



EPS

Escola Politècnica

UdG

Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria en Tecnologies Industrials

Títol: DISSENY DEL XASSÍS D'UN COTXE ESPORTIU 1000 (GRUP CM) PER A CURSES DE VELOCITAT

Document: Memòria

Alumne: Marçal Masó Palou

Director/Tutor: Joan Andreu Mayugo Majó / Norbert Blanco Villaverde

Departament: Enginyeria Mecànica i de la Construcció Industrial

Àrea: Enginyeria Mecànica

Convocatòria(mes/any): Setembre 2014

A la meva família i la meva parella, pel seu suport continu durant tots aquest anys. Perquè sense ells no hagués pogut arribar fins aquí.

A el meu tutor, Joan Andreu Mayugo, per l'ajuda i seguiment al projecte.

1. INTRODUCCIÓ.....	6
1.1 Antecedents.....	6
1.2 Objecte.....	7
1.3 Especificacions i abast.....	8
2. EL XASSÍS.....	9
2.1 Tipus de xassís.....	10
2.2 Material.....	10
2.3 Elecció del xassís.....	11
3. DESCRIPCIÓ DEL DISSENY DEL XASSÍS DEFINITIU.....	12
4. MATERIAL.....	14
4.1 Característiques mecàniques de l'acer.....	15
4.2 Tipus de barres.....	15
5. NORMATIVA.....	17
5.1 Requeriments de l'estructura de seguretat.....	17
5.2 Homologació de l'estructura de seguretat.....	18
6. SUPORT INFORMÀTIC.....	19
7. PROCÉS DE DISSENY.....	20
7.1 Requisits tècnics.....	20
7.2 Algorisme de disseny.....	21
7.3 Enginyeria Inversa.....	22
7.4 Estudi del disseny inicial.....	23
7.5 Disseny final	24
8. CÀLCULS.....	25
8.1 Anàlisi per elements finits.....	25
8.1.1 Resum dels resultats.....	27
8.2 Distribució de masses.....	28
8.3 Resultats geomètrics.....	30

9. MÈTODE DE FABRICACIÓ.....	31
9.1 Tall.....	32
9.2 Corbat.....	33
9.3 Soldadura.....	33
10. RESUM DEL PRESSUPOST.....	35
11. CONCLUSIONS.....	36
12. RELACIÓ DE DOCUMENTS.....	37
13. BIBLIOGRAFIA.....	38
14. GLOSSARI.....	41
ANNEX A: NORMATIVA.....	42
A.1 Introducció.....	42
A.2 Requeriments de l'estructura de seguretat.....	42
A.2.1 Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.....	43
A.2.2 Reglamento específico de vehículos CM.....	44
A.2.3 Reglament tècnic de cotxes esportius 1000.....	46
A.3 Homologació de l'estructura de seguretat.....	48
A.3.1 Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.....	48
A.3.2 Tipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición.....	48
A.4 Control de qualitat.....	49
A.4.1 Article 253-8 de l'Annex J del CDI.....	49

ANNEX B: TIPUS DE XASSÍS.....	52
B.1 Introducció.....	52
B.2 Tipus de xassís.....	52
B.2.1 Xassís amb carrosseria separada.....	53
B.2.2 Xassís monocasc o autoportant.....	54
B.2.3 Xassís tubular.....	55
B.3 Material.....	56
B.3.1 Acer.....	57
B.3.2 Alumini.....	58
B.3.3 Titani.....	59
B.3.4 Magnesi.....	60
B.3.5 Fibra de carboni.....	61
B.3.6 Fibra de vidre.....	62
B.3.7 Fusta.....	63
B.4 Elecció del xassís.....	64
ANNEX C: PROCÉS DE DISSENY.....	65
C.1 Introducció.....	65
C.2 Requisits tècnics.....	65
C.3 Algorisme de disseny.....	67
C.4 Suport informàtic.....	68
C.4.1 SolidWorks.....	68
C.5 Enginyeria Inversa.....	70
C.6 Estudi del disseny inicial.....	71
C.6.1 Mides generals.....	71
C.6.2 Estructures de seguretat.....	72
C.6.3 Estructura lateral.....	74
C.6.4 Estructura frontal i cabina.....	76
C.6.5 Estructura posterior.....	81
C.6.6 Fons pla.....	82
C.7 Disseny final	83

ANNEX D: CÀLCULS.....	85
D.1 Introducció.....	85
D.2 Distribució de masses.....	86
D.3 Anàlisi per elements finits.....	91
D.3.1 Mètode dels elements finits.....	91
D.3.1.1 Història.....	91
D.3.1.2 Conceptes generals del MEF.....	92
D.3.2 Suport informàtic.....	94
D.3.2.1 Ansys.....	94
D.3.3 Normativa de l'anàlisi del xassís.....	96
D.3.4 Condicions generals de les hipòtesis de càlcul.....	98
D.3.5 Definició de la geometria a MEF.....	99
D.3.6 Anàlisi dels diferents estats de càrrega.....	102
D.3.7 Resum dels resultats.....	122
D.3.8 Resultats distribució de masses al xassís.....	123
ANNEX E: MATERIAL I MÈTODE DE FABRICACIÓ.....	125
E.1 Introducció.....	125
E.2 Material.....	125
E.2.1 Tipus d'acer.....	125
E.2.2 Característiques mecàniques de l'acer.....	126
E.2.3 Composició química de l'acer.....	127
E.2.4 Tipus de barres.....	127
E.3 Mètode de fabricació.....	129
E.3.1 Tall.....	130
E.3.1.1 Tall amb bufador.....	130
E.3.1.2 Tall per serrat.....	131
E.3.1.3 Unions de tubs.....	131
E.3.2 Corbat.....	134
E.3.2.1 Mètodes de corbat en fred per CHS.....	135
E.3.3 Soldadura.....	137
E.3.3.1 Posicions i seqüències de soldadura.....	138
E.3.3.2 Preparació dels extrems.....	138
E.3.3.3 Soldadura TIG.....	139
E.4 Resum.....	140

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Els fórmules o vehicles esportius 1000 del grup CM participen en el Campionat de Catalunya de Muntanya, entre altres competicions de velocitat. Aquest campionat de Catalunya de Muntanya consisteix en passar varies vegades per un mateix recorregut i, el cop que s'hagi fet amb el menor temps possible de cada vehicle, és el que es té en compte per determinar quin pilot ha guanyat la cursa.

Abans de començar el projecte, hem de saber quina és la massa del xassís dels vehicles esportius 1000 del grup CM que actualment estan competint en el Campionat de Catalunya de Muntanya. Per aquest motiu, ens hem posat en contacte amb els fabricants d'aquests vehicles.

Com que el pes dels diferents xassís no és una dada pública, els fabricants d'aquests vehicles no ens han proporcionat el pes exacte sinó una aproximació.

El primer fabricant que ens va poder atendre i proporcionar-nos aproximadament el pes del seu xassís va ser el vehicle anomenat Silver car, que és un dels més moderns que hi ha i el podem veure a la figura 1.1. El fabricant ens va informar que el pes del xassís d'aquest model era d'aproximadament 95Kg.



Figura 1.1: Formula CM model Silver car ([22] Font: <http://www.silver-car.com>)

Aquesta informació obtinguda del fabricant del model Silver car va ser contrastada posant-nos en contacte amb un altre fabricant de vehicles grup CM. El segon fabricant que ens va voler atendre va ser el del model Speed car GTR, qui ens va dir que el pes del seu xassís era proper als 90 Kg(Figura1.2).



Figura 1.2: Formula CM model Speed car GTR

Després d'haver parlat amb dos fabricants diferents de vehicles 1000 del grup CM, els quals tenen un pes aproximat d'entre 90 i 95 Kg, veiem que els valors obtinguts són coherents i podem considerar correcte els valors que ens han proporcionat. Així doncs, seran els valors de referència en aquest projecte.

1.2 Objecte

L'objectiu que persegueix aquest projecte és fer el desenvolupament i el càlcul d'un xassís d'un vehicle esportiu 1000 del grup CM, tot intentant reduir el seu pes, perquè pugui ser homologat segons la normativa vigent.

L'objectiu final és obtenir un xassís homologat per la FIA que sigui més lleuger que els dissenyats pels altres fabricants que estan competint actualment.

1.3 Especificacions i abast

Una de les expectatives que esperem complir és la de dissenyar un xassís tenint en compte els reglaments i normatives vigents pel vehicle esportiu 1000 del grup CM.

Unes altres expectatives que també tindrem en compte són els requisits tècnics del disseny de vehicles següents:

- a) La seguretat: crearem les hipòtesis de càrrega que ens exigeix la normativa per llavors poder fer les anàlisis amb el nostre xassís.
- b) La facilitat d'operació: deixar l'espai suficient perquè es puguin substituir amb facilitat els elements principals com ara el motor, els seients, etc.
- c) El pes del xassís: no superar la massa màxima de 90 Kg.
- d) El cost del xassís: no superar el preu màxim de 20.000 €.

A l'hora de realitzar el nostre disseny hem de tenir en compte que només hem fet el disseny estructural. No s'han tingut en compte els suports pels diferents elements del vehicle com per exemple el suport de les rodes, motor, seient, etc.

En aquest projecte analitzarem els resultats i extraurem les conclusions adients de les diferents hipòtesis de càrrega que ens exigeix la normativa.

Llavors passarem a redactar els plànols de fabricació i per acabar redactarem un pressupost de viabilitat econòmica.

2. EL XASSÍS

El primer que hem de fer, abans de començar a fer el disseny del xassís, és veure la gran importància que té el xassís en l'estructura i el funcionament final del vehicle.

El xassís ens aporta tant la rigidesa com la forma, i per tant, el comportament final del vehicle. Podem dir que el xassís és una de les parts més importants en els vehicles ja que, és la base per a la construcció i el posicionament dels components que el formen part del vehicle.

Hem de tenir en compte que, a causa que el xassís és l'element estructural i de seguretat principal en aquest tipus de vehicle, està molt controlat mitjançant els reglaments i les normatives de cada vehicle com hem estudiat a l'annex A.

Una de les característiques principals d'un xassís és suportar els esforços i forces mecàniques, per tant ha de tenir una elevada rigidesa. Per a obtenir-la, s'haurien de considerar tant la resistència estàtica - dinàmica, com a la fatiga, així com l'estabilitat dels elements estructurals.

Hem de tenir en compte que en el disseny hem de deixar l'espai suficient pels elements principals com ara el motor, l'espai per la cabina, etc.

També hem de tenir en compte que en el disseny del xassís no busquem únicament la rigidesa, sinó també la lleugeresa. La lleugeresa és un factor molt important ja que com més lleuger sigui el xassís menor serà l'energia a dissipar per una velocitat donada i per tant més segur serà el vehicle.

2.1 Tipus de xassís

Un automòbil està construït per dos parts clarament diferenciades: la mecànica i la carrosseria. La mecànica està formada per diferents elements com el motor, la transmissió, la direcció, etc.

Mentre que la carrosseria és la carcassa del vehicle. La carrosseria està formada generalment per planxes metàl·liques unides entre si. Hi pot haver diferents classificacions però les més representatives són en funció de la distribució de l'espai, de la seva forma i del tipus de xassís.

Si partint del tipus de xassís podem trobar tres grans famílies molt diferents entre elles, que les podem trobar ampliades i amb les seves principals avantatges a l'Annex B: Tipus de xassís.

- Xassís amb carrosseria separada
- Xassís monocasc o autoportant
- Xassís tubular

2.2 Material

Cada material té unes propietats físiques i mecàniques definides que el faran més o menys idoni per una funció en concret i per tant ho hem de tenir en compte a l'hora de fer el disseny del xassís.

Les principals qualitats que tindrem amb compte del material, a l'hora de dissenyar el xassís, seran el límit elàstic i les tensions de ruptura que ens serviran per mesurar la resistència del xassís.

Si la tensió que rep el xassís és inferior al seu límit elàstic tindrem una deformació elàstica, la qual cosa implica que el material tornarà a tenir la seva forma i mida anteriors. Si la tensió que rep sobrepassa el límit elàstic tindrem una deformació plàstica on el material no es podrà recuperar.

Però si la tensió que rep el xassís e algun punt va augmentant per sobre del límit elàstic hi pot haver el risc de superar el límit de ruptura i que per tant, el material es trenqui. La quantitat de tensió que s'ha d'aplicar perquè un material passi del límit elàstic al límit de ruptura ens proporciona una idea de la ductilitat del material.

El material escollit per conformar un xassís, apart de tenir una elevada resistència, també hem d'intentar que sigui dúctil. Els xassís han de ser capaços de suportar certs nivells de sobrecàrrega, com per exemple irregularitats en el terreny, sense arribar a la ruptura.

Els xassís solen estar formats generalment d'acer però, també poden ser d'altres materials com l'alumini, la fibra de carboni, el titani, el magnesi, la fibra de vidre i, fins i tot, la fusta. Els podem trobar definits i comparats a l'Annex B: Tipus de xassís.

2.3 Elecció del xassís

Per dur a terme el nostre xassís hem escollit el xassís tubular d'acer per les seves propietats.

Hem escollit el xassís tubular perquè presenta una molt bona relació entre la rigidesa i el pes. També hem tingut en compte que el model tubular presenta un gran avantatge econòmicament respecte al monocasc ja que, el seu preu és molt inferior per produir-ne lots petits gràcies a la simplicitat dels processos de fabricació.

El material escollit per portar a terme el nostre projecte ha estat l'acer ja que té unes bones propietats estructurals i també pel seu baix cost econòmic respecte els altres materials que tenen propietats estructurals superiors com per exemple el titani, com podem trobar explicat a l'Annex B: Tipus de Xassís.

Cal destacar també que, com que el fórmula que hem dissenyat està preparat per ser un cotxe esportiu 1000 del grup CM, la normativa ens especifica que el xassís ha de ser tubular i d'acer.

3. DESCRIPCIÓ DEL DISSENY DEL XASSÍS DEFINITIU

El disseny del xassís final està format per tubs de diferents mides, diàmetres i gruixos, depenent de les càrregues que ha de suportar cada element per complir amb la normativa. Tot seguit podem veure, a la figura 3.1, els tubs diferents que formen el nostre xassís final.

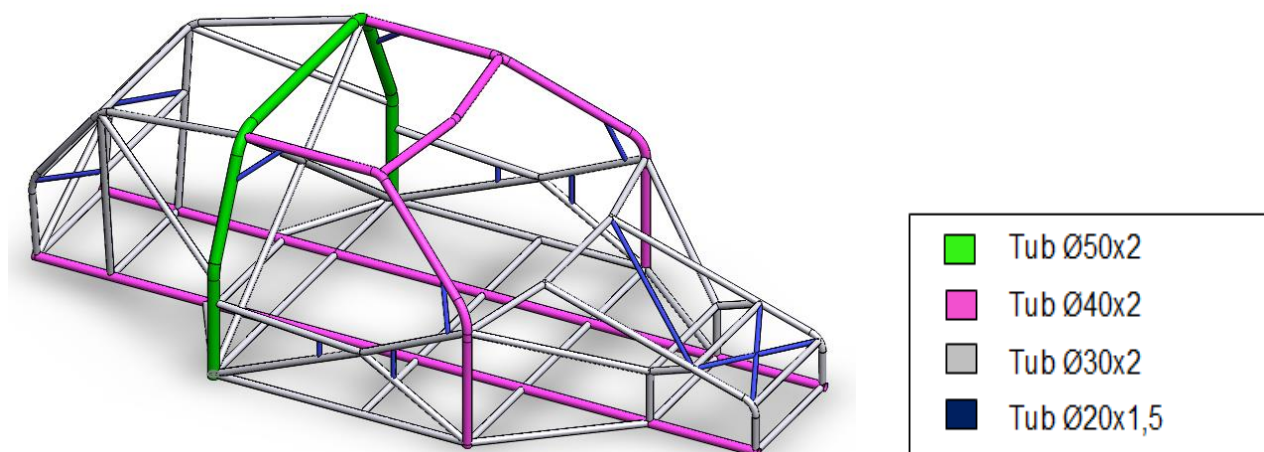


Figura 3.1: Disseny final del xassís mostrant els diferents tubs

Com podem veure a la figura superior, el tub de major magnitud, el de diàmetre 50 mm i 2 mm de gruix, es troba únicament en l'arc principal de seguretat superior ja que és un punt molt important per a la seguretat dels ocupants i per tant, està molt controlat per la normativa.

A la taula següent, la taula 3.1, podem veure les unitats, la massa i la longitud dels diferents tubs que hem pogut veure a la figura anterior i que formen el nostre xassís final.

TIPUS TUBS	UNITATS	PES UNITARI	MASSA	LONGITUD
Tub Ø50x2 mm	1	2.37 Kg/m	7,77 Kg	3,28 m
Tub Ø40x2 mm	5	1.87 Kg/m	22,3 Kg	11,925 m
Tub Ø30x2 mm	52	1.38 Kg/m	52,845 Kg	38,3 m
Tub Ø20x1,5 mm	13	0.68 Kg/m	2,775 Kg	4,08 m

Taula 3.1: Massa i mida dels tubs del disseny final

El disseny final del nostre xassís el podem dividir en els diferents apartats que podem veure a continuació:

- Arc principal
- Arcs laterals
- Part frontal
- Part inferior
- Part posterior

Aquests diferents apartats els podem apreciar més clarament a la figura 3.2.

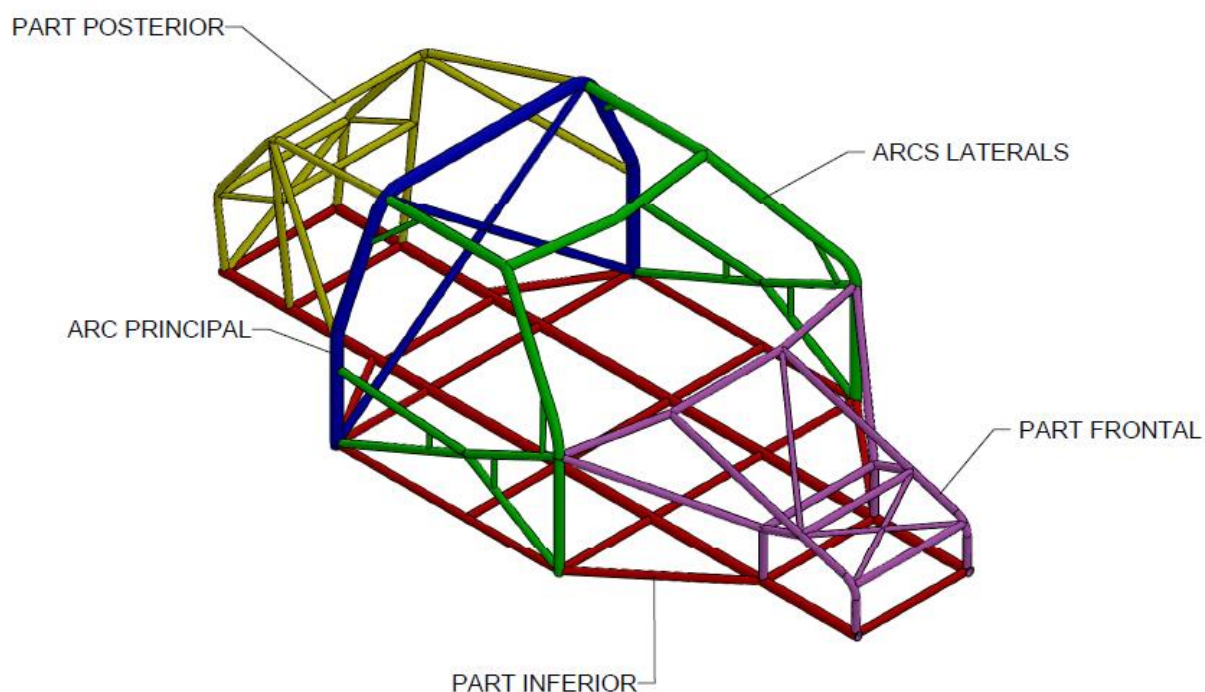


Figura 3.2: Disseny final del xassís mostrant les diferents parts

Aquests apartats són importants de cares a la fabricació del xassís i per poder realitzar el Document 2: Plànols.

4. MATERIAL

El material escollit ha estat l'acer perquè posseeix una gran mal·leabilitat i una bona soldabilitat entre la majoria d'acers i per tant, els processos de fabricació envers els altres materials són més senzills. L'acer també és un material força dúctil i com hem dit prèviament és un dels requisits tècnics que ha de posseir el xassís d'un vehicle.

Abans de seleccionar el material utilitzat, cal recordar que en l'elecció del material utilitzat hem de tenir en compte les característiques tècniques i les propietats mecàniques que més s'adaptin a les possibles solucions constructives.

Un cop es fa l'elecció de l'acer s'ha d'especificar si el material està acabat en calent o bé en fred. El tub acabat en fred presenta el gran avantatge sobre l'acabat en calent de no oxidarse. Per aquest motiu, el tub acabat en fred sol tenir una tolerància més petita, una major resistència i un millor acabat superficial. Habitualment, per a estructures com la d'un xassís tubular se solen utilitzar perfils tubulars conformats en fred.

L'elecció final és la del tub de precisió sense soldadura, estriat en fred segons la norma de fabricació DIN 2391 de qualitat d'acer ST-52 i acabat BK, distribuïts per Ducal International, S.A.

Per saber més informació del material que hem escollit i dels diferents tipus de barra que fabriquen podem consultar l'Annex E: Material i mètode de fabricació i al catàleg de Ducal International, S.A.

El catàleg de Ducal International, S.A, del material que hem seleccionat, on hi ha les característiques mecàniques del material, la composició química de l'acer i els tipus de tubs que tenen, el podem trobar a internet si posem a un buscador Ducal ST-52 BK DIN 2391.

4.1 Característiques mecàniques de l'acer

Les característiques mecàniques de l'acer es caracteritzen per la seva resistència a la ruptura, l'allargament i el límit elàstic. Aquests valors s'obtenen mitjançant assajos de tracció que ens permeten realitzar diagrames tensió-deformació per a cada material. Les característiques mecàniques de l'acer que hem seleccionat les podem veure a la taula 4.1.

Característiques mecàniques de l'acer ST-52-BK		
Qualitat	DIN2391 -BK	
Resistència a la ruptura	60-80 kg/mm ²	588-784 MPa
Límit elàstic	48 kg/mm ²	470 MPa
Allargament	6% mínim	
Mòdul de Young	2,1x10 ⁵ MPa	
Quocient de Poisson	0,266	
Densitat	7860 Kg/m ³	
Quocient de dilatació tèrmica	1,17 x 10 ⁻⁵ K ⁻¹	

Taula 4.1. Propietats mecàniques de l'acer ST-52-BK

4.2 Tipus de barres

Hi ha sobretot dos tipus de barres: les massisses i les foradades. Escollim les barres foradades perquè aguanten millor la flexió i el vinclament que les barres massisses.

Pel que fa al tipus de secció també n'hi ha de dos tipus. La primera és la circular (CHS) i la segona és la rectangular (RHS). El tub que escollim és el de secció circular perquè ofereix una distribució de masses molt efectiva al voltant de l'eix centroidal i l'únic inconvenient que té és que a l'hora d'unir els tubs entre si es pot necessitar un perfilat especial. Normalment s'utilitzen els tubs CHS per dur a terme els xassís dels vehicles grup CM com hem pogut comprovar aplicant l'enginyeria inversa que podem trobar a l'Annex C: Procés de disseny.

Els tubs rodons foradats que s'han utilitzat per fer el xassís es mostren a la taula següent (Taula 4.2):

Dimensions dels tubs de secció circular				
Ø exterior mm. x paret	Ø interior mm.	Toleràncies mm.		Pes teòric kg/m
		Ø exterior	Ø interior	
20x1,5	17	0'08	0'08	0,68
30x2	26	0'08	0'08	1'38
40x2	36	0'15	0'15	1'87
50x2	46	0'20	0'20	2'37

Taula 4.2. Dimensions dels tubs de secció circular

5. NORMATIVA

Els vehicles esportius 1000 del grup CM, que participen en el Campionat de Catalunya de muntanya, han d'estar homologats per una ADN (Autoridad Deportiva Nacional) d'acord amb els reglaments d'homologació per estructures de seguretat que elabora la FIA (Federación Internacional de Automovilismo).

A Espanya, la ADN seleccionada per la FIA i per tant, l'única entitat autoritzada a fer les homologacions d'estructures de seguretat és la R.F.E.de A. (Real Federación Española de Automovilismo).

5.1 Requeriments de l'estructura de seguretat

Les estructures de seguretat, per poder ser homologades per la R.F.E.de A. han de complir tant la normativa vigent com el reglament d'homologació que afecta el vehicle en concret.

TIPO DE ESTRUCTURA	HOMOLOGACIÓN	RGTO. APLICABLE	DOCUMENTACIÓN OBLIGATORIA	PLACA IDENTIFICATIVA
SEGÚN ANEXO J Art. 253.8	NO OBLIGATORIA	ANEXO J AL CDI	NINGUNA	NO
HOMOLOGADA ADN	OBLIGATORIA	RGTO. HOMOLOGACIÓN	CERTIFICADO ADN	SI
HOMOLOGADA FIA	OBLIGATORIA	RGTO. HOMOLOGACIÓN	FICHA HOMOLOGACIÓN FIA	SI

Taula 5.1: Quadre resum de necessitats ([17] Font: Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.)

El disseny del xassís s'ha dut a terme mitjançant els següents documents que podem trobar resumits en els apartats que ens interessin a l'Annex A: Normativa.

- Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.
- Reglamento específico de vehículos CM
- Reglament tècnic de cotxes esportius 1000
- Article 253-8 de l'Annex J del CDI (Código Deportivo internacional)

Podem trobar els reglaments i normatives a la pàgina web oficial de *R.F.E de A.* i de la *F.C.A.*

5.2 Homologació de l'estructura de seguretat

La R.F.E. de A. ens proporciona els següents documents per poder portar a terme l'homologació del xassís que, podem trobar un resum de les parts que ens influeixen a l'Annex A: Normativa.

- Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.
- Tipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición

Aquests documents també els podem trobar a la pàgina web de la R.F.E de A.

6. SUPORT INFORMÀTIC

El programari utilitzat a l'hora de realitzar el model i fer l'anàlisi del xassís presentat en aquest projecte ha estat el Solidworks i l'Ansys conjuntament. Passem a veure quins usos han tingut els dos programes.

6.1 Solidworks

El programa SolidWorks l'hem utilitzat per fer el disseny amb 3D del xassís, tant del disseny inicial com del final, amb uns bons acabats. També ha sigut útil a l'hora de calcular el centre de gravetat del xassís i els eixos principals d'inèrcia.

El SolidWorks també ha sigut amb el programa que hem creat els diferents plànols de fabricació del nostre xassís que podem veure en el document 2: Plànols.

6.2 Ansys

El programa Ansys l'hem utilitzar per dur a terme l'anàlisi del xassís de les diferents condicions de càrrega que ens exigia la R.F.E. de A. per poder dur a terme l'homologació del vehicle.

La descripció completa amb les seves principals qualitats del programa SolidWorks i Ansys les podem trobar a l'Annex C: Procés de disseny i a l'Annex D: Càlculs, respectivament.

7. PROCÉS DE DISSENY

7.1 Requisits tècnics

Un punt molt important, abans de començar a fer el disseny del nostre xassís, és conèixer els requisits tècnics més importants del nostre vehicle. Aquests poden ser dividits en les següents categories:

- Dinàmica de conducció
- El confort de la conducció
- La seguretat
- La facilitat d'operació
- L'estratègia de plataforma
- El pes del xassís
- La fiabilitat del xassís
- La durabilitat del xassís
- El cost del xassís

També hi ha una sèrie de propietats que tenen els vehicles que també poden afectar als requisits del disseny del xassís:

- La posició del centre de gravetat
- La distribució del pes
- El disseny del sistema de propulsió
- Les dimensions externes, la mida del tronc, la capacitat del dipòsit de combustible
- El rendiment del vehicle
- L'aerodinàmica (forces d'elevació)
- La rigidesa de la carrosseria

A l'Annex C: Procés de disseny, podem trobar un gràfic on apareixen els principals requisits per al disseny d'un xassís.

7.2 Algorisme de disseny

Per dur a terme el disseny del xassís dels vehicles podem fixar-nos amb l'algorisme extret de *The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnson, Butterworth-Heinemann 2001* (Figura 7.1).

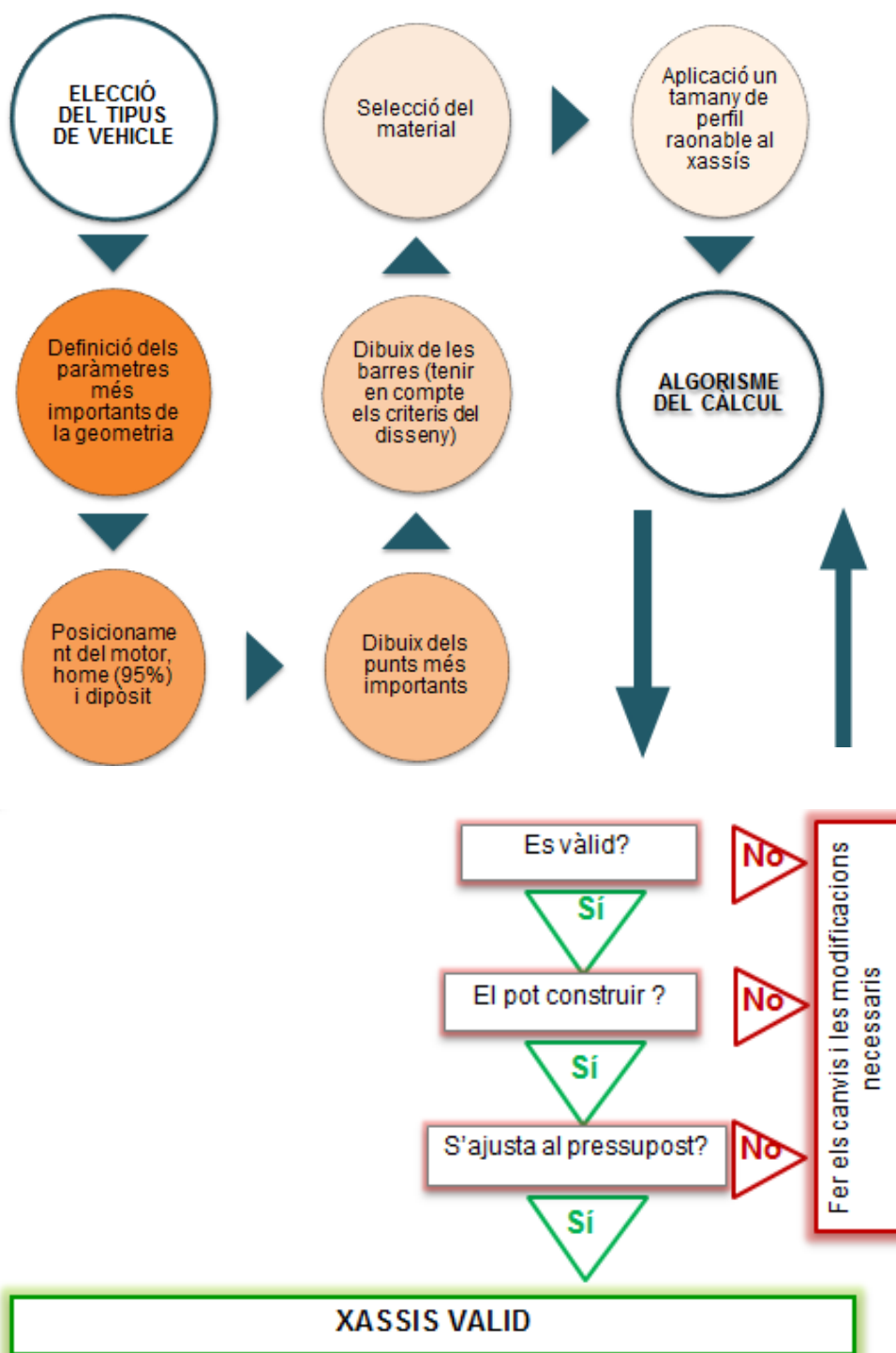


Figura 7.1: Algorisme de disseny ([20] *The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnson, Butterworth-Heinemann 2001*)

7.3 Enginyeria Inversa

En aquest projecte també hem aplicat l'enginyeria inversa per arribar a fer el disseny del xassís. Amb l'enginyeria inversa hem analitzat i estudiat els xassís d'altres vehicles que estan competint actualment i n'hem extret conclusions.

Per dur a terme el procés d'aplicar l'enginyeria inversa hem seguit els passos següents:

1. Obtenir fotografies dels xassís reals.
2. Fer una selecció i determinar quin és el model que més s'ajusta a les nostres necessitats.
3. Obtenir el major nombre d'informació del model seleccionat.
4. Procedir a fer el disseny amb 3D mitjançant el programa SolidWorks.
5. Aplicar els càlculs pertinents i a extreure'n conclusions.

A continuació, podem veure una imatge del disseny inicial del nostre xassís, al qual hem arribat un cop aplicat l'algorisme de disseny i l'enginyeria inversa. Cal destacar que li falten varis reforços respecte el disseny final (Figura 7.2).

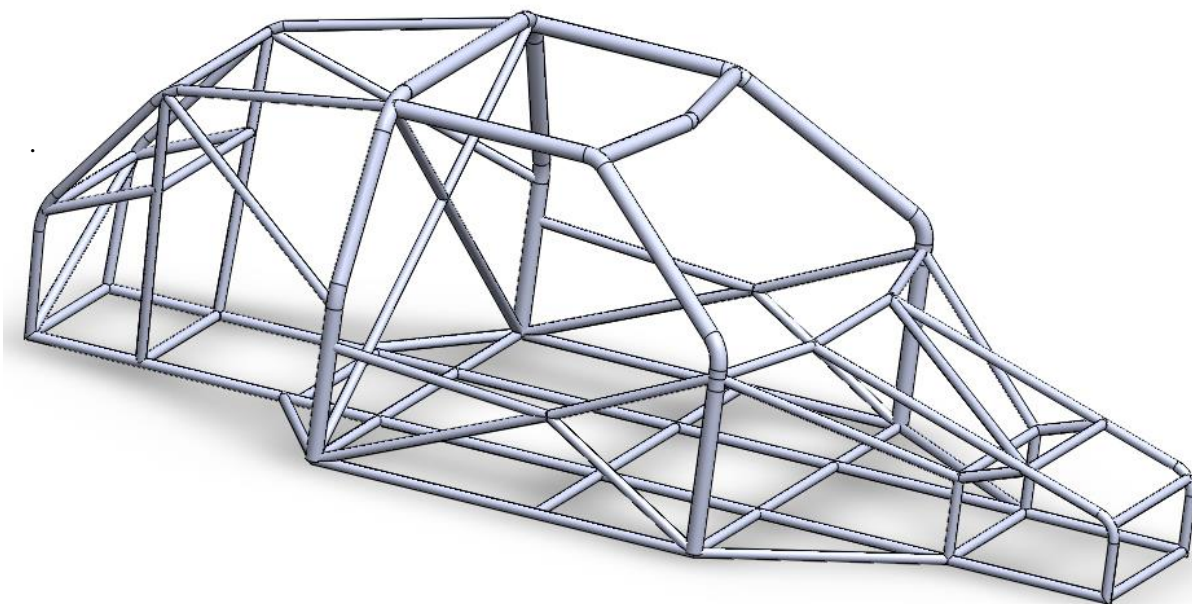


Figura 7.2: Disseny inicial del xassís amb el programa SolidWorks

7.4 Estudi del disseny inicial

Ara passem a estudiar els punts més rellevants del nostre xassís. Primer ho farem mitjançant un estudi detallat de la normativa que ens determina cada part i després, aplicarem l'enginyeria inversa per arribar a tenir un disseny inicial del nostre xassís.

La normativa que hem tingut en compte per dur a terme aquest apartat la podem trobar a l'Annex A: Normativa.

Els punts amb els quals hem desglossat el nostre xassís per fer aquest estudi són els següents:

- Mides generals
- Estructura de seguretat
- Estructura lateral
- Estructura frontal i cabina
- Estructura posterior
- Fons pla

A l'Annex C: Procés de disseny, podem trobar el desenvolupament de l'estudi de cada apartat que hem desglossat el xassís. Tot seguit, a la figura 7.3, podem veure l'estructura de seguretat del disseny inicial.

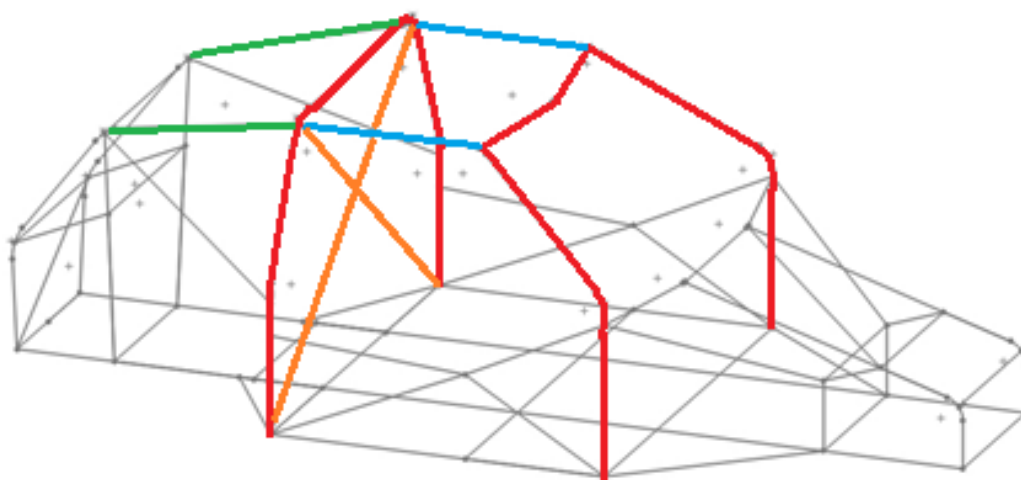


Figura 7.3: Estructura de seguretat disseny inicial

7.5 Disseny final

Un cop hem fet l'estudi del disseny inicial del nostre xassís i compleix les hipòtesis de càrrega que ens exigia la normativa de la R.F.E.de A. en el nostre xassís final, com podem veure a l'annex D, ja podem passar a crear el disseny final amb uns bons acabats finals que s'han dut a terme mitjançant el programa SolidWorks.

Després de realitzar les modificacions necessàries en el disseny inicial ja podem passar a dissenyar el xassís final. Un cop definides les unions, com expliquem a l'annex E: Material i mètode de fabricació, podem aconseguir el nostre xassís final. Per veure més clarament les modificacions que hem dut a terme, respecte el xassís inicial, podem veure la figura 7.4.

