'expressa el parell per provocar el gir d' 1°.

En el cas d'un xassís, la rigidesa torsional és la relació entre el moment aplicat a la suspensió davantera i l'angle girat, mantenint fixa la suspensió posterior.

La rigidesa torsional és el valor més representatiu de com serà la resposta dinàmica del vehicle. És important en sol·licitacions de canvi de masses i en la resposta directa del vehicle. Tindrà vital importància sobre aquest paràmetre el disseny del sistema de suspensió i el disseny dels xassís. Si es té un vehicle molt rígid, la transmissió de masses serà mínima però serà un vehicle molt incòmode en règim sobre superfície irregular. Al ser un vehicle de competició, aquest comportament s'acceptarà degut a que la comoditat és un factor secundari. Per a la realització del projecte es cercarà l'objectiu d'aconseguir un xassís molt rígid i permetre un major rang de millora dinàmica mitjançant el sistema de suspensió.

Per tenir una referència de l'ordre de magnitud de la resistència torsional, es consulta la d'un xassís tubular de característiques semblants i resulta de 3000 N·m/° amb un pes de 50 Kg.

D.5.2 Càlcul rigidesa torsional

El càlcul de la rigidesa torsional es farà mitjançant l'Ansys. Primer de tot s'han de restringir els desplaçaments i rotacions dels nodes del xassís on hi hauran els ancoratges de la suspensió posterior (Figura 116)

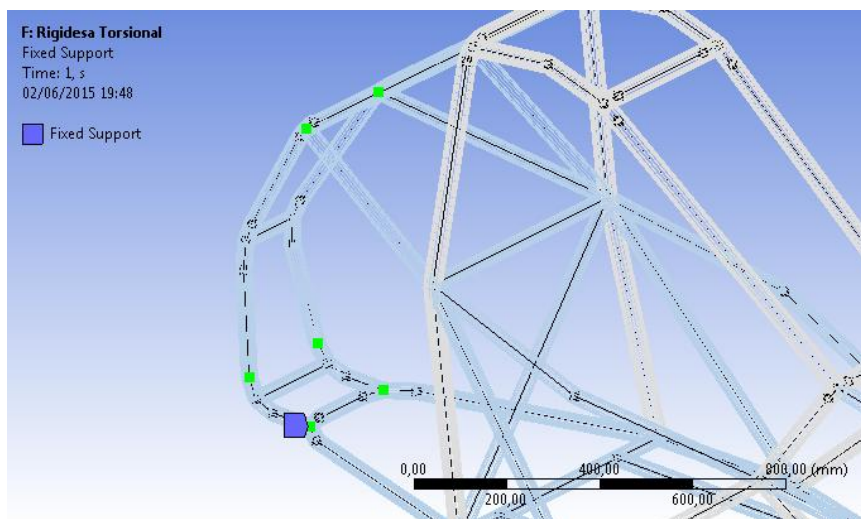


Figura 116: Punts on restringim el moviment a la suspensió posterior

Seguidament, s'ha de passar a aplicar un moment a la suspensió del davant. S'aplicaran un parell de forces en sentit contrari als vuit punts d'ancoratge de la suspensió, quatre a la part dreta i quatre a la part esquerra. S'utilitzarà l'eina "Remote point" per tal de poder aplicar una sola força a tots els punts d'un mateix costat de la suspensió. Les condicions de contorn a distància proporcionen un medi per aplicar una condició amb un centre d'acció deslocalitzat. Per calcular la rigidesa torsional, en tots els casos que s'estudiaran s'aplicarà un valor de referència 10.000 N a cada força. Un exemple del punt d'aplicació d'aquest parell de forces és el següent (Figura 117 i Figura 118):

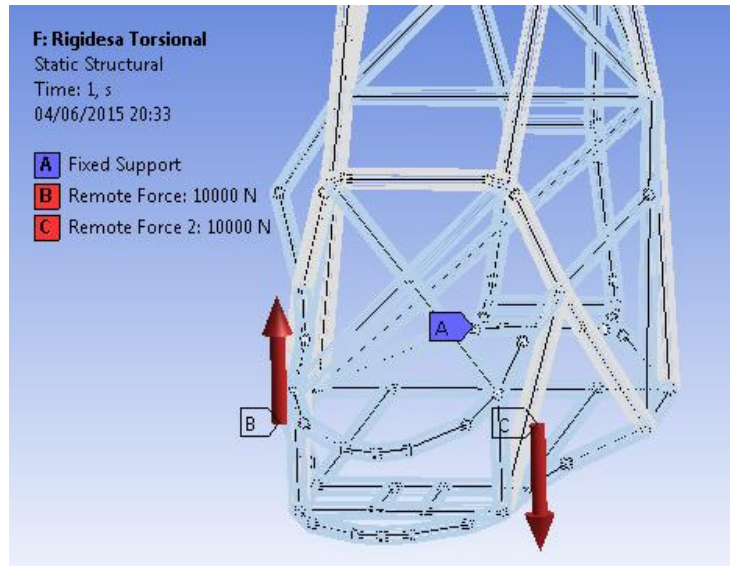


Figura 117: Parell de forces aplicades als ancoratges de la suspensió davantera

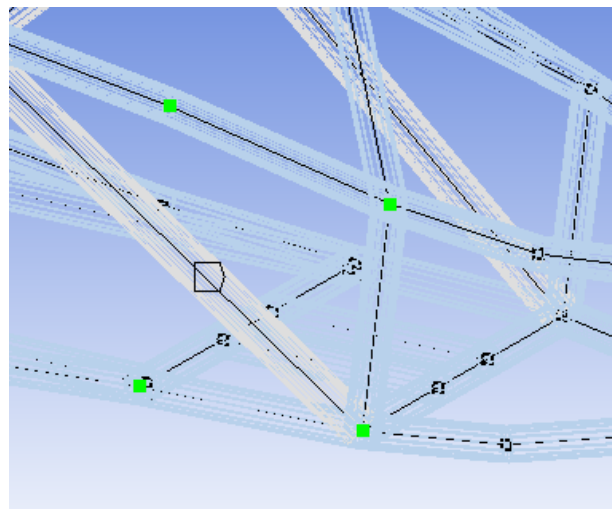


Figura 118: Punts d'aplicació del "Remote point" part dreta

Per el càlcul de la rigidesa torsional es necessitarà saber el desplaçament vertical i horitzontal del "Remote Point" escollit anteriorment. Amb aquests dos desplaçaments es formarà un triangle els catets del qual correspondran a aquests dos valors on s'haurà d'aplicar l'arc tangent per tal de conèixer l'angle girat. Aquest correspondrà al gir del xassís havent aplicat una força de 10.000 N al "Remote Point".

Per calcular els desplaçament d'aquest punt remot que s'ha utilitzat, es farà servir una eina de l'Ansys que es diu "Probe" i l'opció de "Deformation". Mitjançant aquesta eina s'obtidran les deformacions finals respecte el punt inicial d'estudi.

D.5.3 Rigidesa torsional xassís preliminar

Per poder tenir una referència real de la rigidesa torsional d'un xassís amb aproximadament les mateixes característiques que el xassís a dissenyar s'ha estudiat amb detall aquest paràmetre al xassís preliminar.

S'han seguit els mateixos passos que els descrits a l'apartat D.5.2 d'aquest annex. Primer s'han restringit el moviment i la rotació els punts on van fixats els braços de la suspensió i la mateixa suspensió. També s'aplicarà un parell de forces a la suspensió del davant amb un valor de 10.000 N a cada força mitjançant els punts remots.

Es pot veure a la Figura 119 que com s'ha dut a terme el que s'ha explicat anteriorment.

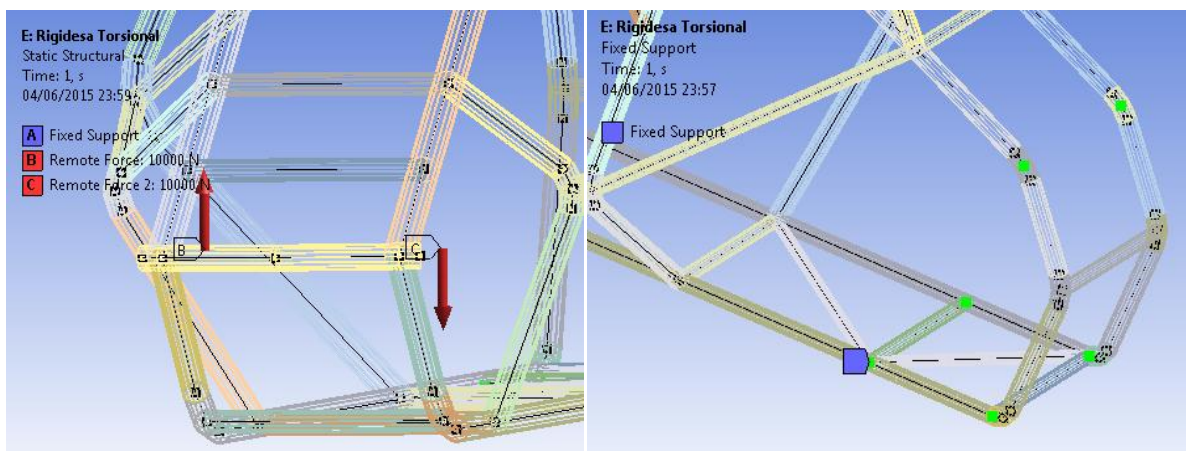
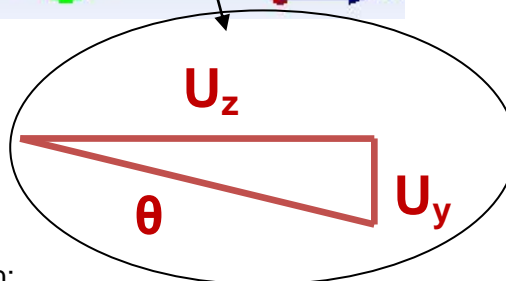
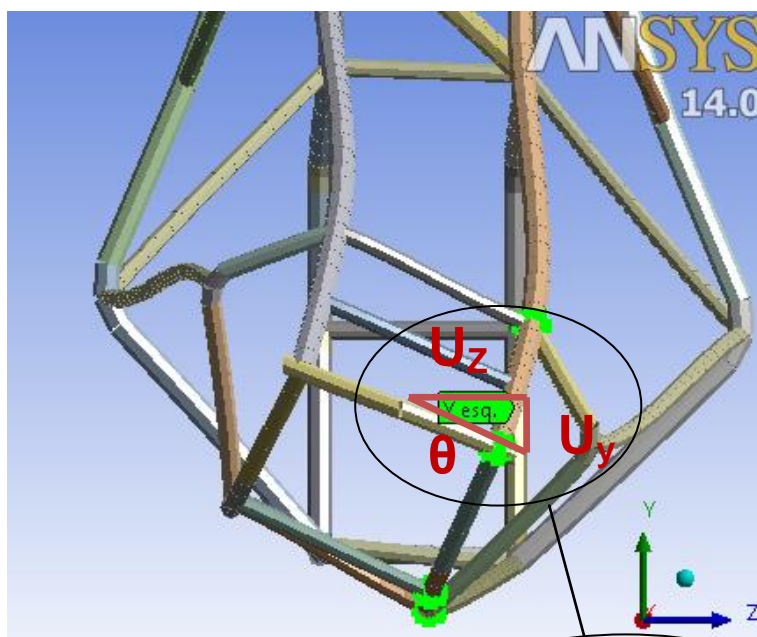
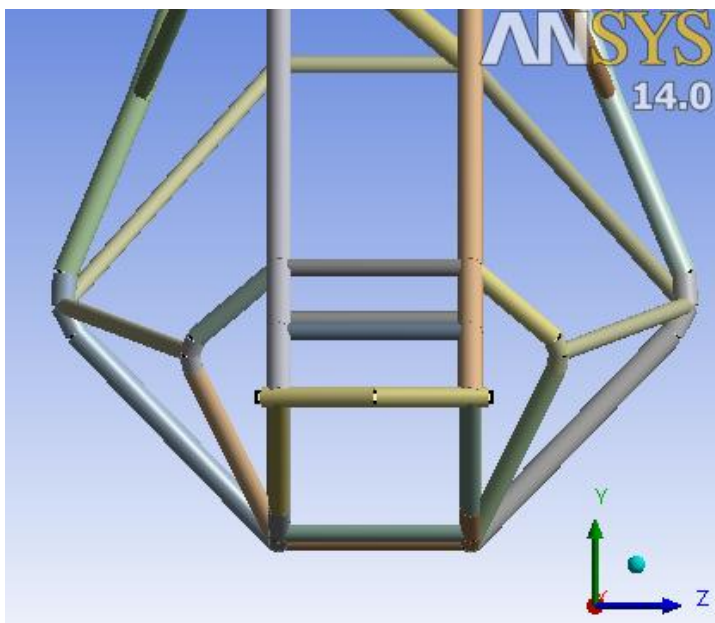


Figura 119: Parell de forces susp. davantera i restricció susp. posterior

Mitjançant l'eina explicada anteriorment es troben els desplaçaments vertical i horitzontal.



Els valors dels catets i l'angle del triangle són:

$$U_y = 7,8451 \text{ mm}$$

$$U_z = 157,6392 \text{ mm}$$

$$angle^{\circ} = \text{artg}\left(\frac{Uy}{Uz}\right) = 2,85^{\circ}$$

El moment serà la força per la distància entre els punts remots:

$$M = F \cdot d = 10.000 \text{ N} \cdot 0,325 \text{ m} = 3250 \text{ Nm}$$

L'expressió de la rigidesa torsional tal i com s'ha vist anteriorment és la següent:

$$Kt = \frac{M}{angle} = \frac{3250 \text{ Nm}}{2,85^{\circ}} = 1140,35 \frac{\text{Nm}}{\circ}$$

Finalment obtenim que per girar 1° el xassís s'ha d'aplicar un moment de 1140,35 Nm. Comparant aquest valor amb el de referència, el trobat és força baix tot i que tenen el mateix ordre de magnitud.

D.5.4 Rigidesa torsional xassís dissenyat

A continuació s'explica com s'ha calculat la rigidesa torsional del disseny final del xassís escollit a l'apartat D.7. S'han seguit els mateixos passos que els descrits a l'apartat D.5.2 d'aquest annex. Primer s'ha de restringir en moviment i rotació dels punts on van fixats els braços de la suspensió i la mateixa suspensió. També s'aplicarà un parell de forces a la suspensió del davant amb un valor de 10.000 N a cada força mitjançant els punts remots en el xassís dissenyat.