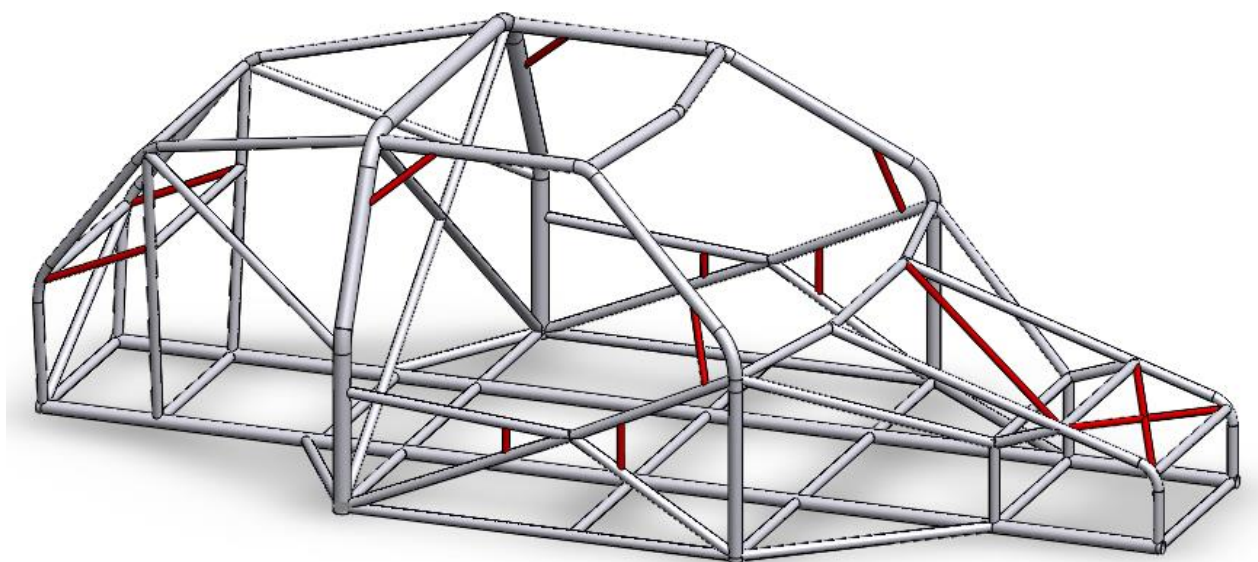


Figura 7.4: Disseny del xassís final mostrant les variacions respecte el xassís inicial amb el programa SolidWorks

8. CÀLCULS

8.1 Anàlisi per elements finits

El mètode de càlcul emprat en el present projecte ha estat el mètode dels elements finits (MEF). El MEF permet realitzar un model matemàtic de càlcul d'un sistema real determinat de manera fàcil i econòmica.

Hem de tenir en compte que a la *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.*, concretament l'article 11.2 (Homologació de l'estructura de seguretat), ens determina un seguit de proves que el nostre vehicle ha de complir per poder ser homologat.

Aquestes proves que ens imposa la normativa són uns esforços que es consideren els més desfavorables possible en cas de col·lisió per la *R.F.E. de A.*, per tant, podrem detectar quins són els punts més dèbils de la nostra estructura.

Les proves de càrrega que haurà de superar el nostre xassís són les següents:

- a) 2 vegades el seu pes lateralment (2P).
- b) 6 vegades el seu pes longitudinalment en ambdós sentits (6P).
- c) 8 vegades el seu pes verticalment (8P).

La normativa ens especifica també que el pes mínim que pot fer el nostre vehicle és de 445Kg i per tant, el considerarem com el pes del nostre vehicle ja que el pes és un factor molt important en aquest tipus de competicions.

En aquest estudi s'ha de tenir en compte que P s'haurà d'augmentar en 75 Kg, segons ens exigeix la *R.F.E. de A.*, i per tant ja podem saber quina valor pendrà P en el nostre cas.

Tot seguit, ja podem passar a comprovar quins són els valors que ens aporta la normativa per saber si el nostre vehicle podrà ser homologat. La normativa ens enuncia que en la totalitat de l'estructura no hi podrà haver ruptura ni deformació plàstica superior als següents valors en funció de les sollicitacions de càrrega:

Cas A) 50mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

CAS B) 100mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

CAS C) 50 mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

Per tant, com ja hem explicat anteriorment, el xassís ha de suportar les següents hipòtesis de càrrega (Figura 8.1):

1. **Impacte dret amb una càrrega de 2P**
2. **Impacte esquerra amb una càrrega de 2P**
3. **Impacte frontal amb una càrrega de 6P**
4. **Impacte posterior amb una càrrega de 6P**
5. **Impacte superior amb una càrrega de 8P**

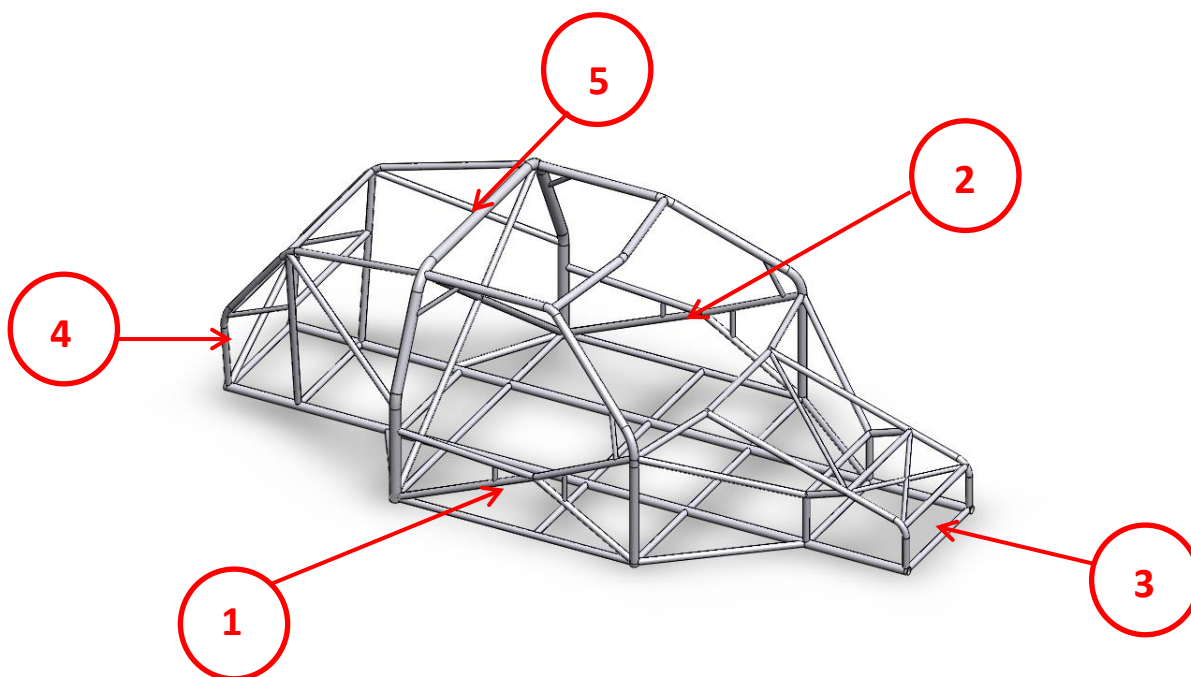


Figura 8.1: Representació de les diferents hipòtesis de càrrega

8.1.1 Resum dels resultats

La informació més rellevant que utilitzarem en cada hipòtesis serà la deformació màxima soferta i la tensió màxima de Von Mises per comparar-la amb el límit elàstic del material (Taula 8.1). Cadascuna de les hipòtesis analitzades les podem trobar a l'Annex D: Càlculs.

Cal tenir en compte que a l'hora d'introduir els valors i operacions en el programa Ansys, que hem utilitzat per analitzar les hipòtesis, ho hem fet mitjançant el codi APDL. D'aquesta manera, podem agilitzar molt l'anàlisi de les hipòtesis i també ens permet fer modificacions en el nostre model més fàcilment i ràpidament.

RESUM DELS RESULTATS				
APARTAT	DESCRIPCIÓ	DEFORMACIÓ MÀX.	LÍMIT DEFORMACIÓ	TENSIÓ MÀX.
E.6.1	Impacte dret amb una càrrega de 2P	4,78 mm	50 mm	189,1 MPa
E.6.2	Impacte esquerra amb una càrrega de 2P	4,77 mm	50 mm	189,3 MPa
E.6.3	Impacte frontal amb una càrrega de 6P	11,44 mm	100 mm	319,7 MPa
E.6.4	Impacte posterior amb una càrrega de 6P	89,02 mm	100 mm	555,4 MPa
E.6.5	Impacte superior amb una càrrega de 8P	10,21 mm	50 mm	469,9 MPa

Taula 8.1: Resum dels resultats mitjançant MEF

Com veiem a la taula 8.1, en cap hipòtesis de càrrega, no tenim cap valor de la deformació màxima que superi el límit de la deformació, que ens exigia la normativa per poder dur a terme l'homologació del xassís. Per tant, complim amb la normativa ja que no tenim deformació plàstica superior a la permesa.

També podem veure a la taula 8.1 com, en només una hipòtesis, superem el límit elàstic del material, que és de 470 MPa. Tot i això, no arribem a sobrepassar el límit de ruptura del material, que es troba entre 588 MPa i 784 MPa. Per tant podem afirmar que complim amb l'exigència de no tenir ruptura del material.

Amb els valors obtinguts podem concloure que el model del xassís que hem dut a terme compleix les especificacions que ens exigeix la *R.F.E. de A.* per poder ser homologat.

8.2 Distribució de masses

El càlcul de la distribució de masses l'hem dut a terme de cares a poder fer un anàlisi dinàmic del nostre xassís però, no el tenim en compte ja que no forma part dels objectius d'aquest projecte.

Els apartats que considerem per fer el desglossat del pes són els següents:

1. Tren davanter
2. Tren posterior
3. Part central
4. Elements part posterior
5. Xassís i carrosseria

Hem de tenir en compte que el xassís i la carrosseria es troben en cada una de les parts, i per tant els comptabilitzarem apart. Les diferents zones amb les quals desglossem el nostre vehicle les podem veure a la figura 8.2.

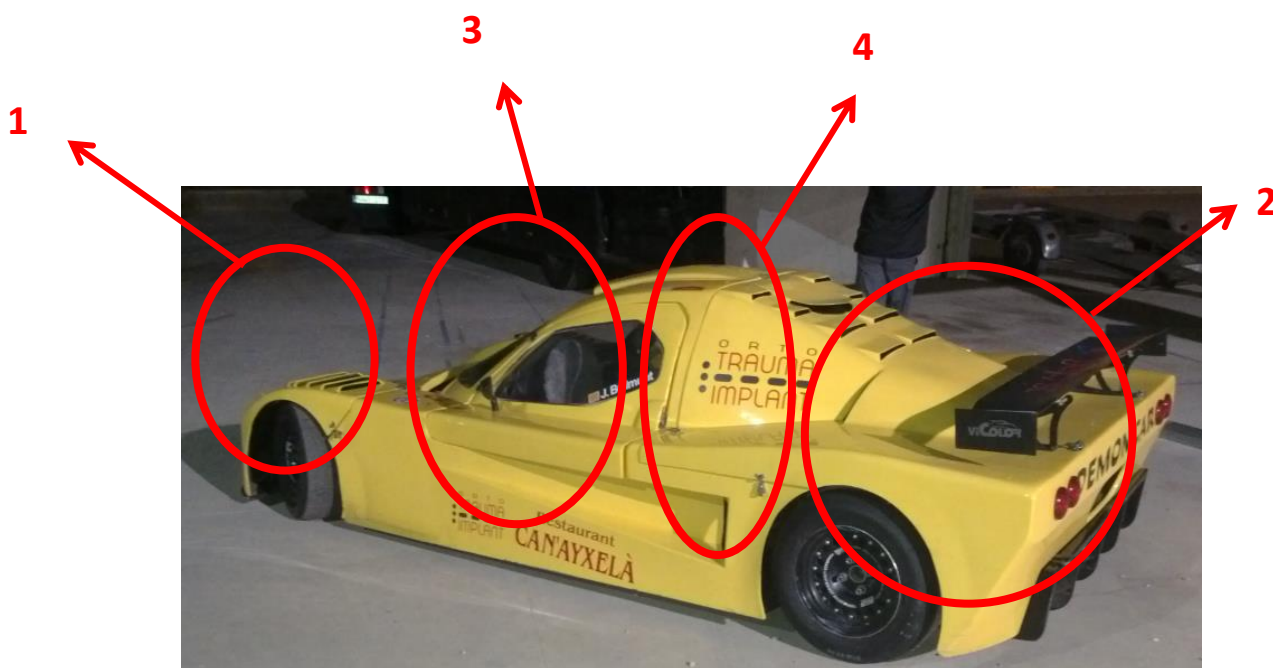


Figura 8.2: Representació dels apartats del desglossat del pes

Un cop definits els apartats ja podem passar a realitzar les taules amb el desglossat de la massa dels diferents apartats i determinar on van aplicades les masses de cada apartat que hem considerat, que podem trobar a l'Annex D: Càlculs.

Tot seguit, a la taula 8.2, podem veure un resum de la massa dels diferents apartats.

TAULA RESUM		
APARTAT	PES	PERCENTATGE
P1: Tren davanter	44 Kg	8,5 %
P2: Tren posterior	44 Kg	8,5%
P3: Part central	160 Kg	30%
P4: Elements part posterior	132 Kg	26%
P5: Xassís i carrosseria	140 Kg	27%
TOTAL	520 Kg	100%

Taula 8.2: Taula resum de la distribució de masses

Com podem apreciar, la part més pesant del vehicle és la part central, si tenim en compte la massa del pilot. El segon més pesant és l'apartat de xassís i carrosseria amb un 27% de la massa i llavors els elements de la part posterior.

8.3 Resultats geomètrics

Un cop definides les propietats del material utilitzat en el xassís, mitjançant el programa SolidWorks, gràcies a la definició de les unions de les barres, podem saber que el pes del vehicle en el seu estat final és de 85,69Kg.

Uns altres valors importants que podem saber són la posició del centre de masses i els moments principals d'inèrcia que trobem seguidament. A la figura 8.3 també podem veure els eixos principals d'inèrcia.

Posició centre de masses:

$$X = 1595.47 \text{ mm} \quad Y = 0.38 \text{ mm} \quad Z = 347.30 \text{ mm}$$

Moments principals d'inèrcia:

$$I_x = 31,96 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \quad I_y = 85,27 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \quad I_z = 96,86 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$$

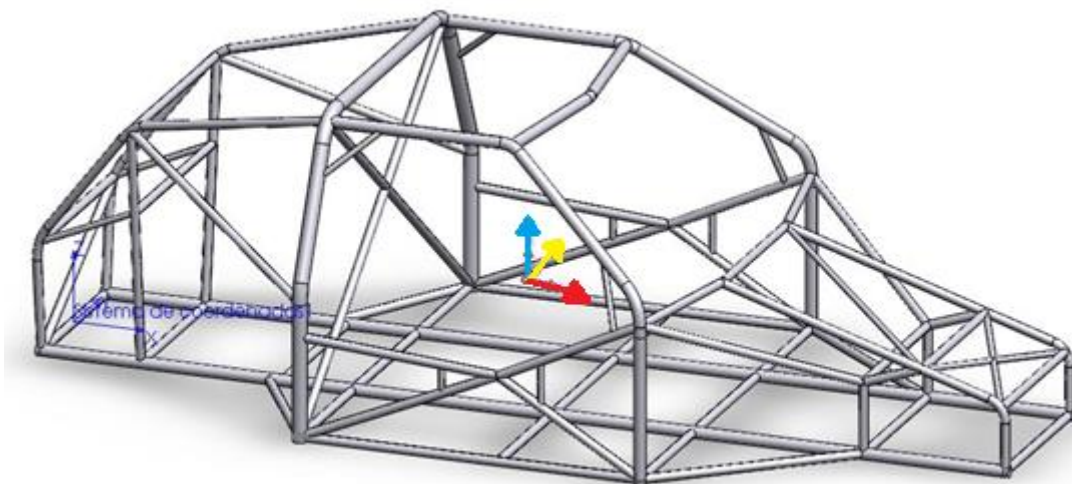


Figura 8.3: Representació del centre de masses i eixos principals d'inèrcia

9. MÈTODE DE FABRICACIÓ

Per passar a fabricar el xassís, hem de tenir tot el material i l'equipament necessari. Tot i això, s'han de tenir en compte diferents aspectes per tal de minimitzar costos com no tenir excessives soldadures o seguir un camí unidireccional.

Llavors, passem a fer diferents treballs al taller els quals s'han de planificar i dur a terme de manera curosa. Aquests treballs són el tall o serrat, la preparació de les vores per la soldadura, la soldadura i finalment, el muntatge de les barres.

Els passos que s'han de seguir per a la construcció del xassís són els següents (figura 9.1), com ens anuncia el llibre *Guía de diseño para la fabricación, ensamble y montaje de estructuras de perfiles tubulares*.

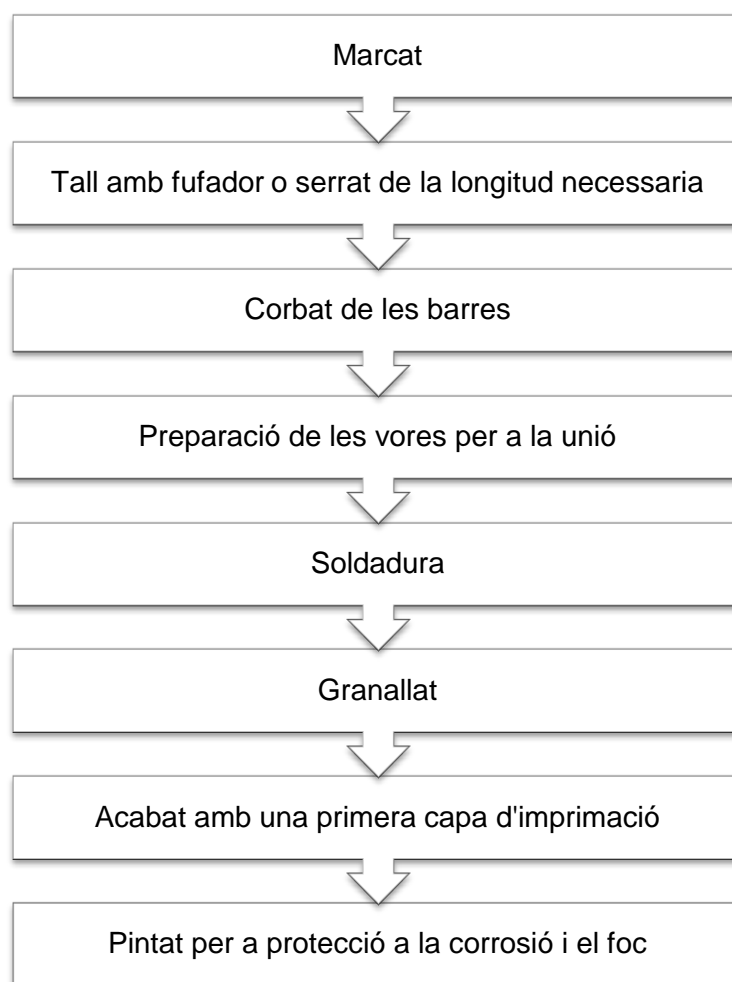


Figura 9.1. Passos del mètode de fabricació (Font: Guía de diseño para la fabricación, ensamble y montaje de estructuras de perfiles tubulares)

Un cop clars els passos que hem de seguir per dur a terme el nostre xassís ja podem passar a estudiar el mètode de fabricació que hem escollit.

9.1 Tall

Per fabricar el xassís, un punt molt important és definir correctament les unions de les barres. Aquest aspecte no s'ha pogut tenir en compte a l'hora de fer les comprovacions de les diferents hipòtesis amb el programa Ansys com expliquem a l'Annex D.

A l'hora de realitzar les unions en els vèrtex dels diferents tubs hem de tenir en compte quin és l'element principal i quins són els elements de reforç. Els elements de reforç seran els que es tallaran per adaptar-se als elements principals (Figura 9.2).

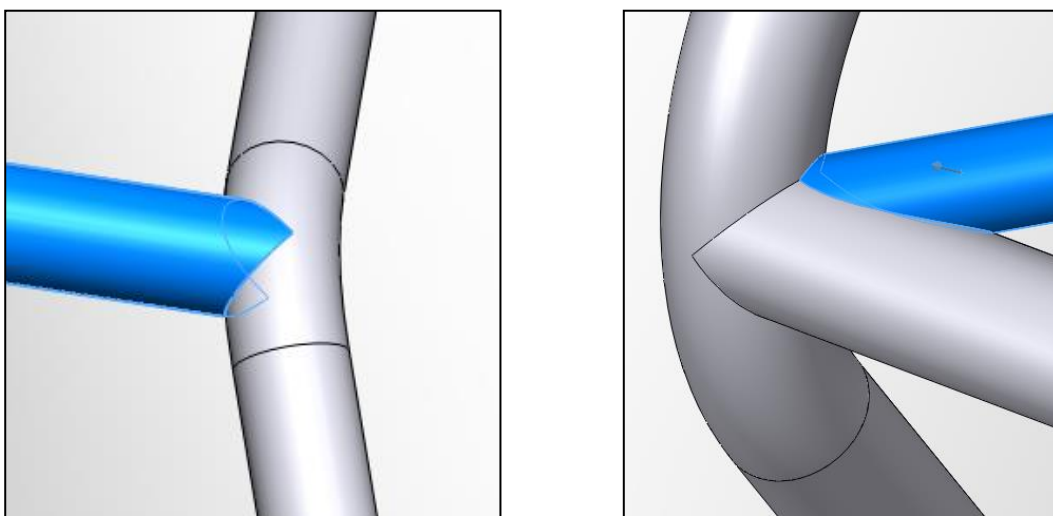


Figura 9.2: Representació de dos unions diferents

Per dur a terme la fabricació d'una estructura es comença amb la preparació dels extrems de les barres i els mètodes que normalment s'utilitzen són el tall per serrat i el tall amb bufador. En el cas de l'estructura del nostre xassís farem servir el tall per serrat, perquè és més barat i més senzill que el tall amb bufador.

9.2 Corbat

Hi ha dos maneres de corbar perfils tubulars, es poden corbar tant en fred com en calent. Utilitzarem el corbat en fred atès que els costos de producció d'aquests són menors que els perfils tubulars corbats en calent.

Per corbar perfils tubulars circulars (CHS) en fred hi ha quatre mètodes diferents, com podem veure a la figura 9.3.

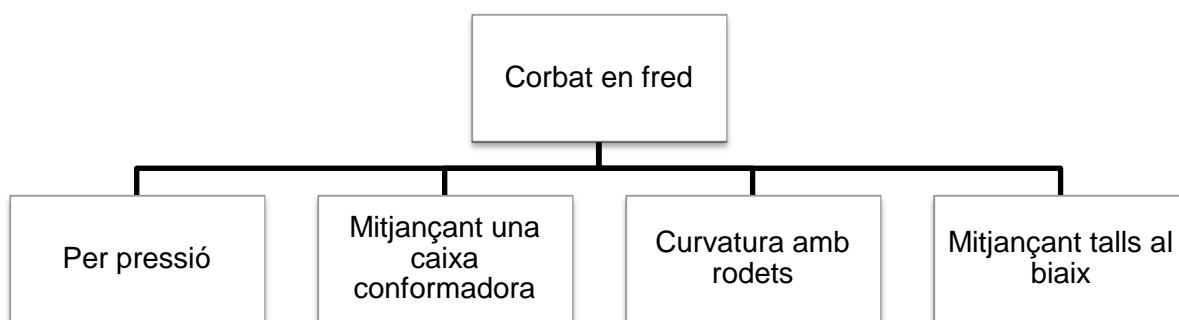


Figura 9.3: Mètodes de corbat en fred per CHS

Per corbar els tubs hem escollit utilitzar la curvatura amb rodets ja que amb aquest mètode podem obtenir radis de corbat en funció del diàmetre molt grans.

9.3 Soldadura

Per dur a terme la soldadura que s'utilitza a l'hora de soldar els nusos dels perfils tubulars ho farem mitjançant la fusió.

Hi ha 5 tipus de soldadura per fusió, que són els següents:

- Autògena
- Per arc metàl·lic
- Per resistència elèctrica
- Per un feix d'electrons
- Per plasma

Dels 5 tipus que hem vist, utilitzarem la soldadura per arc metàl·lic. Les quatre versions que s'apliquen d'aquest tipus de soldadura són:

- 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)

Un cop vistos els diferents mètodes que podem utilitzar per fer la soldadura a l'Annex E, el mètode escollit ha set per fusió amb arc metàl·lic i del tipus TIG.

El gas inert que hem seleccionat és el gas argó, el qual aïlla el material fos de l'atmosfera exterior evitant així la seva contaminació.

Els elèctrodes no consumibles necessaris per a la soldadura TIG seran de tungstè ja que té el punt de fusió més elevat de tots els metalls i el punt d'ebullició més alt de tots els elements coneguts.

Un cop definit tot el material i el mètode de fabricació del xassís ja podríem passar a fer la fabricació del xassís del nostre vehicle.

A l'Annex E podem trobar un estudi complet amb tot el procés del mètode de fabricació que hem escollit i també un estudi d'altres possibles mètodes que haguéssim pogut aplicar per fabricar el nostre xassís. També hi podem trobar l'explicació de com portar a terme els talls entre les unions dels tubs.

10. RESUM DEL PRESSUPOST

Puja el Pressupost d'Execució per Contracte a falta d'IVA la quantitat de **QUINZE MIL VUIT-CENTS DINOU EUROS AMB VINT-I-SET CÈNTIMS (15.819,27 €)**.

11. CONCLUSIONS

El disseny del nostre vehicle, que tindrà un xassís tubular d'acer, l'hem dut a terme gràcies a l'enginyeria inversa i l'algorisme general per fer dissenys de xassís de vehicles.

A l'hora de fer el càlcul mitjançant el mètode dels elements finits haguéssim pogut dur a terme un anàlisi dinàmic del nostre xassís utilitzant la distribució de masses que hem calculat, però no l'hem dut a terme ja que no forma part dels objectius d'aquest projecte.

Els resultats que hem obtingut després de fer els anàlisis de les hipòtesis de càrrega són satisfactoris, ja que en cap cas superem el límit del material. Aquests resultats estan molt bé si tenim en compte la magnitud dels esforços que hem aplicat al xassís en les diferents hipòtesis, atès que són considerats els més desfavorables.

Si passem a fer una comparació entre el pes del nostre xassís amb el valor que hem pogut obtenir posant-nos en contacte amb diferents fabricants, que era d'entre 90 i 95Kg, podem concloure que hem obtingut una reducció d'entre aproximadament 5 i 10 Kg respecte els vehicles que estan actualment competint en el Campionat de Catalunya de Muntanya.

La reducció aproximada de pes que hem aconseguit percentualment és d'entre el 5,55% i el 10,53%. Per tant, podem concloure que hem aconseguit l'objectiu que ens havíem plantejat inicialment de reduir el pes d'un vehicle esportiu 1000 del grup CM.

Per dur a terme la fabricació del xassís final hem escollit utilitzar el tub de precisió sense soldadura, estirat en fred, segons la norma DIN 2391 amb la qualitat de l'acer ST-52 i acabat amb BK.

El mètode de fabricació que hem acabat seleccionant per dur a terme el xassís del nostre vehicle ha estat el tall mitjançant el serrat, el corbat en fred utilitzant els rodets i la soldadura per fusió amb arc metàl·lic i del tipus TIG.

12. RELACIÓ DE DOCUMENTS

Document 1: Memòria

- MEMÒRIA
- ANNEX A: NORMATIVA
- ANNEX B: TIPUS DE XASSÍS
- ANNEX C: PROCÉS DE DISSENY
- ANNEX D: CÀLCULS
- ANNEX E: MATERIAL I MÈTODE DE FABRICACIÓ

Document 2: Plànols

Document 3: Plec de condicions

Document 4: Estat d'amidaments

Document 5: Pressupost

13. BIBLIOGRAFIA

- [1] ALONSO, J. Técnicas del automóvil. Chasis. 8a edició. Editorial Paraninfo. Madrid. 2008.
- [2] ANSYS. Ansys. (<http://www.ansys.com>, 10 de juliol de 2014)
- [3] BERND HEIßING, B., ERSOY, M. Chassis Handbook: Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives. 2a edició. Editorial Office. Alemanya. 2011.
- [4] CEDE. Carrocerías y bastidores: Tipos, características, procesos de fabricación, elementos que los componen y métodos de ensamblado y unión de éstos. (http://www.serina.es/empresas/cede_muestra/304/TEMA%20MUESTRA.pdf, 8 de juliol de 2014)
- [5] DASSAULT SYSTÈMES. Solidworks. (<http://www.solidworks.com>, 10 de juliol de 2014)
- [6] DUTTA, D., WARDENIER, J., YEOMANS, N., SAKE, K., BUCAK, O., PACKER, J. Guía de diseño para la fabricación, ensamble y montaje de estructuras de perfiles tubulares. Editorial Tüb-Verlag. Colonia. 1998.
- [7] ESAB. Soldadura GTAW/TIG. Soldadura y corte España. (<http://www.esab.es/es/sp/education/proceso-gtaw-tig.cfm>, 15 de juliol de 2014).
- [8] FEDERACIÓ CATALANA D'AUTOMOBILISME, Reglament tècnic de cotxes esportius 1000, F.C.A, 6 de juliol de 2014, <www.fca.es>
- [9] FEDERATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE, Article 253-8 de l'Annex J del CDI, FIA Sport Departamento Técnico, 05/12/2012, 5 de juliol de 2014, <www.fia.com>
- [10] FIGES ENGINEERING. What is ANSYS. (<http://www.figes.com.tr/english/ansys/ansys.php>, 10 de juliol de 2014)
- [11] HARMON. Splinter. (<http://www.joeharmondesign.com/sponsors.html>, 5 de juliol de 2014)

- [12] ITEA. Instituto Técnico de la Estructura en Acero. Estructurastubulares. (http://www.google.es/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=5&cad=rja&uact=8&ved=0CEAQFjAE&url=http%3A%2F%2Fwww.webaero.net%2Fingenieria%2Festructuras%2Fmetalica%2Fbibliografia_documentacion%2Fitea%2FTOMO15.pdf&ei=lzDSU_aCAvLZ0QXOpoCYBA&usg=AFQjCNE1JAPsGkrrmlZq7uYLzcnaxDI8Yw&sig2=qO12qFNeeHKN5b6YpCweNQ&bvm=bv.71778758,bs.1,d.bGQ, 28 de juliol de 2014)
- [13] LORENZO, S. Fibra de carbono: guía básica para conocer uno de los materiales más importantes de la F1 actual. CaranddrivertheF1. (<http://www.caranddriverthef1.com/formula1/articulos/2013/06/06/75555-fibra-de-carbono-f1-tecnico-los-materiales-compuestos>, 7 de juliol de 2014).
- [14] MARÍN, J. Apuntes de diseño de máquinas. 2a edició. Editorial Club Universitario. Alicante. 2008.
- [15] MERRILL FABRICATORS. Welding Processes. (<http://merrillfab.com/capabilities/processes/welding-processes>, 30 de juliol de 2014).
- [16] PUENTE, L. Automoción. (<http://puentelara.blogspot.com.es/2013>, 28 de juliol de 2014).
- [17] REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO, Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A, R.F.E. de A. Departamento Técnico, 09/01/13, 5 de juliol de 2014, <www.rfeda.com>
- [18] REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO, Reglamento específico de vehículos CM, R.F.E. de A. Departamento Técnico, 2014, 5 de juliol de 2014, <www.rfeda.com>
- [19] REAL FEDERACIÓN ESPAÑOLA DE AUTOMOVILISMO, Tipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición, R.F.E. de A. Departamento Técnico, 28/01/13, 5 de juliol de 2014, <www.rfeda.com>
- [20] REIMPELL, J., STOLL, H., BETZLER, J. The Automotive Chassis: Engineering Principles. 2a edició. Editorial Elsevier. Butterworth-Heinemann. Oxford. 2001

[21] RODRIGUEZ, M. Anàlisi de l'assaig d'un xassís d'automòbil de materials compòsits amb el mètode dels elements finits. Projecte/Treball Fi de Carrera. Enginyeria Tècnica Industrial. Mecànica. Escola Politècnica Superior. Universitat de Girona. 2012.

[22] SILVER-CAR. (<http://www.silver-car.com/>, 3 de juliol de 2014).

[23] VIZÁN, G. Elementos estructurales del vehículo. Editorial Editex. Madrid. 2006.

14. GLOSSARI

- **ADN**→Autoridad Deportiva Nacional
- **FIA**→Federación Internacional de Automovilismo
- **R.F.E.de A.**→Real Federación Española de Automovilismo
- **FCA**→Federació Catalana d'Automobilisme
- **CHS**→ Secció circular (*Circular HollowSection*)
- **RHS**→Secció rectangular (*Rectangular HollowSection*)
- **K** →Rigidesa
- **Ø ext.**→Diàmetre exterior
- **Ø int.**→Diàmetre interior
- **e** →Gruix del tub
- **CAD**→Disseny mitjançant l'ordinador (Computer-aided design)
- **MEF**→ Mètode dels elements finits.
- **P**→ pes del vehicle +75 Kg
- **SMAW o soldadura STICK**→Soldadura per arc amb elèctrode revestit
- **GMAW o soldadura MIG**→Soldadura per arc metàl·lic i gas
- **GTAW o soldadura TIG**→Soldadura amb arc de gas tungstè
- **FCAW**→ Soldadura per arc amb nucli de fundent

El redactor del present treball,

Marçal Masó Palou

Girona, 4 de setembre de 2014

ANNEX A: NORMATIVA

A.1 Introducció

En aquest annex podem trobar resumits tots els reglaments i normatives que s'han de tenir en compte per a poder homologar el xassís d'un vehicle esportiu 1000 del grup CM.

El llistat de documents que hem utilitzat en aquest annex són els següents:

- *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A*, editat per *R.F.E. de A. Departamento Técnico*, 09/01/13
- *Reglamento específico de vehículos CM*, editat per *R.F.E. de A. Departamento Técnico*, 2014
- Reglament tècnic de cotxes esportius 1000, editat per F.C.A
- Tipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición, editat per *R.F.E. de A. Departamento Técnico*, 28/01/13
- Article 253-8 de l'Annex J del CDI, FIA Sport Departamento Técnico, 05/12/2012

Podem trobar els reglaments i normatives a la pàgina oficial de *R.F.E de A.* i de la *F.C.A.*

A.2 Requeriments de l'estructura de seguretat

Les estructures de seguretat dels vehicles, grups CM, que participen en el Campionat de Catalunya de Muntanya han d'estar homologats per una ADN (Autoridad Deportiva Nacional) d'acord amb els reglaments d'homologació per estructures de seguretat que elabora la FIA (Federación Internacional de Automovilismo).

A Espanya, la ADN seleccionada per la FIA i per tant, l'única entitat autoritzada a fer les homologacions d'estructures de seguretat és la R.F.E. de A. (Real Federación Española de Automovilismo).

Les estructures de seguretat, per poder ser homologades per la R.F.E.de A. han de complir tant la normativa vigent com el reglament d'homologació que afecta el vehicle en concret.

Tot seguit, podem veure un quadre resum de les diferents necessitats per tal de realitzar l'homologació (Taula A.1).

TIPO DE ESTRUCTURA	HOMOLOGACIÓN	RGTO. APLICABLE	DOCUMENTACIÓN OBLIGATORIA	PLACA IDENTIFICATIVA
SEGÚN ANEXO J Art. 253.8	NO OBLIGATORIA	ANEXO J AL CDI	NINGUNA	NO
HOMOLOGADA ADN	OBLIGATORIA	RGTO. HOMOLOGACIÓN	CERTIFICADO ADN	SI
HOMOLOGADA FIA	OBLIGATORIA	RGTO. HOMOLOGACIÓN	FICHA HOMOLOGACIÓN FIA	SI

Taula A.1: Quadre resum de necessitats (Font: Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.)

El disseny del xassís s'ha dut a terme mitjançant la *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.*, el *Reglamento específico de vehículos CM* i el Reglament tècnic de cotxes esportius 1000.

A.2.1 Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.

La *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.* ens anuncia els següents requeriments, referits al disseny del xassís.

Particularitats generals:

- Els tubs de les estructures de seguretat no poden transportar cap fluid ni cap altre objecte.
- Les estructures de seguretat no poden dificultar l'entrada o sortida del pilot i copilot.
- Els elements de l'estructura podran ocupar l'espai dels ocupants a través del tauler de control i els revestiments davanters, així com el seient i els revestiments de darrera.

A.2.2 Reglamento específico de vehículos CM

Del *Reglamento específico de vehículos CM España* en podem extreure les següents limitacions:

ARTICLE 2 → REGLAMENTACIÓ

1.6 Està prohibit l'ús del titani.

1.7 Només s'autoritzaran els xassís exclusivament metàl·lics, monocascos o tubulars. El panell d'abella està autoritzat només pel fons pla i la protecció frontal

ARTICLE 3 → CARROSSERIA I DIMENSIONS EXTERIORS

- a) **Llargada:** La llargada màxima del cotxe amb les rodes incloses no podrà sobrepassar mai els 3700mm.
- b) **Amplada:** L'amplada com a màxim del vehicle incloses les rodes completes no podrà excedir 1750mm.
- c) **Altura:** L'altura mesurada verticalment des del punt més baix de la superfície plana no podrà ser superior a 1250 mm, exceptuant el cas de l'arc de seguretat que no podrà originar una estructura aerodinàmica.
- d) **Voladís:** El voladís màxim mitjà que hi pot haver en el vehicle pot ser:
 - Davanter 730 mm.
 - Darrera 630 mm.
- e) **Falses portelles:** La suma d'aquestes portelles, tant al davant com al darrera, no podrà superar el 80% de la distància entre eixos. La diferència entre les falses portelles de davant i darrera no podrà ser superior al 15% d'aquesta distància.
- f) **Portelles vehicles tancats:** Són obligatòries dues portelles.

ARTICLE 4 → PES

4.1 Buit: El pes mínim dels vehicles en buit haurà de ser de 445 kg i en les condicions següents:

- Dipòsits de benzina buit i amb el nivell d'oli de lubricació necessari. S'aplicarà una tolerància de +/- 3 Kg.