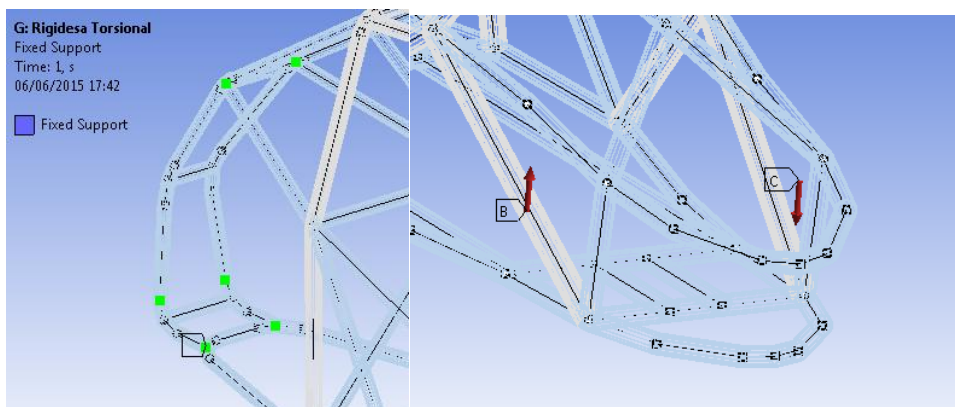
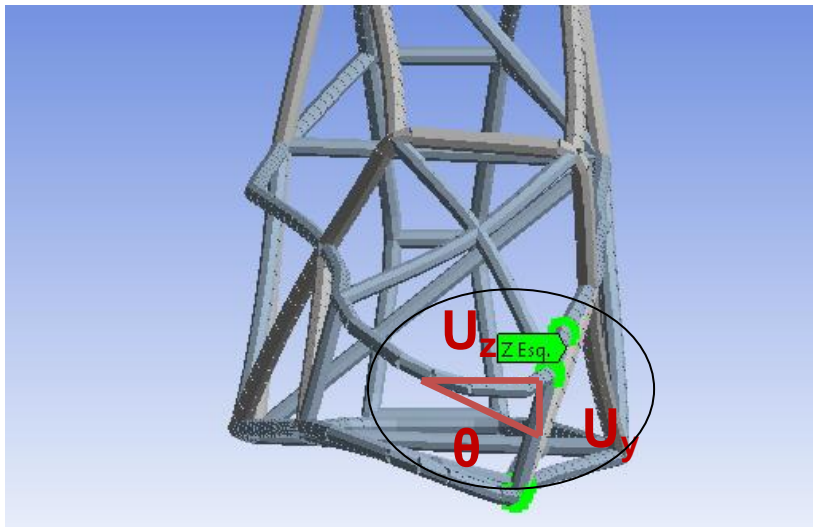


Figura 120: Parell de forces susp. davantera i restricció susp. posterior

Mitjançant l'eina explicada anteriorment es troben els desplaçaments vertical i horitzontal.



Els valors dels catets i l'angle del triangle són:

$$U_y = 2,5177 \text{ mm}$$

$$U_z = 244,5612 \text{ mm}$$

$$\text{angle } ^\circ = \text{artg} \left(\frac{U_y}{U_z} \right) = 0,59^\circ$$

També sabem que el moment és la força per la distància i la distància entre els punts remots és de 500 mm.

$$M = F \cdot d = 10.000 \text{ N} \cdot 0,5 \text{ m} = 5000 \text{ Nm}$$

L'expressió de la rigidesa torsional tal i com s'ha vist anteriorment és la següent:

$$Kt = \frac{M}{\text{angle}} = \frac{5000 \text{ Nm}}{0,59^\circ} = 8477,08 \frac{\text{Nm}}{^\circ}$$

Finalment obtenim que per girar 1° el xassís s'ha d'aplicar un moment de 8477,08 Nm/°.

D.6 Optimització xassís

Una vegada analitzats en detall els aspectes que s'han tingut en compte en el disseny dimensional del xassís, s'ha de buscar l'equilibri entre els paràmetres de disseny escollits.

Les variables de disseny que s'han escollit són el pes, el preu, la prioritat de complir amb la normativa per l'homologació, la rigidesa torsional i per acabar la posició del centre de masses. Les diferents variables tenen diferent prioritat de decisió al disseny final.

- **El pes:** degut a que la normativa obliga a un pes màxim de 310 Kg, és molt important poder tenir el xassís més lleuger possible. Per tant aquest serà un condicionant molt important a l'hora de decidir el disseny final.
- **El Preu:** la variable del cost és directament proporcional al pes.
- **La necessitat de complir la normativa:** serà imprescindible, ja que sense aquesta condició no serà possible l'homologació.
- **La rigidesa torsional:** serà un indicador del comportament dinàmic del vehicle. Es buscarà que el xassís sigui el més rígid possible.
- **Centre de masses:** també serà un indicador del comportament del vehicle. Es busca aconseguir que estigui el més a prop possible del terra per poder tenir més estabilitat. El centre de masses als dos xassís, tant al preliminar com al dissenyat, serà calculat respecte la barra inferior de l'arc principal tal i com es pot veure a la Figura 121:

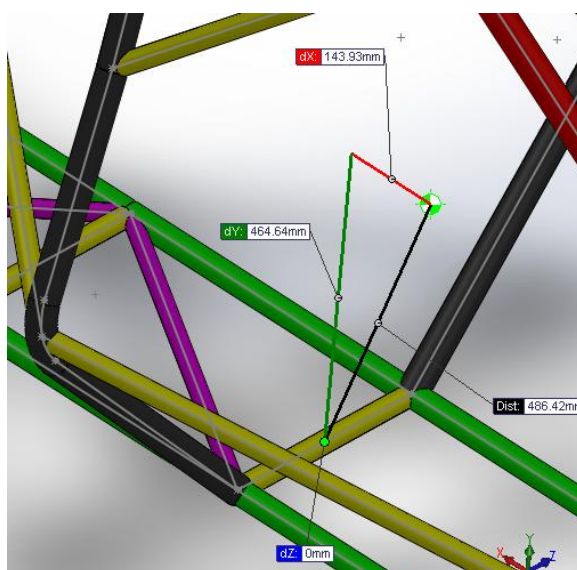


Figura 121: Punt de referència pel càlcul del centre de masses

A través de l'estudi del xassís preliminar, es podran comparar les variables dels dos xassís per tal de poder acabar de decidir el disseny final.

Les dades del xassís preliminar són:

- **Pes:** 43,30 Kg , es considera acer amb una densitat de 7860 kg/m^3 .
- **Preu:** desconegut degut a ja tenir-lo fabricat
- **Normativa:** Fora de normativa tal i com s'ha pogut analitzar a l'Annex C.
- **Rigidesa torsional:** $1140,35 \frac{\text{Nm}}{\circ}$
- **Centre de masses:** $(x, y, z) = (143'93, 464'64, 0)$ Està referenciat respecte els eixos del programa Solidworks.

Per escollir el millor disseny final, s'han fet una sèrie d'anàlisis canviant la geometria de les barres, sempre partint del pre-disseny que s'ha aconseguit amb els estudis d'ergonomia i de les dimensions del motor.

S'han realitzat múltiples anàlisis, però només s'han inclòs els 7 més representatius. A continuació s'explicaran amb més detall.

D.6.1 Hipòtesis

Hipòtesi 1

Tal i com s'ha explicat anteriorment, en aquesta hipòtesi es partirà del pre-disseny del xassís que s'ha obtingut de fer l'estudi dimensional del motor i de l'ergonomia del pilot. Pel que fa a la normativa, s'ha partit d'una estructura amb les seccions de tub mínimes, que s'augmenten depenent dels resultats obtinguts a l'aplicar les sol·licitacions de càrrega. Les seccions mínimes són $\varnothing 35 \times 1,5 \text{ mm}$ pels tubs de color gris i $\varnothing 40 \times 2 \text{ mm}$ pels tubs de color verd segons es pot veure a la Figura 122.

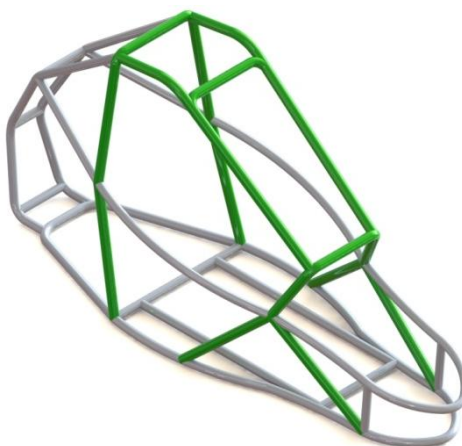


Figura 122: Xassís hipòtesi 1

Es pot veure que s'ha optat per posar dos tirants (color verd) que subjecten l'arc frontal. Com s'ha vist a la Figura 32 de l'annex de normativa, en escollir una disposició de barres diferent al que ens exigeix la normativa, s'ha decidit aplicar als dos tirants la secció de $\text{Ø}40 \times 2\text{mm}$, que és la més restrictiva, per no tenir problemes per l'homologació. S'hauria pogut seguir la disposició de la Figura 32, que és amb un sol tirant, però amb dos tirants s'augmenta considerablement la rigidesa torsional i ajuda a obtenir millor seguretat lateral.

Hipòtesi 2

A la hipòtesi anterior s'ha afegit un tirant de $\text{Ø}35 \times 1,5\text{mm}$ a la part central de l'arc principal per tal de poder augmentar la rigidesa torsional del xassís.

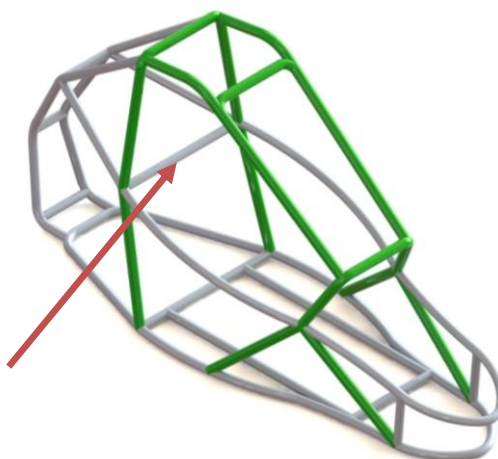


Figura 123: Xassís hipòtesi 2

Hipòtesi 3

La següent hipòtesi que s'ha tingut a compte és l'addició de dues barres de Ø35x1,5mm a la part frontal que subjectaran l'arc frontal i ajudaran a augmentar la rigidesa a la part frontal.

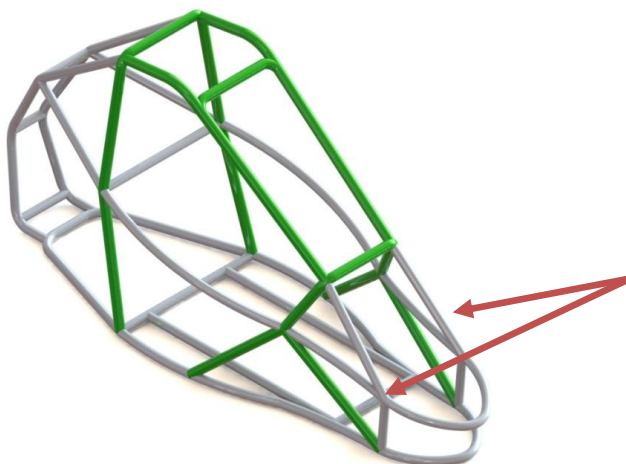


Figura 124: Xassís hipòtesi

Hipòtesi 4

A la hipòtesi 4 s'hi afegeix un tirant de Ø35x1,5mm a cada lateral del xassís per tal de poder rigiditzar més el conjunt i per poder repartir millor la força lateral (Figura 125).

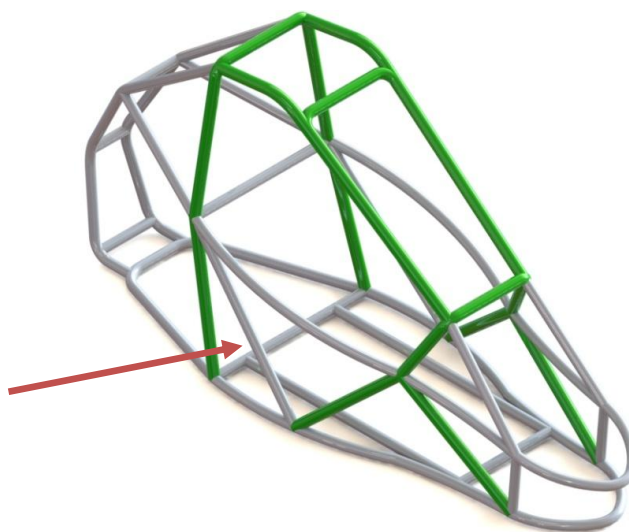


Figura 125: Xassís hipòtesi

Hipòtesi 5

Al següent cas, s'han canviat la disposició de les barres frontals que s'han afegit a d'hipòtesi 3 per dues barres de mateixa secció per ser col·locades en creu (Figura 126).

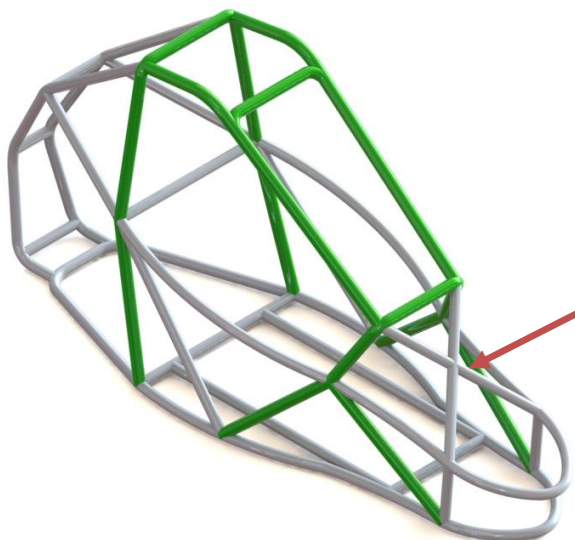


Figura 126: Xassís hipòtesi 5

Hipòtesi 6

En aquest cas s'han afegit 3 barres que a més de millorar les condicions mecàniques del xassís també serviran per la subjecció de la pedalària del monoplaça (Figura 127).



Figura 127: Detall constructiu subjecció pedalària

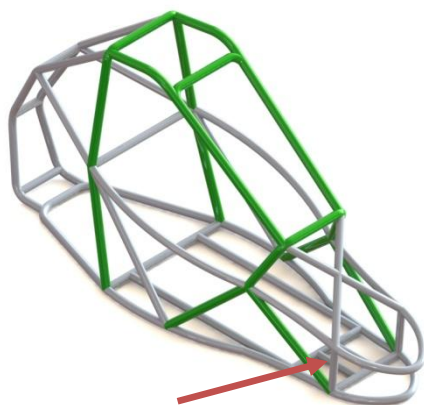


Figura 128: Xassís hipòtesi 6

Hipòtesi 7

Per acabar s'ha afegit dues barres de Ø35x1,5mm diagonalment a l'arc principal.

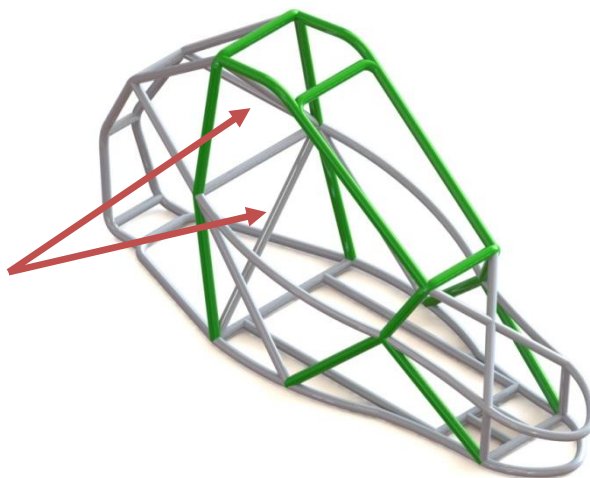


Figura 129: Xassís hipòtesi 7

D.6.2 Resultats

Els diferents resultats obtinguts d'aplicar les diferents hipòtesis explicades anteriorment són recollides en les taules següents:

Càrrega Vertical			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (Mpa)	Compleix Material E355 +C
1	2,3253	434,83	Sí
2	1,9857	380,44	Sí
3	1,9916	380,4	Sí
4	1,8636	379,55	Sí
5	1,8636	379,57	Sí
6	1,8636	379,57	Sí
7	1,7771	362,3	Sí

Taula 26: Resultats d'aplicació càrrega vertical segons normativa

Càrrega Longitudinal Davanter			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (Mpa)	Compleix Material E355 +C
1	2,6131	230,49	Sí
2	2,4459	215,74	Sí
3	2,325	214,2	Sí
4	2,4976	212,31	Sí
5	2,5536	210,79	Sí
6	2,5537	210,78	Sí
7	2,554	210,77	Sí

Taula 27: Resultats d'aplicació càrrega long. davantera segons normativa

Càrrega Longitudinal Posterior			
Nº hipòtesi	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (Mpa)	Compleix Material E355 +C
1	0,55636	215,07	Sí
2	0,55533	215,06	Sí
3	0,52093	214,72	Sí
4	0,5144	214,64	Sí
5	0,52067	214,71	Sí
6	0,52067	214,71	Sí
7	0,51998	214,7	Sí

Taula 28: Resultats d'aplicació càrrega long. posterior segons normativa

Nº hipòtesi	Càrrega Lateral		
	Desplaçament (mm)	Moment flector màx. (Mpa)	Compleix Material E355 +C
1	10,442	330,59	Sí
2	9,2728	348,89	Sí
3	8,5964	329,67	Sí
4	6,52	239,23	Sí
5	5,4649	218,37	Sí
6	5,4454	218,23	Sí
7	4,6191	194,78	Sí

Taula 29: Resultats d'aplicació càrrega lateral segons normativa

Tal i com es pot veure, en tots els casos es compleixen els criteris d'acceptació per l'homologació de l'estructura de seguretat. Els criteris eren que no es podia superar 50 mm de desplaçament en qualsevol punt degut a deformació elàstica i/o plàstica i que no es podria superar el límit elàstic del material escollit en tota l'estructura.

El material escollit, tal i com es pot veure a l'annex E a la Taula 36, té un límit elàstic de 512 MPa per tant es compleix per tots els casos. Ara les altres variables de disseny acabaran de definir el xassís.

Nº hipòtesi	Pes (kg)	Rigidesa Torsional (Nm/°)	Centre de masses		
			X (mm)	Y (mm)	Z (mm)
1	35,4	2711,51	293,34	390,26	0,33
2	36,73	2811,91	278,11	395,84	0,55
3	37,81	3307,07	300,19	396,18	0,54
4	39,48	5416,47	292,3	391,34	0,95
5	39,71	5551,27	296,97	391,1	0,94
6	40,39	6143,33	311,68	384,5	0,95
7	41,42	8477,08	295,05	390,42	0,74

Taula 30: Resultats per cada hipòtesi de les variables de disseny

A la Taula 30 es pot veure el comportament de les diferents variables com el pes, la rigidesa torsional i el centre de masses per les diferents hipòtesis. S'ha marcat de color verd el valor aconseguït que és millor en cada variable i de color groc els altres 2 següents millors valors. Per tant, podem veure que el que s'ha aconseguït obtenir el centre de gravetat més avall és amb l'hipòtesi 6, però que la 7 i la 1 han estat els 2 següents millors valors.

S'ha escollit finalment l' hipòtesi 7 (Figura 129) degut a la gran rigidesa torsional que s'ha aconseguit i també per haver aconseguit un centre de gravetat força baix. Pel que fa al pes, com que majoritàriament s'han anat afegint barres o modificant les existents, ha anat pujant fins a arribar a un valor de 41,42 Kg.

Si comparem els valors del xassís dissenyat amb els del xassís preliminar s'ha obtingut que:

- Pes: El xassís preliminar té una massa de 43,30 Kg i el dissenyat finalment té 41,42 Kg. S'ha alleugerit **1,88 Kg**.
- El centre de masses: La component més important serà la Y i ha disminuït de 464,64 a 390,42 mm per tant s'ha aconseguit baixar uns **75 mm**.

La Z ha de ser propera a 0 indicant que el centre de gravetat és a l'eix longitudinal del monoplaça. D'aquesta manera, el xassís no està descompensat lateralment i es millora el seu comportament dinàmic. La component X no és del tot important quan només s'estudia el xassís. És vital una vegada el monoplaça està acabat completament i hi ha les altres masses com el motor o el pilot. En aquest moment si que tindrà importància per evitar sobreviratges o subviratges.

- La rigidesa torsional: Si es comparen els valors de la rigidesa s'obté que al xassís preliminar té $1140,35 \frac{Nm}{\circ}$ i el xassís dissenyat final té $8477,08 \frac{Nm}{\circ}$. Així doncs, s'ha aconseguit més d'un **600% d'augment** d'aquesta rigidesa. S'ha trobat alguns valors de rigideses torsionals en cotxes comercials:

Mercedes-Benz Clase S (2014)	40.500
Porsche Cayenne	36.900
Jaguar X-Type	16.500
Peugeot 206 SW	15.800
Volkswagen Golf IV	14.500
Jaguar XJ8 batalla curta	14.300

Taula 31: Valors de rigidesa torsional vehicles comercials en Nm/°

Es pot veure que el valor final és força lluny al dels vehicles comercials, però té lògica degut a que és un xassís tubular.

Es pot assegurar que el disseny final ha satisfet totes les necessitats tan per part de la normativa com pel que fa a comportament dinàmic.

D.7 Disseny final

El disseny final del xassís és el que s'ha obtingut a partir del pre-disseny i afegint les variacions anteriorment explicades, s'ha obtingut el següent xassís (Figura 130):

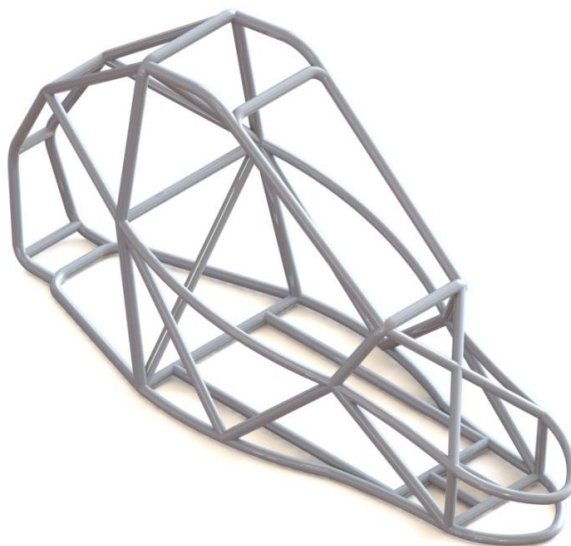


Figura 130: Disseny final del xassís

Mitjançant els eines que ens proporciona el programa *Solidworks* s'ha pogut calcular el pes, el centre de gravetat i els moments d'inèrcia del xassís.

- Pes: **41,42 Kg**
- Centre de gravetat: $(x, y, z) = (295'05, 390'42, 0'74)$ Està referenciat respecte el punt central de la barra inferior de l'arc principal tal i com es mostra a la Figura 131.

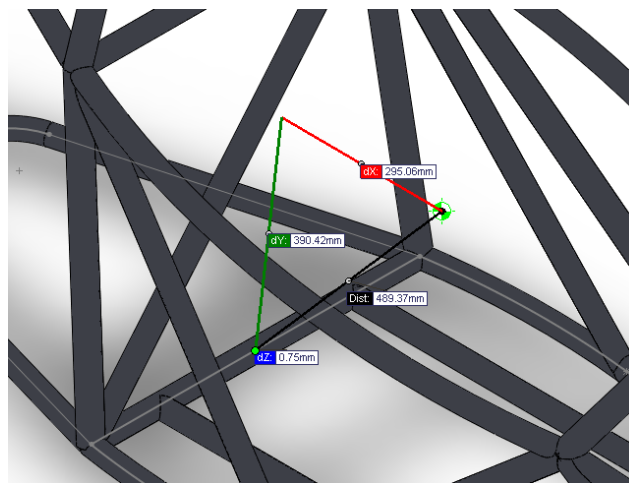


Figura 131: Distància centre de masses des de l'arc principal

– Moments d'inèrcia:

$$I_x = 7,335 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_y = 16,41 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_z = 19,61 \text{ Kg/m}^2$$

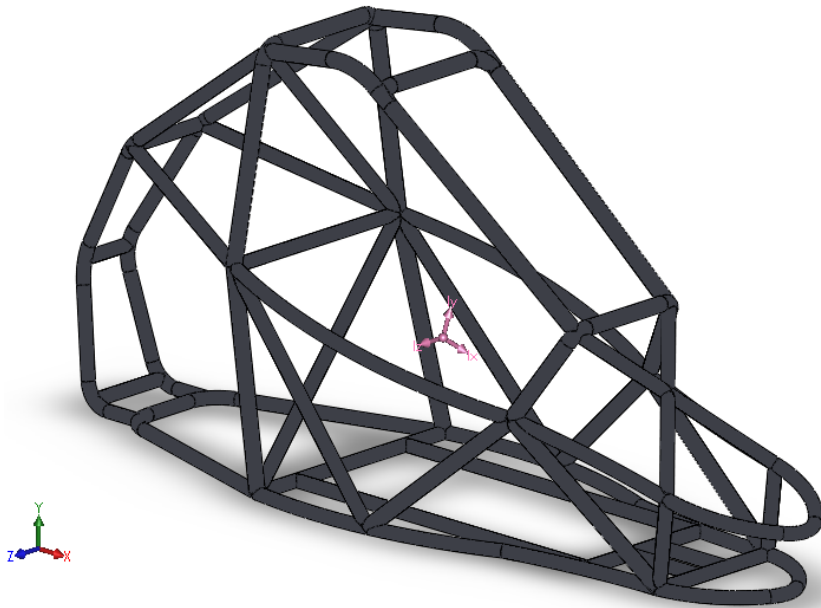


Figura 132: Moments d'inèrcia xassís dissenyat

ANNEX E. MATERIALS I PROCESSOS DE FABRICACIÓ

E.1 Introducció

En aquest annex s'explicaran els materials i els mètodes de fabricació que s'hauran de dur a terme per tal de poder fabricar el xassís. En aquesta etapa també caldrà regir-se per la normativa per tal de poder-lo homologar.

E.2 Material

Per poder escollir el material idoni per fabricar el xassís s'han de considerar una sèrie d'aspectes:

- Punts que ens marca la normativa de l'annex A:
 - Haurà de ser de tubs d'acer, per tant xassís tubular.
 - Composició química.
 - Haurà de ser conformat mitjançant estirat en fred sense soldadura.
 - La resistència a tracció dels materials no podrà ser inferior a 355 MPa.
 - S'haurà de disposar del certificat de colada dels materials.

- A part de la normativa, també s'haurà de tenir en compte:
 - Preu
 - Facilitat per a treballar el material a l'hora de fabricar.
 - El material escollit haurà de poder aguantar les sol·licitacions de càrrega estipulada per la normativa per poder garantir la seguretat del pilot.

E.2.1 Propietats mecàniques acer

Cercant per molts proveïdors d'acer s'ha trobat *Almesa Grup* que ha facilitat les dades dels seus productes per poder analitzar-los i decidir la seva viabilitat. Fent un recerca molt amplia s'ha arribat a la conclusió que es necessita un material que segueixi la norma UNE-EN 10305-1 2011 o DIN 2391 i s'ha comprovat que el proveïdor seleccionat subministra material seguint aquesta norma.

La EN 10305-1 és per tubs d'acer per aplicacions de precisió. Degut a que la normativa de la competició ens obliga a que sigui sense soldadura i estirats en fred, es seguirà la primera part de la norma EN 10305-1, centrada en aquesta tipologia de material. Les propietats mecàniques d'aquest acer són les que ens marquen a la Taula 32.

Tipo de acero		Valores mínimos para la condición de suministro ^a											
		+C ^b		+LC ^b		+SR			+A ^c		+N		
Desig-nación simbólica	Desig-nación numérica	R_m MPa	A %	R_m MPa	A %	R_m MPa	R_{eH} MPa	A %	R_m MPa	A %	R_m MPa	R_{eH}^d MPa	A %
E215	1.0212	430	8	380	12	380	280	16	280	30	290 a 430	215	30
E235	1.0308	480	6	420	10	420	350	16	315	25	340 a 480	235	25
E355	1.0580	640	4	580	7	580	450 ^e	10	450	22	490 a 630	355	22

^a R_m = resistencia a la tracción; R_{eH} = límite elástico superior (véase también 11.1); A = alargamiento de rotura. Para los símbolos de la condición de suministro, véase la tabla 1.

^b Dependiendo del grado de trabajo en frío en la pasada de acabado, el límite de elasticidad puede llegar a ser tan elevado como la resistencia a la tracción. Para fines de cálculo se recomiendan las relaciones siguientes:

- para la condición de suministro +C: $R_{eH} \geq 0,8 R_m$;
- para la condición de suministro +LC: $R_{eH} \geq 0,7 R_m$.

^c Para fines de cálculo se recomienda la relación siguiente: $R_{eH} \geq 0,5 R_m$.

^d Para tubos de diámetro exterior ≤ 30 mm y espesor de pared ≤ 3 mm, los valores mínimos de R_{eH} son 10 MPa más bajos que los valores dados en esta tabla.

^e Para tubos de diámetro exterior > 160 mm: $R_{eH} \geq 420$ MPa.

Taula 32: Característiques mecàniques a temperatura ambient.

Tal i com es pot veure a la norma, hi ha tres tipus de materials diferenciats amb moltes variacions de propietats mecàniques depenent del tractament tèrmic final. La Taula 33 recull les condicions de subministrament.

Designación	Símbolo ^a	Descripción
Estirado en frío/duro	+C	Sin tratamiento térmico posterior al proceso de estirado en frío final.
Estirado en frío/blando	+LC	Una pasada de estirado adecuado después del tratamiento térmico final (reducción de área limitada).
Estirado en frío y relajación de tensiones	+SR	Después del proceso final de estirado en frío los tubos se someten a un proceso de relajación de tensiones en una atmósfera controlada.
Recocido de ablandamiento	+A	Después del proceso final de estirado en frío los tubos se someten a un proceso de recocido de ablandamiento en una atmósfera controlada.
Normalizado	+N	Después del proceso final de estirado en frío los tubos se someten a un proceso de normalizado en una atmósfera controlada.

^a De acuerdo con la Norma EN 10027-1.

Taula 33: Condicions de subministrament.

Una condició que ens obliguen des de la normativa és que la resistència a la tracció dels materials no podrà ser inferior a 355 MPa. A la Taula 34 hi apareixen diferenciats per colors tots els materials amb les seves condicions de subministrament que compleixen aquest requisit.

	Resistència a la tracció (Mpa)				
	+C	+LC	+SR	+A	+N
E215	430	380	380	280	215
E235	480	420	420	315	235
E355	640	580	580	450	355

Taula 34: Materials amb major resistència a la tracció major a 355 MPa.

Com es pot veure, podem utilitzar la majoria de composicions. Queda descartat tant l'acer amb procés de Normalitzat com amb procés de recuita.