ARTICLE 10 → CABINA

10.1 El volum estructural de la cabina ha de ser simètric en relació a l'eix longitudinal del vehicle.

10.2 Fins a una altura de 300 mm del terra, el pilot en posició de conduir ha de situar-se en un costat de l'eix longitudinal del vehicle.

10.3 Amplada dels colzes: L'amplada mínima dels colzes dins la cabina ha de ser de 110 cm, establerta sobre una altura de 10 cm i sobre una longitud de 25 cm. Aquesta mida es prendrà horitzontalment i a la vegada perpendicularment a l'eix longitudinal del vehicle.

10.4 Espais per les cames:

10.4.1 El vehicle n'ha de tenir dos. Aquests s'han d'entendre com dos volums lliures i simètrics en relació a l'eix longitudinal del vehicle, en el qual cadascun ha de tenir una secció vertical transversal d'un mínim de 750 cm². Aquesta superfície s'ha d'establir des del pla dels pedals fins a la projecció vertical del centre del volant.

10.4.2 L'amplada mínima de cada espai pels peus és de 250 mm, establerta sobre una altura d'un mínim de 250 mm.

ARTICLE 11 → ESTRUCTURES DE SEGURETAT

11.1 Estructures antibolc: Haurà d'estar homologada per la R.F.E. de A., així com tota l'estructura constructiva del xassís.

11.2 Homologació de l'estructura de seguretat: Per l' homologació per aquesta federació, hauràn de presentar un dossier segons la "Normativa de Homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A." en el qual queden reflectides les següents característiques:

Solicitations de càrrega per l'estudi de resistència de materials obligatoris:

- a) 2 vegades el seu pes lateralment. (2P)
- b) 6 vegades el seu pes longitudinalment en ambdós sentits. (6P)
- c) 8 vegades el seu pes verticalment. (8P)

En aquest estudi s'ha de tenir en compte que P s'haurà d'augmentar en 75 Kg.

L'estructura no podrà ser modificada sense que es torni a homologar per la Federació.

En la totalitat de l'estructura no hi pot haver ruptura, ni deformació plàstica superior als següents valors en funció de les sollicitacions de càrrega:

Cas A) 50mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

CAS B) 100mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

CAS C) 50 mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

A.2.3 Reglament tècnic de cotxes esportius 1000

Del Reglament tècnic de cotxes esportius 1000 en podem extreure la següent informació:

ARTICLE 11 → ESTRUCTURES DE SEGURETAT

El vehicle a de disposar de dos arcs al davant i al darrera del pilot i del passatger. Aquests dos arcs han d'adherir el perfil intern de la part superior de la cabina i a la vegada han d'anar units al punt més alt per, almenys, un tirant tubular (preferentment dos tirants, les juntes dels quals estiguin el més separades possible). A més, l'arc del darrera haurà de tenir com a mínim un reforç en diagonal i dos muntants de força dirigits cap enrere (Figura A.1).

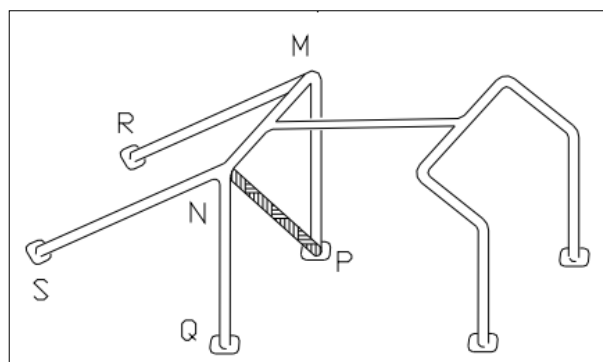


Figura A.1: Estructura 259-3

Els espàrrecs autoritzats són: MQ, MS, NP, NR, tot i que és preferible que l'extrem superior de la diagonal de l'arc principal es trobi al costat del pilot. Aquesta estructura haurà d'estar feta exclusivament per mitjà de tubs d'acer que tingui com a mínim les mateixes característiques definides a continuació:

- Acer al carboni estirat en fred sense soldadura:
 Diàmetre: 45x2,5mm, 40x2mm o 50x2mm.
 Resistència a la tracció: 350 N/mm² per els vehicles fabricats després del 01/01/98.

Aquestes estructures hauran de fornir-se d'escuma antixocs inflamable a la proximitat del cap del pilot.

A.3 Homologació de l'estructura de seguretat

Per poder fer l'homologació de l'estructura de seguretat hem de tenir en compte tant la *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.com elsTipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición.*

A.3.1 Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.

De la *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.* en podem extreure la següent informació:

- Tota nova estructura de seguretat homologada per una ADN i venuda després del 01/01/2003 haurà d'estar identificada, de forma individual, per una placa d'identificació col·locada pel constructor que no podrà retirar-se ni copiar-se.
- La placa d'identificació haurà de portar el nom del constructor, el número d'homologació i el número de sèrie únic del fabricant.
- El vehicle haurà de portar un certificat mostrant els mateixos números identificadors i presentar-se als comissaris tècnics de la prova.

A.3.2 Tipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición

De l'apartat *Tipos de estructuras que se pueden montar en un vehículo de competición* en podem extreure la següent informació.

- Les empreses destinades a portar a terme aquestes homologacions han de presentar un estudi tècnic-descriptiu que, en ocasions, requerirà realitzar un estudi de resistència de materials per elements finits.
- També hauran de presentar els certificats del material utilitzat com el certificat del soldador homologat que porti a terme el treball de soldadura.
- Es poden utilitzar aliatges d'acer i les dimensions dels tubs poden ser menors que els exigits en l'Annex J.

A.4 Control de qualitat

Per fer el control de qualitat de les soldadures del vehicle, un cop acabat, hem tingut en compte l'article 253-8 de l'Annex J del CDI (Código Deportivo internacional).

A.4.1 Article 253-8 de l'Annex J del CDI

En aquest article podem veure uns exemples de soldadures correctes i incorrectes. Passem a comprovar les soldadures correctes, que són les figures A.2 i A.3.

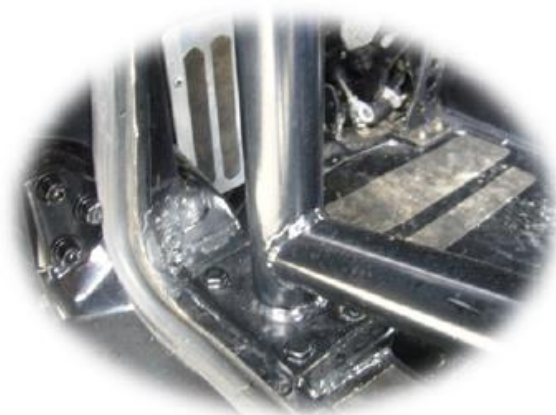


Figura A.2: Fixació mitjançant un peu amb placa de reforç



Figura A.3: Unions en el cas de barres creuades

Els exemples de soldadures incorrectes que ens aporta aquest article són els següents.
(Figura A.4, figura A.5, figura A.6, figura A.7)



Figura A.4: tub no soldat durant tot el perímetre del tub



Figura A.5: Placa de reforç no soldada completament

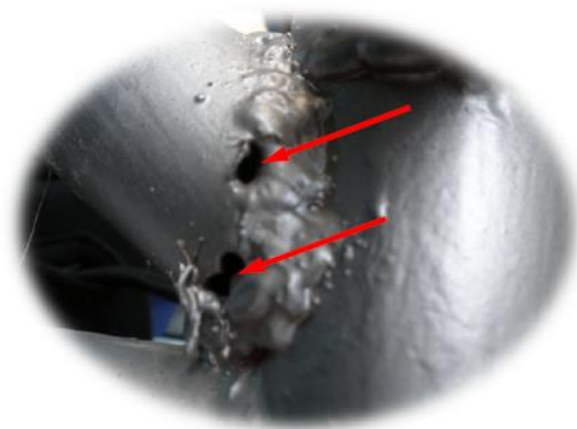


Figura A.6: Mala soldadura amb penetració del material a soldar

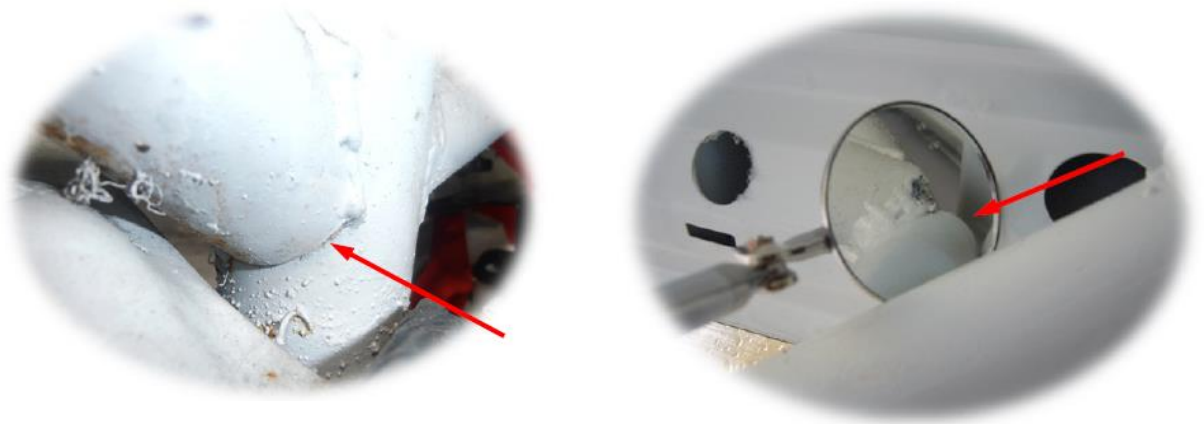


Figura A.7: Tub sense soldar la unió

ANNEX B: TIPUS DE XASSÍS

B.1 Introducció

Primer de tot, abans de començar a fer el disseny del xassís en aquest annex estudiarem els diferents xassís i materials que hi ha per veure la gran importància que té en l'estructura i el funcionament final del vehicle.

El xassís és l'element que ens aporta tant la rigidesa com la forma, i per tant, el comportament final del vehicle. Podem dir que el xassís és una de les parts més importants en els vehicles ja que, és la base per a la construcció i el posicionament dels components que el formen.

Una de les característiques principals del xassís és suportar els esforços i forces mecàniques i per tant, ha de tenir una elevada rigidesa. Per a obtenir-la, s'haurien de considerar tant la resistència estàtica - dinàmica, com a la fatiga, així com l'estabilitat dels elements estructurals.

No hem d'oblidar que en un xassís no busquem únicament la rigidesa sinó també altres factors molt importants com per exemple unes mínimes dimensions per l'habitacle i els components mecànics.

Un altre factor a tenir en compte és la lleugeresa del vehicle, perquè com més lleuger sigui, menor serà l'energia a dissipar per una velocitat donada i per tant més segur serà el vehicle.

B.2 Tipus de xassís

Qualsevol automòbil està constituït per dos parts clarament diferenciades: la mecànica i la carrosseria. La mecànica està formada per diferents elements com el motor, la transmissió, la direcció, etc.

Mentre que la carrosseria és la carcassa del vehicle. La carrosseria està formada generalment per planxes metàl·liques unides entre si. Hi pot haver diferents classificacions però les més representatives són en funció de la distribució de l'espai, de la seva forma i del tipus de xassís. Aquesta última serà la que tindrem en compte a continuació.

B.2.1 Xassís amb carrosseria separada

Aquest és el sistema més antic que s'han fet servir en els automòbils i conceptualment també es pot dir que és el més senzill. Actualment, aquest tipus de xassís es fa servir en els vehicles industrials i tot terreny.

Tal com s'observa a la figura B.1, la carcassa està constituïda per dos bigues longitudinals unides entre si per travessers col·locats de manera diagonal o transversal.

Aquest sistema presenta una gran versatilitat i permet aconseguir suportar grans esforços estàtics i dinàmics gràcies a la seva estructura ja que, aquesta és molt sòlida i resistent. Els inconvenients principals en aquest tipus de xassís són la seva poca rigidesa de torsió i el seu pes, el qual és bastant elevat si el comparem amb els altres tipus de xassís que hi ha actualment.



Figura B.1: Xassís independent (Font: <http://www.elchapista.com>)

B.2.2 Xassís monocasc o autoportant

La diferència amb el xassís anterior és que en aquest tipus, la carrosseria al complet i el xassís són el mateix concepte, és a dir, tots dos són elements estructurals necessaris.

El xassís monocasc i autoportant, el qual es pot veure a la figura B.2, està fabricat per xapes d'acer unides mitjançant punts de soldadura per tota la carrosseria.

La majoria d'automòbils actuals de passatgers utilitzen aquest model de xassís per diverses raons:

- La seva lleugeresa
- Baix cost de fabricació
- La facilitat de fer un procés automatitzat
- Bona rigidesa a torsió i resistència
- Més estabilitat en totes les condicions d'us
- Gran capacitat per absorbir energia en un impacte

L'inconvenient principal d'aquest xassís és que no és viable econòmicament si s'han de fer pocs vehicles.



Figura B.2: Xassís monocasc o autoportant (Font: <http://www.arpem.com/>)

B.2.3 Xassís tubular

El xassís tubular és una estructura tridimensional formada habitualment per tubs de secció circular soldats entre si que li dóna una gran rigidesa i la capacitat de suportar esforços en qualsevol direcció.

Utilitzant aquesta tècnica pel disseny del xassís aconseguim tenir una carrosseria amb una gran resistència i un pes molt baix.

Com a principals inconvenients en el xassís tubular trobem els següents:

- Procés de fabricació molt complex i laboriós, cosa que el fa completament inviable per a una producció en sèrie.
- El disseny obliga a elevar el nivell inferior de les portes.

A causa de la bona relació rigidesa/pes que ens aporta aquest tipus d'estructura, també s'utilitza en el frontal i posterior en alguns xassís monocasc i també per reforçar l'habitacle en vehicles de competició amb carrosseria autoportant. (Figura B.3)



Figura B.3: Xassís tubular (Font: <http://mudcars.com>)

B.3 Material

Hem de tenir en compte a l'hora de fer el disseny de xassís, que cada material té unes propietats físiques i mecàniques definides que el faran més o menys idoni per una funció en concret.

El límit elàstic i les tensions de ruptura serà el que s'utilitzarà per mesurar la resistència del xassís.

Si apliquem una tensió per sota del seu límit elàstic tindrem una deformació elàstica, la qual cosa implica que el material tornarà a tenir la seva forma i mida anteriors. Si la tensió sobrepassa el límit elàstic tindrem una deformació plàstica on el material no es podrà recuperar i no tornarà a la seva posició inicial.

Però, si la tensió va augmentant per sobre del límit elàstic hi pot haver el risc de superar el límit de ruptura i que per tant, el material es trenqui. La quantitat de tensió que s'ha d'aplicar perquè un material passi del límit elàstic al límit de ruptura ens proporciona una idea de la ductilitat.

En el cas dels xassís dels vehicles ens interessa que siguin fabricats amb materials dúctils. Els xassís han de ser capaços de suportar certs nivells de sobrecàrrega, com per exemple irregularitats en el terreny, sense arribar a la ruptura.

Els xassís solen estar formats generalment d'acer però, també poden ser d'altres materials com l'alumini, el titani, el magnesi, la fibra de carboni, la fibra de vidre i fins i tot la fusta. Passem a estudiar-los més àmpliament:

B.3.1 Acer

L'acer és l'aliatge de ferro amb una quantitat de carboni que pot variar entre 0,03% i 1,075% en el pes de la seva composició. Si l'aliatge conté una concentració superior al 2% es produeixen foses. Aquestes foses són anomenades ferro i al contrari que l'acer són molt fràgils.

La diferència principal entre l'acer i el ferro és que l'acer, per la seva ductilitat, és fàcilment deformable en calent ja sigui per forja, laminació o extrusió. En canvi, les foses són massa fràgils i trencadisses. Per aquest motiu, s'han de formar per emmotllament.

Hem de tenir en compte que existeixen molts tipus d'acers amb composicions molt diferents i que es poden classificar de moltes maneres ja sigui pels elements que predominen en la seva composició, com per exemple l'acer de silici, com per si és susceptible a certs tractaments, com els acers de cimentació, o fins i tot si té alguna característica potenciada com l'acer inoxidable. (Figura B.4)



Figura B.4: Tubs d'acer (Font: <http://www.oftex.es>)

B.3.2 Alumini

L'alumini és un metall lleuger i resistent i la seva densitat és aproximadament un terç de la que té l'acer o el coure. També és molt mal-leable, dúctil i és apte pel mecanitzat i per fondre'l a causa del seu punt baix de fusió. (Figura B.5)

Una altra qualitat molt important de l'alumini és que gràcies a l'elevada calor d'oxidació que té es forma ràpidament una fina capa superficial d'òxid que impedeix l'oxidació i deteriorament proporcionant-li una elevada resistència i durabilitat. Per aquests motius és el material més usat després de l'acer. Anem a estudiar els avantatges i els inconvenients que presenta respecte l'acer.

Els avantatges que presenta l'alumini sobre l'acer són:

2. L'alumini no s'oxida ni s'erosiona amb facilitat, al contrari que la majoria d'acers, a part dels que són inoxidable.
3. A causa de la diferència de densitats, l'alumini és molt més lleuger que l'acer.

Els inconvenients que presenta l'alumini sobre l'acer són:

1. És menys tenaç, pot absorbir menys vibracions, torsions i impactes sense trencar-se.
2. El seu preu és superior al de l'acer.
3. Més difícil de treballar i mecanitzar ja que necessita soldadura TIG.

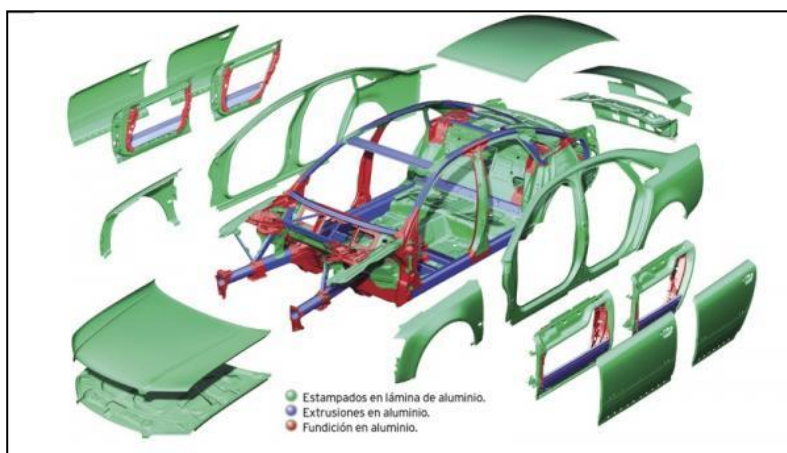


Figura B.5: Xassís d'alumini (Font: <http://puentelara.blogspot.com.es>)

B.3.3 Titani

El titani és un element metàl·lic de color gris fosc amb propietats físiques semblants a les de l'acer. L'avantatge del titani respecte als altres materials amb propietats mecàniques semblants és que és relativament lleuger. Cal destacar que existeixen aliatges amb molt bones propietats mecàniques desitjables en un material estructural com ara una gran duresa, la seva resistència a la corrosió i la seva bona conducció a l'electricitat i a la calor.(Figura B.6)

El titani en estat pur és un metall lleuger, resistent, brillant i de color blanc metàl·lic amb una densitat baixa. El titani no se sol utilitzar en estat pur sinó que se solen utilitzar aliatges amb els quals es poden fabricar peces amb una relació resistència/massa molt bona. Un dels aliatges més utilitzats, per les seves grans propietats mecàniques, és el Ti-6Al-4V, amb un 6% d'Alumini i un 4% de Vanadi.

Finalment, cal dir que un dels inconvenients principals del titani és que el seu preu és força superior al de l'acer.



Figura B.6: Tubs de titani (Font: <http://spanish.titaniumsheetplate.com/>)

B.3.4 Magnesi

El magnesi és un metall lleuger de color blanc platejat . És el material estructural més lleuger que podem trobar avui en dia a la indústria gràcies al seu baix pes i a la seva capacitat de crear aliatges mecànicament resistents com podem veure a la figura B.7. Concretament és el tercer metall estructural més abundant a l'escorça terrestre i només el superen l'alumini i el ferro.

Un de les avantatges principals del magnesi és que la seva densitat és de dos terços la de l'alumini. Per tant, té moltes aplicacions possibles en els casos on l'estalvi de pes sigui important.

Passem a estudiar els inconvenients en l'ús del magnesi. El primer és que el seu preu és superior al de l'alumini i al de l'acer. El segon inconvenient és que té una vida limitada a causa de la corrosió i el trencament per fatiga. Per últim, el magnesi també presenta força dificultats a l'hora de fer la soldadura.

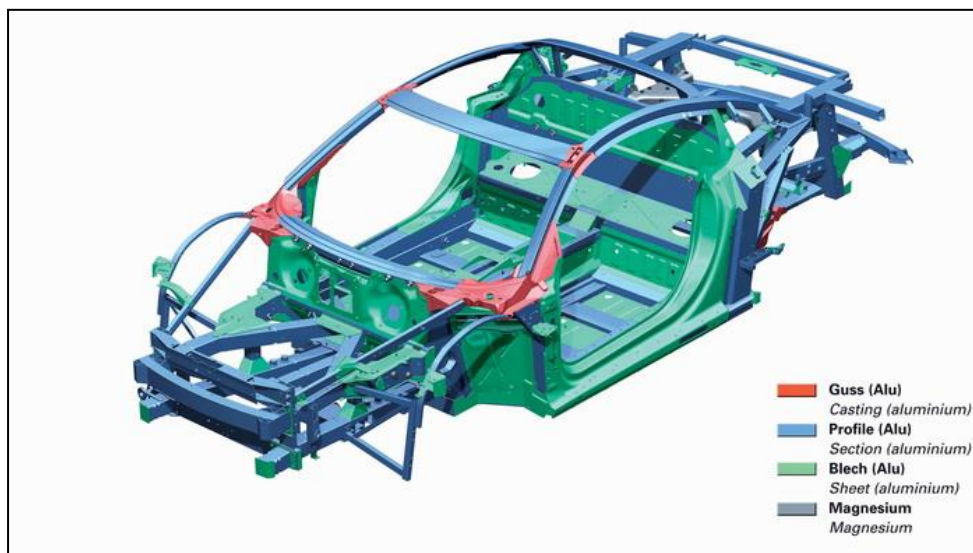


Figura B.7: Xassís amb parts de magnesi (Font: <http://www.tecmovia.com>)

B.3.5 Fibra de carboni

La fibra de carboni és la combinació de dos materials. D'una banda, plàstic per unir les fibres i de l'altra banda, pot ser el grafit o fibra de carboni per aportar-hi la rigidesa. El plàstic o resina és habitualment epoxy tot i que també pot ser polièster o vinilester.(Figura B.8)

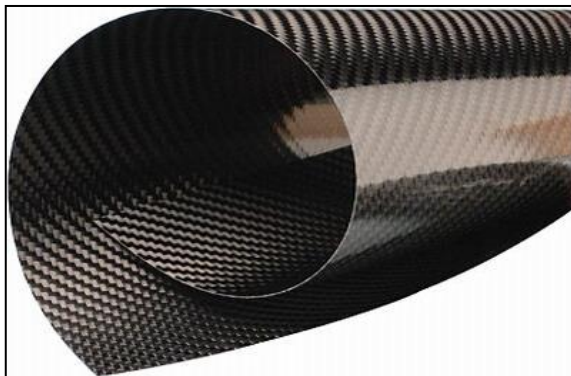


Figura B.8: Fibra de carboni (Font: <http://www.caranddriverthef1.com>)

La fibra de carboni és un polímer no metàl·lic que és entre tres i cinc vegades més lleuger que l'acer i unes sis vegades més resistent a la fatiga que l'acer. Per tant, és un material estructural molt interessant en competicions en les quals el pes hi tingui una gran importància. A més, també té una gran resistència als agents externs i podem modelar la fibra de carboni per obtenir pràcticament qualsevol forma.

L'inconvenient principal de la fibra de carboni és que s'obté a partir d'un sistema de producció i elaboració molt complex i per aquest motiu, la fibra de carboni té un preu tant elevat.

Un altre inconvenient és que, en cas d'accident, la fibra de carboni es trenca amb relativa facilitat tot i que absorbeix les forces de l'impacte. Al trencar-se es desprenen molts fragments, que poden ser afilats i per tant, crear punxades als pneumàtics dels altres vehicles i altres accidents.

Per acabar, un altre inconvenient de la fibra de carboni, tot i no ser metàl·lica, és que és un bon conductor de l'electricitat.

B.3.6 Fibra de vidre

La fibra de vidre és un material format per moltes fibres de vidre les quals són extremadament fines. El primer vehicle que va ser fabricat amb un monocasc de fibra de vidre va ser el Glasspar G2 al 1949 segons la web <http://www.autopasion18.com>, que va aconseguir ser un automòbil molt lleuger i resistent.

L'avantatge de la fibra de vidre és el baix pes que no es corroeix i que té un preu molt econòmic per a petites produccions.

Pel que fa als seus inconvenients, un d'ells és que no pot actuar com a part de resistència molt crítica del xassís i un altre és que té una tolerància dimensional molt gran i per tant, crea grans problemes a l'hora de fer el muntatge.



Figura B.9: Fibra de vidre (Font: <http://tienda.resineco.com/>)

B.3.7 Fusta

La fusta és un material format per la combinació de dos materials, la cel·lulosa i la sabia. La correcta combinació d'aquets dos materials pot arribar a ser més eficient que l'acer o l'alumini.

El seu problema principal és que no és un bon material resistint a la calor i a la humitat i també té un procés de fabricació molt complex, cosa que el fa completament inviable per a una producció en sèrie.



Figura B.10: Xassís de fusta (Font: <http://www.joeharmondesign.com>)

B.4 Elecció del xassís

El tipus de xassís que hem escollit per realitzar el nostre vehicle ha sigut el xassís tubular d'acer per les seves propietats esmentades anteriorment. També hem de tenir en compte que l'elecció del xassís monocasc seria una bona opció si s'esperés una producció en sèrie del vehicle ja que es pot automatitzar fàcilment el procés de fabricació a diferència del xassís tubular.

El xassís tubular presenta una molt bona relació entra la rigidesa i el pes com s'ha argumentat anteriorment i també hem tingut en compte els requisits tècnics per fer l'elecció.

El model tubular presenta un gran avantatge econòmicament respecte el monocasc. Aquest és que el seu preu és molt inferior per a petites produccions a causa de la simplicitat dels processos de fabricació.

El material escollit ha sigut l'acer gràcies a les seves bones propietats estructurals i també pel seu baix cost econòmic respecte als altres materials que tenen propietats estructurals superiors com per exemple el titani, tal com ja hem explicat anteriorment.

En el nostre cas, com que el fórmula que hem dissenyat està preparat per ser un cotxe esportiu 1000 del grup CM, la normativa ens especifica també que el xassís ha de ser tubular i d'acer. Tot seguit, podem veure una representació del tipus de xassís escollit.(Figura B.11)



Figura B.11: Representació del xassís escollit (Font: <http://m.forocoches.com>)

ANNEX C: PROCÉS DE DISSENY

C.1 Introducció

En aquest annex farem un estudi del procés de disseny que hem fet servir per desenvolupar el xassís del nostre vehicle.

Hem de tenir en compte que, a causa que el xassís és l'element estructural i de seguretat principal en el vehicle, està molt controlat mitjançant les autoritats competents i els reglaments de cada vehicle com hem pogut veure a l'annex A.

A l'hora de fer el procés del disseny primer hem de fer un disseny inicial tenint en compte la normativa i els vehicles esportius 1000 del grup CM que estan competint actualment. Un cop tenim el disseny inicial llavors hem d'aplicar els càlculs pertinents fins a obtenir un disseny del xassís final que compleixi amb la normativa, com podem veure a l'annex C.

Un cop ben definida tota la normativa i el tipus de xassís i material, que serà un xassís tubular fabricat amb tubs d'acer, ja podem passar a fer el disseny del nostre xassís.

C.2 Requisits tècnics

Per iniciar el disseny necessitem conèixer els requisits tècnics més rellevants del nostre vehicle. Aquests poden ser dividits en les següents categories:

- Dinàmica de conducció
- El confort de la conducció
- La seguretat segons normativa
- La facilitat d'operació, tenint en compte el muntatge i desmuntatge
- L'estratègia de plataforma
- La massa del xassís no superi els 90 Kg
- La fiabilitat del xassís
- La durabilitat del xassís
- El cost del xassís no superi 20.000 €

Cal destacar també que hi ha una sèrie de propietats que tenen els vehicles que també poden afectar als requisits del disseny del xassís:

- La posició del centre de gravetat
- La distribució de masses
- El disseny del sistema de propulsió
- Les dimensions externes, la mida del tronc, la capacitat del dipòsit de combustible
- El rendiment del vehicle
- L'aerodinàmica (forces d'elevació)
- La rigidesa de la carrosseria

En resum, a la figura C.1 s'aprecien els principals requisits pel disseny del xassís.

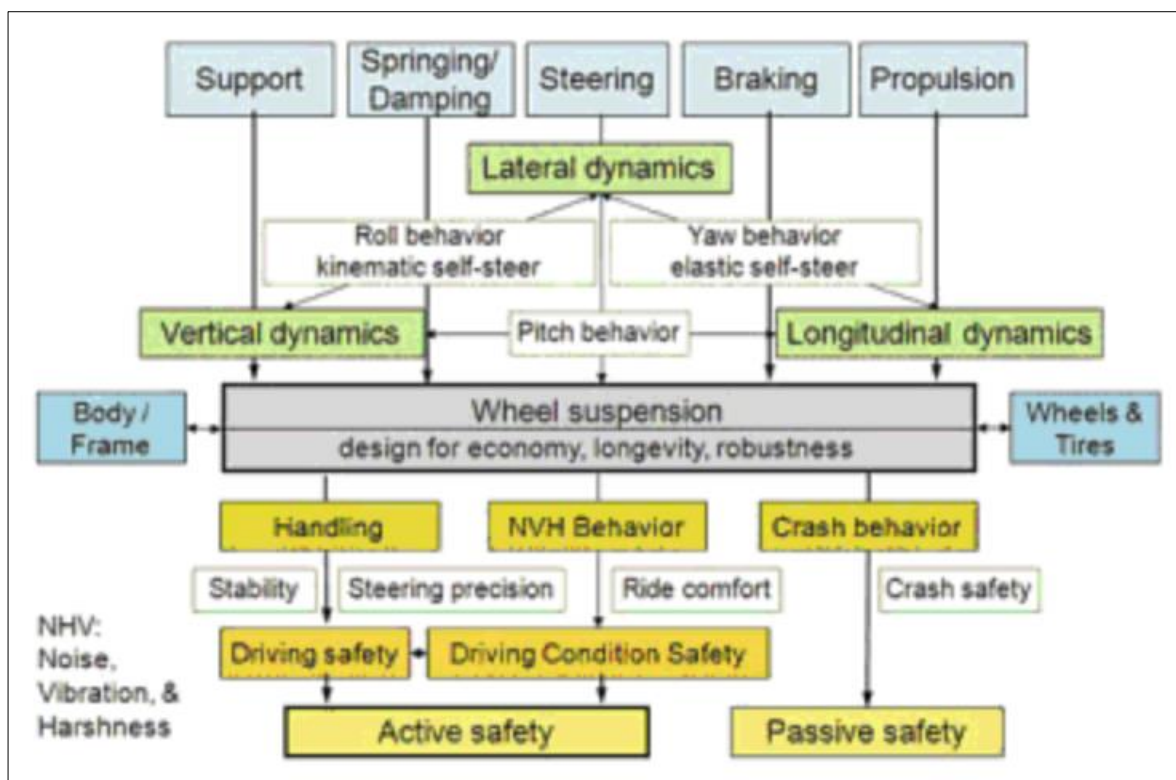


Figura C.1 Requisits per al disseny d'un xassís. (Font: Bernd Heißing, B. i Ersoy, M. (2011))

C.3 Algorisme de disseny

Per dur a terme el disseny del xassís dels vehicles podem fixar-nos amb l'algorisme extret de *The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnßen, Butterworth-Heinemann 2001* (Figura C.2).

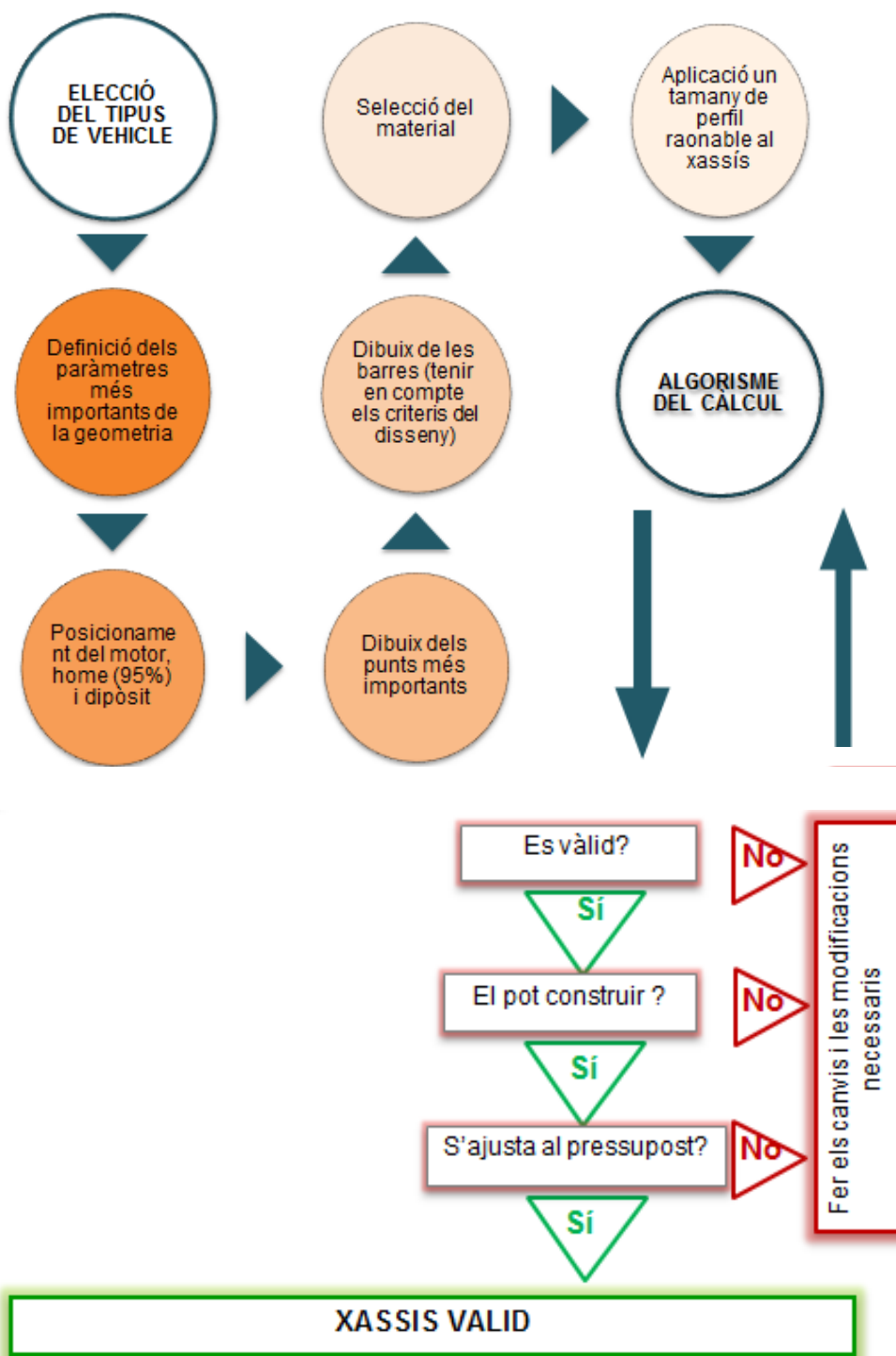


Figura C.2: Algorisme de disseny (*The Automotive Chassis. Engineering Principles/ Reimpell, Jörnßen, Butterworth-Heinemann 2001*)

C.4 Suport informàtic

El programari que hem utilitzat a l'hora de realitzar el disseny del xassís amb 3D presentat en aquest projecte ha estat el *Solidworks*.

C.4.1 SolidWorks

El *Solidworks* és un *Programari de disseny CAD en 3D*. La versió que s'ha fet servir ha estat la de l'any 2012.

SolidWorks, desenvolupat actualment per *Dassault Systèmes SolidWorks Corporation*¹, es dedica a proporcionar les eines necessàries per dissenyar els productes més grans del món a enginyers, dissenyadors i altres professionals creatius. En aquests moments Dassault Systèmes SolidWorks Corp. és el líder en la tecnologia de CAD en 3D (Figura C.3).

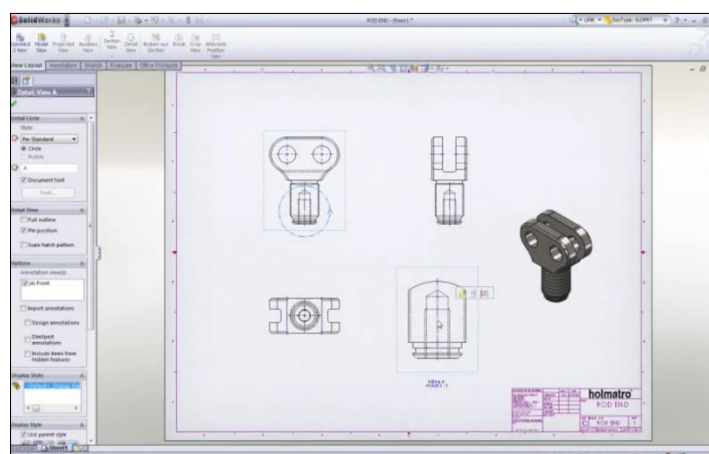


Figura C.3. Solidworks 3D CAD. (Font: <http://www.solidworks.com>)

¹*Dassault Systèmes SolidWorks Corporation* és una subsidiària de Dassault Systèmes S.A. (Suresnes, França). Va ser fundada el desembre de 1993 i la seva oficina central es troba a Waltham, Massachusetts (EE. UU). Els mercats que toquen són l'industrial, mèdic, científic, de consum, educatiu, tecnològic i de transport.

SolidWorks és un programa de disseny mecànic en 3D que utilitza un entorn gràfic. La seva filosofia de treball permet plasmar les idees de forma ràpida sense la necessitat de realitzar operacions lentes i complexes. Les principals característiques que fa que SolidWorks sigui una eina versàtil i precisa és la seva capacitat per ser associativa, variacional i paramètrica de forma bidireccional amb totes les seves aplicacions. A més a més, utilitza el gestor de disseny, el qual facilita la modificació d'operacions tridimensionals i de croquis d'operacions sense haver de tornar a fer els dissenys ja plasmats en la resta de documents associats.

Cal destacar també que, SolidWorks a més de tenir les eines de disseny de peces, acoblaments i dibuix, també té eines de productivitat, gestió de projectes, presentació i d'anàlisis i simulació, la qual cosa el converteixen en un dels estàndards de disseny mecànic més competitiu en el mercat.

Aquest programa té el suport d'un computador de modelatge mecànic i el modelador utilitzat és un modelador de sòlids paramètric que utilitza el modelatge geomètric Parasolid.²

SolidWorks, que tal com hem dit funciona amb base a les noves tècniques de modelatge amb sistemes CAD permet modelar peces i conjunts i extreure d'ells tant plans com altres tipus d'informació necessària per la producció. El procés consisteix en convertir la idea mental del dissenyador al sistema CAD de manera que s'acaba construint virtualment la peça o el conjunt desitjat. Posteriorment, totes les extraccions, tant plans com fitxers d'intercanvi, es realitzen de forma bastant automatitzada.

² Nucli que pertany a Siemens PLM Software, desenvolupant de SolidEdge i de NX. Va ser introduït al mercat el 1995 per competir amb altres programes CAD com Pro/ENGINEER, NX, Solid Edge, CATIA i Autodesk Mechanical Desktop.

C.5 Enginyeria Inversa

Per dur a terme el disseny inicial del xassís també hem tingut en compte l'enginyeria inversa. El procés d'aplicar l'enginyeria inversa per fer el disseny del xassís ens implica analitzar i estudiar els cassos de xassís reals i arribar a extreure'n conclusions.

L'orde que vam seguir per arribar a desenvolupar el xassís mitjançant l'enginyeria inversa és el següent.

1. Obtenir fotografies dels xassís reals.
2. Fer una selecció i determinar quin és el model que més s'ajusta a les nostres necessitats.
3. Obtenir el major nombre d'informació del model seleccionat.
4. Procedir a fer el disseny amb 3D mitjançant el programa SolidWorks.
5. Aplicar els càlculs pertinents i extreure'n conclusions.

A continuació, podem veure una imatge de disseny inicial del nostre xassís, en el qual li falten varis reforços (Figura C.4).

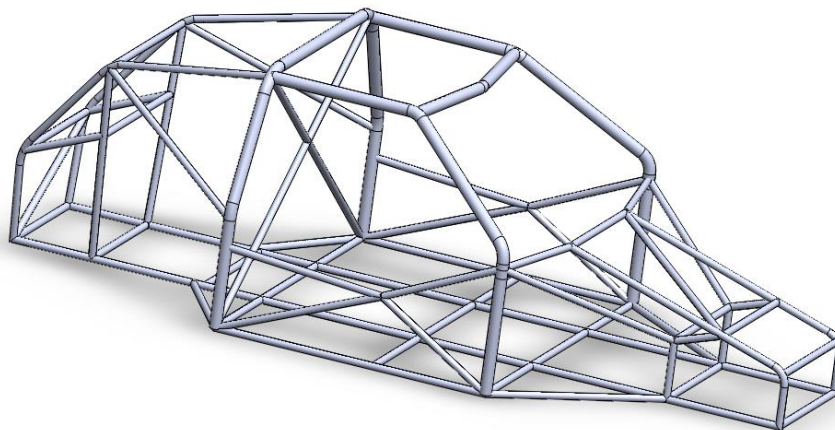


Figura C.4: Disseny inicial del xassís amb el programa SolidWorks

C.6 Estudi del disseny inicial

En aquest apartat farem un estudi del disseny inicial i dels punts més rellevants del nostre disseny. En l'estudi realitzat primer de tot farem un anàlisi de la normativa i llavors estudiarem els xassís que actualment estan competint, per a cada part del vehicle.

Per fer el disseny inicial del xassís hem partit de la *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E de A.*, del *Reglamento específico de vehículos CM* de l'Annex A i d'imatges d'altres vehicles grup CM que estan competint actualment i per tant, que compleixen amb la normativa vigent.

C.6.1 Mides generals

Primer de tot, per començar a fer el disseny inicial, hem de tenir en compte les mides generals del nostre vehicle ja que és un dels punts que ens afecten més al comportament final del vehicle.

A l'Annex A podem trobar l'article 3, carrosseria i dimensions exteriors, del *Reglamento específico de vehículos CM España* on ens anuncia les següents limitacions:

- g)** Llargada: La llargada màxima del cotxe amb les rodes incloses, no podrà sobrepassar mai els 3700mm.
- h)** Amplada: L'amplada com a màxim del vehicle incloses les rodes completes no podrà excedir 1750mm.
- i)** Altura: L'altura mesurada verticalment des del punt més baix de la superfície plana no podrà ser superior a 1250 mm, exceptuant el cas de l'arc de seguretat que no podrà originar una estructura aerodinàmica.
- j)** Voladís: El voladís màxim mitjà que hi pot haver en el vehicle pot ser:
 - Davanter 730 mm.
 - Darrera 630mm.

Un cop clares les mides generals que, com a molt, pot fer el nostre vehicle ja podem passar a estudiar els punts més concrets.

C.6.2 Estructures de seguretat

El primer punt que estudiarem serà l'estructura de seguretat ja que és l'element principal de protecció dels ocupants del vehicle.

Primer de tot ens centrarem en els reglaments i normatives. El primer que mirarem serà l'article 11 (Estructures de seguretat) de l'Annex J grup CM FCA.

Aquest article ens anuncia les següents condicions estructurals:

1. L'estructura de seguretat ha de constar de dos arcs de seguretat, un al davant i un al darrera del pilot.
2. Els dos arcs han d'estar units per, almenys, un tirant tubular (preferiblement dos tirants, les juntes dels quals estiguin el més separats possible).
3. L'arc del darrera haurà de tenir com a mínim un reforç en diagonal.
4. L'arc del darrera haurà de tenir, també, dos muntants de força dirigits cap enrere.

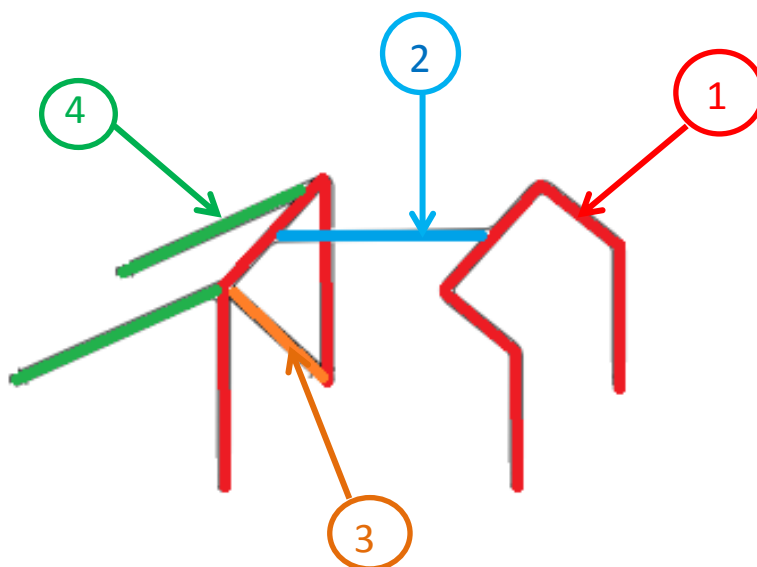


Figura C.5: Condicions estructura de seguretat (Modificació imatge 259-3 normativa)

Un cop estudiada la normativa i el reglament sobre les estructures de seguretat podem passar a comprovar com han estat dissenyats els vehicles que tenen l'homologació en vigor (Figura C.6).

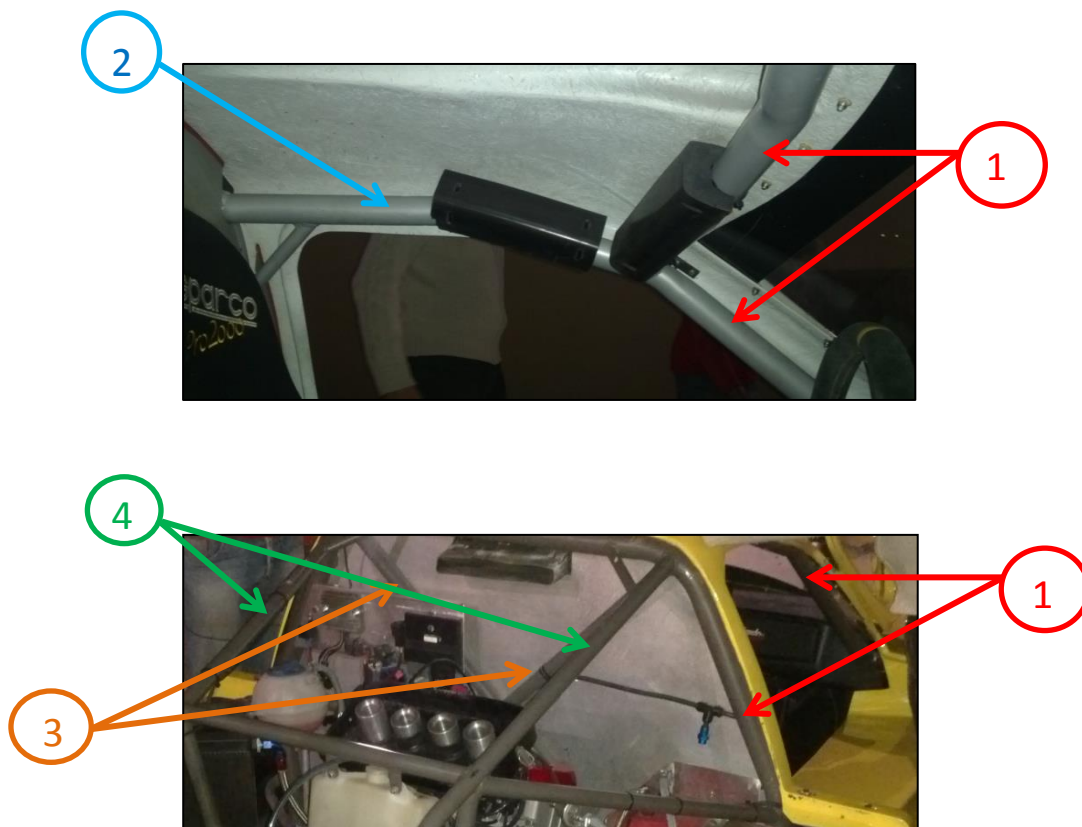


Figura C.6: Representació de l'arc de seguretat

Un cop vist els vehicles que tenen l'homologació en vigor i comprovar com compleixen amb la normativa, ja podem passar a fer el disseny inicial de l'estructura de seguretat (Figura C.7).

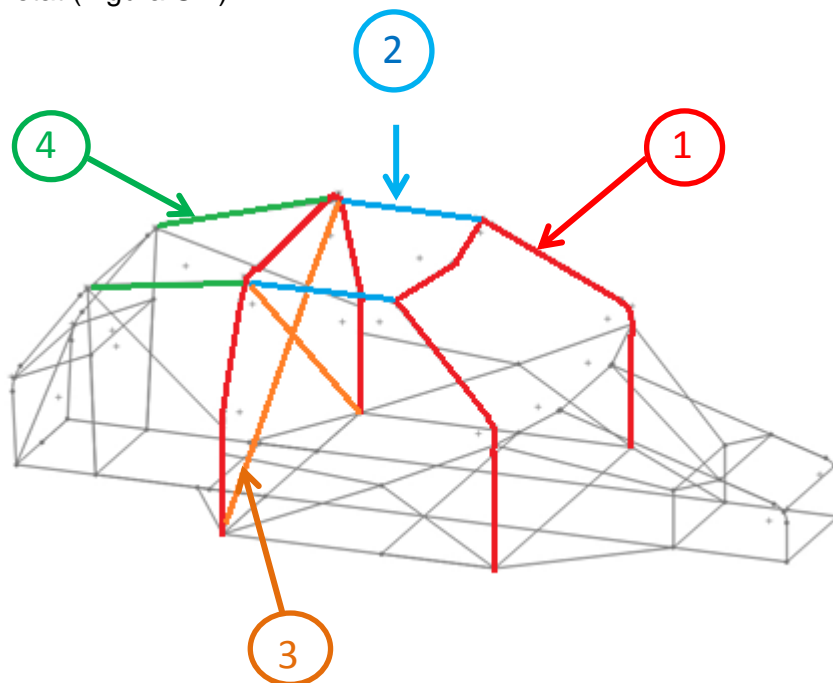


Figura C.7: Arc de seguretat disseny inicial

C.6.3 Estructura lateral

El disseny de l'estructura lateral ens obliga a elevar el nivell inferior de les portes, fent el vehicle menys accessible perquè és un xassís tubular.

La normativa, en aquest cas l'article 3 del *Reglamento específico de vehículos CM España*, ens anuncia les següents condicions:

1. Falses portelles: La suma d'aquestes portelles, tant al davant com al darrera, no podrà superar el 80% de la distància entre eixos. La diferència entre les falses portelles de davant i de darrera no podrà ser superior al 15% d'aquesta distància.
2. Són obligatòries dues portelles (Figura C.8).

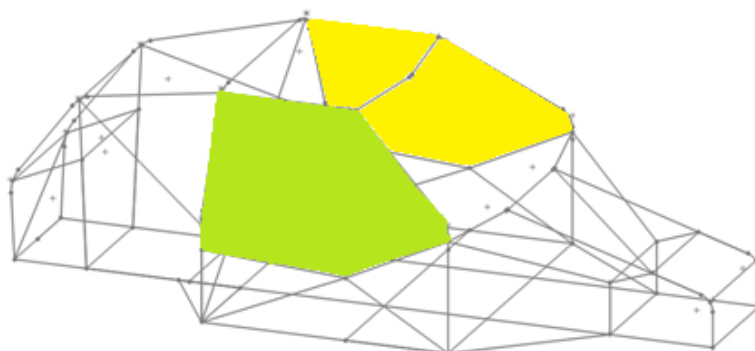


Figura C.8: Representació dues portelles

Un cop estudiada la normativa sobre les portelles dels vehicles passem a comprovar com són actualment les portelles homologades (Figura C.9).

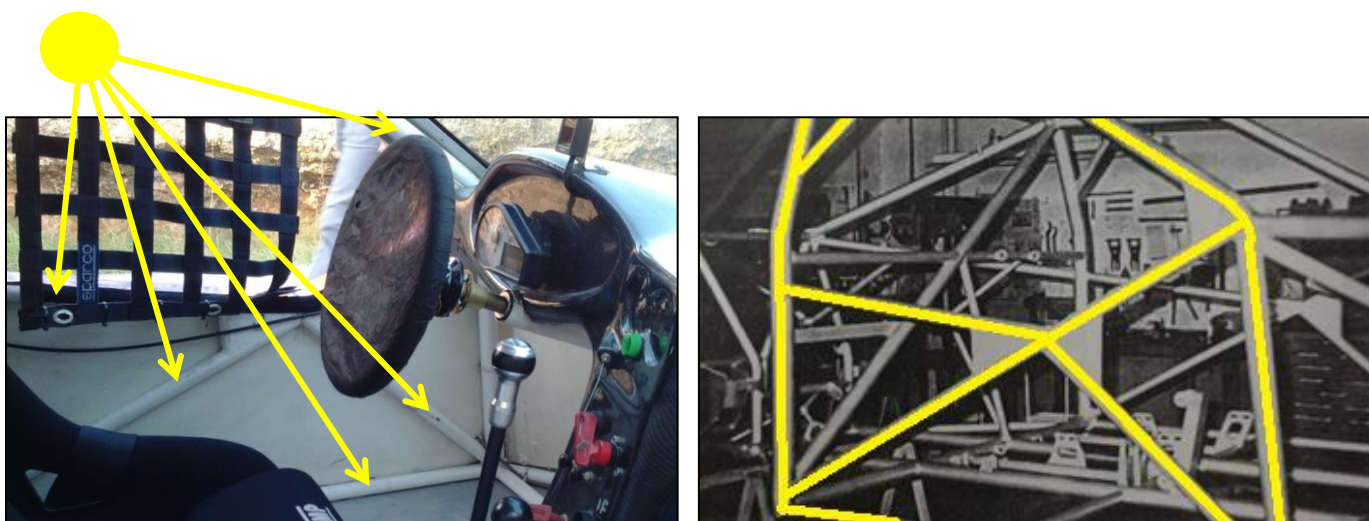


Figura C.9: Estructura lateral vehicle actual CM

Una vegada comprovada la normativa vigent i els actuals vehicles grup CM passem a fer el nostre disseny inicial de l'estructura lateral (Figura C.10).

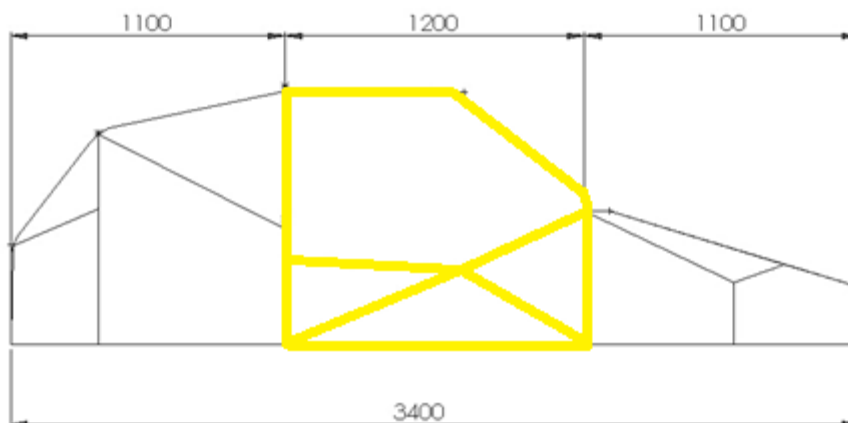


Figura C.10: Estructura lateral disseny inicial (mides en mm)

Comprovem com la suma de les portelles no és superior al 80% de la distància entre eixos. La distància entre eixos del nostre disseny inicial és de 3400mm. Per tant, el 80% d'aquest valor és 2720 mm.

Com veiem, la mida de les portelles en el disseny inicial és de 1200 mm i per tant, no superem els 2720 mm que ens especifica la normativa.

També podem apreciar que la diferència entre les falses portelles de davant i de darrera no supera el 15% ja que fan la mateixa distància.

C.6.4 Estructura frontal i cabina

L'estructura frontal, a part de ser el suport de les rodes frontals, també és l'element principal de protecció en el cas d'una col·lisió frontal i per aquest motiu també és un element molt important.

La normativa sobre l'estructura frontal i la cabina ens la especifica l'article 10 del *Reglamento específico de vehículos CM España* i ens anuncia els següents requisits:

1. El volum estructural de la cabina ha de ser simètic en relació a l'eix longitudinal del vehicle (Figura C.11).

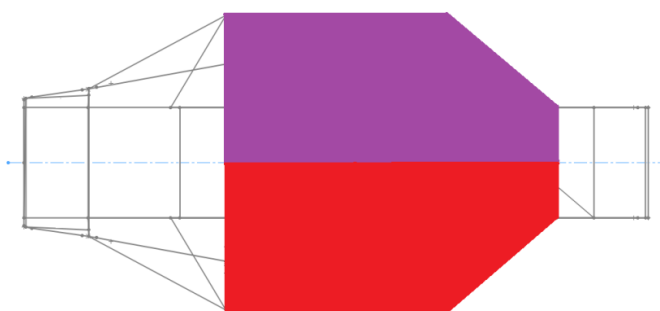


Figura C.11: Representació de la simetria de la cabina

2. Espais per les cames:

- El vehicle n'ha de tenir dos. Aquests s'han d'entendre com dos volums lliures i simètrics en relació a l'eix longitudinal del vehicle, en que cadascun ha de tenir una secció vertical transversal d'un mínim de 750 cm^2 . Aquesta superfície s'ha d'establir des del pla dels pedals fins la projecció vertical del centre del volant (Figura C.12).

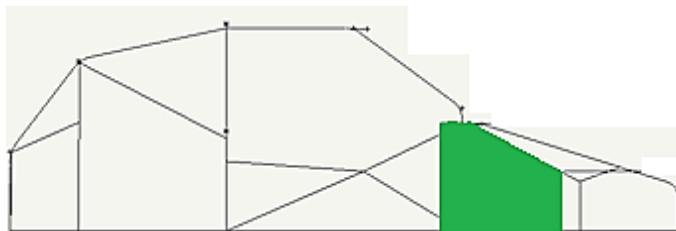


Figura C.12: Representació de l'espai de les cames

- L'amplada mínima de cada espai pels peus és de 250 mm, establerta sobre una altura d'un mínim de 250 mm.

Ara que ja coneixem la normativa referent a l'estructura frontal i de la cabina, ja podem passar a validar els vehicles que tenen actualment l'homologació en vigor.

A la figura C.13 podem veure les unions que hi ha entre el xassís i les rodes davanteres, les quals són els punts on es transmetrà la càrrega des de les rodes fins al xassís passant pels braços de les rodes i la suspensió.

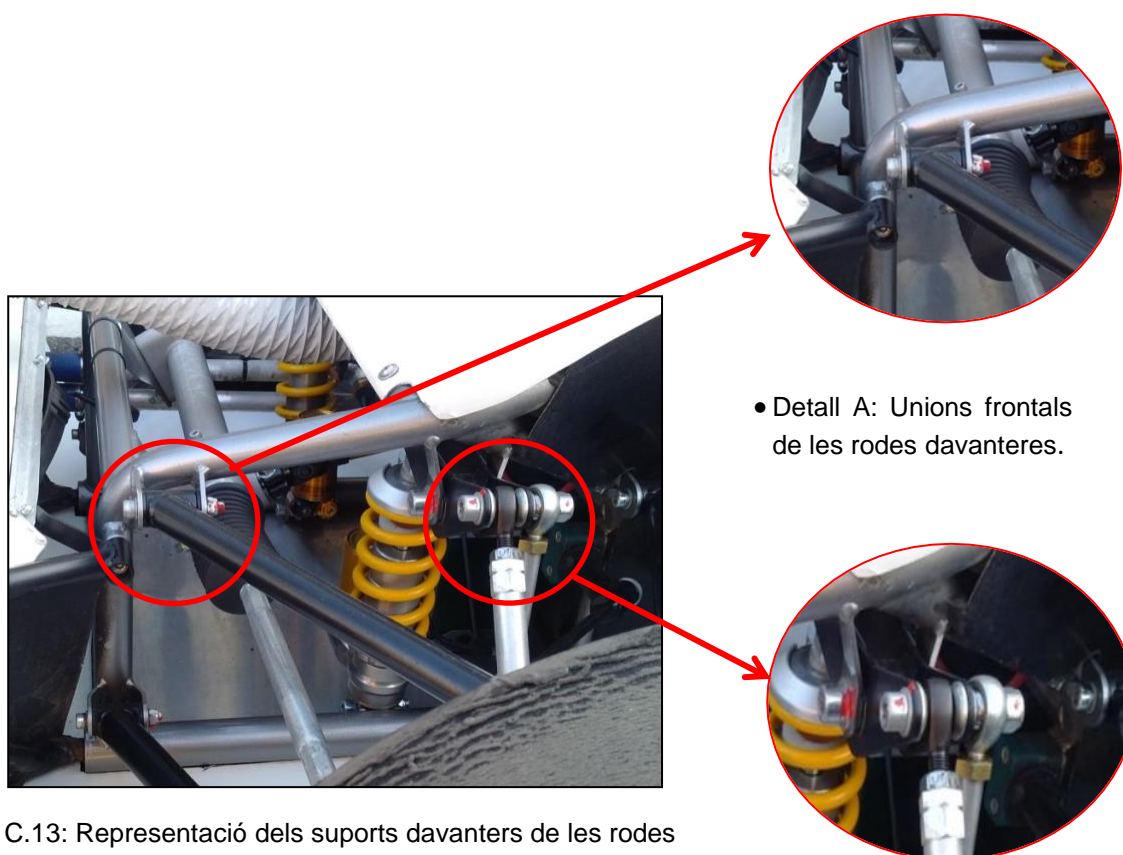


Figura C.13: Representació dels suports davanteres de les rodes

Una part molt interessant de l'estructura frontal, com veiem a la figura C.14, és el reforç intern que ens permet complir amb les sol·licitacions que ens exigeix la R.F.E.de A. perquè el xassís pugui ser homologat.



Figura C.14: Reforç intern d'un vehicle actual CM

En aquesta figura següent, figura C.15, també podem veure el tirant diagonal de la part superior que fa de reforç i ens permet suportar les forces de torsió estipulades per la R.F.E.de A.

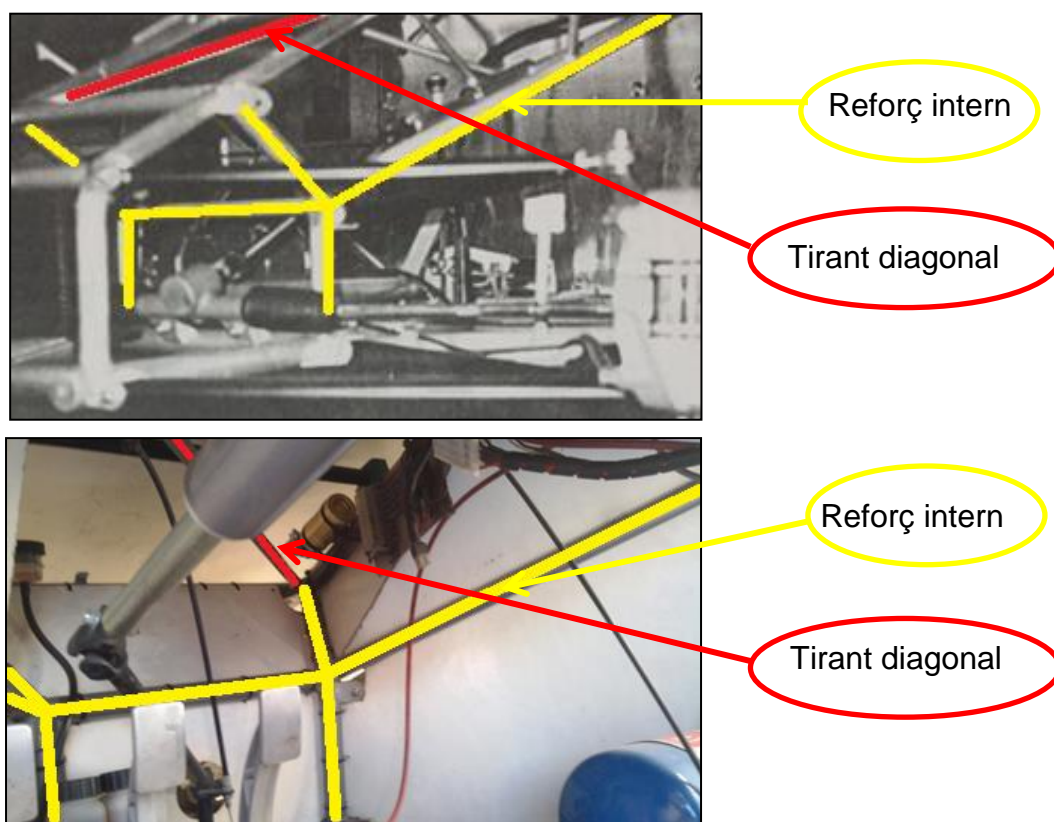


Figura C.15: Reforç intern i tirant diagonal d'un vehicle actual CM

Passem a desenvolupar la part frontal del nostre disseny inicial (Figura C.16).

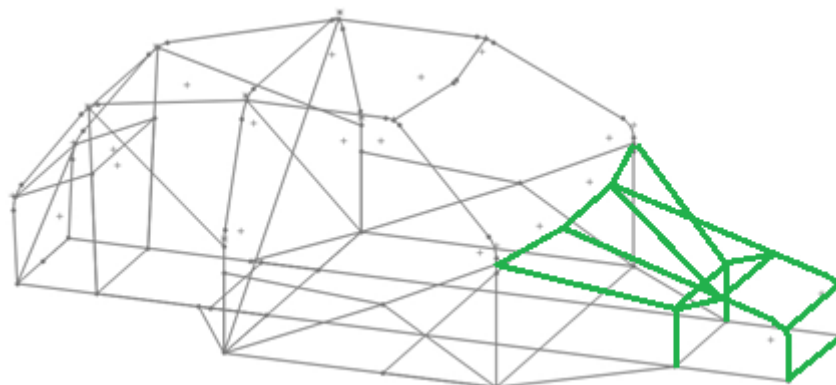


Figura C.16: Estructura frontal disseny inicial

Com podem veure a la figura superior, el volum estructural és simètric respecte l'eix longitudinal i per tant, complim el primer punt de l'article 10 del *Reglamento específico de vehículos CM España*. Passem a estudiar el segon punt d'aquest article tot seguit.

La secció vertical per les cames que ens exigeix la R.F.E. de A. ens estipula que sigui com a mínim de 750 cm^2 . Tal com veiem, també complim amb el segon punt d'aquest article (Figura C.17).

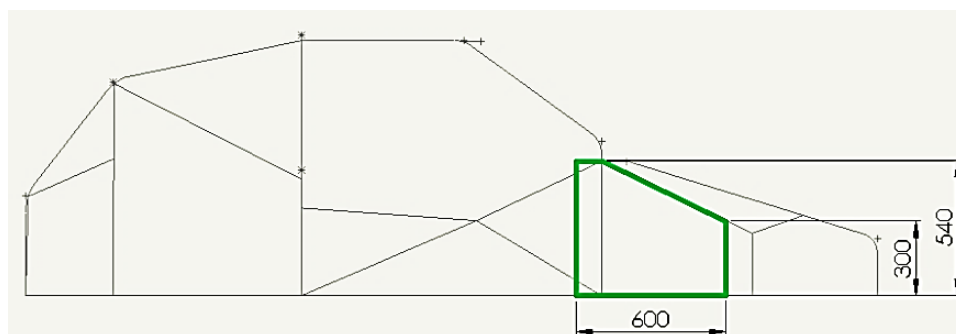


Figura C.17: Comprovació del segon punt de l'article 10 (Mides en mm)

Per acabar l'estudi en aquest punt, també hem comprovat com es compleix amb l'espai mínim pels peus d'aquest mateix article (Figura C.18).

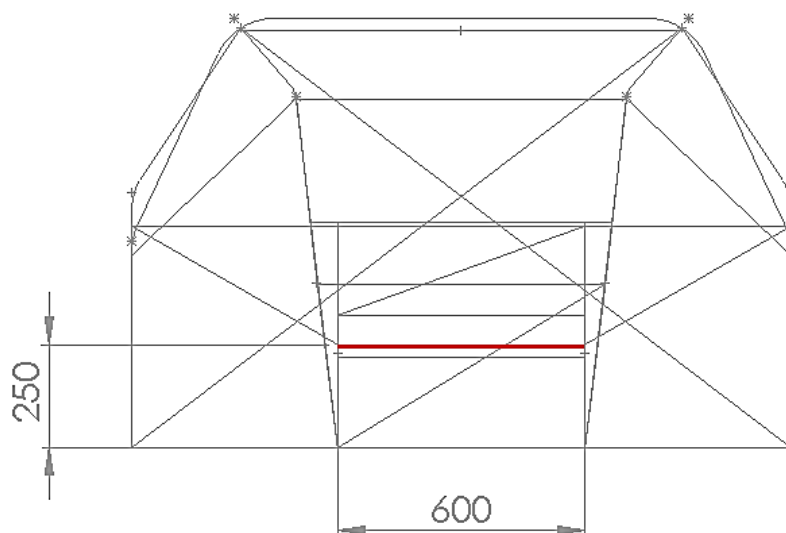


Figura C.18: Comprovació de l'espai pels peus (Mides en mm)

C.6.5 Estructura posterior

La normativa no ens especifica cap condició referent al disseny de la part posterior del vehicle. El que hem de tenir en compte a l'hora de dissenyar la part posterior és que hem de deixar l'espai suficient pels elements mecànics del vehicle com per exemple, el motor o el filtre d'aire.

Passem a fer un estudi per saber com és la part posterior dels vehicles grup CM que estan competint actualment (Figura C.19)

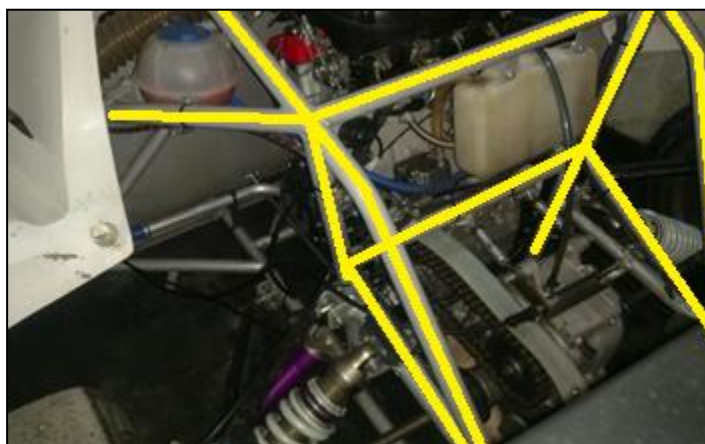


Figura C.19: Estructura posterior d'un vehicle grup CM

Una vegada comprovats els actuals vehicles grup CM ja podem passar a fer el nostre disseny inicial de la part posterior. (Figura C.20)

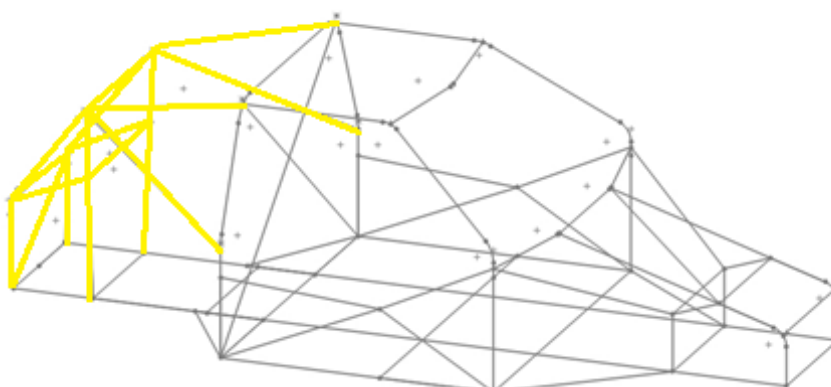


Figura C.20: Estructura posterior disseny inicial

C.6.6 Fons pla

La normativa tampoc ens especifica cap condició referent al disseny del fons pla del vehicle. El que hem de tenir en compte a l'hora de dissenyar el fons pla és que és el suport principal del vehicle i que per tant és on ha d'absorbir més càrrega en moltes de les hipòtesis que ens proporciona la R.F.E. de A.

Passem a fer un estudi per saber com és el fons pla dels vehicles grup CM que estan competint actualment (Figura C.21)

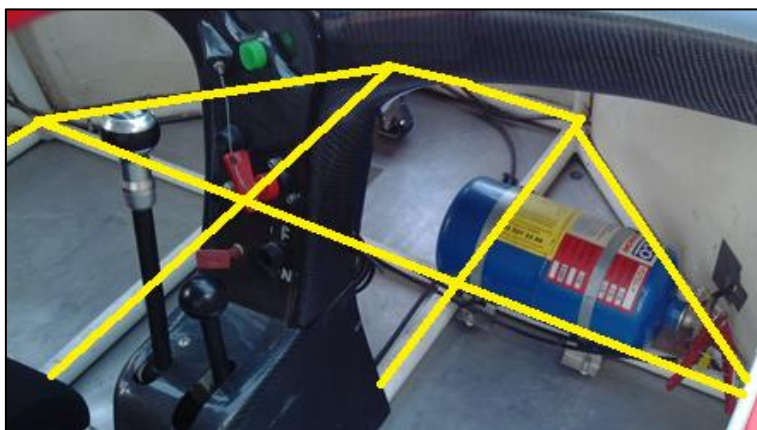


Figura C.21: Estructura fons pla d'un vehicle grup CM

Una vegada comprovats els actuals vehicles grup CM ja podem passar a fer el nostre disseny inicial del fons pla. (Figura C.22)

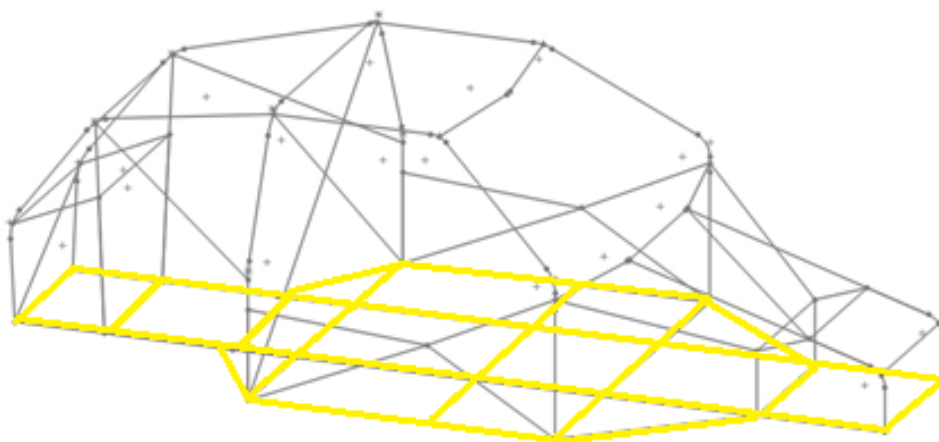


Figura C.22: Estructura fons pla disseny inicial

C.7 Disseny final

Una vegada comprovades les hipòtesis de càrrega que ens exigia la normativa de la R.F.E.de A., com podem veure a l'annex D, passem a crear el disseny final amb uns bons acabats finals que s'han dut a terme mitjançant el programa SolidWorks.

Tal com hem mencionat prèviament, el programa SolidWorks és un programa de dibuix que permet modelar amb sistemes CAD peces i conjunts i extreure'n d'ells tants plans com altres tipus d'informació necessària per la producció.

Una cop realitzades les modificacions pertinents en el disseny inicial ja podem passar a dissenyar el xassís final. Un cop definides les unions, com expliquem a l'annex E, ja podem aconseguir el nostre xassís final.(Figura C.23).