Per la nostre aplicació es decideix utilitzar l'estirat en fred /dur amb el símbol +C. És la condició de subministrament que ens aporta majors propietats mecàniques i aquest fet pot ser favorable a l'hora de dimensionar els tubs. Podrem reduir la secció i finalment el xassís serà menys pesant.

E.2.2 Propietats químiques acer

Pel que fa a les propietats químiques, la norma EN 10305-1 també recull els seus valors. Es podrà veure a la Taula 35 i comparar-ho amb els valors de la Taula 17 que correspon a la normativa de l'annex A.

Tipo del acero		% en masa					
Designación simbólica	Designación numérica	C máx.	Si máx.	Mn máx.	P máx.	S ^b máx.	Al _{total} ^c mín.
E215	1.0212	0,10	0,05	0,70	0,025	0,025	0,025
E235	1.0308	0,17	0,35	1,20	0,025	0,025	0,015
E355	1.0580	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	0,020

^a Los elementos que no figuran en esta tabla (véase también la nota ^c) no se deben añadir voluntariamente en la composición del acero sin la autorización del cliente, a excepción de los elementos que se pueden añadir para fines de desoxidación y/o de fijación del nitrógeno. Se deben tomar todas las medidas necesarias para evitar la incorporación de elementos no deseados procedentes de chatarras o de otros materiales utilizados en el proceso de fabricación del acero.

^b Véase la opción 2.

^c Este requisito no es aplicable siempre que el acero contenga una cantidad suficiente de otros elementos de fijación del nitrógeno, tales como Ti, Nb o V. Cuando se utilice titanio, el fabricante debe verificar que $(Al + Ti/2) \geq 0,020$. Se permiten adiciones de Nb, Ti y V a elección del fabricante. El contenido de estos elementos se debe consignar.

Taula 35: Composició química (anàlisi de colada).

Cap d'aquests valors no supera el màxim permès en la normativa i per tant podem afirmar que serà uns d'aquests materials el que utilitzarem per la fabricació del nostre vehicle.

E.2.3 Preu material

Un aspecte molt important a tenir en compte a l'hora d'escollir un material és el preu. Per poder saber aquest preu, s'ha demanat pressupost a varies empreses del sector metal·lúrgic i s'han obtingut els següents preus:

- E215 +C:
No s'han trobat a cap proveïdor.
- E235 +C:
Ø40x2mm = 4,73 €/m
Ø35x1.5mm = 3,92 €/m
- E355 +C:
Ø40x2mm = 7,06 €/m
Ø35x1.5mm = 5,01 €/m

Només s'han demanat preu dels diàmetres mínims ja que, com es va s'ha comprovat a l'annex B, serà amb els que dissenyarem. Les propietats mecàniques són prou bones per treballar amb els diàmetres i espessors mínims permesos per la normativa. Es pot observar que la diferència de preu és molt petita i en canvi les diferències respecte les propietats mecàniques són majors.

Així doncs, l'acer E355 és un bon candidat ja que, a l'hora de fer el disseny, degut a les seves propietats mecàniques favorables, ens permetrà treure barres i disminuir espessors.

E.2.4 Conclusions material

Una vegada estudiats tots els elements que ens faran escollir el material ja podem assegurar que:

- Punts que ens marca la normativa de l'annex A:
 - Haurà de ser de tubs d'acer, per tant xassís tubular. ✓
 - Composició química. ✓
 - Haurà de ser conformat mitjançant estirat en fred sense soldadura. ✓
 - La resistència a tracció dels materials no podrà ser inferior a 355 MPa. ✓
 - Aquesta condició és complirà en els materials de la Taula 34.
 - S'haurà de disposar del certificat de colada dels materials. ✓
- A part de la normativa, també s'haurà de tenir en compte:
 - Preu ✓
 - Facilitat per a treballar el material a l'hora de fabricar-ho. ✓
 - El material escollit haurà de poder aguantar les sol·licitacions de càrrega de la normativa per poder assegurar la seguretat del pilot. ✓

Després de comprovar que es compleixen tots els punts que ens marca la normativa, s'ha de passar a fer una anàlisi tenint en compte el preu i que ens compleixi els requeriments de seguretat.

L'estudi amb elements finits de l'estructura queda depèn de les propietats mecàniques que tingui el material. Per estar al costat de la seguretat, sempre serà millor treballar amb un material que tingui bones propietats mecàniques. També, al ser un material més resistent és possible que no sigui necessari fer una estructura amb tantes barres que reforcin el xassís. Si es pot prescindir d'alguna d'elles, el pes de l'estructura quedarà reduït. A més d'aquesta reducció, també es podria treballar amb espessor o diàmetre de barres menors.

Per aquests motius, s'ha decidit treballar amb els diàmetres i espessors mínims que marca el reglament, sempre i quan utilitzem el material amb millors propietats mecàniques. Tot això, tenint en compte la restricció de cost.

Treballarem doncs amb els mínims diàmetres i espessors sempre i quan ens complexin els assajos. Si no caldria augmentar-los fins a poder complir.

Com que la diferència de preu d'un tipus de material a l'altre és molt petit, s'ha considerat que és bona poció escollir el material amb millors propietats mecàniques que és l'E355 +C.

Propietats mecàniques acer E355 +C segons EN 10305-1	
Resistència a la tracció	640 Mpa
Límit elàstic	512 Mpa
Allargament	4%
Mòdul de Young	$2,1 \times 10^5$ MPa
Coefficient de Poisson	0,3
Coefficient de dilatació tèrmica	$1,2 \times 10^{-5} \text{ K}^{-1}$
Densitat	7860 Kg/m ³

Taula 36: Propietats mecàniques material E355 +C

E.3 Processos de fabricació

Una vegada conegut el material amb que es farà l'estructura s'han de definir els processos que es duran a terme per a la seva fabricació. Els processos es definiran d'acord amb l'objectiu general de reducció del preu del xassís definitiu, així doncs, per cadascun d'ells es buscarà l'optimització de tots els recursos que hi intervinguin.

El procés que s'ha de seguir és seqüencial, s'ha de treballar de manera ordenada i tenir molta cura al realitzar cada procés. Els passos més importants que s'hauran de seguir són els següents:

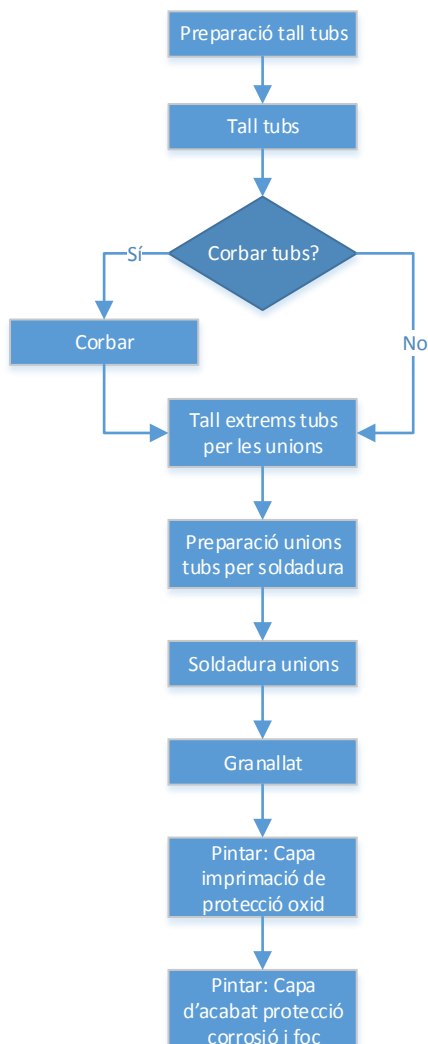


Figura 133: Seqüència de fabricació

És molt important pel disseny d'un xassís, a més a més de tots els aspectes que s'han tingut en compte en el seu disseny, com pot ser el pes, rigidesa torsional, noramtiva, etc, tenir en compte el mètode de fabricació. Sempre s'ha de tenir en compte si serà possible dur a terme el disseny, i a quin cost. S'ha de trobar un equilibri de tots els factors i escollir-ne l'opció més optima per totes les parts.

E.3.1 Tall

Per tal de poder soldar els tubs entre sí a les unions s'han de tallar degudament, posant especial atenció a les geometries més complexes. Com més tubs s'uneixin en una mateixa unió, més complex serà el tall dels seus extrems.

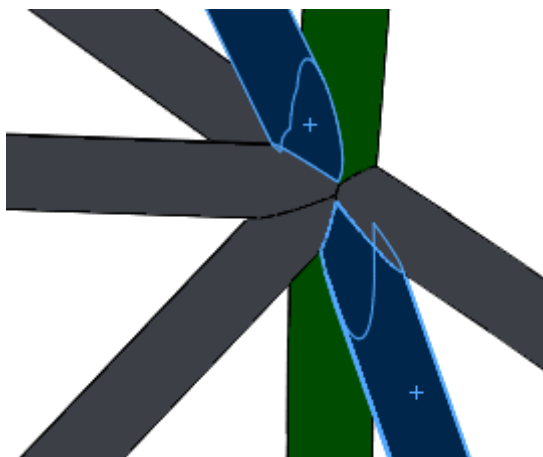


Figura 134: Unió complexa tubs xassís

Hi ha moltes tecnologies que permeten fer aquests tall. Des de tecnologies cares i precises a d'altres més rudimentàries i de menys precisió. Escollir-ne una o una altra dependrà dels recursos de que es disposi i també de la precisió que es necessiti obtenir. A continuació s'explicaran alguns dels mètodes més emprats per tall de tubs.

Tall bufador oxital

És una tècnica auxiliar a la soldadura, que s'utilitza per a la preparació de les vores de les peces a soldar quan són de gruix considerable, i per realitzar el tall de xapes, barres d'acer al carboni de baix aliatge o altres elements ferrosos.



Figura 135: Bufador d'oxitall

L'acer és un material combustible. Tot i que la seva oxidació en condicions atmosfèriques normals és tant lenta que no dona lloc a cap combustió, en una atmosfera d'oxigen pur la reacció és totalment diferent i per això en aquestes condicions hi ha ignició i combustió.

Si s'escalfa un tros d'acer a una temperatura entre 800°C i 900° i es projecta un raig d'oxigen pur a la superfície començarà a cremar violentament, essent el calor desenvolupat en aquest procés d'oxidació tant gran que la combustió seguirà a través de la peça.

La reacció d'oxitall és fortament exotèrmica, escalfant les zones pròximes i afavorint la continuïtat de la reacció.

Consta de dues parts:

- A la primera etapa, s'escalfa l'acer fins a 900°C per la flama produïda per l'oxigen i un gas combustible (acetilè o propà, normalment).
- A la segona etapa, una corrent d'oxigen talla i elimina els òxids de ferro produïts.

L'equip necessari està compost per:

- Bufador
- Filtres
- Mànegues
- Reguladors

S'ha de dir que aquest tipus de tall no es de gran precisió i s'utilitza principalment per tallar perfils de mida gran.

Tall amb plasma

El plasma es produeix quan un raig de gas, inicialment fred, s'escalfa amb un arc elèctric i se li fa passar per un orifici estret que redueix la secció. Es forma d'aquesta manera un conductor elèctric gasós d'alta densitat d'energia, format per una barreja d'electrons lliures, ions positius, àtoms dissociats i molècules de gas, anomenat plasma. El tall amb plasma es produeix a altíssimes temperatures que provoca el plasma i fon gairebé instantàniament el material.

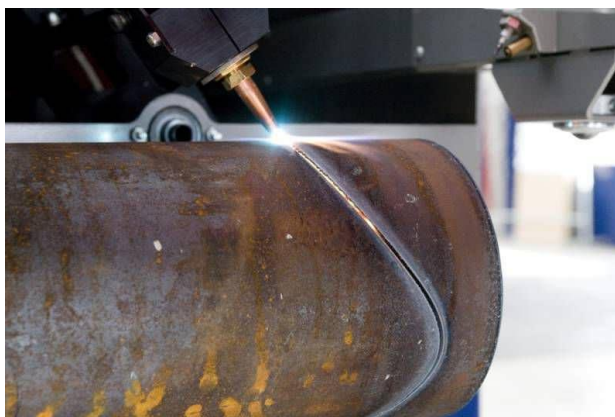


Figura 136: Tall plasma tub

El tall es produeix com a conseqüència de l'alta aportació energètica confinada a una reduïda secció a través d'un raig de gas-plasma a alta velocitat, aproximadament la del so, que al xocar amb la peça a tallar expulsa ràpidament el material fos i volatilitzat, produint un tall net.

Les variables del procés són:

- El gas o gasos emprats
- El cabal i la pressió dels mateixos
- La distància filtre-peça
- Velocitat de tall
- Energia utilitzada o intensitat d'arc.

El tall de plasma es va centrar principalment en el tall d'acers inoxidables i en els aliatges d'alumini. Tot i que, com que el procés no depèn d'una reacció química entre gas i peça, les temperatures són extraordinàriament altes, per tant, el tall amb plasma es pot utilitzar en gairebé qualsevol metall elèctricament conductor.

Tall per doll d'aigua

L'energia necessària la proporciona un fi raig d'aigua a pressió, sol o barrejat amb abrassiu, que impacta sobre la superfície del material a tallar a una velocitat que duplica la del so. La major avantatge d'aquest procés és que la zona de tall no resulta afectada tèrmicament, ni rep alteració de les propietats físiques i químiques del material. Es poden arribar a amplades de tall amb altes pressions de fins a 0.1 mm.



Figura 137: Tall de tubs per doll d'aigua

Tall per serrat

Aquest tipus de tall s'utilitza principalment per preparar els extrems que s'acoblen a plans simples quan els talls són en una cantonada o a l'angle.

L'eina que bàsicament s'utilitza a l'hora de fer aquest tipus de tall és una serra circular amb avanç hidràulic, una serra de banda o una serra d'arc alternativa. Tot i això, si es desitja tenir una determinada qualitat o precisió, es poden fer servir altres eines com la fresadora, la mola de rectificar i el disc dentat d'acer.

La unió directe entre els perfils circulars necessita un tall perfilat. Tot i això, les corbes de la intersecció poden ser substituïdes per talls plans a la barra tot fent servir el tall per serratge, en funció dels diàmetres de la barres a unir.

Perfil unions de tubs

La unió directe entre els perfils tubulars circulars necessita un tall molt perfilat. Les diferents preparacions de les unions de tubs més habituals per soldadura són les que es poden observar a la imatge Figura 138.

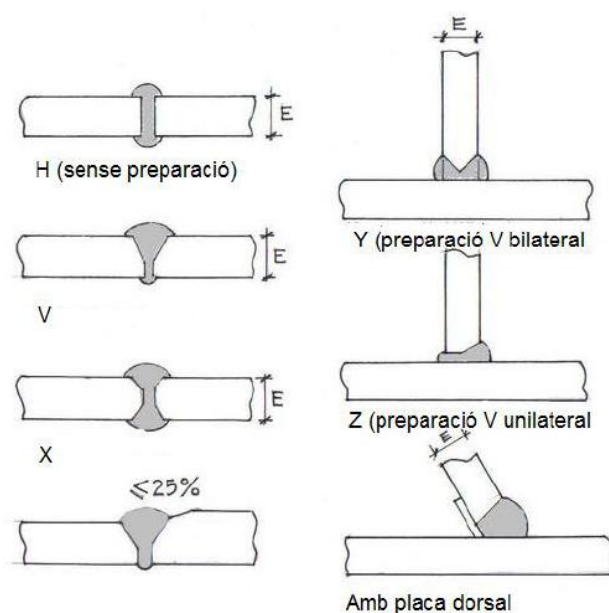


Figura 138: Preparació unions tubs soldadura

De les diferents preparacions de la figura anterior, la que es fa servir per a la unió de tubs a 180° és el de la preparació en X. S'ha de dir que els tubs tenen diàmetres iguals i similars. Quan passa això, existeixen dos mètodes per realitzar correctament la unió entre aquest dos tubs que consisteixen en fer dos a tres talls plans successius en comptes d'un de sol.

- Dos talls seguits per rectificar l'àrea de punta (Figura 139).

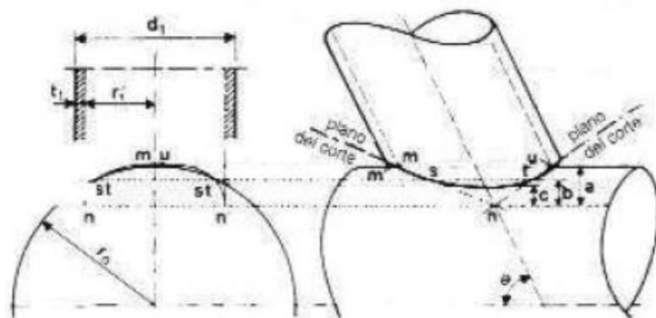


Figura 139: Mètode de talls per plans per serratge

El paràmetre "a" és la constant independent de quin sigui l'angle d'inclinació "O". Començant des del punt "n", determinat pel valor "a", es tracen les línies "n-m" i "n-u" les quals defineixen els plans de tall. L'expressió següent situa la distància "a".

$$a = 1 + \frac{r'_1}{2r_0} - r'_1$$

r'_1 : Radi interior de la barra acoblada

r_0 : Radi exterior del cordó

- Dos o tres plans successius (Figura 140)

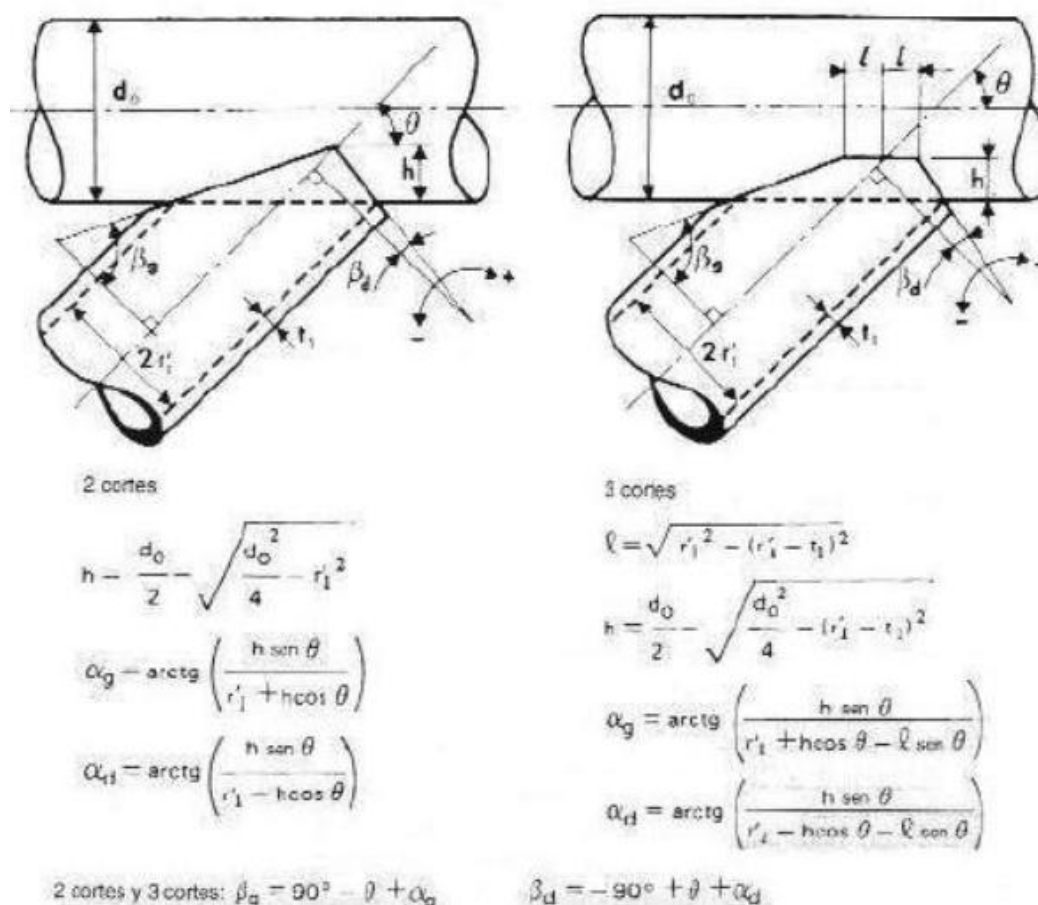


Figura 140: Mètode de dos o tres plans successius

El paràmetre "h" és la constant independent de quin sigui l'angle d'inclinació "O", el qual es pot calcular mitjançant les formules de la Figura 140.

E.3.2 Corbat de tubs

Els perfils tubulars es poden corbar tant en fred com en calent. Normalment s'usa el primer cas atès que els costos de producció són menors. Per aquest motiu s'utilitzarà el corbat en fred. La curvatura de perfils tubulars depèn de les propietats del material com pot ser el límit elàstic, percentatge d'allargament, etc. També s'ha de tenir en compte els paràmetres geomètrics com la relació entre el diàmetre i l'espessor, i la relació entre el radi de la curvatura i el diàmetre de la secció circular.

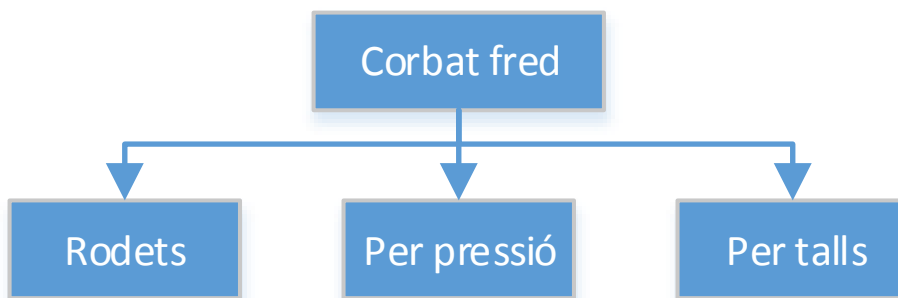


Figura 141: Mètodes de corbat en fred tubs secció circular

- **Corbat per rodets**

Consisteix en una eina que té 3 rodets a través dels quals es produeix la curvatura. Aquests tres rodets poden ser motrius, però el central que determina el radi, pot actuar simplement de guia.

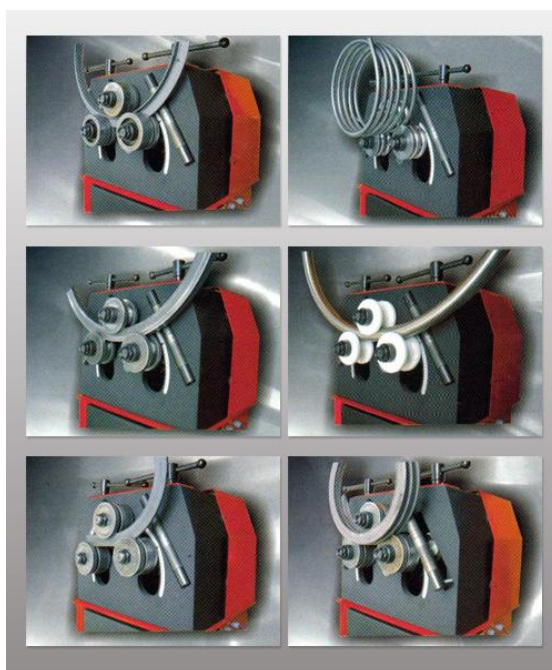


Figura 142: Eina per corbar tubs amb rodets

- **Corbar tubs per pressió**

El procediment per corbar tubs per pressió és el següent: primer es col·loca un perfil tubular entre dos rodets fixes i llavors es realitza la curvatura pel desplaçament del conformador central, el qual normalment està connectat a un empenyedor hidràulic (Figura 143).

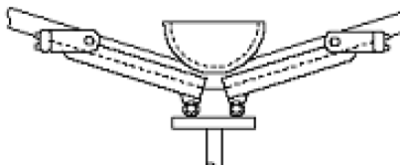


Figura 143: Eina corbat per pressió

- **Corbat mitjançant talls al biaix**

Tot i que no és un procés de corbat com a tal, compleix la missió de corbat. A través d'un tall simètric aconseguim una superfície d'unió entre tubs d'igual diàmetre i a través d'un procés de soldadura, aconseguim un canvi de direcció del nostre tub (Figura 144). El problema d'aquest mètode és que per aconseguir el corbat s'han de unir cada tall mitjançant soldadura, i aquest encareix el corbat.

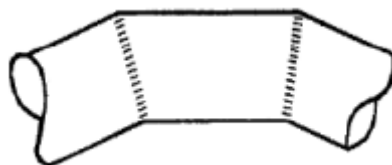


Figura 144: Exemple corbat mitjançant talls

De tots els mètodes que s'han vist per corbat els tubs s'utilitzarà el corbat en fred mitjançant els rodets, degut a que amb aquest mètode podem aconseguir radis de corbats molt grans en funció dels diàmetre.

E.3.3 Soldadura

Pel que fa a la soldadura, és molt important l'elecció de la tecnologia més òptima per dur a terme la nostra aplicació. El tipus de soldadura que s'utilitza per soldar les unions dels perfils tubulars és la de fusió. Es pot trobar 5 tipus de tecnologies diferents dins la fusió:

6. Autògena
7. Per resistència elèctrica
8. Per un feix d'electrons
9. Per plasma
10. Per arc metàl·lic: És el més utilitzat per soldar unions de perfils tubulars. Podem trobar 4 tipus diferents de soldadura per arc metàl·lic.
 - Soldadura per arc amb elèctrode revestit (SMAW o soldadura STICK)
 - Soldadura per arc amb nucli de fundent (FCAW)
 - Soldadura per arc metàl·lic i gas (GMAW o soldadura MIG)
 - Soldadura amb arc de tungstè i gas (GTAW o soldadura TIG): Explicada a continuació.

Per escollir un dels 4 tipus, dependrà del material que es vulgui soldar i el seu acabat final (Figura 145).

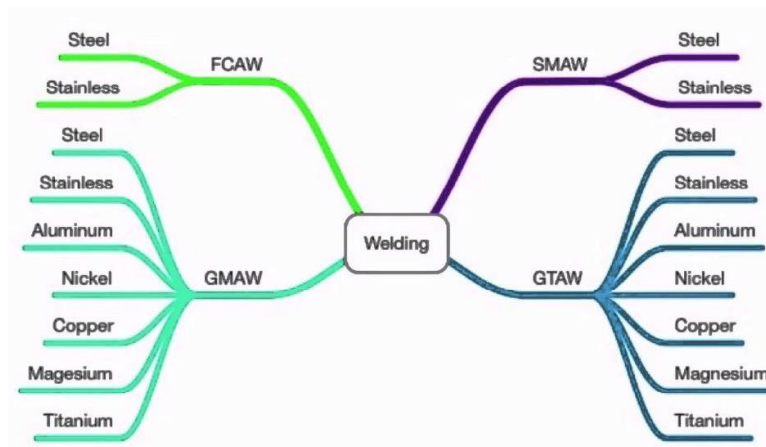


Figura 145: Tipus de mètode de soldadura per cada material a soldar

Soldadura TIG

És un procediment de soldadura amb elèctrode refractari sota atmosfera gasosa. Aquesta tècnica es pot utilitzar amb o sense metall d'aportació. El gas inert que s'utilitza és generalment argó, el qual aïlla el material fos de l'atmosfera exterior evitant així la seva contaminació. L'arc elèctric s'estableix entre elèctrode de tungstè no consumible i la peça. El gas inert envolta també l'elèctrode evitant així tota possibilitat d'oxidació.

Com a material per a la fabricació de l'elèctrode s'empra el tungstè. Es tracta d'un metall escàs en l'escorça terrestre que es troba en forma d'òxid o de sals en certs minerals. És de color gris acerat, molt dur i dens i té el punt de fusió més elevat de tots els metalls i el punt d'ebullició més alt de tots els elements coneguts, Per aquest motiu el tungstè és l'elegit per fabricar els elèctrodes no consumibles per a la soldadura TIG.

Una variant d'aquest procés és l'anomenat TIG premut, on el corrent que s'aplica varia entre dos nivells a freqüències que depenen del tipus de treball, aconseguint millorar el procés d'encebament. Per aquest cas el tipus de corrent a emprar és altern. El TIG premut té aplicació sobre tot per a gruixos petits.

Les unions de l'estructura tubular es realitzaran amb aquest tipus de soldadura (Figura 146).

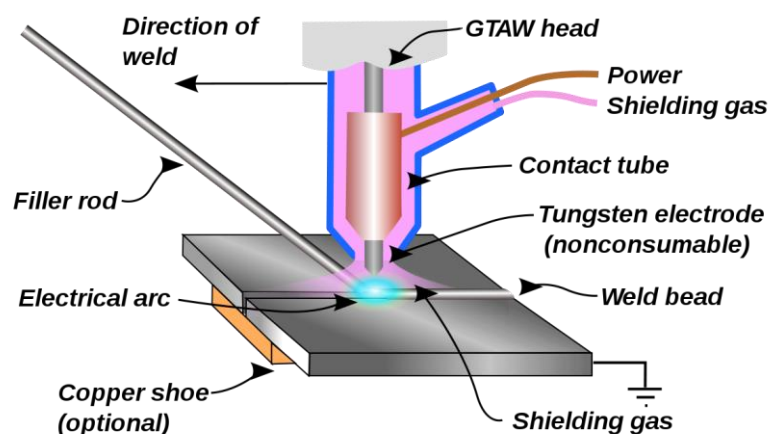


Figura 146: Soldadura TIG/GTAW

Seqüències del cordó de soldadura

En funció de la posició i la mobilitat dels elements estructurals existeixen quatre posicions per soldar en nusos de perfils tubulars estructurals:

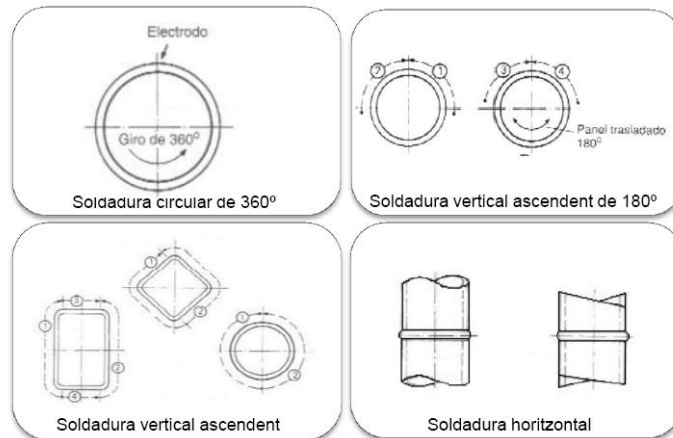


Figura 147: Seqüència de cordó de soldadura

Les seqüències de soldadura dependran molt de l'accés de treball de l'operari que realitzarà la soldadura.