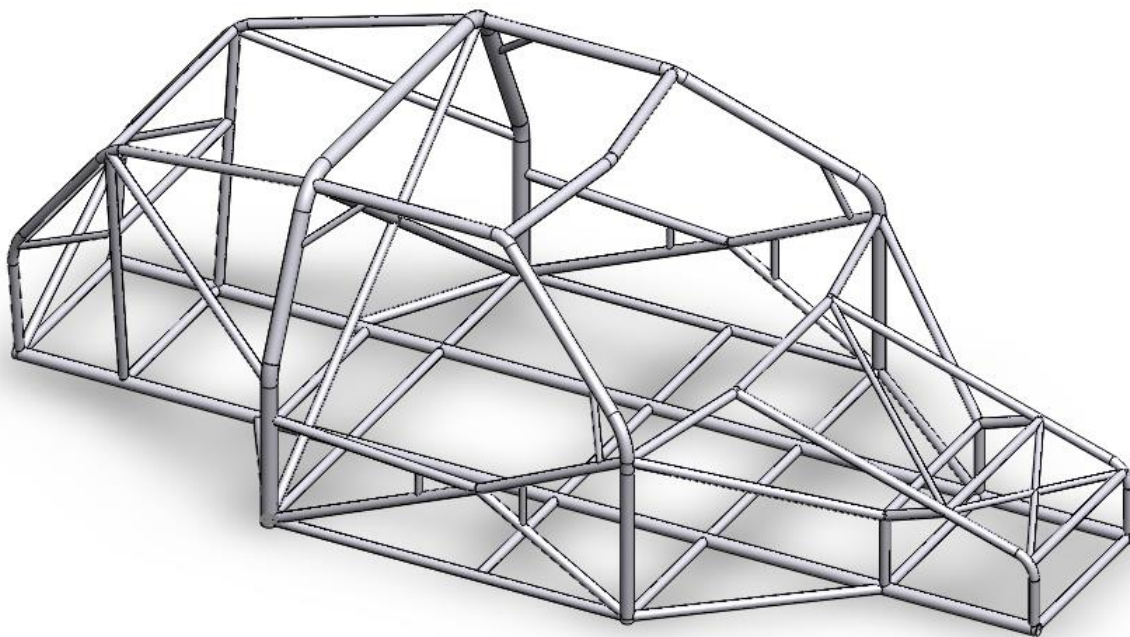


Figura C.23: Disseny del xassís final amb el programa SolidWorks

A la figura inferior (Figura C.24) podem veure amb més claredat els diferents tipus d'elements que conformen el xassís.

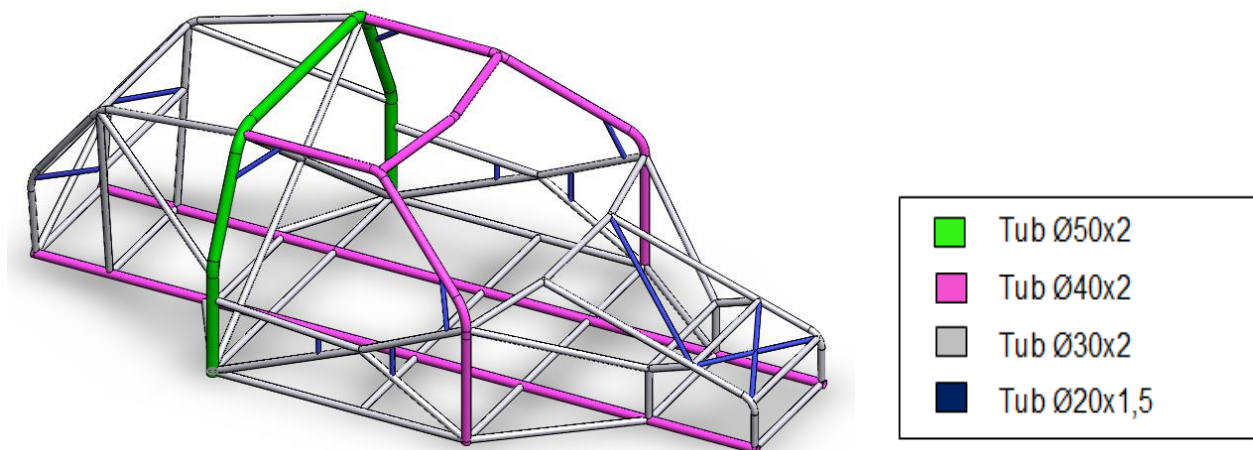


Figura C.24: Disseny final del xassís mostrant els diferents tubs

Els diferents elements que conformen el nostre xassís els podem apreciar a la taula següent (Taula C.1). Hi podem veure també la massa de cada conjunt de tubs i les seves corresponents longituds.

TIPUS TUBS	UNITATS	MASSA UNITARIA	MASSA	LONGITUD
Tub Ø50x2	1	2.37 Kg/m	7.77 Kg	3.28 m
Tub Ø40x2	5	1.87 Kg/m	22.3 Kg	11.925 m
Tub Ø30x2	52	1.38 Kg/m	52.845 Kg	38.3 m
Tub Ø20x1,5	13	0.68 Kg/m	2.775 Kg	4.08 m

Taula C.1: Massa i mida dels tubs del disseny final

ANNEX D: CÀLCULS

D.1 Introducció

En aquest annex farem un estudi, primer de tot, de la distribució de masses del vehicle complet amb els seus elements principals.

Llavors passarem a veure l'apartat d'anàlisi mitjançant el mètode dels elements finits que hem dut a terme amb el programa Ansys. Estudiarem i validarem els valors obtinguts de les hipòtesis de càrrega que ens exigia la R.F.E.de A. del nostre disseny final.

Hem de tenir en compte que el model del xassís que s'ha introduït al programa Ansys era d'un model simplificat. El que no hem pogut tenir en compte a l'hora de fer els càlculs han estat els detalls geomètrics de les diferents unions entre les barres.

Per acabar, veurem quins resultats ens aporta el programa SolidWorks del nostre disseny final ja que, amb el programa SolidWorks sí que hem pogut tenir en compte les diferents unions de les barres. Tot seguit, podem veure una figura amb la posició del centre de gravetat del xassís final (Figura D.1).

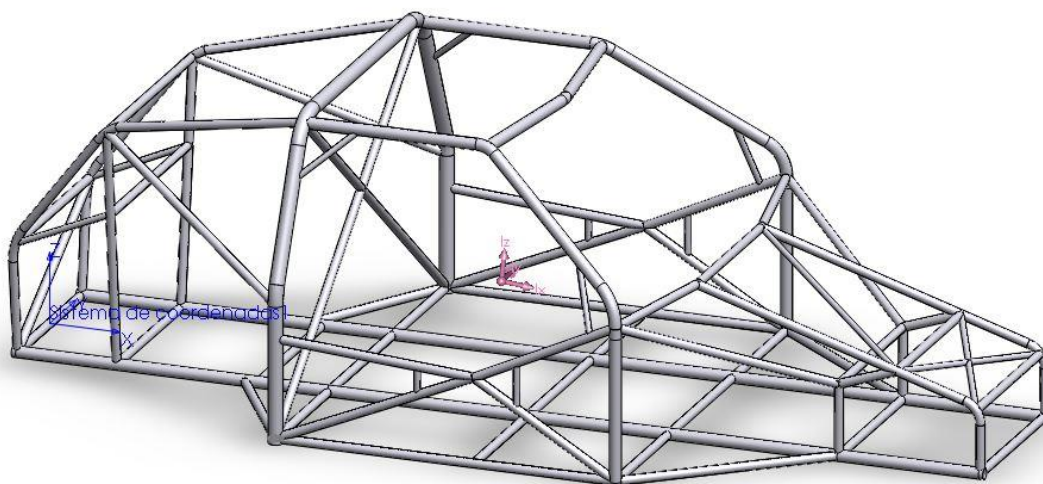


Figura D.1: Representació del centre de gravetat del xassís final

D.2 Distribució de masses

En aquest apartat farem el desglossat de la massa del vehicle per tal de poder introduir el pes dels components més rellevants a la seva posició corresponent.

El càlcul de la distribució de masses l'hem dut a terme de cara a poder fer un anàlisi dinàmic del nostre xassís, però no el tenim en compte ja que no forma part dels objectius d'aquest projecte.

Els apartats que considerem per fer el desglossat de la massa són els següents:

6. Tren davanter
7. Tren posterior
8. Part central
9. Elements part posterior
10. Xassís i carrosseria

Com que el xassís i la carrosseria es troben en cada una de les parts, hem de tenir en compte que els comptabilitzarem a part. Per tant, les diferents zones amb les quals desglossem el nostre vehicle són les següents:

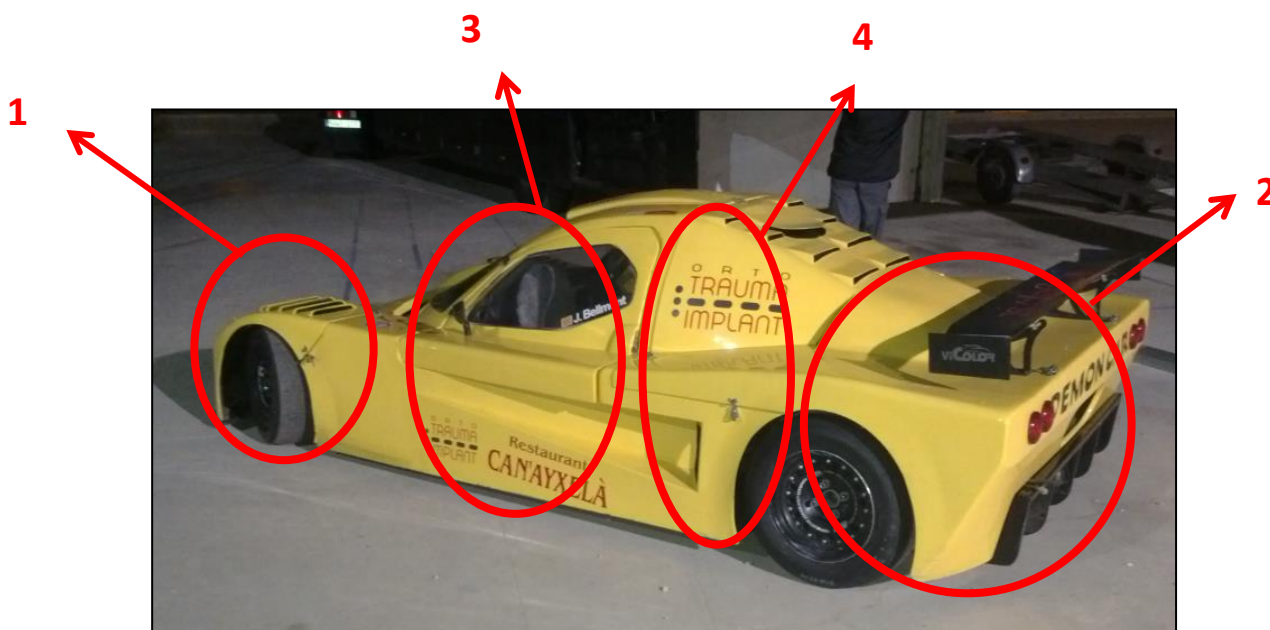


Figura D.2: Representació dels apartats del desglossat de la massa

Un cop definits els apartats ja podem passar a realitzar la taula per a cada apartat amb el desglossat del pes tenint en compte que, només hem valorat els pesos dels elements més rellevants (Taula D.1).

P1: TREN DAVANTER	
DESCRIPCIÓ	PES
Rodes	15 Kg
Eixos	7 Kg
Frens	5 Kg
Sistema suspensió	7 Kg
Direcció	10 Kg
MASSA TOTAL	44 Kg
PERCENTATGE TOTAL	8,5 %

P2: TREN POSTERIOR	
DESCRIPCIÓ	PES
Rodes	20 Kg
Paliers	7 Kg
Frens	5 Kg
Sistema suspensió	12 Kg
PES MASSA	44 Kg
PERCENTATGE TOTAL	8,5 %

P3: PART CENTRAL	
DESCRIPCIÓ	PES
Conductor	75 Kg
Seients	55 Kg
Pedals	5 Kg
Volant	3 Kg
Protecció inferior	8 Kg
Panell de control	14 Kg
MASSA TOTAL	160 Kg
PERCENTATGE TOTAL	30%

P4: ELEMENTS PART POSTERIOR	
DESCRIPCIÓ	PES
Motor i caixa de canvis	90 Kg
Filtre d'aire	3 Kg
Tub d'escapament	10 Kg
Paret antifoc	4 Kg
Dipòsit 20 L.	25 Kg
MASSA TOTAL	132 Kg
PERCENTATGE TOTAL	26%

P5: XASSÍS I CARROSSERIA	
DESCRIPCIÓ	PES
Xassís	85 Kg
Carrosseria	55 Kg
MASSA TOTAL	140 Kg
PERCENTATGE TOTAL	27%

TAULA RESUM		
APARTAT	PES	PERCENTATGE
P1: Tren davanter	44 Kg	8,5 %
P2: Tren posterior	44 Kg	8,5%
P3: Part central	160 Kg	30%
P4: Elements part posterior	132 Kg	26%
P5: Xassís i carrosseria	140 Kg	27%
TOTAL	520 Kg	100%

Taula D.1: Desglossat del pes per a cada apartat

Com podem apreciar, si tenim en compte la massa del pilot la part més pesant del vehicle és la part central. Després es troba l'apartat de xassís i carrosseria amb un 27% de la massa i finalment, els elements de la part posterior.

Ara ja podem passar a fer l'estudi d'on van aplicats els pesos de cada apartat que hem considerat prèviament.

1. Tren davanter:

En el tren davanter considerem que la major part de la massa es pot dividir en vuit punts, que són els quatre punts d'unió entre cada roda i el xassís. Per tant, el pes en cada punt serà de 5.5 Kg (Figura D.3).

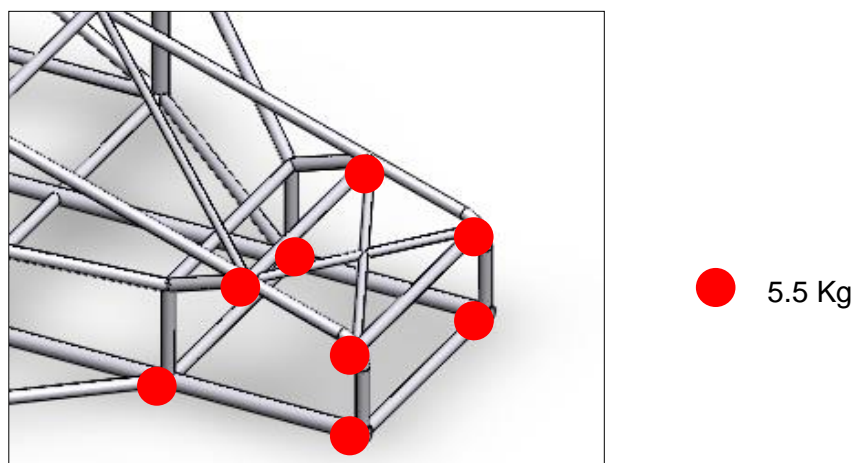


Figura D.3: Representació dels punts d'aplicació del tren davanter

2. Tren posterior:

En aquest apartat considerem que el pes es troba distribuït en deu punts que són quatre entre la unió de cada roda i el xassís i la unió de la suspensió a cada roda. Per tant, tenim cinc unions a cada costat i el seu pes serà de 4.4 Kg (Figura D.4).

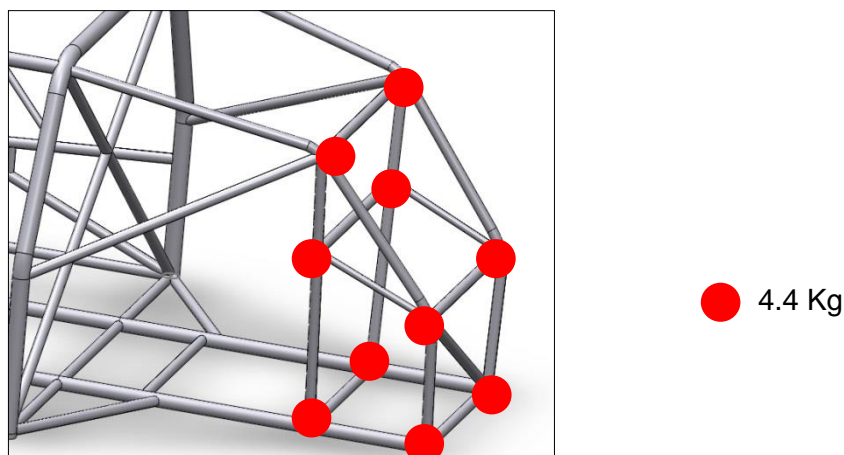


Figura D.4: Representació dels punts d'aplicació del tren posterior

3. Part central:

A la part central del vehicle ens trobem que majoritàriament tot el pes es troba situat a la zona dels seients i per tant, considerem que tenim dos punts on aplicarem aquest pes i que serà de 80 Kg (Figura D.5).

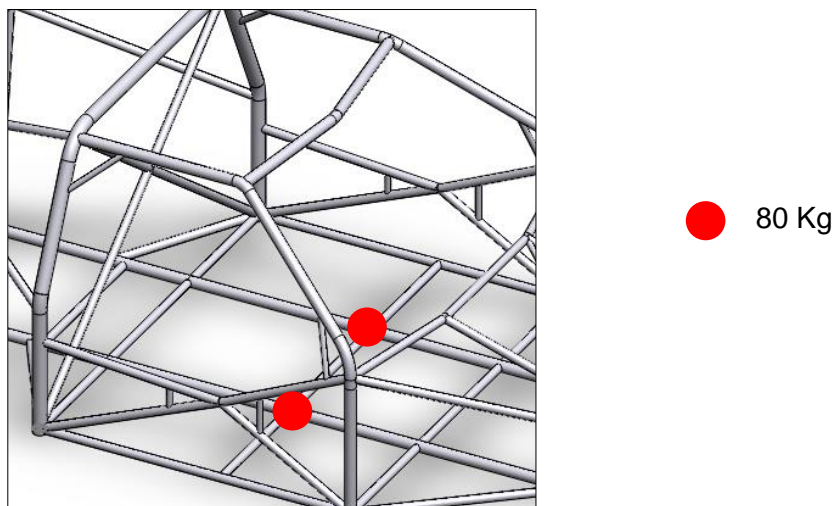


Figura D.5: Representació dels punts d'aplicació del tren posterior

4. Elements part posterior:

Els elements de la part posterior són principalment el motor i els seus complements que els fixarem al xassís mitjançant 4 unions. Per tant, el pes que haurà de suportar cada fixació serà de 33 Kg (Figura D.6).

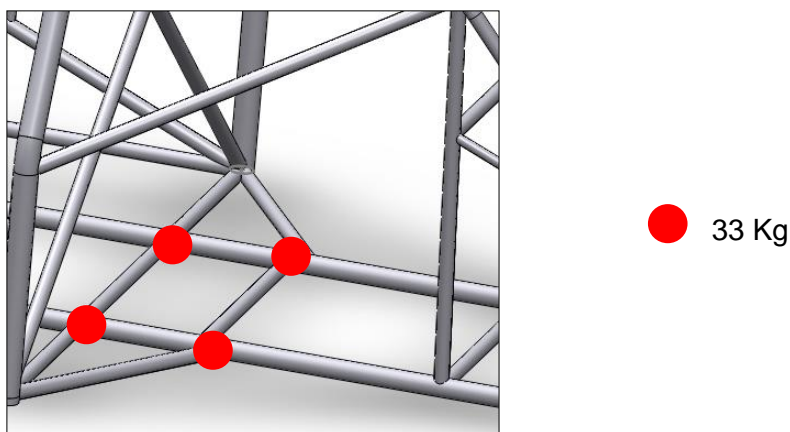


Figura D.6: Representació dels punts d'aplicació dels elements posteriors

5. Xassís i carrosseria:

La massa del xassís la tindrem en la posició del seu centre de gravetat que és una de les informacions que podem extreure tant del programa SolidWorks com de l'Ansys i podem trobar al final d'aquest annex.

La massa de la carrosseria la comptabilitzarem en els punts de fixació de la carrosseria i el xassís, que ho simplifiquem i considerem que són vuit punts: quatre per cada costat del vehicle. El pes que haurà de suportar cada fixació de la carrosseria serà de 6.875 Kg (Figura D.7).

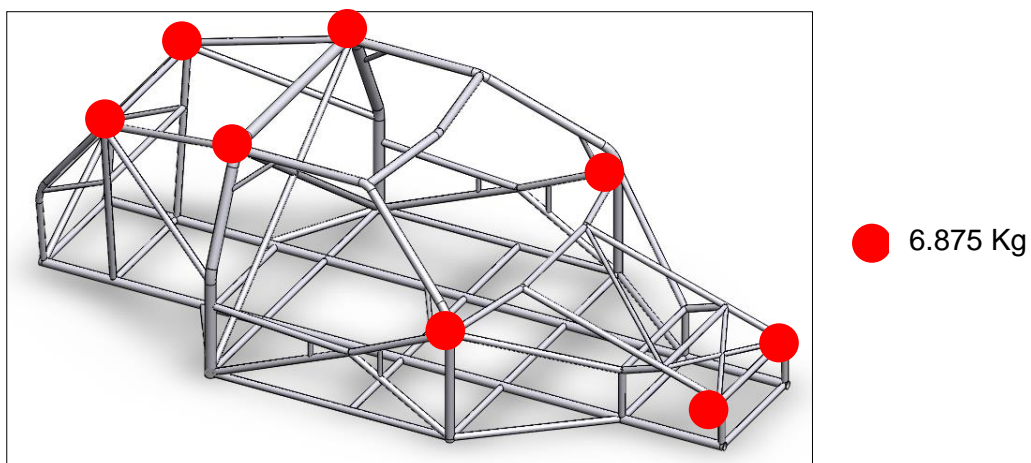


Figura D.7: Representació dels punts d'aplicació de la massa de la carrosseria

D.3 Anàlisi per elements finits

D.3.1 Mètode dels elements finits

El mètode de càlcul emprat en el present projecte ha estat el mètode dels elements finits (MEF). El MEF permet realitzar un model matemàtic de càlcul d'un sistema real determinat de manera fàcil i econòmica. És emprat en el disseny per a nous productes i en la millora dels actuals. Si s'ha de modificar un producte o una estructura existent, es pot fer servir el MEF per tal de qualificar la modificació per a unes noves condicions de servei. En el cas d'error estructural, el MEF ajuda a determinar el disseny de les modificacions per ajustar-se a les noves condicions.

Generalment, en la indústria es fan servir dos tipus d'anàlisi: models en 2D i en 3D. En el model 2D es conserva la simplicitat i es permet que l'anàlisi es realitzi en un ordinador normal, la qual cosa tendeix a donar resultats menys precisos. El modelatge en 3D produeix resultats més precisos però només funciona de manera efectiva en els ordinadors més ràpids. Actualment, les aplicacions industrials de càlcul en tensions i deformacions en sòlids i estructures hi ha dos nivells de càlcul:

- Càlcul lineal: Tant el dinàmic com l'estàtic. S'utilitza principalment en la fase del disseny o projecte, tant per obtenir una utilització eficaç dels material com per assegurar que es compleixin les normatives. Cal destacar però que no es tenen en compte les deformacions plàstiques.
- Càlcul no lineal: per a fer aquest càlcul es necessita una major formació de l'analista i una infraestructura més complexa. Aquest tipus de càlcul té en compte les deformacions plàstiques i en alguns casos, és capaç de testejar el material fins a la fractura).

D.3.1.1 Història

El MEF va aparèixer en el món de l'enginyeria pràctica en la dècada dels seixanta i avui en dia s'ha convertit en una eina indispensable en quasi totes les branques de l'enginyeria.

L'anàlisi dels elements finits des d'un enfoc matemàtic va ser desenvolupat l'any 1943 per Courant, el qual utilitzava interpolacions polinomials sobre regions triangulars per a la solució de problemes relacionats amb la torsió.

A mitjans dels anys 50 van començar a aparèixer els resultats producte de l'esforç dedicat a resoldre problemes continus d'elasticitat amb l'ús de petits elements per descriure el comportament d'una barra elàstica. El progrés d'aquests mètodes va continuar al llarg d'aquesta dècada i el 1956 va sorgir el nom de mètode dels elements finits fonamentalment en una publicació de Clough, Turner, Martin i Topp. Van introduir l'aplicació d'elements finits simples a l'anàlisi d'estructures aeronàutiques.

El 1976 Belytschko va considerar problemes amb grans deformacions, comportament dinàmic no lineal i va millorar les tècniques numèriques per la solució de sistemes d'equacions, el que va significar un gran avanç per l'aplicació del mètode. El ràpid i evolutiu món de la computació va impulsar a diferents companyies de software a desenvolupar programes per l'aplicació d'aquest mètode, ja que el MEF havia traspassat la barrera de l'anàlisi estructural i s'havia adequat per una infinitat d'aplicacions i branques d'estudi, que van des de l'enginyeria d'aliments, passant per l'enginyeria mecànica, l'enginyeria aeroespacial, fins arribar a la simulació de sistemes atmosfèrics i predicció de l'estat del temps.

D.3.1.2 Conceptes generals del MEF

El MEF és un mètode numèric de resolució d'equacions diferencials. La idea general del MEF és la divisió d'un continu en un conjunt d'elements petits interconnectats per una sèrie de punts anomenats nodes, els quals creen una xarxa anomenada malla. Aquesta malla està programada per contenir el material i les propietats de l'estructura que defineixen com reaccionarà davant certes condicions de càrrega (Figura D.8).

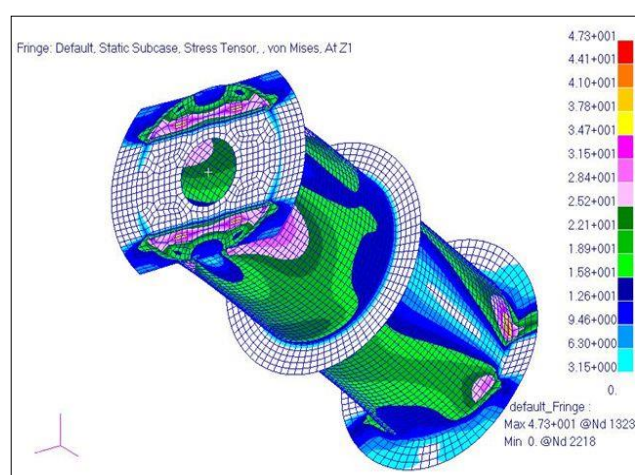


Figura D.8: Representació del mallat en MEF

Els passos a seguir en l'anàlisi d'estructures mitjançant el mètode dels desplaçaments a través del MEF són:

- I. L'element es divideix, mitjançant línies o superfícies imaginàries en un nombre d'elements finits. Aquesta part del procés es desenvolupa habitualment mitjançant algorismes incorporats a programes informàtics de mallat durant l'etapa de preprocés.
- II. Els elements estan connectats entre si mitjançant un nombre discret de punts o nodes situats en els seus contorns. Els desplaçaments d'aquests nodes seran les incògnites fonamentals del problema.
- III. S'agafa un conjunt de funcions que defineixin de manera única el camp de desplaçaments dins de cada element finit en funció dels desplaçaments nodals de l'element. Per exemple, el camp de desplaçaments dins d'un element lineal de dos nodes podria venir definit per: $u = N1.u1 + N2.u2$, sent $N1$ i $N2$ les funcions (de forma) i $u1$ i $u2$ els desplaçaments en el node 1 i en el node 2.
- IV. Aquestes funcions de desplaçaments definiran llavors de manera única l'estat de deformació de l'element en funció dels desplaçaments nodals. Aquestes deformacions, juntament amb les propietats constitutives del material, definiran al seu torn l'estat de tensions en tot l'element, i per tant en els seus contorns.
- V. Es determina un sistema de forces concentrades en els nodes, tal que equilibri les tensions en el contorn i qualssevol càrregues repartides, resultant així una relació entre forces i desplaçaments de la forma $F = ku$, que com veiem és similar a la del càlcul matricial.
- VI. La resolució del sistema anterior permet obtenir els desplaçaments en els nodes i amb ells definir de manera aproximada el camp de desplaçaments en l'element finit.
- VII. A l'etapa de postprocés es presenten els resultats, generalment de forma gràfica per analitzar.

D.3.2 Suport informàtic

El programari utilitzat a l'hora de realitzar l'anàlisi del xassís presentat en aquest apartat ha estat el programa *Ansys*. Passem a estudiar-lo més detalladament i veure quines són les seves principals característiques.

D.3.2.1 Ansys

ANSYS³ és un programari que ajuda a trobar solucions a problemes d'enginyeria a través de la teoria dels elements finits i dels volums finits per a estructures i fluids, respectivament.

ANSYS s'utilitza principalment per a la realització de càlculs estàtics i per a la resolució de problemes lineals i no lineals per a estructures, transferència de calor, dinàmica de fluids, problemes acústics i electromagnètics.

El que permet fer aquest programari és simular els assaigs o les condicions de treball i també permet provar els prototips de productes de fabricació en un entorn virtuals abans de dur-ho a terme a la realitat. D'altra banda, també fa possible la determinació i la millora dels punts febles, el càlcul de la vida i la previsió de probables problemes mitjançant simulacions 3D en un entorn virtual.

ANSYS pot importar dades CAD i també permet la construcció d'una geometria amb les habilitats preprocessament. De la mateixa manera, en el mateix preprocessador, es genera un model d'elements finits que es requereix per al càlcul. Després de definir les càrregues i la realització dels anàlisis, els resultats es poden veure tant de manera numèrica com gràfica.

³ ANSYS, Inc. va ser fundada el 1970 (Swanson Analysis Systems, Inc.).

En general doncs, ANSYS pot dur a terme anàlisis d'enginyeria avançada de manera ràpida, segura i pràctica gràcies al seu contacte amb una varietat d'algorismes (Figura D.9).

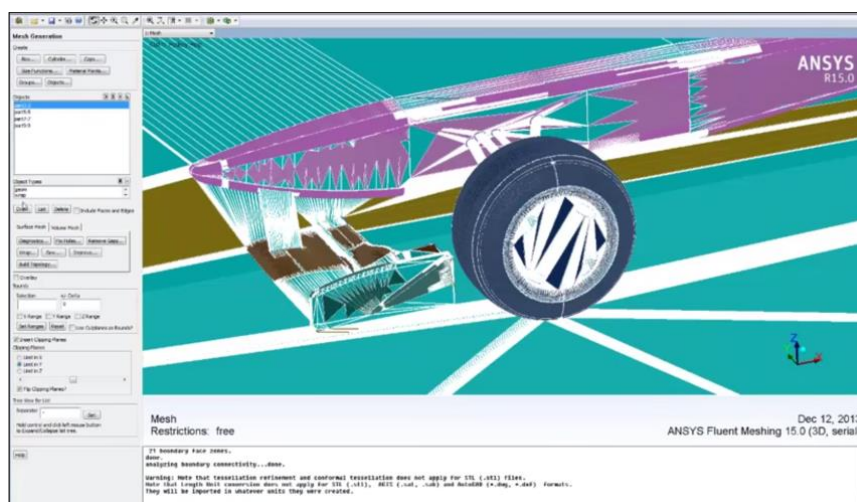


Figura D.9: Representació del frontal d'un vehicle mitjançant el programa Ansys (Font: <http://www.ansys.com>)

D.3.3 Normativa de l'anàlisi del xassís

En aquest apartat ens centrarem en definir les condicions generals del nostre anàlisi per tot seguit poder passar a realitzar la nostra anàlisi.

Cal remarcar que hem de tenir en compte que a la *Normativa de homologación de estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.*, concretament a l'article 11.2(homologació de l'estructura de seguretat), ens determina un seguit de proves que el nostre vehicle ha de complir per poder ser homologat.

Aquestes proves que ens imposa la normativa són uns esforços que han sigut considerats els més desfavorables possible en cas de col·lisió per la *R.F.E. de A.*, per tant, podrem detectar quins són els punts més dèbils de la nostra estructura en cada cas.

Les proves de càrrega que haurà de superar el nostre xassís són les següents:

- d) 2 vegades el seu pes lateralment (2P).
- e) 6 vegades el seu pes longitudinalment en ambdós sentits (6P).
- f) 8 vegades el seu pes verticalment (8P).

La normativa ens especifica també que la massa mínima que pot fer el nostre vehicle és de 445Kg i per tant, el considerarem com la massa del nostre vehicle atès que, és un factor molt important en aquest tipus de competicions.

En aquest estudi s'ha de tenir en compte que P s'haurà d'augmentar en 75 Kg. A partir d'aquí, ja podem saber quina serà la nostra P.

$$P(Kg) = 445Kg + 75Kg = 520 Kg$$

Si ho passem a Newtons (N) podrem saber quina és la força que fa el nostre vehicle.

$$P(N) = 520Kg \cdot 9,81 \frac{m}{s^2} = 5101,2 N$$

Un cop determinat quin és el seu pes, podem passar a comprovar quins són els valors que ens aporta la normativa per saber si el nostre vehicle podrà ser homologat. La normativa ens anuncia que en la totalitat de l'estructura no hi podrà haver ruptura ni deformació plàstica superior als següents valors en funció de les sollicitacions de càrrega:

Cas A) 50mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

CAS B) 100mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

CAS C) 50 mm, mesurats sota la càrrega, a l'eix d'aplicació de la càrrega.

Per tant com ja hem explicat el xassís ha de suportar les següents hipòtesis de càrrega (Figura D.10):

6. Impacte dret amb una càrrega de 2P
7. Impacte esquerra amb una càrrega de 2P
8. Impacte frontal amb una càrrega de 6P
9. Impacte posterior amb una càrrega de 6P
10. Impacte superior amb una càrrega de 8P

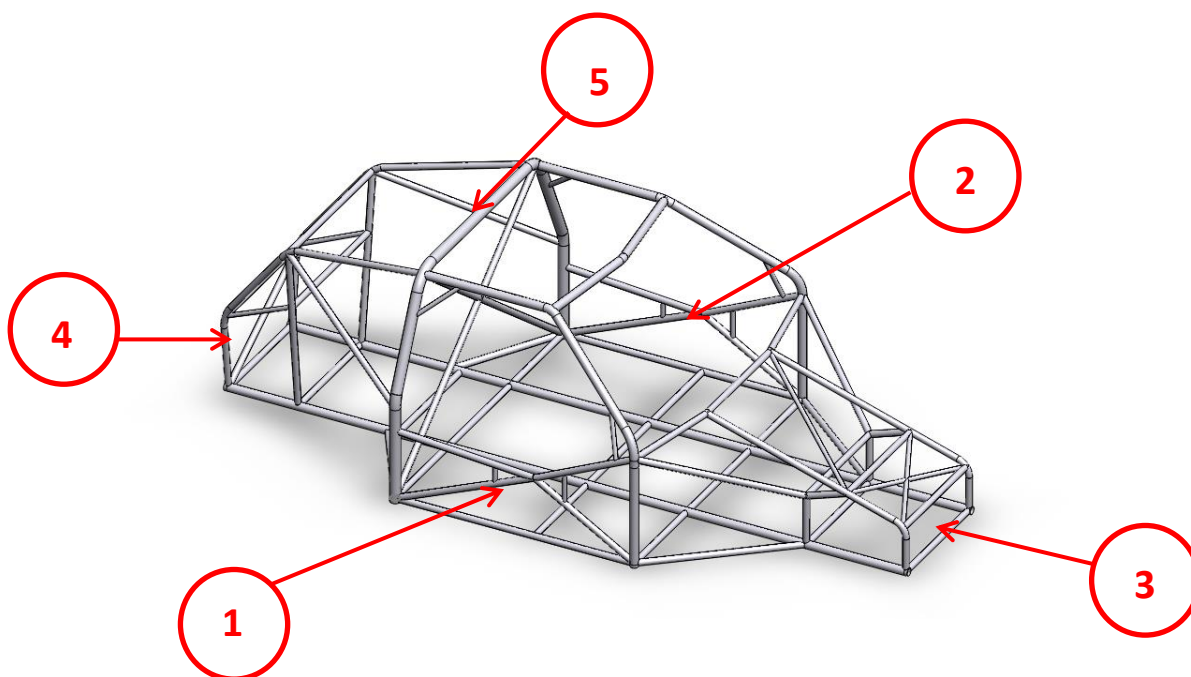


Figura D.10: Representació de les diferents hipòtesis de càrrega

Com podem veure a la figura D.10, considerem que la part esquerra del vehicle és la que es troba a la mà esquerra del conductor.

D.3.4 Condicions generals de les hipòtesis de càlcul

Un cop determinades les diferents hipòtesis de càlcul podem passar a veure les diferents consideracions que hem tingut en compte a l'hora de fer la resolució amb el programa Ansys.

Com que considerem que no es sobrepassa el límit elàstic del material, que és de 470MPa, i que tampoc tenim contacte amb els elements que formen el xassís, podem utilitzar un mètode de càlcul lineal per a l'anàlisi de l'estructura.

Hem de tenir en compte que amb el programa de càlcul Ansys no s'han tingut en compte les unions de les barres en els diferents vèrtexs perquè considerem que la plasticitat de les unions no afecta a la rigidesa del vehicle. D'aquesta manera, el resultat obtingut no serà el cent per cent precís respecte a una prova feta amb el xassís real però, els resultats seran molt propers a la realitat i per tant considerem que són correctes.

Com a consideració a l'hora d'anar a fer el càlcul també hem de tenir en compte que el disseny del xassís que s'ha introduït en el programa Ansys és d'un model simplificat per facilitar el càlcul del programa. La simplificació que hem fet en el model ha estat canviar les corbes dels elements per unions de tubs rectes i d'aquesta manera, podem obtenir un resultat molt proper al real.

Farem el càlcul de les hipòtesis considerant unes càrregues i punts de fixació aplicats en uns determinats punts. Aquest mètode de càlcul es podria dur a terme mitjançant unes pinces que fixessin el xassís per uns determinats punts i llavors, uns pistons que apliquessin la càrrega desitjada. La informació més rellevant que utilitzarem en cada hipòtesis serà la deformació màxima soferta i la tensió màxima de Von Mises per comparar-la amb el límit elàstic del material.

D.3.5 Definició de la geometria a MEF

En aquest apartat estudiarem els punts, línies i tipus de tubs que hem introduït en el programa Ansys per definir la geometria i la manera com ho hem fet.

Cal tenir en compte que a l'hora d'introduir els valors i operacions en el programa Ansys, que hem utilitzat per analitzar les hipòtesis, ho hem fet mitjançant el codi APDL. D'aquesta manera, podem agilitzar molt l'anàlisi de les hipòtesis i també ens permet fer modificacions en el nostre model més fàcilment i ràpidament.

Els punts que hem introduït per poder crear el nostre xassís virtual són els següents (Figura D.11):

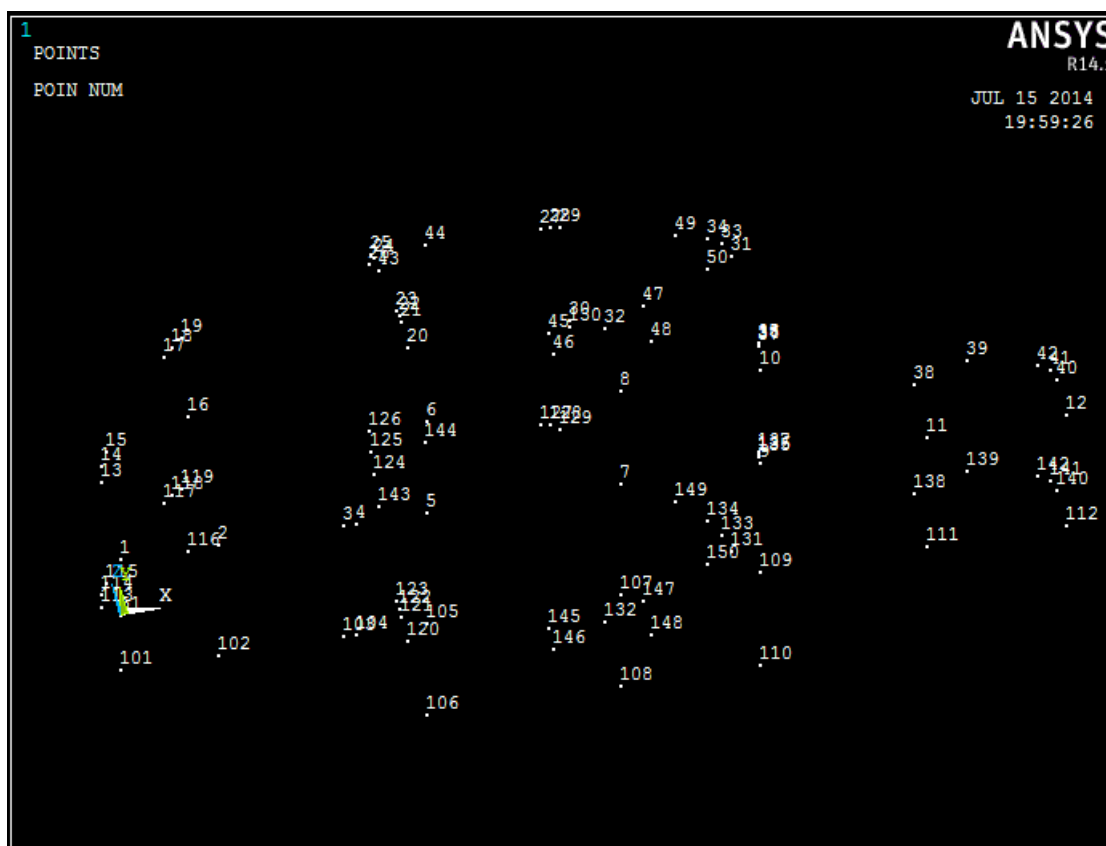


Figura D.11: Representació dels punts del xassís final

Un cop definits els punts en el nostre model, mitjançant les línies de codi APDL, podem passar a definir les línies que connecten els diferents punts (Figura D.12).

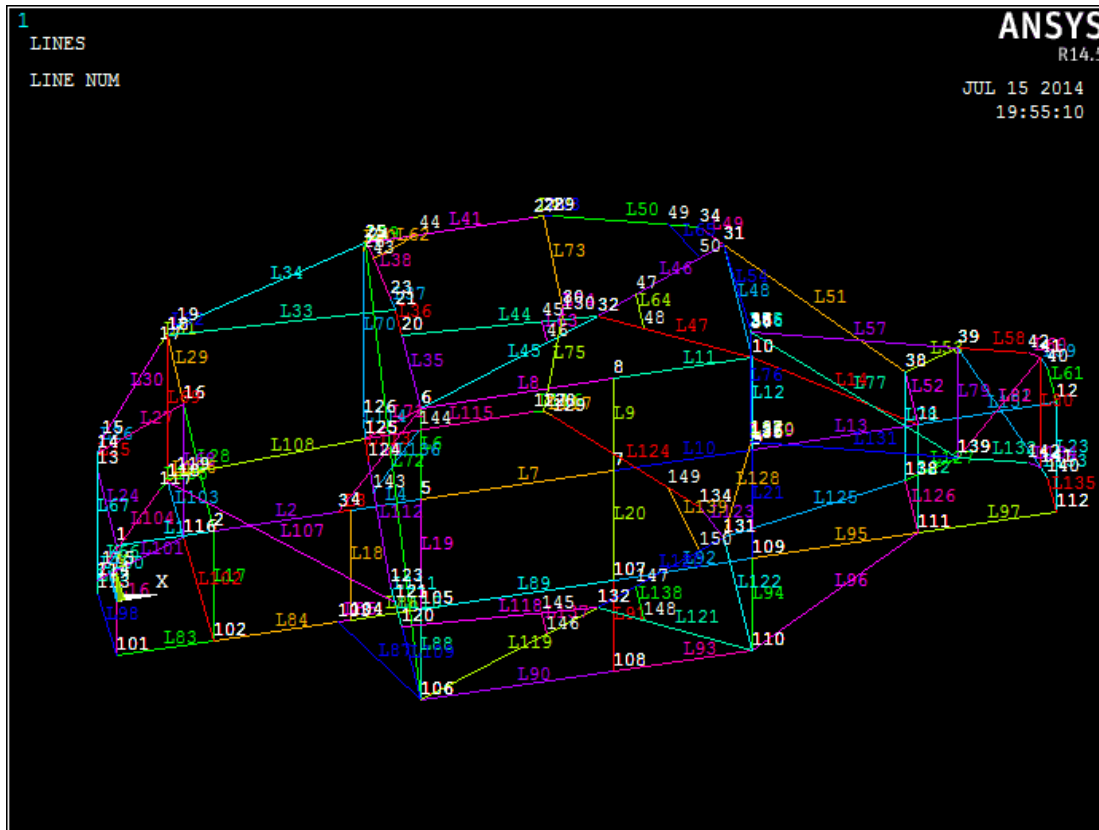


Figura D.12: Representació de les línies del xassís final

Hem enumerat tant les línies com els punts perquè d'aquesta manera, si tenim algun error en el procés, el programa ens dirà en quin punt. També si volem fer modificacions en el disseny ho podem fer molt més ràpid perquè cada tub està enumerat.

Seguidament passem a definir els tubs que utilitzarem i també introduïm les característiques del material escollit (Figura D.13).

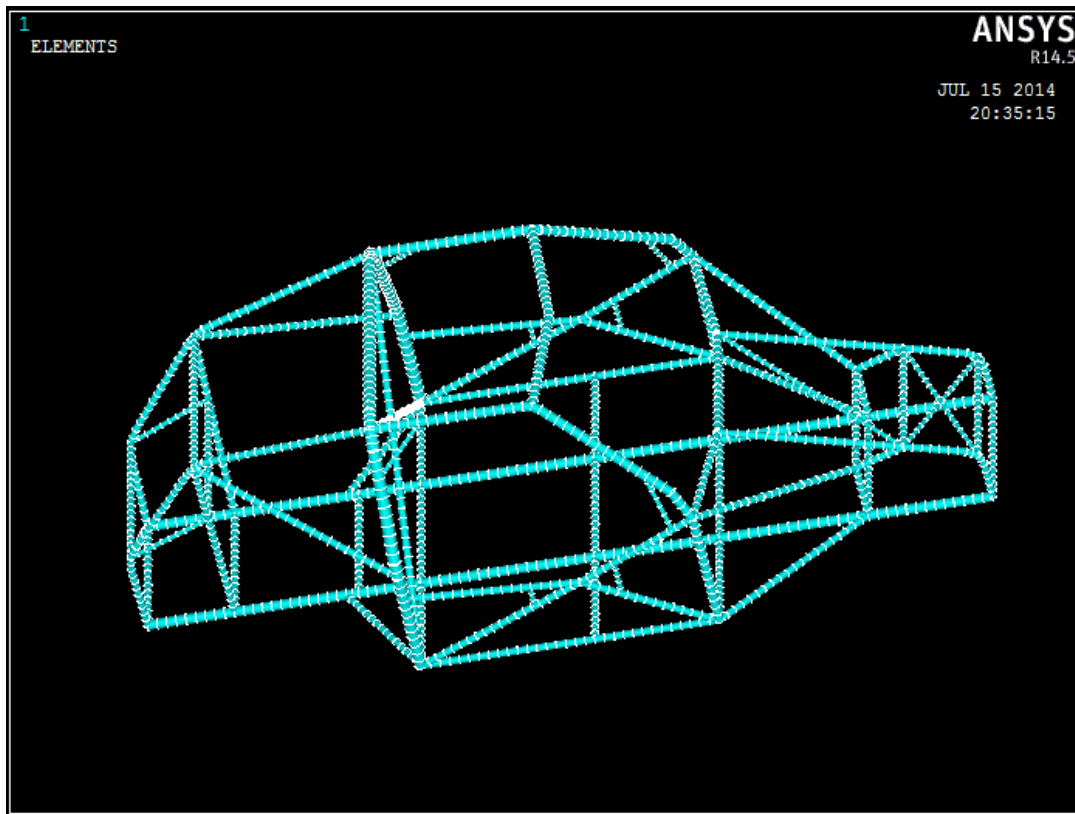


Figura D.13: Representació dels tubs del xassís final

D.3.6 Anàlisi dels diferents estats de càrrega

D.3.6.1 Impacte dret amb una càrrega de 2P

En aquesta hipòtesis aplicarem una càrrega lateral de valor 2P, on P és el pes del vehicle a la part dreta. D'aquesta manera, simularem les condicions més desfavorables d'una col·lisió per la banda dreta del vehicle. Tenint en compte que P és de 5101,2N ja podem saber la càrrega que haurem d'aplicar.

$$2P = 2 * 5101,2 N = 10202,4N$$

Com a conseqüència que l'impacte frontal no es dona només en un únic punt de l'estructura, sinó en tota la cara dreta, dividirem la força de 2P en els 4 vèrtexs laterals del nostre xassís.

$$\frac{2P}{4} = \frac{10202,4N}{4} = 2550,6 N \approx \mathbf{2551 N}$$

Hem de tenir en compte en aquesta hipòtesis que els vèrtexs que fixarem del nostre xassís seran els dels eixos de les rodes i del sistema de suspensió de tot el costat esquerra i, també fixarem el moviment en l'eix x i z del sistema de suspensió del costat dret (Figura D.14).

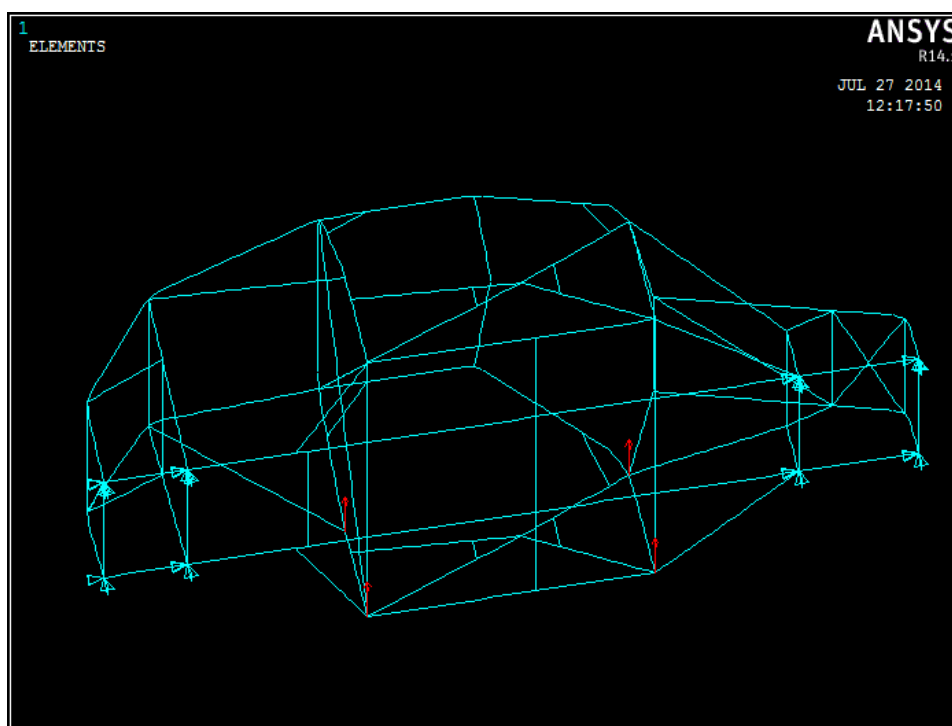


Figura D.14: Representació de les condicions de contorn

Una vegada definides les condicions de contorn ja podem passar a mostrar les representacions gràfiques dels desplaçaments soferts i de les tensions de Von Mises de la hipòtesis d'una càrrega aplicada a la part dreta del vehicle.

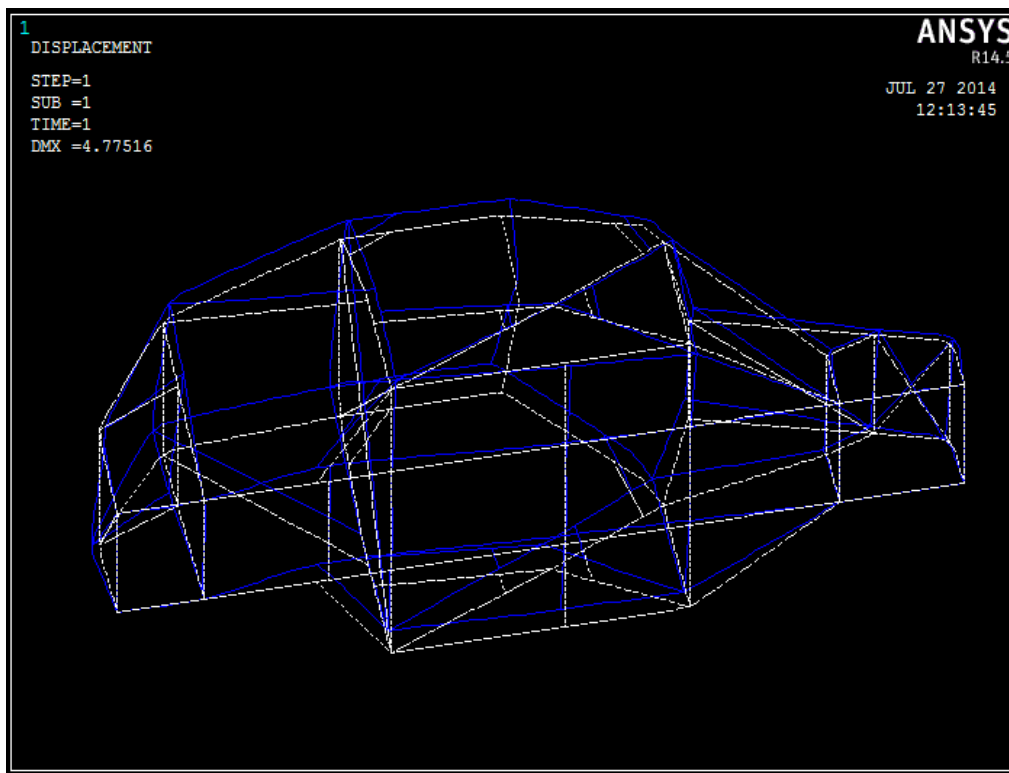


Figura D.15: Representació de la deformació en un impacte pel lateral dret

Com podem veure a la figura D.15, els punts on la deformació és màxima són els punts en els quals s'ha aplicat la càrrega, que en aquest cas és de 2551N en els quatre punts del lateral dret.

També podem observar com el desplaçament és nul en els diferents punts de fixació, tal com esperàvem, ja que són els que hem considerat encastats a l'hora de fer el càlcul amb l'Ansys.

El valor de la deformació màxima que tenim en aquesta hipòtesis és de 4,77 mm i per tant podem considerar que complim àmpliament amb les exigències que ens imposava la R.F.E.de A. per poder homologar el vehicle.

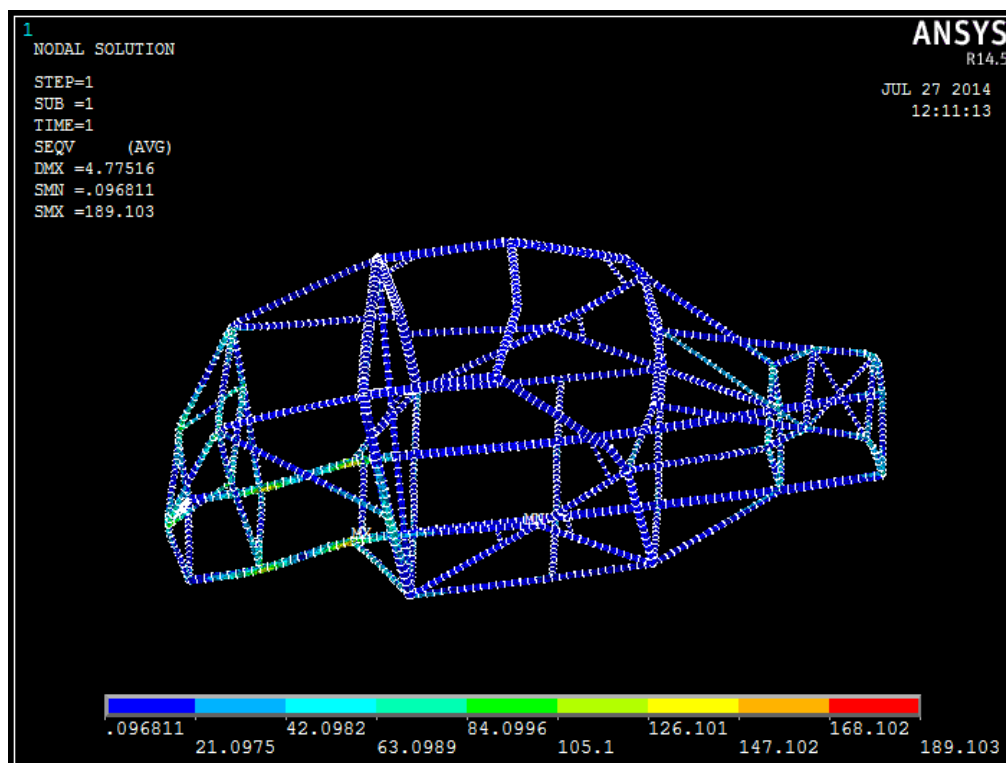


Figura D.16: Representació de Von Mises en un impacte pel lateral dret

La tensió màxima, com podem veure a la figura D.16, es troba en els tubs inferiors, en el punt on hi ha la unió entre els punts de fixació posteriors i el lateral del vehicle, que és allà on hem aplicat la càrrega.

Com podem apreciar també, els punts on la tensió és màxima es marquen amb color vermell, però a la figura no es pot apreciar perfectament perquè només es dona en uns punts molt reduïts.

La tensió màxima de Von Mises és de 189 MPa i per tant, no sobrepassem el límit elàstic del material que és de 470 MPa.

Un altre estudi que podem fer per distingir si les barres estan comprimides o traccionades és el següent estudi (Figura D.17), ja que el diagrama de Von Misses no ens proporciona aquesta informació.

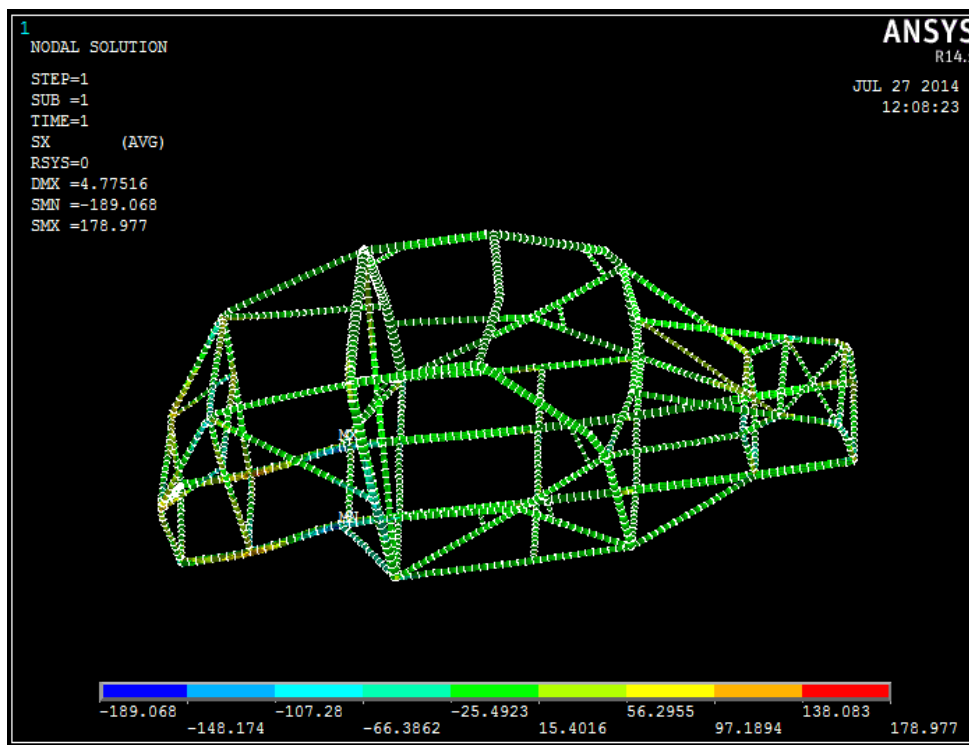


Figura D.17: Representació de la compressió i tracció

Com veiem els punt més crítics, que hem detectat amb Von Misses, es troben comprimits. També podem veure com la part final dels tubs inferiors es troba traccionada amb un valor de 179 MPa, aquest valor de tensió és molt proper al valor de tensió màxima i per tant també els haurem de tenir en compte.

D.3.6.2 Impacte esquerra amb una càrrega de 2P

En aquesta hipòtesis aplicarem una càrrega lateral de valor 2P a la part esquerra del vehicle. D'aquesta manera simularem les condicions més desfavorables d'una col·lisió per la banda esquerra del vehicle. Tenint en compte que P és de 5101,2N ja podem saber la càrrega que haurem d'aplicar.

$$2P = 2 * 5101,2 N = 10202,4N$$

Com que l'impacte frontal no es dona només en un únic punt de l'estructura sinó en tota la cara esquerra, dividirem la força de 2P en els 4 vèrtexs laterals del nostre xassís.

$$\frac{2P}{4} = \frac{10202,4N}{4} = 2550,6 N \approx \mathbf{2551 N}$$

Hem de tenir en compte en aquesta hipòtesis que els vèrtexs que fixarem del nostre xassís seran els dels eixos de les rodes i del sistema de suspensió de tot el costat dret i també fixarem el moviment en l'eix x i z del sistema de suspensió del costat esquerra (Figura D.18).

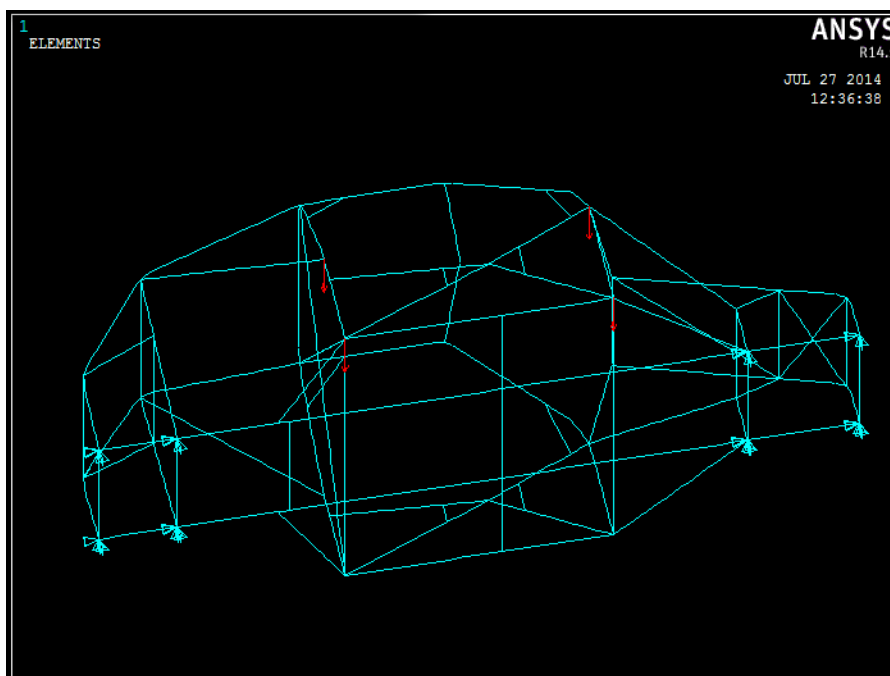


Figura D.18: Representació de les condicions de contorn

Una vegada clares les condicions de contorn ja podem passar a mostrar les representacions gràfiques dels desplaçaments soferts i de les tensions de Von Misses de la hipòtesis d'una càrrega aplicada a la part esquerra del vehicle.

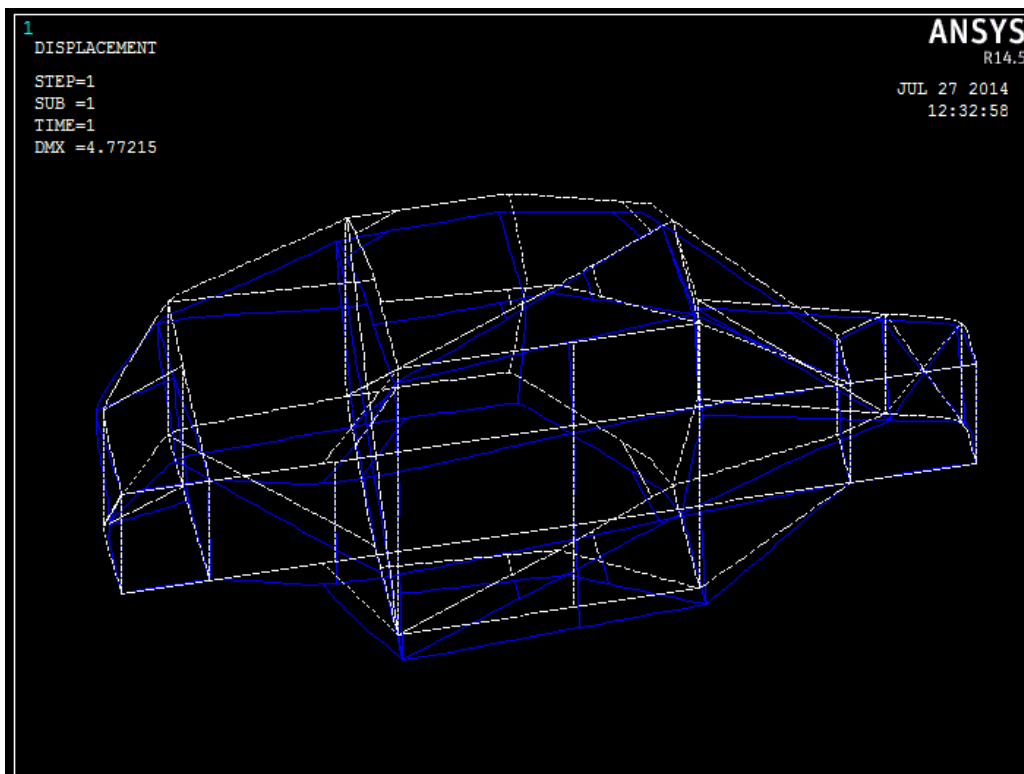


Figura D.19: Representació de la deformació en un impacte pel lateral esquerra

Com podem veure a la figura D.19, els punts on la deformació és màxima són els punts on s'ha aplicat la càrrega, que en aquest cas és de 2551N en els quatre punts del lateral esquerra.

També podem observar com el desplaçament és nul en els diferents punts de fixació, tal com esperàvem ja que, són els que hem considerat encastats a l'hora de fer el càlcul amb l'Ansys.

El valor de la deformació màxima que tenim en aquesta hipòtesis és de 4,77 mm i per tant podem considerar que complim àmpliament amb les exigències que ens imposava la R.F.E.de A. per poder homologar el vehicle.

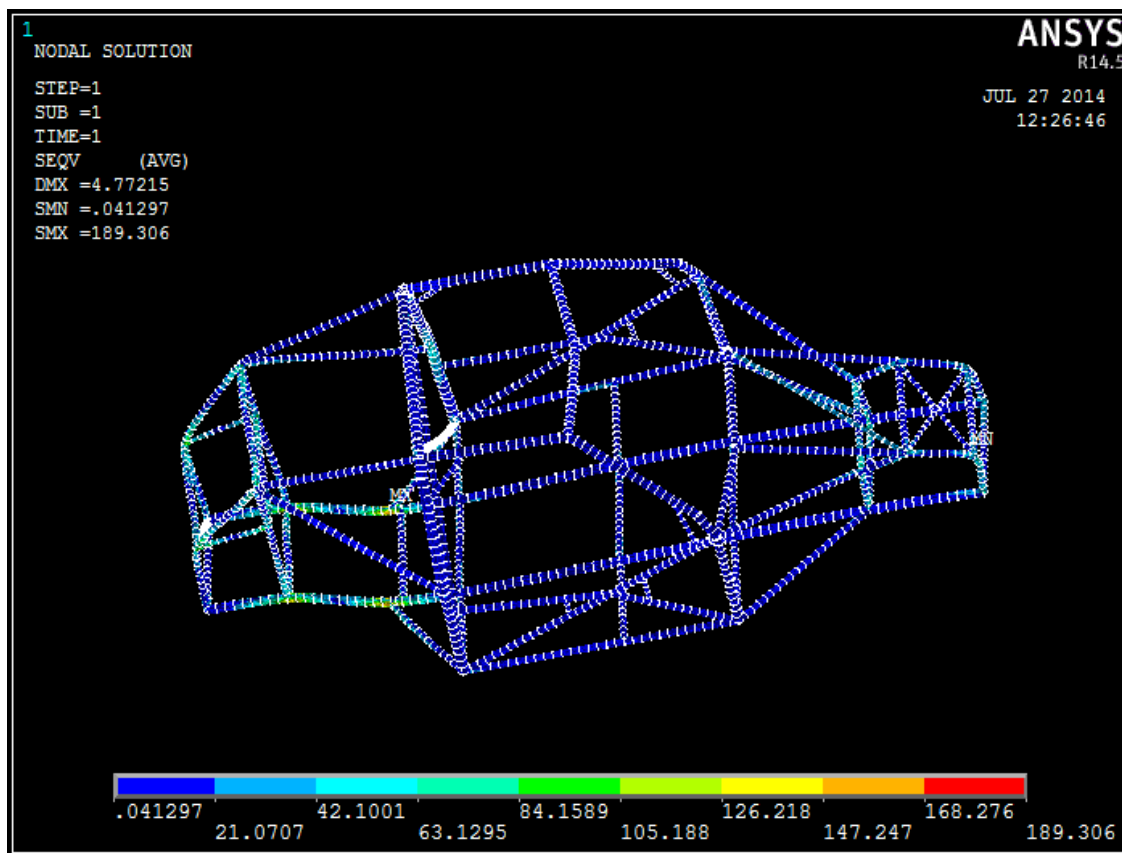


Figura D.20: Representació de Von Misses en un impacte pel lateral esquerra

La tensió màxima, com podem veure a la figura D.20 ,es troba en els tubs inferiors, en el punt on hi ha la unió entre els punts de fixació posteriors i el lateral del vehicle on hem aplicat la càrrega.

Com podem veure també, els punts on la tensió és màxima es marquen amb color vermell però, en aquest cas no es pot apreciar perfectament perquè només és dona en uns punts molt reduïts.

La tensió màxima de Von Misses és de 189 MPa i per tant no sobrepassem el límit elàstic del material que és de 470 MPa.

Com que el diagrama de Von Mises no ens proporciona la informació de si les barres estan comprimides o traccionades es pot fer servir un altre estudi, amb el qual ens permet determinar-ho (Figura D.21).

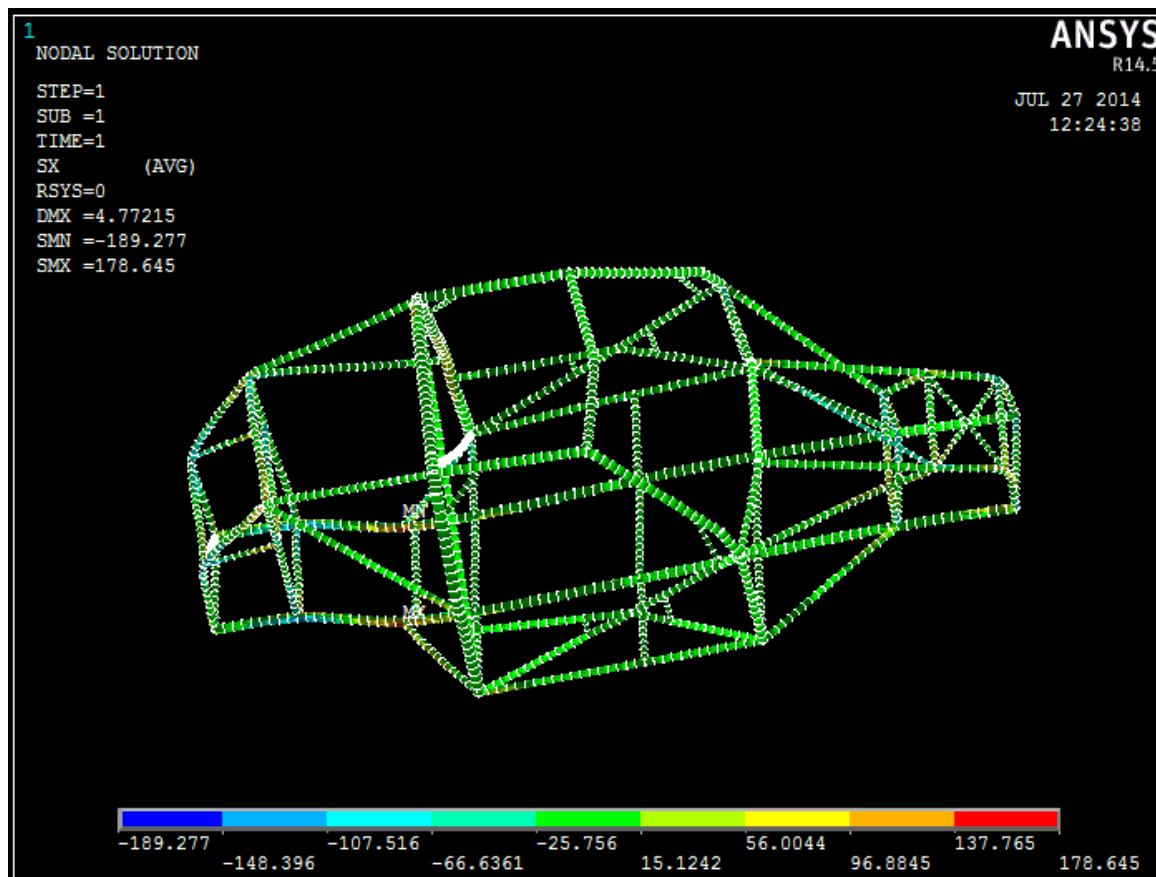


Figura D.21: Representació de la compressió i tracció

Com veiem, els punts més crítics que hem detectat amb Von Mises es troben traccionats. També podem veure com la part final dels tubs inferiors es troba comprimida amb un valor de 179 MPa. Aquest valor de tensió és molt proper al valor de tensió màxima i per tant, també els haurem de tenir en compte.

Com veiem en els resultats que hem obtingut en aquesta hipòtesis i en l'anterior són molt iguals ja que, el disseny del nostre xassís és pràcticament simètric respecte l'eix longitudinal.

D.3.6.3 Impacte frontal amb una càrrega de 6P

En aquesta hipòtesis aplicarem una càrrega lateral de valor 6P, on P és el pes del vehicle, a la part frontal del vehicle. D'aquesta manera simularem les condicions més desfavorables d'un impacte frontal. Tenint en compte que P és de 5101,2N ja podem saber la càrrega que haurem d'aplicar.

$$6P = 6 * 5101,2 N = 30607,2 N$$

Com que l'impacte frontal no es dona només en un únic punt de l'estructura sinó en tota la cara frontal, dividirem la força de 6P en els 4 vèrtexs frontals del nostre xassís.

$$\frac{6P}{4} = \frac{30607,2N}{4} = 7651,8 N \approx 7652 N$$

També hem de tenir en compte que en aquesta hipòtesis que els vèrtexs que fixarem seran els dels eixos de les rodes i els del sistema de suspensió posterior (Figura D.22).

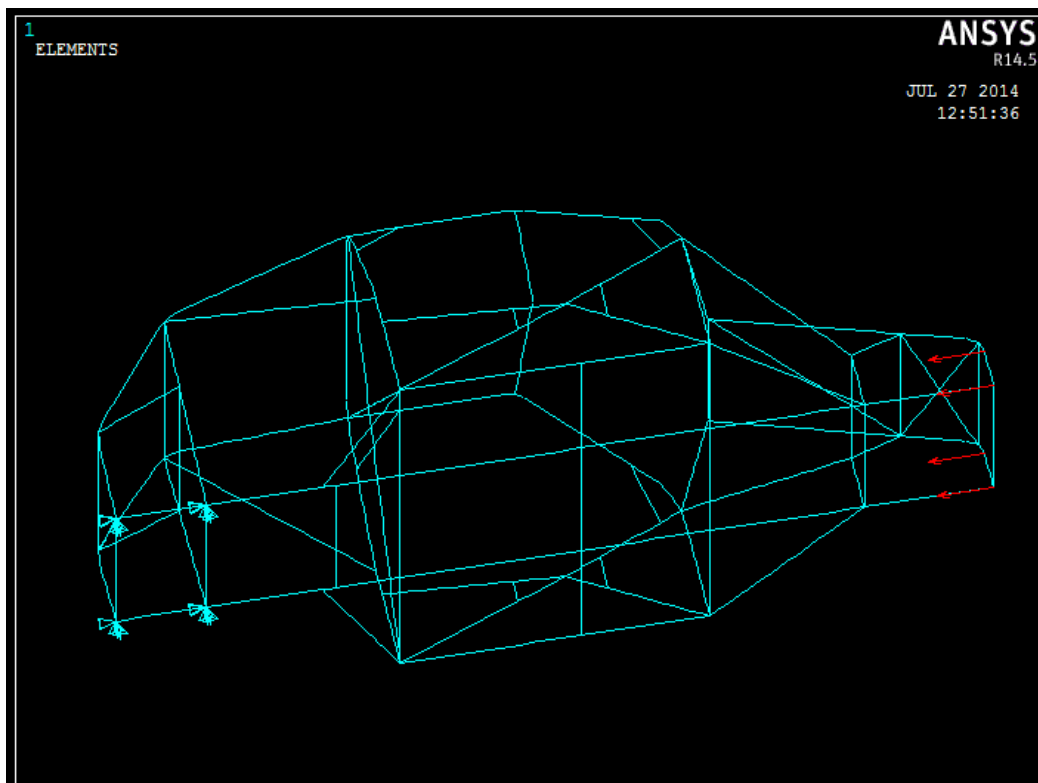


Figura D.22: Representació de les condicions de contorn

Una vegada clares les condicions de contorn ja podem passar a mostrar les representacions gràfiques dels desplaçaments soferts i de les tensions de Von Misses de la hipòtesis d'una càrrega aplicada a la part frontal del vehicle.