E.3.4 Tractament superficial

Una vegada obtingut el xassís final es du a terme un lacat en polièster. S'ha optat per dotar a l'estructura tubular una major resistència a la corrosió i un millor aspecte visual.

El procés de lacat consisteix en prèviament una neteja superficial mitjançant un bany àcid o alcalí per desengreixar i seguidament serà assecat al forn. Més tard s'aplica una capa d'òxid de crom per millorar la resistència a la corrosió i donar una bona adherència a l'hora d'aplicar la capa d'imprimació. Per acabar el xassís és introduït en un forn de polimerització a una temperatura de 200 °C, finalitzant així el procés de lacat. La pintura que s'utilitzarà serà polièster en pols, que s'aplicarà al xassís amb pistoles electrostàtiques (Figura 148).



Figura 148: Pistola electrostàtica per aplicar pintura en pols

E.3.5 Conclusió mètodes fabricació

En aquest annex s'ha definit quin ha de ser el material i el procés de treball a seguir per tal de fabricar l'estructura de seguretat, també quines tecnologies són les òptimes per la nostra aplicació.

El material escollit és el tub estriat en fred sense soldadura segons la norma EN 10305-1 o DIN 2391 de qualitat E355 amb el tractament tèrmic final +C. Pel que fa al mètode de fabricació escollit per dur a terme el xassís, després de fer un estudi de les diferents possibilitats, es decideix seguir el mostrat a continuació:

- 1. Tall:** El tall dels extrems de les barres es durà a terme amb el mètode de tall per serrat perquè és més econòmic i no es necessita una maquinària complexa.
- 2. Corbat:** El corbat dels tubs es realitzarà en fred mitjançant rodets. S'escull el corbat en fred per ser més barat i els rodets degut a poder obtenir radis de corbat molt grans.
- 3. Soldadura:** La soldadura utilitzada serà per fusió amb arc metàl·lic i de tipus TIG. S'utilitzarà el material d'aportació amb les mateixes propietats que el material de partida a soldar. Per gas inert s'utilitzarà gas argó i elèctrodes de tungstè.
- 4. Tractament superficial:** El tractament superficial que s'aplicarà al xassís serà un lacat de polièster per tal d'augmentar la resistència a la corrosió.

Un cop definit tots els mètodes de fabricació i material, ja queda totalment definit el xassís.

ANNEX F. DINÀMICA DEL MONOPLAÇA

F.1 Introducció

En aquest annex s'estudiaran les freqüències naturals del monoplaça amb el xassís que s'ha dissenyat. Aquestes freqüències obtingudes de fer l'estudi dels modes de vibració es compararan amb les possibles freqüències que es pot trobar el vehicle al circuit per tal de poder assegurar que el monoplaça no entri en ressonància. Per a dur a terme aquest estudi es tindran en compte en tot moment els components mecànics que s'utilitzaran al monoplaça per poder resoldre el cas amb la major realitat possible. Per aconseguir això i tenint en compte que el sistema de suspensió és el més important per l'anàlisi de les vibracions, es durà a terme un assaig experimental per poder saber la constant elàstica dels amortidors que s'utilitzaran. També serà necessari conèixer el valor de la constant d'esmoreïment per a fer un estudi de la dinàmica amb més detall però degut a que no es disposa dels medis necessaris per a realitzar l'assaig experimental, aquest valor s'hauria d'aproximar.

A continuació es mostra l'assaig experimental tant a l'amortidor davanter, com a l'amortidor posterior.

F.2 Assaig experimental amortidors

Introducció

Per tal poder extreure més informació del sistema de suspensió del monoplaça i poder fer un estudi de la dinàmica d'aquest, es realitzen assajos als amortidors. Es du a terme un assaig per cada tipus d'amortidors, un pels de la part davantera i un pels de la part posterior. L'objectiu de l'assaig al laboratori és poder extreure el valor la constant de la molla.

El muntatge utilitzat per fer els assajos és el mostrat a la Figura 149 i al plànol número 3.



Figura 149: Gat hidràulic amb l' utillatge de suport

Degut a que tenim dues geometries diferents d'amortidors s'haurà de fer algun petit ajustament per tal de poder usar el mateix utillatge.

Equip necessari per l'assaig

Per poder realitzar l'assaig experimental necessitarem:

- Utillatge de suport per l'amortidor.
- Gat hidràulic.
- Cèl·lula de càrrega.
- Sensor de posició extensionometric
- Equip d'adquisició de dades extensionometric.
- Ordinador.

A continuació s'explica la funció de cadascun d'aquests elements en l'assaig experimental:

Utiltatge de suport per l'amortidor: Per poder dur a terme l'assaig s'ha de poder subjectar l'amortidor de forma vertical per poder aplicar una força de compressió en un extrem i permetre que la molla es pugui comprimir. Per aconseguir-ho s'utilitza un muntatge amb una base de recolzament amb el terra i una superfície de recolzament a l'altre extrem de l'amortidor com podem veure a la Figura 150 i Figura 151. Tot el conjunt d'amortidor i gat hidràulic ha de poder quedar dins d'aquest suport, en cas d'utilitzar diferents geometries d'amortidors s'hauria d'anar afegint gruixos i alçar el gat hidràulic. El conjunt ha de ser capaç de poder subjectar una força de 600 N.



Figura 150: Muntatge assaig amortidor



Figura 151: Subjecció part superior amortidor

Gat hidràulic: és l'encarregat de subministrar la força de compressió al conjunt. Està ubicat tal i com mostra la Figura 152. Amb el gat hidràulic podrem aconseguir aplicar una força màxima de 650 N.

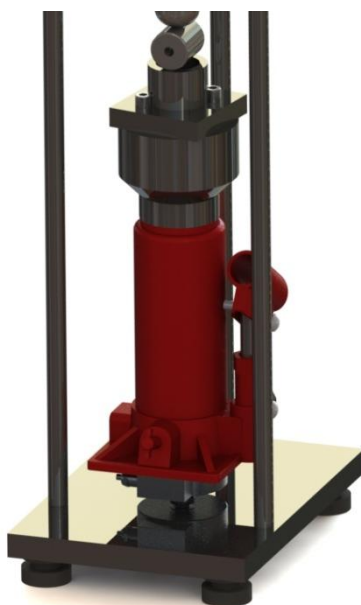


Figura 152: Posició gat hidràulic

Sensor de posició extensionomètric: permet mesurar el desplaçament de la molla mitjançant un sistema de pont de Weastone extensomètric. Internament hi ha galgues extensionomètriques ubicades seguint un esquema semblant al de la Figura 153. Mitjançant un voltatge d'entrada que controla l'aparell adquiridor de dades, es galgues extreuen un voltatge de sortida.

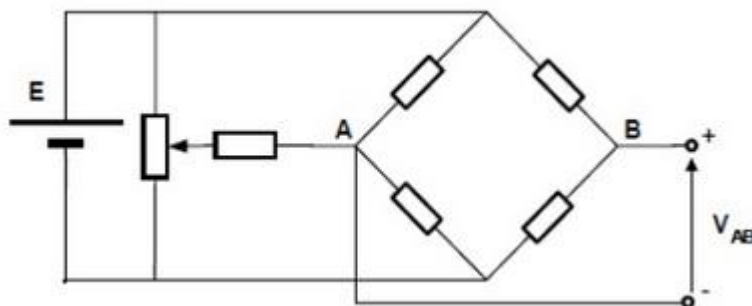


Figura 153: Pont de Wheatstone galgues extensionomètriques sensor posició

Les característiques del sensor de posició són les següents:

- Rang de desplaçament màxim = 101,97 mm
- Sensibilitat = 5,5 mV/V

Cèl·lula de càrrega: està posicionada a la part inferior del gat hidràulic col·locada amb sèrie amb el gat i l'amortidor, d'aquesta manera pot mesurar amb molta exactitud la força que s'està aplicant en cada moment amb el gat.



Figura 154: Posició cèl·lula de càrrega

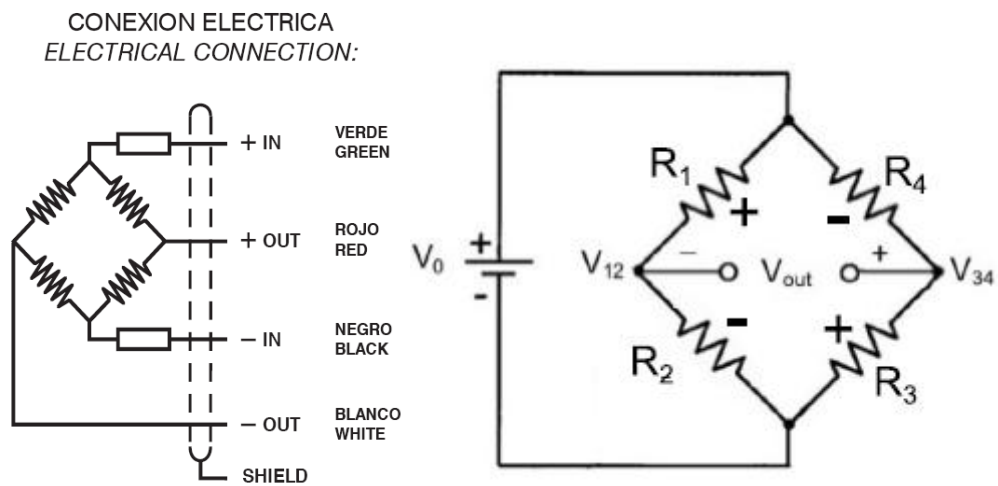


Figura 155: Exemple connexió elèctrica galgues extensionomètriques cèl·lula de càrrega

La cèl·lula de càrrega té les característiques següents:

- Model 2C/ 5t d'HBM
- Sensibilitat 2 mV/V
- Rang de càrrega màxima = 5 tones



Figura 156: Imatge cèl·lula de càrrega HBM

Adquiridor de dades/ acondicionador de senyal extensionomètric "Spider 8" : és l'aparell encarregat de transformar el voltatge d'entrada i sortida en valors de forces i desplaçaments. Disposa de 8 entrades per sensors diferents, dues de les quals seran utilitzades en l'assaig. Cada entrada té un acondicionador que amplifica el senyal de sortida que posteriorment es transforma d'analògic a digital i s'envia a l'ordinador per tractar les dades.



Figura 157: Adquiridor de dades Spider 8 (HBM, Alemanya)

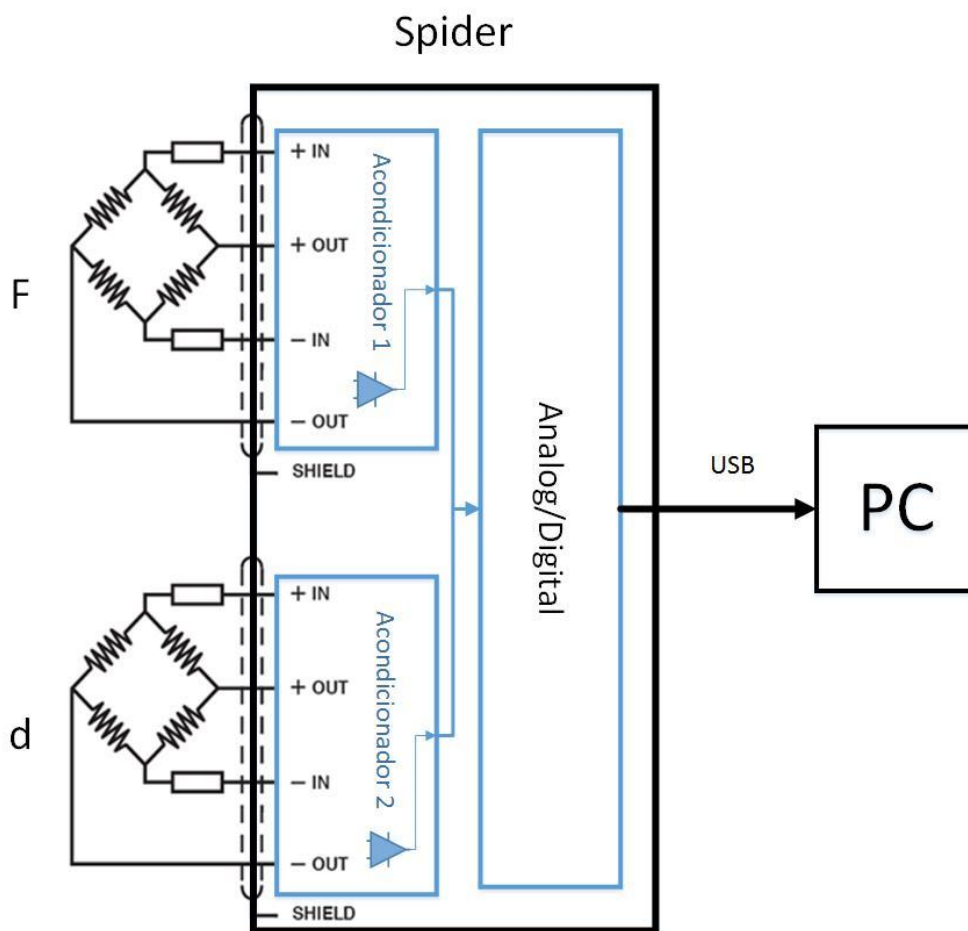


Figura 158: Funcionament intern "Spider8"

Ordinador/Software: El programari utilitzat és el "Catman" també de la mateixa empresa HBM que l'adquiridor de dades.

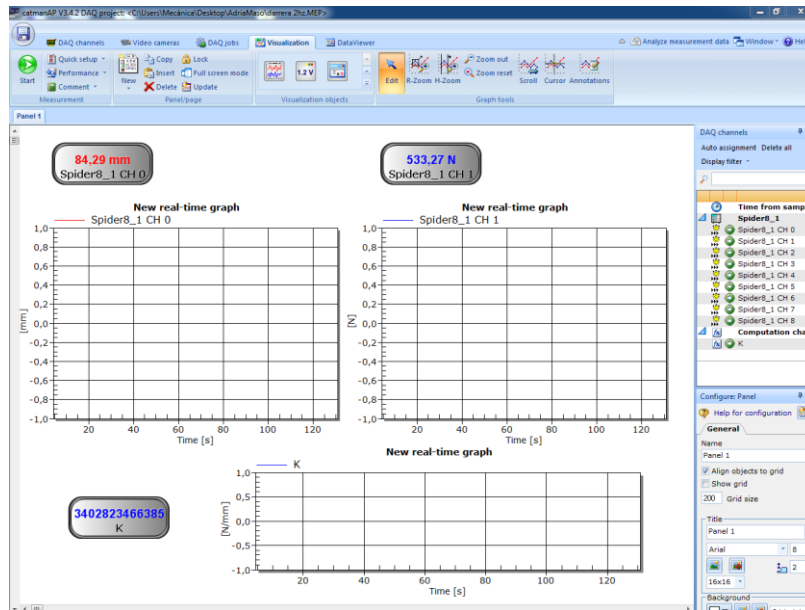


Figura 159: Interfície software "Catman"

Mitjançant una programació inicial dels sensors, el software identifica les unitats i rangs de funcionament i permet visualitzar els valors resultat en temps real, tant a través d'un gràfic com amb valors numèrics instantanis. Els voltatges aconseguits amb l'Spider, ens permeten també realitzar operacions a temps real de les diferents variables analitzades. També ens dona l'opció de guardar els valors dels sensors en format .xls per tractar les dades posteriorment.