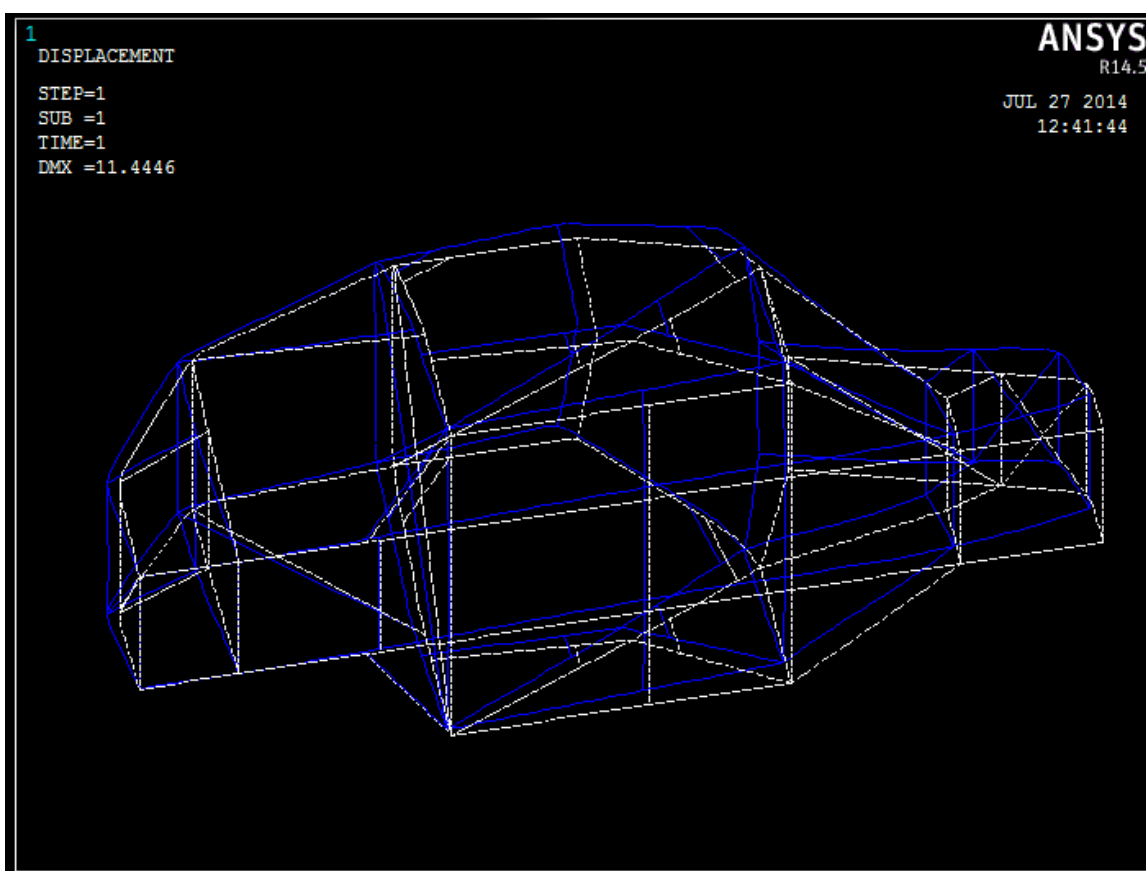


Figura D.23: Representació de la deformació en un impacte frontal

Com podem veure a la figura D.23 els punts on la deformació és màxima són els punts on s'ha aplicat la càrrega, que en aquest cas és de 7652N en els quatre punts de la part frontal.

També podem observar com el desplaçament és nul en els diferents punts de fixació, tal com esperàvem ja que, són els que hem considerat encastats a l'hora de fer el càlcul amb l'Ansys.

El valor de la deformació màxima que tenim en aquesta hipòtesis és de 11,44 mm i per tant podem considerar que complim àmpliament amb les exigències que ens imposava la R.F.E.de A. per poder homologar el vehicle.

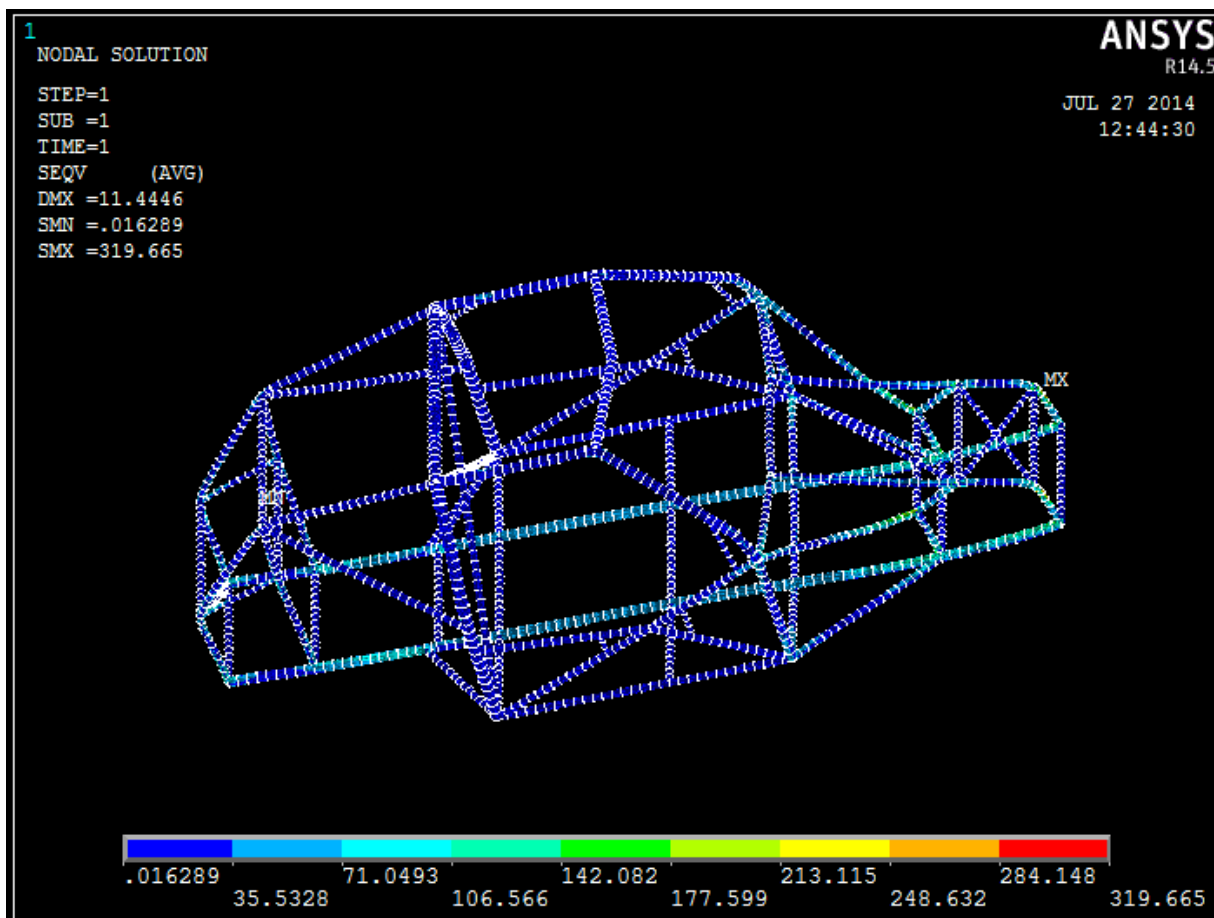


Figura D.24: Representació de Von Misses en un impacte frontal

La tensió màxima, com podem veure a la figura D.24, es troba en els tubs frontals on hem aplicat la càrrega.

Com podem veure també, els punts on la tensió és màxima es marquen amb color vermell, però no es pot apreciar perfectament a la figura perquè només és dona en uns punts molt reduïts.

La tensió màxima de Von Misses és de 320 MPa i per tant no sobrepassem el límit elàstic del material que és de 470 MPa.

Un altre estudi que podem fer per distingir si les barres estan comprimides o traccionades és el que trobem a continuació (Figura D.25) perquè, el diagrama de Von Mises no ens ho proporciona.

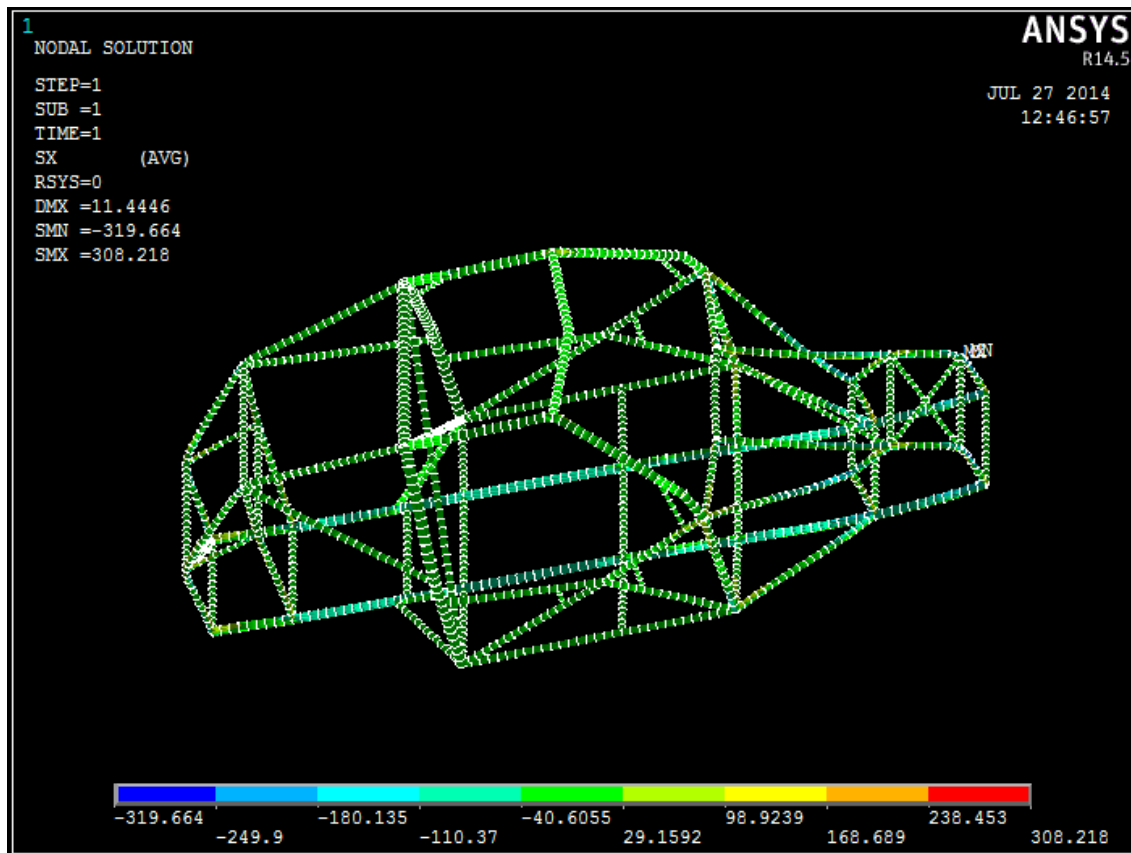


Figura D.25: Representació de la compressió i tracció

Com veiem, els punt més crítics que hem detectat amb Von Mises es troben comprimits. També podem veure com pràcticament tota la longitud dels dos tubs que travessen tot el xassís longitudinalment es troben comprimits. El segon punt de tracció més elevat, que és de 308 MPa, es troba també al punt d'aplicació de la càrrega de la part superior.

D.3.6.4 Impacte posterior amb una càrrega de 6P

En aquesta hipòtesis aplicarem una càrrega lateral de valor 6P a la part posterior del vehicle. D'aquesta manera simularem les condicions més desfavorables d'un impacte posterior. Tenint en compte que P és de 5101,2N ja podem saber la càrrega que haurem d'aplicar.

$$6P = 6 * 5101,2 N = 30607,2 N$$

Com que l'impacte no només es dona en un únic punt de l'estructura sinó en tota la cara posterior, dividirem la força de 6P en els 4 vèrtexs posteriors del nostre xassís.

$$\frac{6P}{4} = \frac{30607,2N}{4} = 7651,8 N \approx 7652 N$$

També hem de tenir en compte que en aquesta hipòtesis els vèrtexs que fixarem seran els dels eixos de les rodes i del sistema de suspensió frontal (Figura D.26).

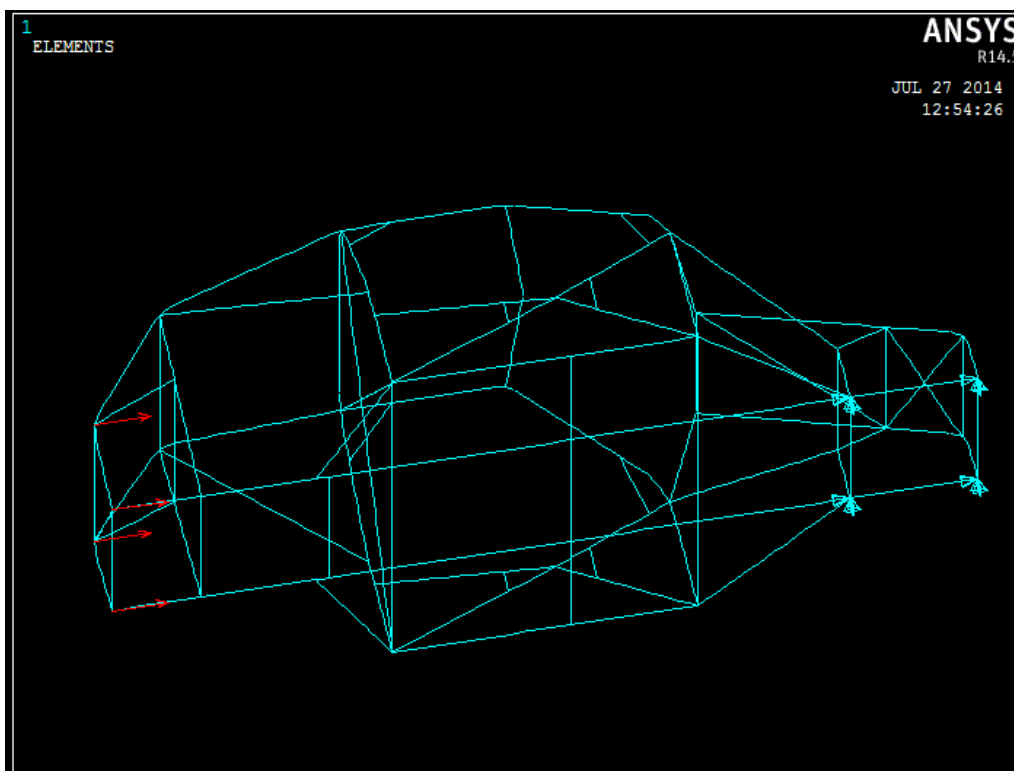


Figura D.26: Representació de les condicions de contorn

Una vegada clares les condicions de contorn ja podem passar a mostrar les representacions gràfiques dels desplaçaments soferts i de les tensions de Von Misses de la hipòtesis d'una càrrega aplicada a la part posterior del vehicle.

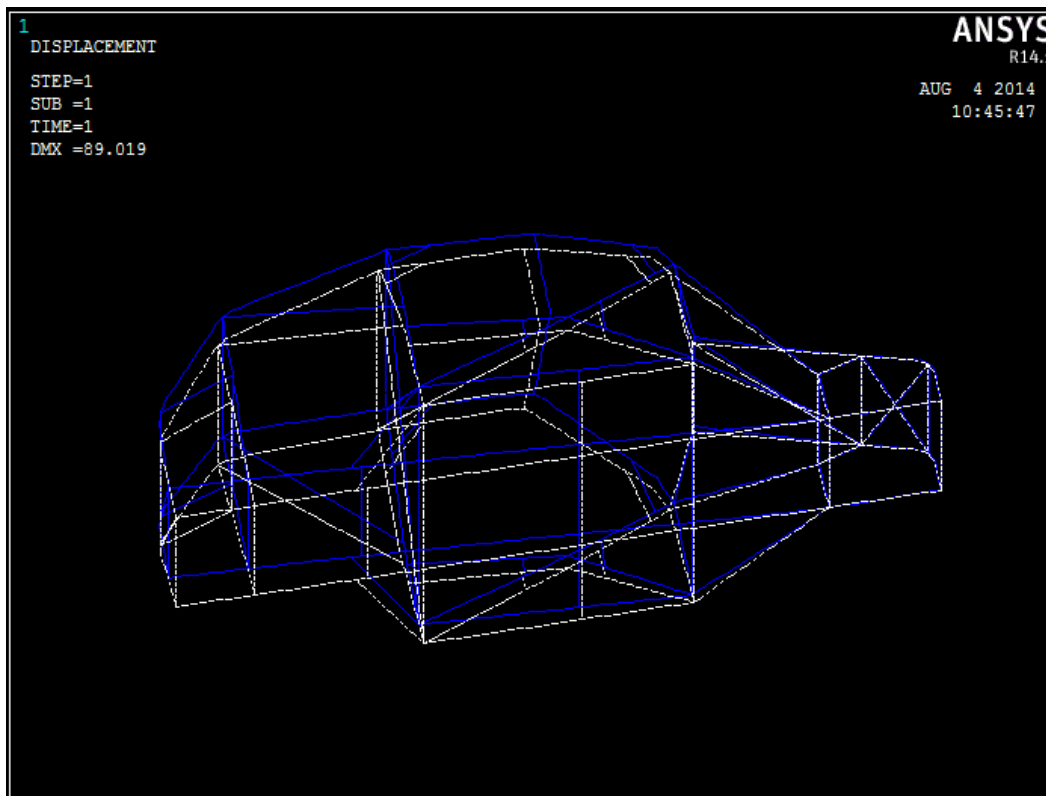


Figura D.27: Representació de la deformació en un impacte frontal

Com podem veure a la figura D.27 els punts on la deformació és màxima són els punts on s'ha aplicat la càrrega, que en aquest cas és de 7652N en els quatre punts de la part posterior.

També podem observar com el desplaçament és nul en els diferents punts de fixació, tal com esperàvem, ja que són els que hem considerat encastats a l'hora de fer el càlcul amb l'Ansys.

El valor de la deformació màxima que tenim en aquesta hipòtesis és de 89 mm i per tant, podem considerar que complim amb les exigències que ens imposava la R.F.E.de A. per poder homologar el vehicle que, en aquesta hipòtesis poden tolerar tenir una deformació plàstica de fins a 100 mm.

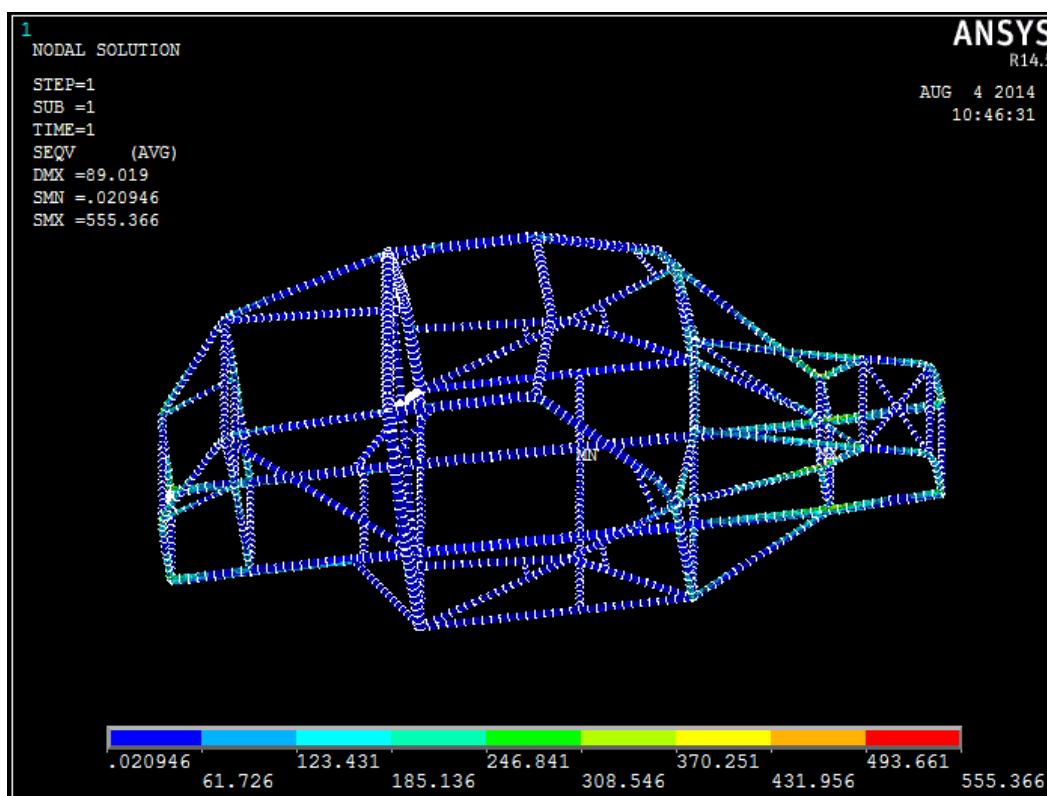


Figura D.28: Representació de Von Misses en un impacte posterior

La tensió màxima, com podem veure a la figura D.28, es troba en els tubs posteriors on hem aplicat la càrrega i també a les unions que hem considerat encastades de la part frontal del vehicle.

Com podem veure també, els punts on la tensió és màxima es marquen amb color vermell i no es pot apreciar perfectament a la figura perquè només és dona en uns punts molt reduïts.

La tensió màxima de Von Misses és de 555 MPa i per tant sobrepassem el límit elàstic del material que és de 470 MPa i tenim deformació plàstica, però no sobrepassem el límit de ruptura que és entre 588 MPa a 784 MPa la qual cosa demostra un correcte dimensionament del disseny del vehicle.

Hem considerat que no és necessari introduir un reforç a les unions frontals, entre el braç de les rodes i el xassís atès que, ja complim el reglament i a més, si introduíssim aquests reforços en el xassís seria més pesant, i per tant disminuïm les prestacions del vehicle.

Un altre estudi que podem fer per distingir si les barres estan comprimides o traccionades és el que es mostra seguidament (Figura D.29) ja que el diagrama de Von Misses no ens ho proporciona.

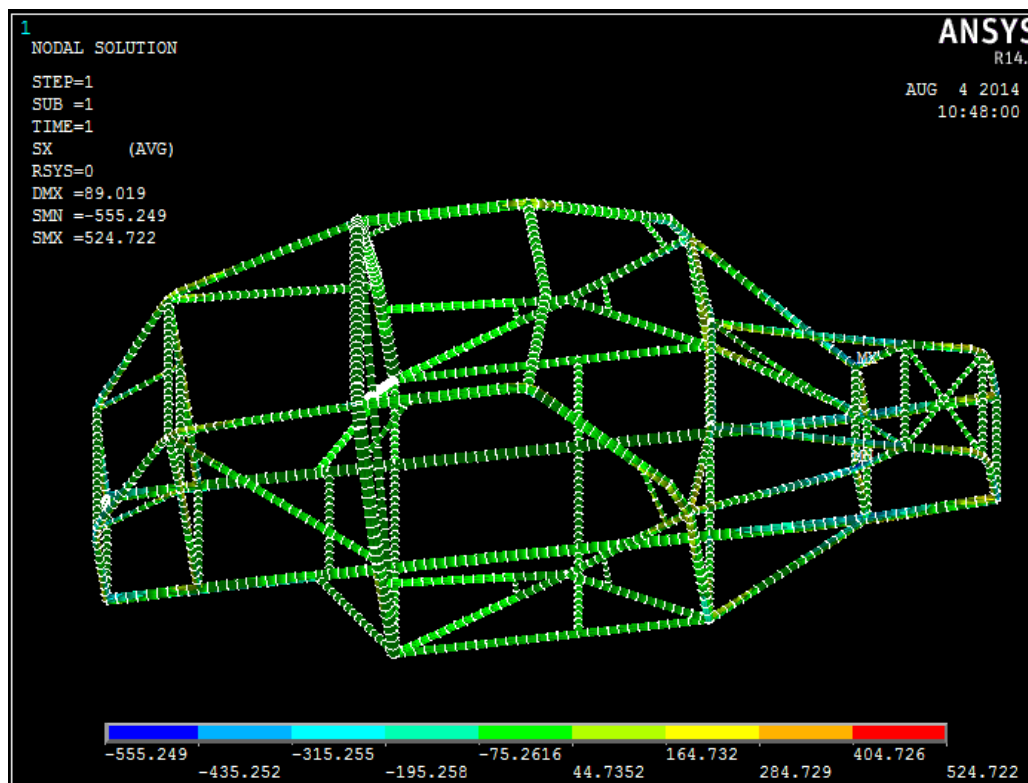


Figura D.29: Representació de la compressió i tracció

Com veiem, els punts més crítics que hem detectat amb Von Misses, es troben comprimits. També podem comprovar com en tota la part frontal del vehicle, sobretot en els encastaments que hi trobem compressió a tota la part superior.

D.3.6.5 Impacte superior amb una càrrega de 8P

Per acabar amb les hipòtesis que ens especificava la R.F.E. de A. aplicarem una càrrega de valor 8P a la part superior del vehicle. D'aquesta manera, simularem les condicions més desfavorables d'una possible bolcada del vehicle amb impacte a la part superior. Tenint en compte que P és de 5101,2N ja podem saber la càrrega que haurem d'aplicar.

$$8P = 8 * 5101,2 N = 40809,6N$$

En aquest cas considerem que la càrrega no es dona en tota la cara superior sinó només en els dos punts superiors de l'arc de seguretat. D'aquesta manera, obtenim el cas més desfavorable possible. Per tant, dividirem la força de 6P en els 2 vèrtexs superiors de l'arc de seguretat del nostre xassís.

$$\frac{8P}{2} = \frac{40809,6N}{2} = 20404,8 \approx \mathbf{20405 N}$$

També hem de tenir en compte que en aquesta hipòtesis els vèrtexs que fixarem seran els dels eixos de les rodes i del sistema de suspensió tant frontal com posterior (Figura D.30).

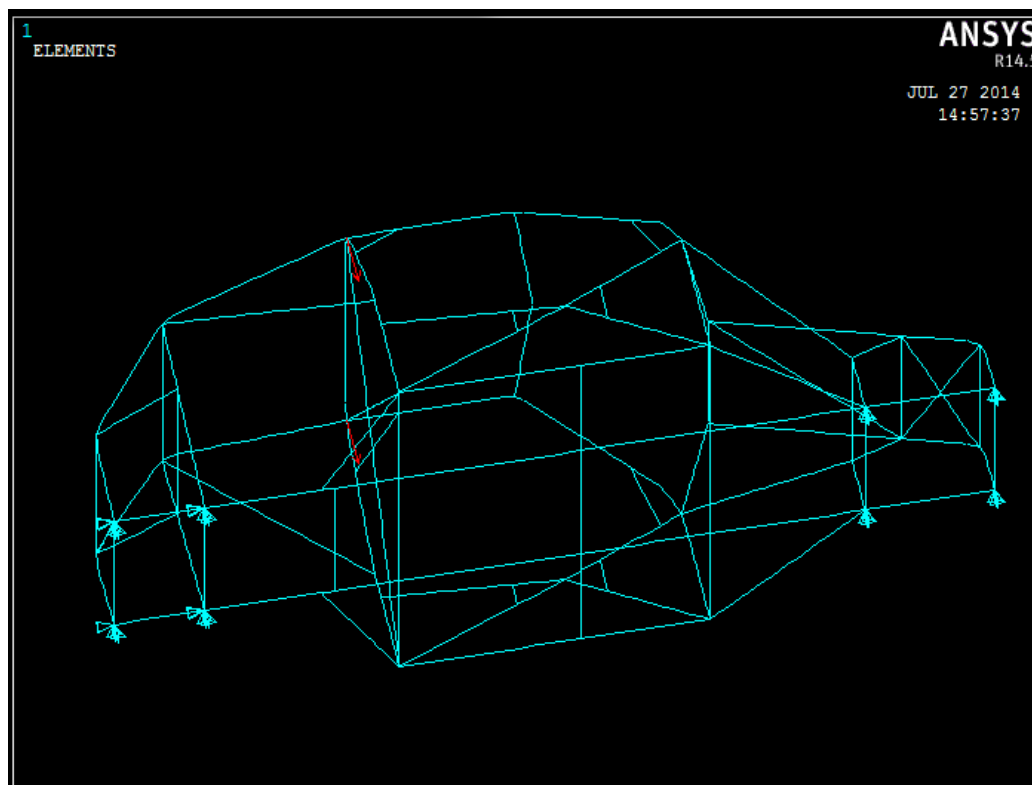


Figura D.30: Representació de les condicions de contorn

Una vegada clares les condicions de contorn ja podem passar a mostrar les representacions gràfiques dels desplaçaments soferts i de les tensions de Von Misses de la hipòtesis d'una càrrega aplicada a la part superior del vehicle.

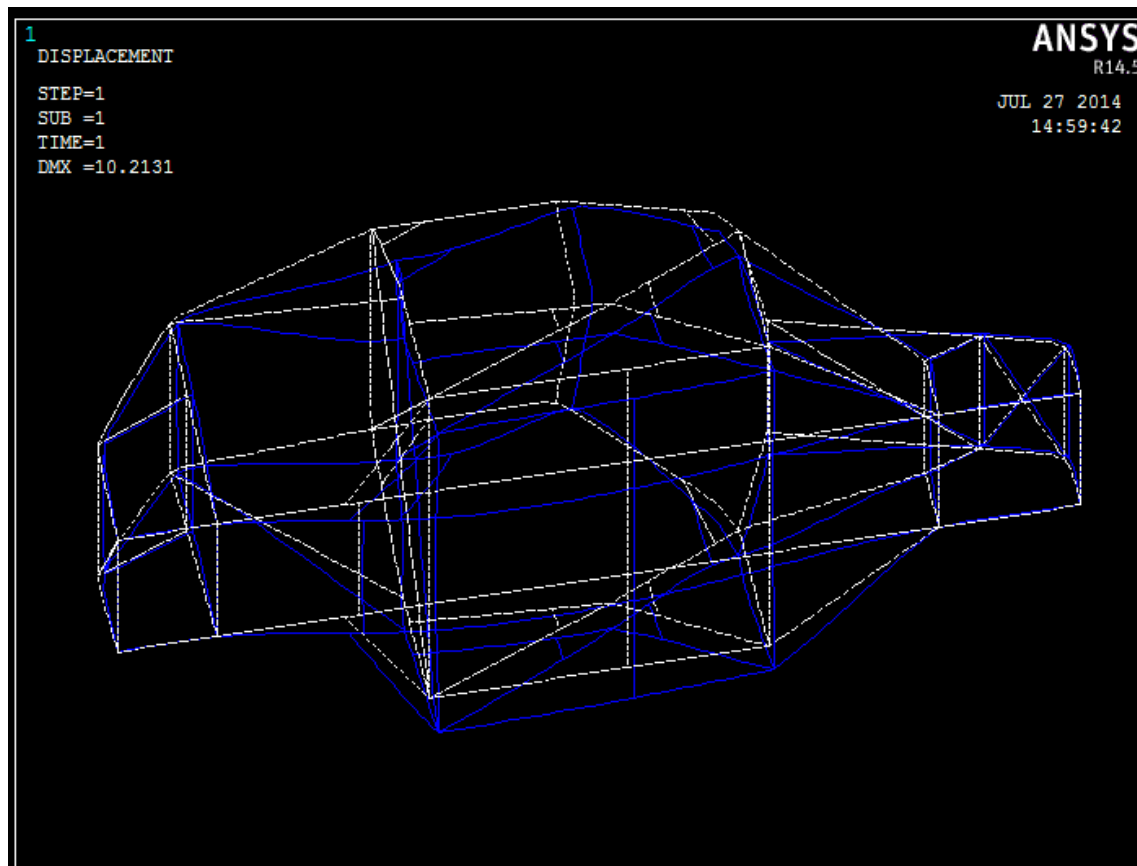


Figura D.31: Representació de la deformació en un impacte frontal

Com podem veure a la figura D.31 els punts on la deformació és màxima són els punts on s'ha aplicat la càrrega, que en aquest cas és de 20405 N en els dos punts de la part superior de l'arc de seguretat.

També podem observar com el desplaçament és nul en els diferents punts de fixació, tal com esperàvem, ja que són els que hem considerat encastats a l'hora de fer el càlcul amb l'Ansys.

El valor de la deformació màxima que tenim en aquesta hipòtesis és de 10 mm i per tant, podem considerar que complim amb les exigències que ens imposava la R.F.E.de A. per poder homologar el vehicle que en aquesta hipòtesis poden tolerar tenir una deformació màxima de fins a 50 mm.

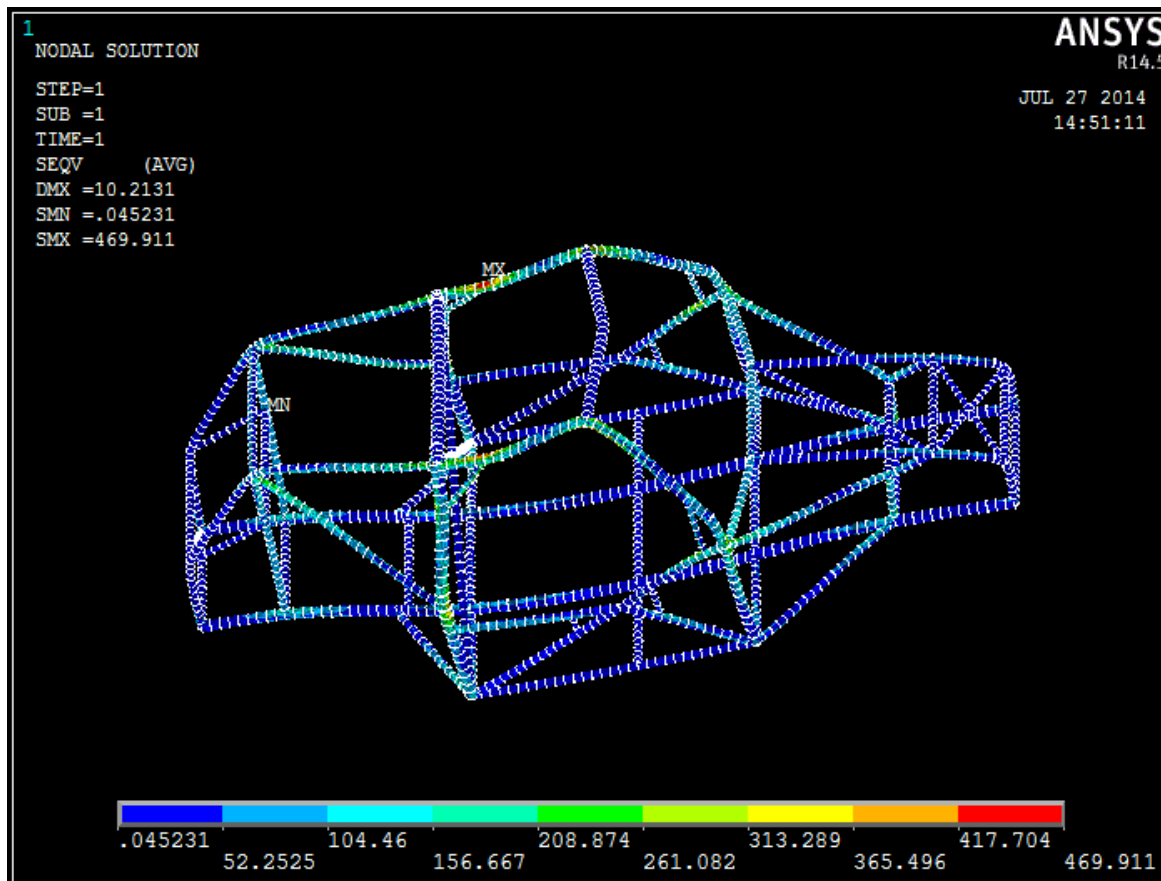


Figura D.32: Representació de Von Misses en un impacte posterior

La tensió màxima, com podem veure a la figura D.32, es troba a les unions dels tubs superiors que s'uneixen amb l'arc de seguretat principal on hem aplicat la càrrega.

Com podem veure també, els punts on la tensió és màxima es marquen amb color vermell, tot i que no es pot apreciar perfectament a la figura perquè només és dona en uns punts molt reduïts.

La tensió màxima de Von Misses és de 469,9 MPa i per tant, no sobrepassem el límit elàstic del material que és de 470 MPa.

Un altre estudi que podem fer per distingir si les barres estan comprimides o traccionades és el que es mostra seguidament (Figura D.33) ja que el diagrama de Von Misses no ens ho proporciona.