Procediment

Per poder dur a terme els assajos, en primer lloc es munten els sensors i l'amortidor. La cèl·lula de càrrega es muntarà en sèrie amb el gat i l'amortidor tal i com es pot veure a la Figura 154. D'aquesta manera aconseguirem saber la força que exerceix el gat hidràulic.

Per tal de poder mesurar el desplaçament de la molla, es fixa el sensor a la bancada i es recolza l'extrem de l'eix del sensor a la part mòbil de l'amortidor com podem veure a la Figura 160. Per tal dur a terme aquest muntatge ha sigut necessari fabricar un petit suport.



Figura 160: Muntatge sensor de posició

També s'ha hagut de muntar un sistema que permeti restringir el moviment horitzontal, tant del gat hidràulic com de l'amortidor (Figura 161).



Figura 161: Suports moviment horitzontal

A continuació es connecten les galgues a l'aparell adquiridor de dades i es defineixen els sensors al software. Es pot veure a la Figura 162 com s'ha definit el sensor de posició.

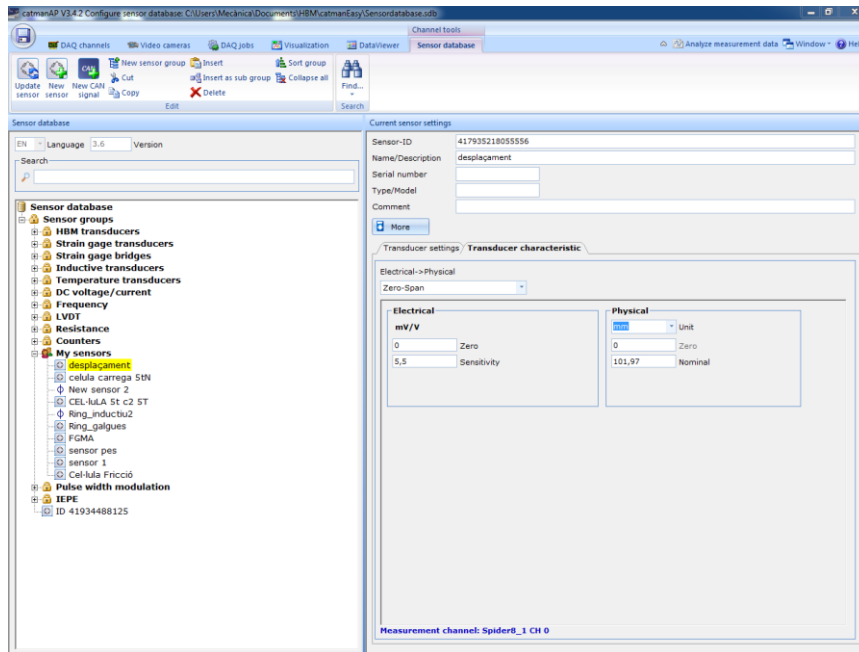


Figura 162: Definició del sensor extensionometric al programa "Catman"

Seguidament es posen a zero els sensors per tal de definir el valor inicial i es procedeix a fer l'assaig. Una vegada acabat, es guarden els valors i es podrà repetir les vegades que siguin necessàries per les dues configuracions d'amortidor que s'han d'estudiar.



Figura 163: Muntatge final.

Resultats

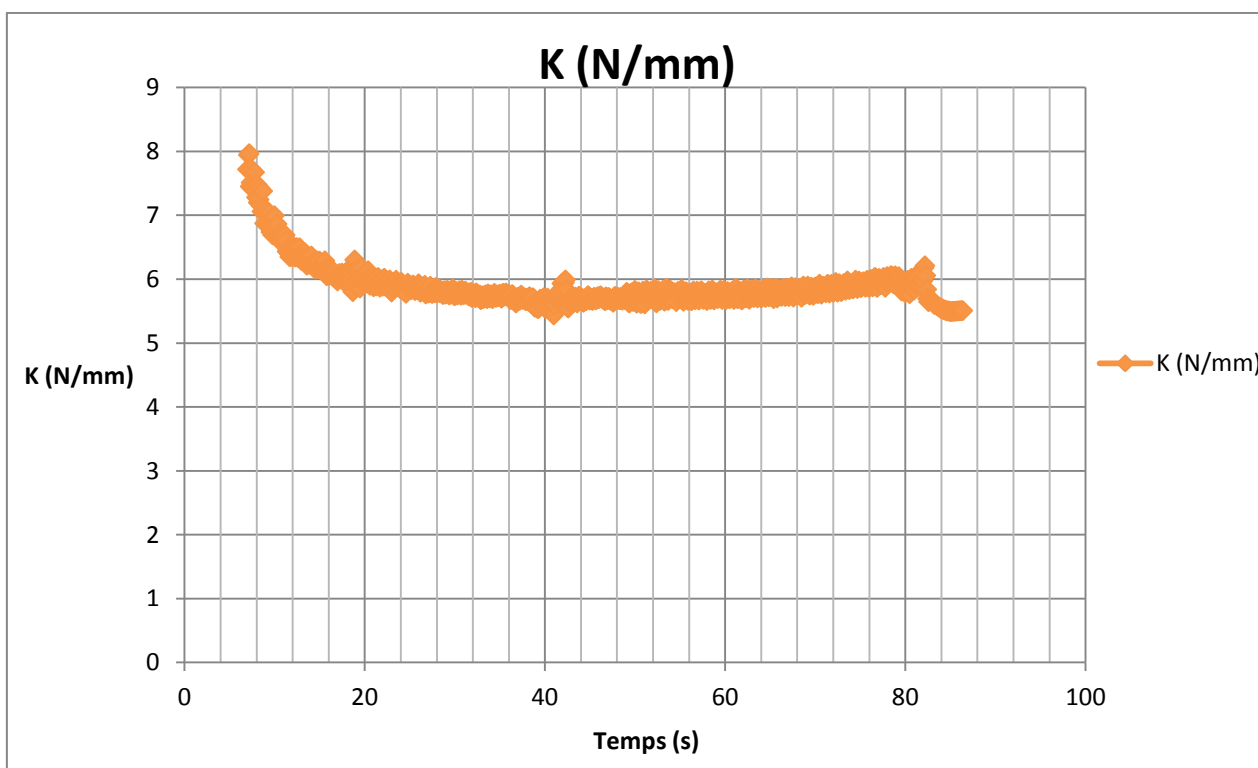
Una vegada realitzats els assajos, es tracten les dades obtingudes amb el *Catman* per eliminar els valors extrems i quedar-nos únicament amb els valors constants. Com que amb la cèl·lula de càrrega es calcula la força F i amb el sensor de posició el desplaçament d , podem extreure'n la constant elàstica K .

$$F = K \cdot x \quad (\text{Eq. 1})$$

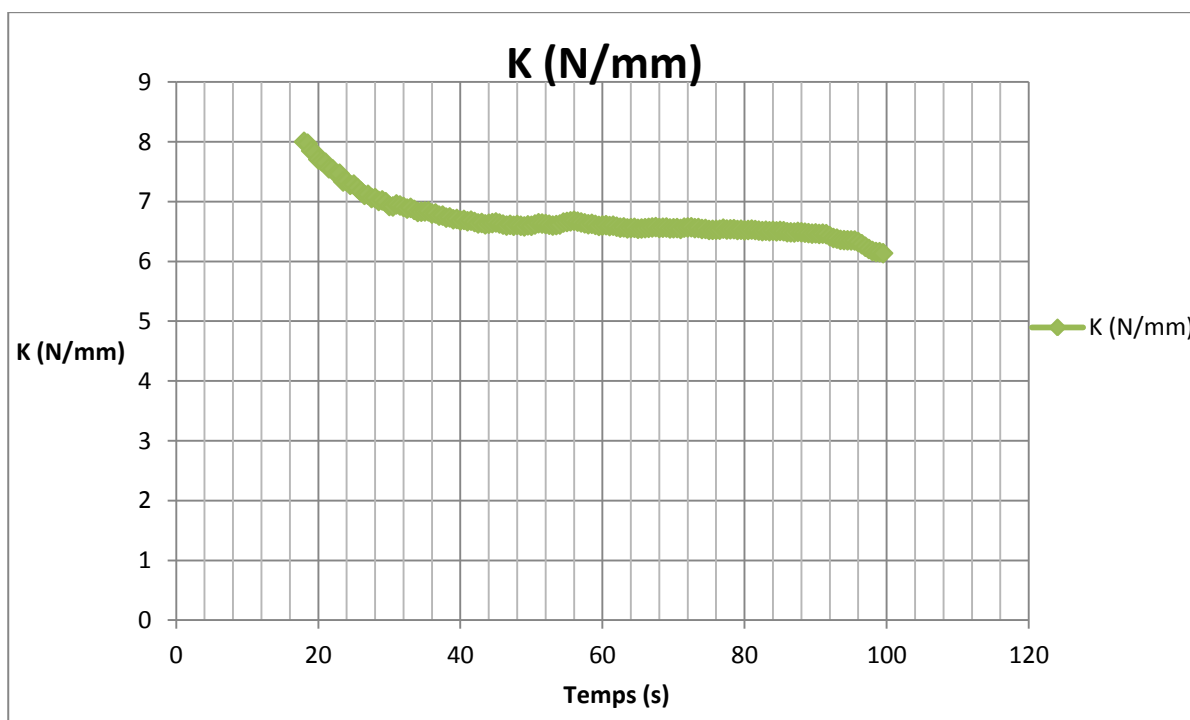
$$K = \frac{F}{d} \quad (\text{Eq. 2})$$

A continuació es mostren les gràfiques resultants de fer la divisió entre la força i el desplaçament.

Amortidor davanter:



Amortidor posterior:



El programa permet escollir la freqüència amb que realitza mesures. S'han fet proves amb diferents freqüències però s'ha observat que no és necessari augmentar la freqüència a més de 10 mesures per segon (10Hz). Podem veure a la Taula 37 un resum dels resultats obtinguts.

	Amortidor davanter		Amortidor posterior		
	5 Hz	10 Hz	1 Hz	2 Hz	5 Hz
d màx (mm)	87	85	84	85	86
F màx (N)	549	533	533	539	562
K mitja (N/mm)	5,98	5,97	7,04	6,99	7,01
K final (N/m)	5980		7020		

Taula 37: Resum assaig amortidors

Els resultats finals de K de cada amortidor s'obtenen a partir de la mitjana dels valors més constants.

Finalment, podem veure que la constant elàstica de l'amortidor davanter és **5980 N/m** i **7020 N/m** la de l'amortidor posterior. El fet de que el valor de l'amortidor posterior sigui més gran

que el davanter pot ser degut a que la massa del vehicle està més concentrada a la part posterior i es pot concloure que els resultats són coherents.

F.3 Modes de vibració

Per tal de poder dur a terme l'estudi de les vibracions s'hauran de dur a terme una sèrie d'aproximacions. L'estudi es simplificarà analitzant la meitat del monoplaça, ja que aquest és simètric respecte l'eix longitudinal (Figura 164).

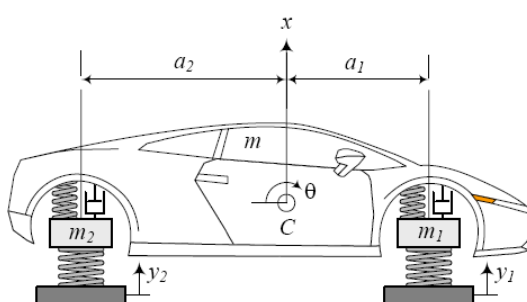


Figura 164: Representació model de la meitat del vehicle

A continuació es recullen les variables que es necessiten per poder obtenir les freqüències.

Variable	Significat
m	Meitat de la massa del cos del monoplaça
m_1	Massa suspesa de la roda davanter
m_2	Massa suspesa de la roda posterior
x	Moviment vertical cos respecte CG
x_1	Moviment vertical roda davanter
x_2	Moviment vertical roda posterior
ϑ	Angle girat "Pitch"
y_1	Excitació superfície roda davanter
y_2	Excitació superfície roda posterior
I_y	Meitat del moment d'inèrcia lateral
a_1	Distància del CG a l'eix davanter
a_2	Distància del CG a l'eix posterior

Taula 38: Paràmetres mode vibració meitat del vehicle

La Figura 165 mostra de forma detallada model de vibració simplificat del sistema. El cos del monoplaça s'assumeix que és una barra rígida. Aquesta barra té massa m que correspon a la meitat de la massa del vehicle, i el moment d'inèrcia lateral I_y , que també serà la meitat del

moment d'inèrcia total. Les rodes davanteres i posteriors tenen una massa de m_1 i m_2 respectivament. La rigidesa dels pneumàtics és la indicada amb les constants k_{t1} i k_{t2} . Es té en compte que tots els pneumàtics tenen les mateixes característiques $k_{t1} = k_{t2}$. Dels pneumàtics no es tindrà en compte la constant d'esmoreïment degut que és un valor molt petit en comparació amb la constant elàstica.

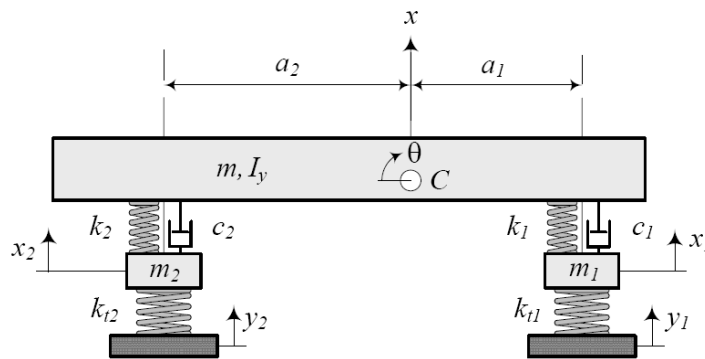


Figura 165: Model de vibració de la meitat del monoplaça

Per trobar les equacions del moviment de la meitat del monoplaça, s'ha usat el mètode de Lagrange. Les energies cinètica i potencial del sistema són:

$$K = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 + \frac{1}{2}m_1\dot{x}_1^2 + \frac{1}{2}m_2\dot{x}_2^2 + \frac{1}{2}I_z\dot{\theta}^2$$

$$V = \frac{1}{2}k_{t1}(x_1 - y_1)^2 + \frac{1}{2}k_{t2}(x_2 - y_2)^2 + \frac{1}{2}k_1(x - x_1 - a_1\theta)^2 + \frac{1}{2}k_2(x - x_2 + a_2\theta)$$

I la funció de dissipació és

$$D = \frac{1}{2}c_1(\dot{x} - \dot{x}_1 - a_1\dot{\theta})^2 + \frac{1}{2}c_2(\dot{x} - \dot{x}_2 + a_2\dot{\theta})^2.$$

Aplicant el mètode de Lagrange

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_r} \right) - \frac{\partial K}{\partial q_r} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_r} + \frac{\partial V}{\partial q_r} = f_r \quad r = 1, 2, \dots, 4$$

Aquestes equacions es poden reorganitzar de forma matricial segons

$$[m] \ddot{\mathbf{x}} + [c] \dot{\mathbf{x}} + [k] \mathbf{x} = \mathbf{F}$$

$$\mathbf{x} = \begin{bmatrix} x \\ \theta \\ x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

$$[m] = \begin{bmatrix} m & 0 & 0 & 0 \\ 0 & I_z & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & a_2 c_2 - a_1 c_1 & -c_1 & -c_2 \\ a_2 c_2 - a_1 c_1 & c_1 a_1^2 + c_2 a_2^2 & a_1 c_1 & -a_2 c_2 \\ -c_1 & a_1 c_1 & c_1 & 0 \\ -c_2 & -a_2 c_2 & 0 & c_2 \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & a_2 k_2 - a_1 k_1 & -k_1 & -k_2 \\ a_2 k_2 - a_1 k_1 & k_1 a_1^2 + k_2 a_2^2 & a_1 k_1 & -a_2 k_2 \\ -k_1 & a_1 k_1 & k_1 + k_{t1} & 0 \\ -k_2 & -a_2 k_2 & 0 & k_2 + k_{t2} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ y_1 k_{t1} \\ y_2 k_{t2} \end{bmatrix}$$

Un cop trobades les matrius es passa a realitzar els càlculs pertinents per trobar les freqüències naturals.

En el nostre cas, ja es coneixen els valors de les constants elàstiques dels amortidors que són $k_1 = 5980 \text{ N/m}$ i $k_2 = 7020 \text{ N/m}$. Pel que fa al pneumàtic, la constata elàstica (k_t) escollida serà de **200000 N/m** segons alguns exemples del llibre *Reza N. Jazar (Vehicle Dynamics: Theory and Application, (2008))*.

A continuació cal trobar les masses dels diferents elements. Primerament i complint amb les indicacions del punt A.2.1 de l'Annex A de normativa, es considera que el pes sense carburant ni pilot és de 310 Kg. Per prendre aquesta decisió s'ha comprovat que altres Carcross comercials tenen un pes proper a aquest mínim marcat per la normativa.

Tenint en compte el pilot i el carburant, el pes del vehicle serà de 392,6 Kg. Si es fa la diferència entre els 392,6 Kg i els 241,2 Kg del cos del monoplaça, s'obté **151,4 Kg**.

Aquesta diferència serà la massa suspesa tant de les rodes del davant com les posteriors. Per tant, aquest pes serà el que es repatrià entre m_1 i m_2 . També es tindrà en compte que les rodes posteriors són més amples i que és on va muntada la transmissió, la qual cosa provocarà que hi hagi un repartiment d'un 60% del pes al darrera i el 40% del pes al davant. Els valors finals de cadascuna de les parts són:

- Massa suspesa roda davantera (m_1) = $60,56/2 = 30,28 \text{ Kg}$
- Massa suspesa roda posterior (m_2) = $90,84/2 = 45,42 \text{ Kg}$
- Massa cos monoplaça (m) = **120,60 Kg**

A la Taula 39. es recullen els valors de les diferents masses del cos del monoplaça (m).

Component	Pes
Xassís	41,42 Kg
Propulsor	102 Kg
Dipòsit	5,5 Kg
Combustible 10 litres	7,6 Kg
Pilot	75 Kg
Seient	7,4 Kg
Volant	0,7 Kg
Casc	1,6 Kg
TOTAL	241,2 Kg

Taula 39: Distribució de pesos del monoplaça

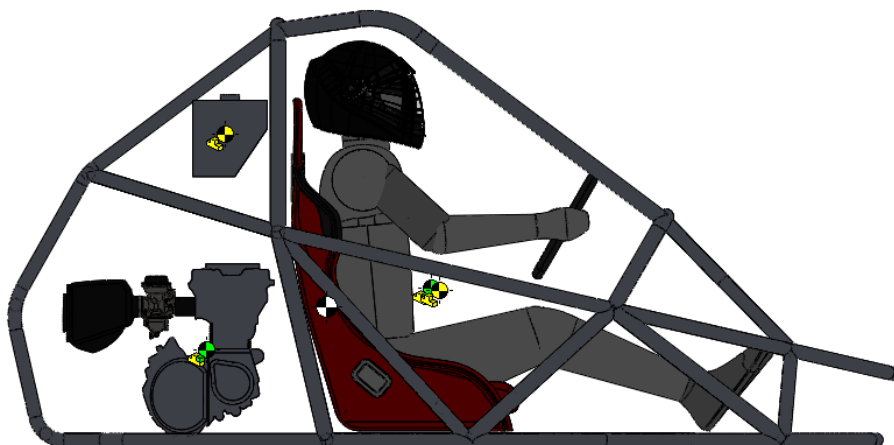


Figura 166: Distribució de les principals masses del monoplaça

Amb les masses anteriors es troben les inèrcies del vehicle:

$$I_x = 20,95 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_y = 46,92 \text{ Kg/m}^2$$

$$I_z = 58,31 \text{ Kg/m}^2$$

Com que s'aproxima a un model de la meitat del vehicle s'ha de dividir l'inèrcia per dos:

$$I_z = 58,31/2 = 29,155 \text{ Kg/m}^2$$

Per acabar es necessiten les distàncies entre els eixos, tant del davanter com posterior fins al centre de gravetat. Com que no es disposa de la posició exacta dels eixos de les rodes, s'ha fet una aproximació usant els valors que es van fer servir per a calcular la rigidesa torsional. Aquest valor és de 1300 mm aproximadament del centre de masses (Figura 167).

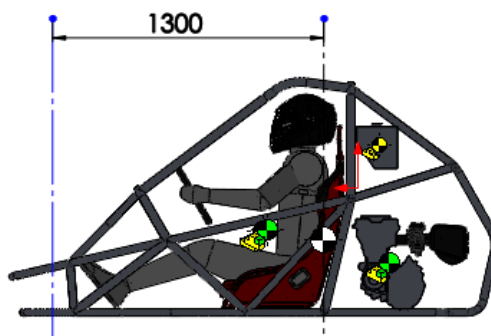


Figura 167: Posició eix davanter escollida per la rigidesa torsional

Per tenir una referència d'un monoplaça amb les mateixes característiques al que estem estudiant s'ha mesurat la distància entre eixos i l'amplada dels eixos des de la part exterior del pneumàtic del Carcross preliminar explicat amb més detall a l'apartat C.3 de l'Annex C . Aquestes dades es faran servir per tal de saber a_1 i a_2 .

- Distància entre eixos Carcross preliminar = 1850 mm
- Amplada eix davanter Carcross preliminar = 1450 mm
- Amplada eix posterior Carcross preliminar = 1600 mm

Finalment, mitjançant la distància entre eixos de 1850 mm, s'acabarà de posicionar l'eix posterior (Figura 168). Obtenint una $a_1 = 1300$ mm i $a_2 = 550$ mm.

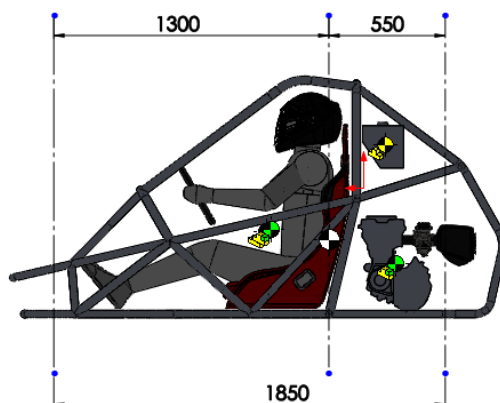


Figura 168: Posició eixos davanter i posterior

Podem veure en aquesta fotografia d'un Carcross que els eixos escollits tenen les mateixes proporcions.



Figura 169: Monoplaça Carcross

En aquest moment ja es pot passar a trobar les freqüències amb l'equació següent:

$$\det [[k] - \omega^2 [m]]$$

Primer es substitueixen els valors a les matrius:

$$[m] = \begin{bmatrix} 120,60 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 29,155 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30,28 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 45,42 \end{bmatrix}$$

$$[k] = \begin{bmatrix} 13000 & -3193 & -5980 & -7020 \\ -3913 & 12229,75 & 7774 & -3861 \\ -5980 & 7774 & 205980 & 0 \\ -7020 & -3861 & 0 & 207020 \end{bmatrix}$$

El determinant que s'obté és:

$$\left| \begin{bmatrix} 13000 & -3193 & -5980 & -7020 \\ -3913 & 12229,75 & 7774 & -3861 \\ -5980 & 7774 & 205980 & 0 \\ -7020 & -3861 & 0 & 207020 \end{bmatrix} - \omega^2 \begin{bmatrix} 120,60 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 29,155 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 30,28 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 45,42 \end{bmatrix} \right| = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$4835744586 \cdot \omega^8 - 57485792803,3 \cdot \omega^6 + 1,786 \cdot 10^{14} \cdot \omega^4 - 7,884 \cdot 10^{16} \cdot \omega^2 + 5,747 \cdot 10^{18} = 0$$

Resolent aquesta equació biquadrada obtenim les freqüències naturals de la meitat del monoplaça:

$$\omega_1 = 9,549 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx \mathbf{1,52 \text{ Hz}}$$

$$\omega_2 = 20,474 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx \mathbf{3,26 \text{ Hz}}$$

$$\omega_3 = 67,547 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx \mathbf{10,75 \text{ Hz}}$$

$$\omega_4 = 82,552 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \approx \mathbf{13,14 \text{ Hz}}$$

F.4 Freqüència en la competició

Per tal de poder analitzar si el vehicle entrarà en ressonància, una vegada conegudes les seves freqüències naturals de vibració, s'han d'analitzar les possibles freqüències que es trobarà el monoplaça a la competició.

Per a fer-ho s'han analitzat dos fenòmens que esdevenen fonts de vibracions a la competició. El primer fenomen és la vibració que pot provenir del motor, i el segon seran les vibracions provinents del relleu del circuit.

F.4.1 Vibracions del motor

Per a poder determinar el valor de la freqüència del motor s'ha de tenir en compte el seu règim de gir. Tal i com es pot veure a la Taula 21 del punt B.3.2 de l'Annex B on es mostren les característiques del propulsor, el règim de gir del motor a màxima potència és de 11.000 rpm. En el moment de la competició el valor del règim de gir estarà entre 7.000 i 13.000rpm.

Les vibracions han estat analitzades en estat de ralenti, ja que és el moment en el que el motor produeix vibracions a unes freqüències més baixes. El règim que s'estipula per al ralenti és de 1.500 rpm.

Fent la conversió de revolucions per minut a freqüència s'obté el següent:

- Durant la competició s'han obtingut freqüències de **117 Hz** a 7.000 rpm fins a **217 Hz** a 13.000 rpm.
- En ralenti a 1.500 rpm s'han obtingut **25 Hz**.

F.4.2 Vibracions circuit

Per a determinar les vibracions que es poden ocasionar degudes a la superfície del circuit s'ha tingut en compte que en aquest hi ha ondulacions de diferents amplituds que provoquen les vibracions al monoplaça quan es passa pel damunt amb una certa velocitat.

Com que no es coneix la distància entre ondulacions, es faran una sèrie d'hipòtesis que inclouran longituds que aniran de 0,1m a 0,5m (Figura 170). Al no conèixer tampoc amb exactitud la ubicació de les ondulacions en el circuit ni la velocitat amb la que s'hi passarà pel damunt, s'han estudiat els casos en que les velocitats que assoliran els monoplaços al circuit estaran entre els 20 i els 100 Km/h.

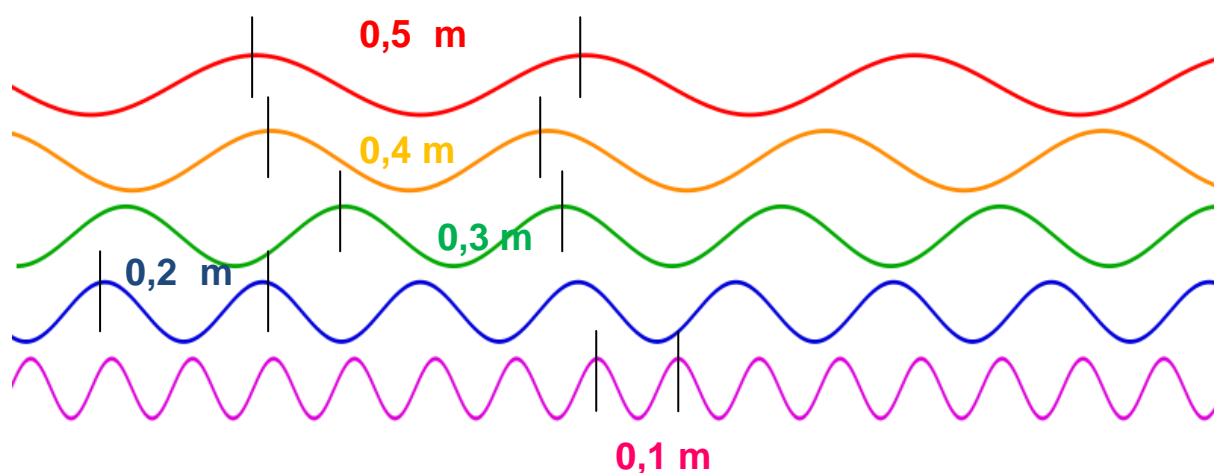


Figura 170: Diferents ondulacions circuit.

Finalment per cada cas s'obté mostrat a la Taula 40.

Distància entre ondulacions (m)	20 Km/h	100 Km/h
0,1	55,56 Hz	277,78 Hz
0,2	27,78 Hz	138,89 Hz
0,3	18,52 Hz	92,59 Hz
0,4	13,89 Hz	69,44 Hz
0,5	11,11 Hz	55,56 Hz

Taula 40: Freqüències resultants ondulacions circuit

F.5 Conclusions

Observant els resultats de les freqüències del motor, els valors obtinguts són llunyans a les freqüències naturals calculades del monoplaça. Tot i això, en el cas del motor en ralenti, de 25 Hz, el resultat s'acosta perillosament al valor més gran de la freqüència natural obtinguda.

Pel que fa als resultats obtinguts amb les hipòtesis de possibles ondulacions del circuit, es pot veure que a velocitats baixes i amb ondulacions de gran longitud d'ona, els valors que

s'obtenen també s'acosten molt a les freqüències naturals del monoplaça. Aquest fet no és tant preocupant com el del motor ja que la hipòtesi de les ondulacions (Figura 171) serà molt complicat que succeeixi en un circuit d'Autocross.



Figura 171: Ondulacions camí de terra

El fenomen de les ondulacions en camins de terra és real i es pot observar freqüentment. Però cercant el motiu pel qual es creen aquestes ondulacions s'ha pogut observar que només es formen amb el pas de vehicles a una velocitat constant d'aproximadament 8 km/h.

Com que els monoplaços no van a una velocitat constant i a més, majoritàriament fan lliscar les rodes motrius, en un circuit d'Autocross mai es produirà aquest fenomen.

En principi, pels casos que s'han analitzat, el monoplaça no hauria d'entrar en ressonància.

El redactor del projecte,

Adrià Masó Palou

Girona, 16 de Juny de 2015