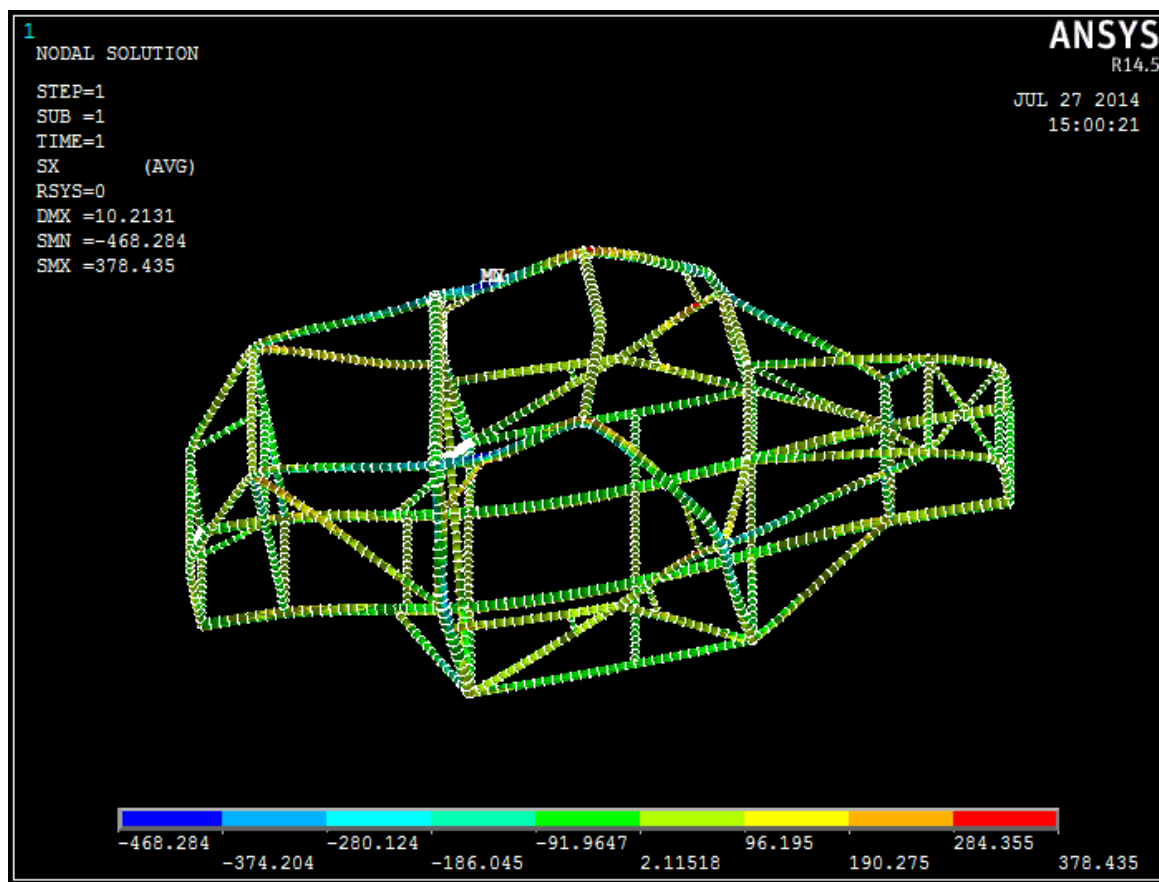


Figura D.33: Representació de la compressió i tracció

Com veiem, els punt més crítics que hem detectat amb Von Misses, es troben comprimits. També podem veure mitjançant aquest estudi que la part superior frontal del xassís es troba traccionada però, que gràcies els reforços que hem introduït, respecte del disseny inicial, podem complir amb la normativa.

D.3.7 Resum dels resultats

Passem a fer un estudi dels resultats més representatius que hem obtingut utilitzant el mètode dels elements finits mitjançant el programa Ansys de les diferents hipòtesis de càrrega que hem analitzat (Taula D.2).

RESUM DELS RESULTATS				
APARTAT	DESCRIPCIÓ	DEFORMACIÓ MÀX.	LÍMIT DEFORMACIÓ	TENSIÓ MÀX.
E.6.1	Impacte dret amb una càrrega de 2P	4,78 mm	50 mm	189,1 MPa
E.6.2	Impacte esquerra amb una càrrega de 2P	4,77 mm	50 mm	189,3 MPa
E.6.3	Impacte frontal amb una càrrega de 6P	11,44 mm	100 mm	319,7 MPa
E.6.4	Impacte posterior amb una càrrega de 6P	89,02 mm	100 mm	555,4 MPa
E.6.5	Impacte superior amb una càrrega de 8P	10,21 mm	50 mm	469,9 MPa

Taula D.2: Resum dels resultats mitjançant MEF

Com veiem a la taula D.2, en cap hipòtesis de càrrega, no tenim cap valor de la deformació màxima que superi el límit de la deformació que ens exigia la normativa per poder dur a terme l'homologació del xassís. Per tant, considerem que complim amb la normativa, que ens exigia que no hi pot haver deformació plàstica superior a la permesa.

També podem veure a la taula D.2 com, en només una hipòtesis, superem el límit elàstic del material que és de 470 MPa. Tot i això, no arribem a sobrepassar el límit de ruptura del material que es troba entre 588 MPa i 784 MPa. Per tant podem afirmar que complim amb l'exigència de no tenir ruptura del material.

Amb els valors obtinguts podem concloure que el model del xassís que hem dut a terme compleix les especificacions que ens exigeix la R.F.E.de A. per a poder ser homologat.

D.3.8 Resultats distribució de masses al xassís

Gràcies a la utilització del programa SolidWorks, en el qual hi podem definir el material utilitzat en el xassís, sabem que el pes del vehicle en el seu estat final és de 85,69Kg.

Una altra dada molt important és la posició del centre de masses. El centre de masses es troba situat en el punt següent com podem veure més clarament a la representació gràfica (Figura D.34).

Posició del centre de masses respecte el sistema de coordenades utilitzat (Figura D.34):

$$X = 1595.47 \text{ mm} \quad Y = 0.38 \text{ mm} \quad Z = 347.30 \text{ mm}$$

Uns altres valors que ens proporciona el programa SolidWorks són els moments principals d'inèrcia mesurats respecte el centre de masses, que són els següents:

$$I_x = 31,96 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \quad I_y = 85,27 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2 \quad I_z = 96,86 \text{ Kg}\cdot\text{m}^2$$

A la figura D.34 també podem veure els eixos principals d'inèrcia.

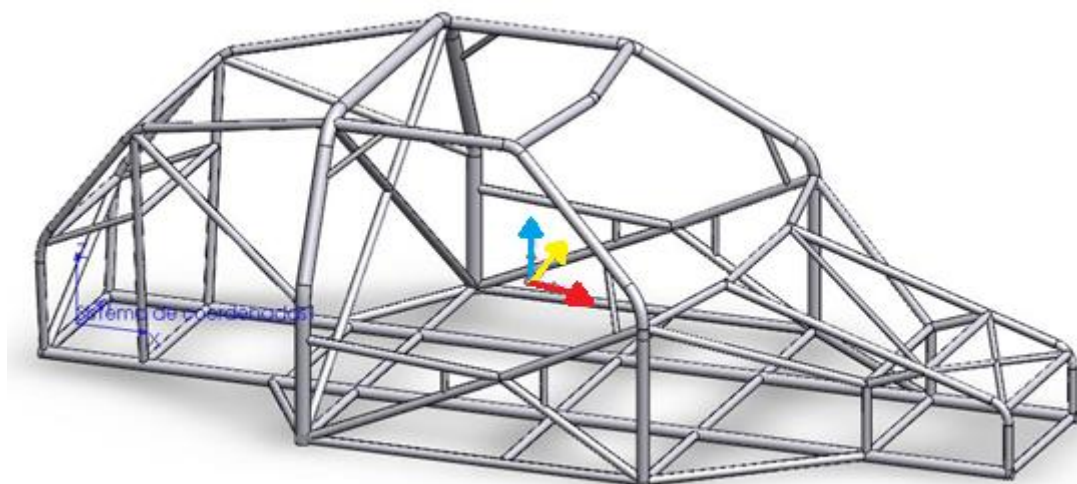


Figura D.34: Representació del centre de masses i eixos principals d'inèrcia

Ara si comparem el pes obtingut del nostre xassís amb el valor del pes que hem obtingut posant-nos en contacte amb diferents fabricants, que era d'entre 90 i 95Kg, podem concloure que hem obtingut una reducció d'entre aproximadament 5 i 10 Kg respecte als fórmules que estan actualment competint en el Campionat de Catalunya de Muntanya.

La reducció de pes aproximada que hem aconseguit percentualment és d'entre el 5,55% i el 10,53%. Per tant, podem concloure que hem aconseguit l'objectiu que ens havíem plantejat inicialment de reduir el pes d'un vehicle esportiu 1000 del grup CM.

ANNEX E: MATERIAL I MÈTODE DE FABRICACIÓ

E.1 Introducció

En aquest annex estudiarem el material seleccionat i el mètode de fabricació per poder portar a terme la fabricació del xassís.

Primer de tot ens centrarem amb les característiques tècniques i les propietats mecàniques del material escollit. I després, passarem a estudiar tot el procés del mètode de fabricació que podríem utilitzar i el que hem escollit per dur a terme el xassís del nostre vehicle esportiu 1000 del grup CM.

E.2 Material

Abans de començar a explicar el material utilitzat cal recordar que l'elecció del material a utilitzar s'ha de tenir molt en compte ja que, l'elecció ha de ser la que s'adapti millor a les possibles solucions constructives.

E.2.1 Tipus d'acer

Després d'aquest petit incís passem a explicar les característiques de l'acer, material elegit per la realització del xassís. L'acer ofereix grans avantatges als processos de fabricació en vers altres materials com per exemple la seva gran mal·leabilitat, la seva bona soldabilitat entre la majoria de tipus d'acer i cal destacar també que és un material bastant dúctil, que és un dels requisits tècnics més importants d'un xassís.

Quan s'escull l'acer s'ha d'especificar de quin tipus és ja que, n'existeixen moltes varietats. Un cop es fa l'elecció s'ha d'especificar si el material està acabat en calent o bé en fred. El tub acabat en fred presenta la gran avantatge sobre l'acabat en calent de no oxidar-se. Per aquest motiu el tub acabat en fred sol tenir una tolerància més petita, una major resistència i un millor acabat superficial. Habitualment, per a estructures com la d'un xassís tubular se solen utilitzar perfils tubulars conformats en fred.

L'elecció final és la del tub de precisió sense soldadura, estriat en fred segons la norma de fabricació DIN 2391 de qualitat d'acer ST-52 i acabat BK, distribuïts per Ducal International, S.A.

E.2.2 Característiques mecàniques de l'acer

Normalment les característiques mecàniques de l'acer es caracteritzen per la seva resistència a la ruptura, l'allargament i el límit elàstic. Aquests valors s'obtenen mitjançant assajos de tracció que ens permeten realitzar diagrames tensió-deformació de cada material.

Les característiques mecàniques del material que hem seleccionat s'han extret del catàleg de Ducal International, S.A. que podem trobar a Internet si posem a un buscador Ducal ST-52 BK DIN 2391.

Característiques mecàniques de l'acer ST-52-BK		
Qualitat	DIN2391 -BK	
Resistència a la ruptura	60-80 kg/mm ²	588-784 MPa
Límit elàstic	48 kg/mm ²	470 MPa
Allargament	6% mínim	
Mòdul de Young	2,1x10 ⁵ MPa	
Quocient de Poisson	0,266	
Densitat	7860 Kg/m ³	
Quocient de dilatació tèrmica	1,17 x 10 ⁻⁵ K ⁻¹	

Taula E.1. Propietats mecàniques de l'acer ST-52-BK

Pel que fa a les característiques mecàniques que s'acaben d'observar (Taula E.1) cal tenir en compte la resistència i la ductilitat dels perfils tubulars carregats en la direcció de l'espessor ja que, es podria produir una fissura en forma d'estrip laminar.

E.2.3 Composició química de l'acer

A la taula que es troba a continuació es pot comprovar la composició química de l'acer que hem seleccionat (Taula E.2). Aquesta informació també ens la proporciona el catàleg de Ducal International, S.A.

Composició química de l'acer ST-52-BK	
C (%)	0'16-0'22
Si (%)	0'15-0'55
Mn (%)	1'30-1'60
P(%)	0'05 màxim
S (%)	0'05 màxim

Taula E.2. Composició química de l'acer ST-52-BK

E.2.4 Tipus de barres

Pel que fa al tipus de barres en trobem de dos tipus, les barres foradades i les massisses. Les barres foradades aguanten millor la flexió i el vinclament que les barres massisses i per aquest motiu escollim les barres foradades.

Pel que fa al tipus de secció també n'hi ha de dos tipus. La primera és la circular (CHS) i la segona és la rectangular (RHS). El tub de secció circular (Figura E.1) ofereix una distribució de masses molt efectiva al voltant de l'eix centroidal i l'únic inconvenient que té és que a l'hora d'unir els tubs entre si es pot necessitar un perfilat especial. Normalment s'utilitzen aquest tipus de tubs per motiu d'aerodinàmica, estètica i flexió multi axial.

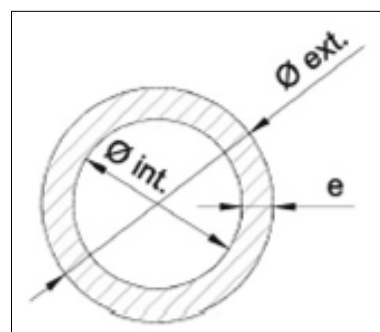


Figura E.1. Tub de secció circular

Els tubs rodons foradats que s'han utilitzat per fer el xassís es mostren a la taula següent (Taula E.3):

Dimensions dels tubs de secció circular				
Ø exterior mm. x paret	Ø interior mm.	Toleràncies mm.		Pes teòric kg/m
		Ø exterior	Ø interior	
20x1,5	17	0'08	0'08	0,68
30x2	26	0'08	0'08	1'38
40x2	36	0'15	0'15	1'87
50x2	46	0'20	0'20	2'37

Taula E.3. Dimensions dels tubs de secció circular

E.3 Mètode de fabricació

Un cop es té tot el material i equipament necessari es pot començar a fabricar el xassís. Tot i això, s'han de tenir en compte diferents aspectes per tal de minimitzar costos com per exemple: les barres no han de tenir excessives soldadures, el procés ha de seguir un camí unidireccional, demanar perfils tubulars, etc.

Un cop tenim això, s'han de fer diferents treballs al taller els quals s'han de planificar i dur a terme de manera curosa. Aquests treballs són el tall o serrat, la preparació de les vores per la soldadura, la soldadura i finalment, el muntatge de les barres.

Els passos que s'han de seguir per a la construcció del xassís són els següents (Figura E.2):

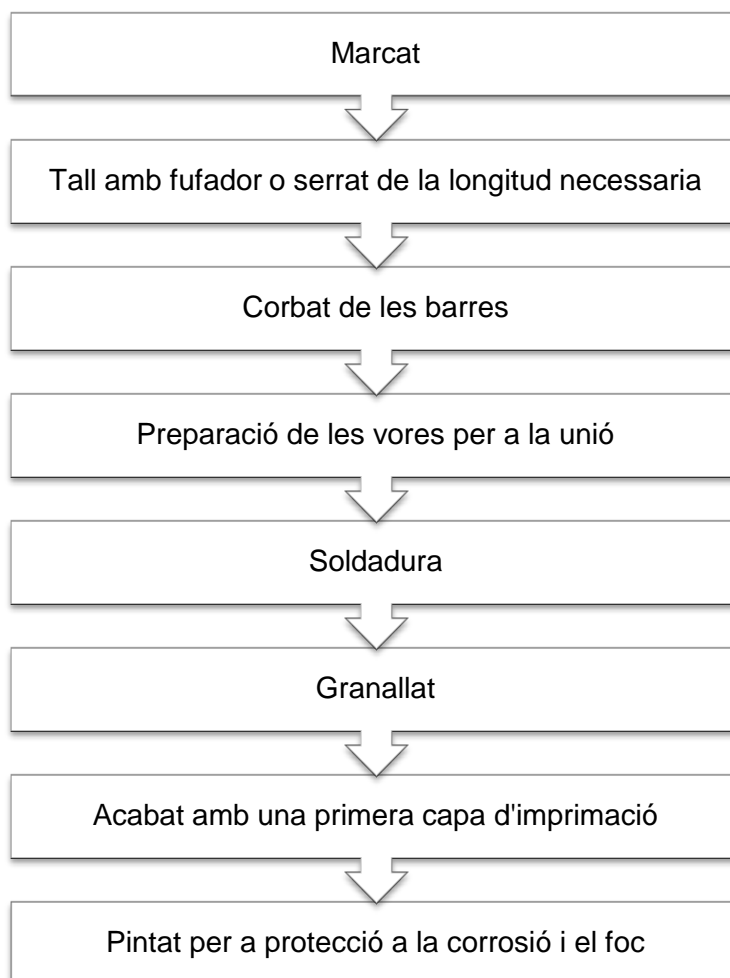


Figura E.2. Passos del mètode de fabricació

E.3.1 Tall

Un punt molt important, de cara a la fabricació del xassís, és el de definir correctament les diferents unions entre les barres. Aquest aspecte no s'ha pogut tenir en compte a l'hora de fer les comprovacions de les diferents hipòtesis amb el programa Ansys com expliquem a l'annex D.

Per definir les unions en els vèrtex hem de tenir en compte quin són els elements principals i quins són els elements de reforç, que per tant seran els que es tallaran i faran encaixar, per crear l'element de reforç (Figura E.3).

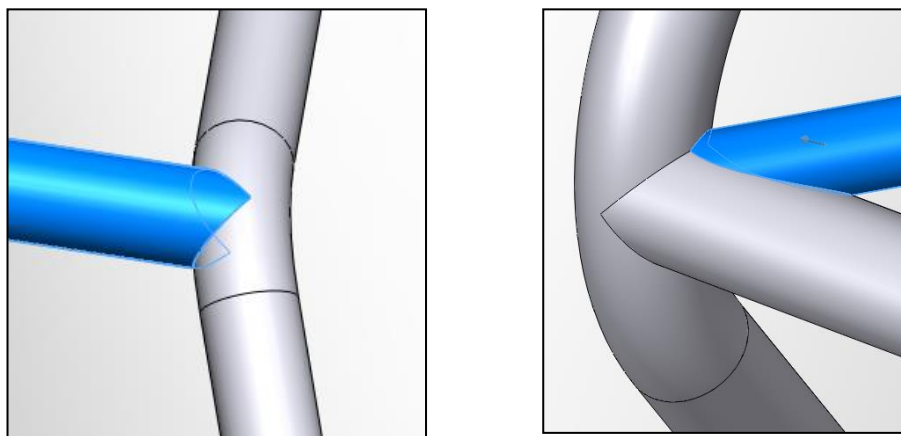


Figura E.3: Representació de dos unions diferents

La fabricació d'una estructura comença amb la preparació dels extrems de les barres i els mètodes que normalment s'utilitzen són dos: el tall per serrat i el tall amb bufador. En el cas de l'estructura del nostre xassís farem servir el primer tipus de tall, ja que és més barat i més senzill que el tall amb bufador.

E.3.1.1 Tall amb bufador

Aquest tipus de tall s'aplica als perfils tubulars circulars, en els quals se'ls ha de fer un tall perfilat o bé manualment o amb màquines automàtiques.

Cal destacar que també trobem el tall manual amb bufador que s'utilitza bàsicament per tallar en la mateixa obra o per tallar perfils de mida gran.

E.3.1.2 Tall per serrat

Aquest tipus de tall s'utilitza principalment per preparar els extrems que s'acoblen a plans simples, com justament en el cas de la superfície d'intersecció en els nusos RHS, 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 depenent també de la 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 les barres a unir.

E.3.1.3 Unions de tubs

La unió directe entre els perfils tubulars circulars necessita un tall molt perfilat. Les unions de tubs més habituals per soldadura són les que es poden observar a la imatge següent (Figura E.4):

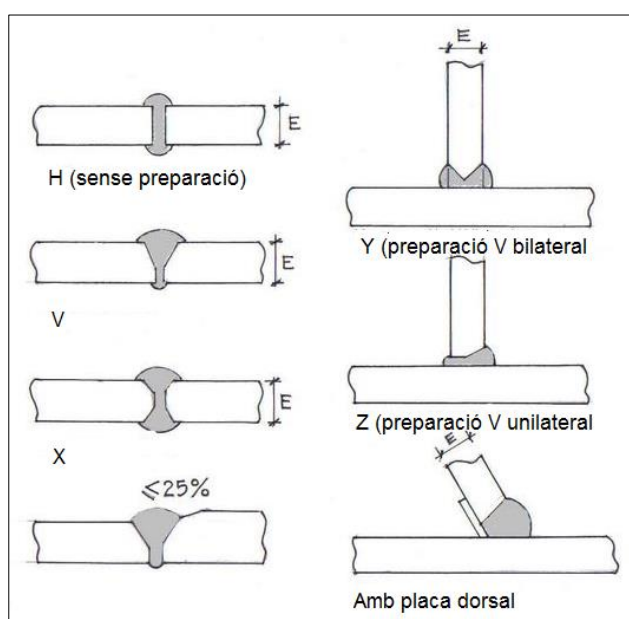


Figura E.4. Unions dels tubs

Dels models que acabem de veure a la imatge anterior, el que es fa servir per a la unió de dos tubs a 180° és el de la preparació en X. Cal destacar quan els tubs tenen diàmetres iguals o similars. Quan passa això, existeixen dos mètodes per realitzar correctament la unió entre aquest dos tubs. Aquests mètodes consisteixen en fer dos o tres talls plans successius en comptes d'un.

Els dos mètodes que es troben explicats a continuació són els que existeixen per a fer eficients les unions entre tubs de diàmetres molt iguals o completament iguals. Aquests dos mètodes consisteixen en fer dos o tres talls successius en comptes d'un, tal com hem estat veient fins ara.

- Dos talls seguits per rectificar l'àrea de punta (Figura E.5)

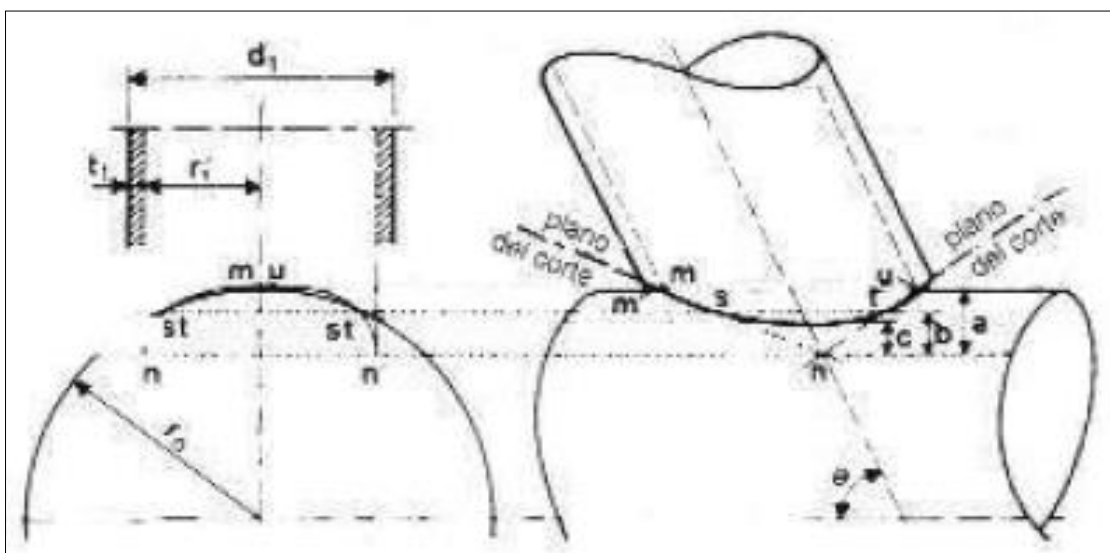


Figura E.5. Mètode de talls plans per serratge

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 E.6)

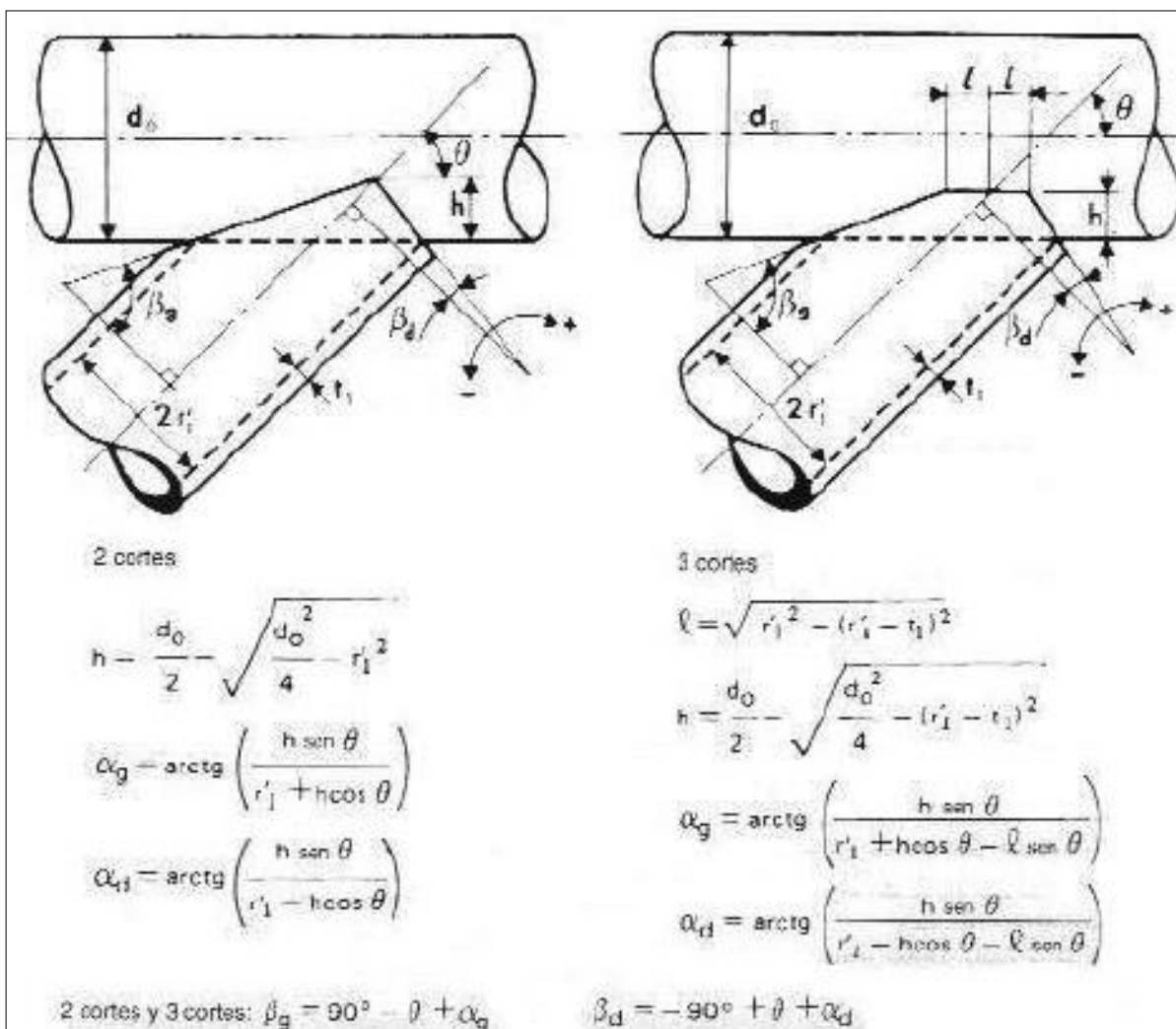


Figura E.6. Mètode de dos o tres plans successius

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 E.6. També es poden calcular els valors α_g i α_d .

Per acabar es determinen els angles de tall β_g i β_d .

E.3.2 Corbat

Els perfils tubulars es poden corbar tant en fred com en calent. Normalment es fa servir el primer atès que els costos de producció d'aquests són menors que els perfils tubulars corbats en calent. Per aquest motiu, utilitzarem el corbat en fred.

La curvatura dels perfils tubulars depèn de les següents propietats del material:

- Límit elàstic del tipus d'acer: com més baix és el límit elàstic més fàcil és la curvatura.
- Microestructura del gra fi en el material: això afavoreix a la curvatura
- Percentatge d'allargament: el percentatge adequat té molt a veure en el bon procés de curvatura.

També trobem dos altres factors determinants a tenir en compte que són els paràmetres geomètrics que trobem a continuació:

- Relació entre el diàmetre del CHS o altura del RHS i l'espessor de la paret del perfil tubular.
- Relació entre el radi de la curvatura del corbat (Figura E.7) i el diàmetre del CHS o l'altura del RHS.

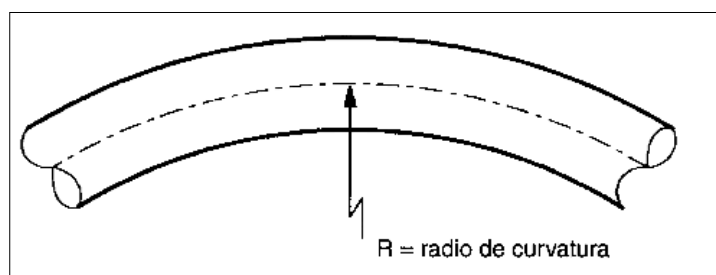


Figura E.7. Radi de curvatura

E.3.2.1 Mètodes de corbat en fred per CHS

Hi ha quatre mètodes de corbat en fred per CHS diferents (Figura E.8).

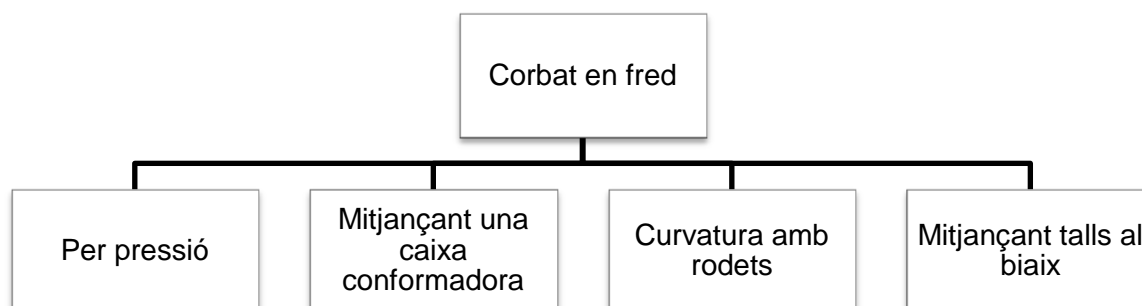


Figura E.8. Mètodes de corbat en fred per CHS

- **Per pressió**

Aquest mètode es fa servir per doblar arcs de 180° amb una àmplia gamma de dimensions. El procediment que es fa servir és el següent: primer es col·loca un perfil tubular entre dos rodets fixes i llavors es realitza la curvatura per el desplaçament del conformador central, el qual normalment està connectat a un empenyedador hidràulic (Figura E.9).

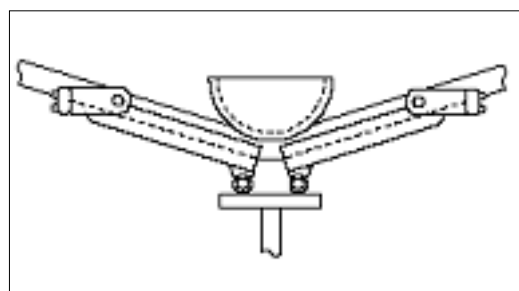


Figura E.9. Corbat per pressió

- **Mitjançant una caixa conformadora**

El procediment que es fa servir és el següent: primer s'introdueix la peça a la caixa conformadora perfilada (A), la qual es fixa a una base horitzontal. Llavors es col·loca una caixa guia recta (B) davant de la conformadora corbada. A continuació, la peça (C) s'introdueix a la caixa guia (B) i seguidament a la caixa conformadora (A) mitjançant un empenyedador (D). Finalment, la caixa guia (B) passa a la posició (B') per tal que es pugui extreure la peça (Figura E.10).

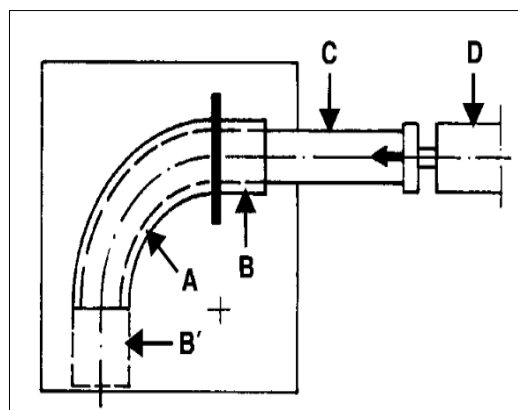


Figura E.10. Corbat caixa conformadora

- **Amb rodets**



Consisteix en una eina que té tres 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 E.11).

Figura E.11. Corbat amb rodets

- **Talls al biaix**

Aquest tipus de tall s'utilitza per corbes de radi gran. Amb aquest tipus de tall es poden obtenir corbes aproximades unint seccions rectes d'extrem fins a extrem i soldant-les per aquest extrem prèviament tallat amb un angle adequat (Figura E.12).

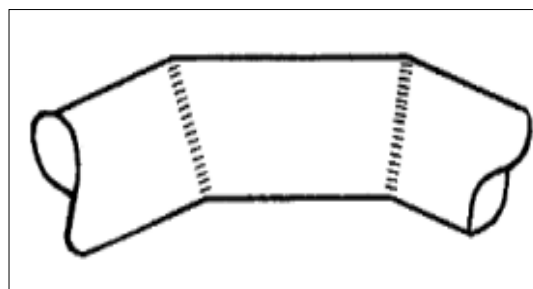


Figura E.12. Corbat amb talls al biaix

Dels diferents mètodes que hem vist el que utilitzarem per corbar els perfils tubulars serà el corbat en fred mitjançant els rodets atès que, amb aquest mètode podem obtenir radis de corbat molt grans en funció del diàmetre.

E.3.3 Soldadura

El tipus de soldadura que s'utilitza a l'hora de soldar els nusos dels perfils tubulars és la de fusió. No obstant això, si el número d'unitats és relativament alt també es pot utilitzar la soldadura per fricció.

Pel que fa a la soldadura per fusió en trobem de 5 tipus:

1. Autògena
2. Per arc metàl·lic: aquest tipus és el que s'utilitza per fer la unió dels perfils tubulars. Les quatre versions que s'apliquen són:
 - a. Soldadura per arc amb elèctrode revestit (SMAW o soldadura STICK)
 - b. Soldadura per arc amb nucli de fundent (FCAW)
 - c. Soldadura per arc metàl·lic i gas (GMAW o soldadura MIG)
 - d. Soldadura amb arc de tungstè i gas (GTAW o soldadura TIG)

Cada un d'aquests 4 tipus s'utilitza en funció del material tubular (Figura E.13).

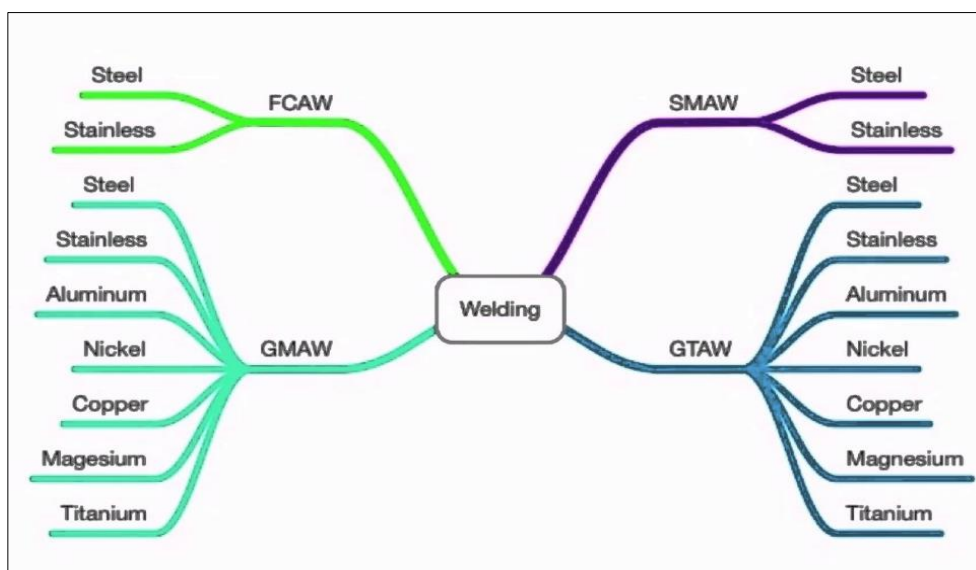


Figura E.13: Tipus de soldadura per a la unió de perfils tubulars

3. Per resistència elèctrica
4. Per un feix d'electrons
5. Per plasma

E.3.3.1 Posicions i seqüències 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 E.14).

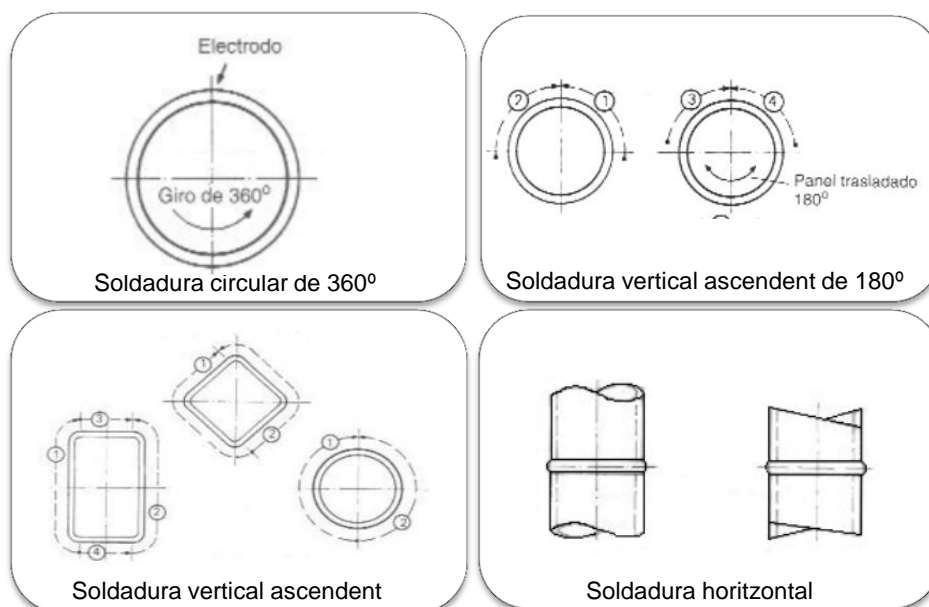


Figura E.14. Posició i seqüència de soldadura

E.3.3.2 Preparació dels extrems

Aquesta preparació serveix per la unió preliminar de les barres del perfil tubular d'una estructura, obtenint una subjecció temporal prèvia a la soldadura definitiva del muntatge. Aquesta preparació s'haurà de fer de manera més simple possible. Per exemple, una unió amb separació entre les barres o una amb encavalcament del 100% és preferible que una amb els elements parcialment encavalcats (Figura E.15).

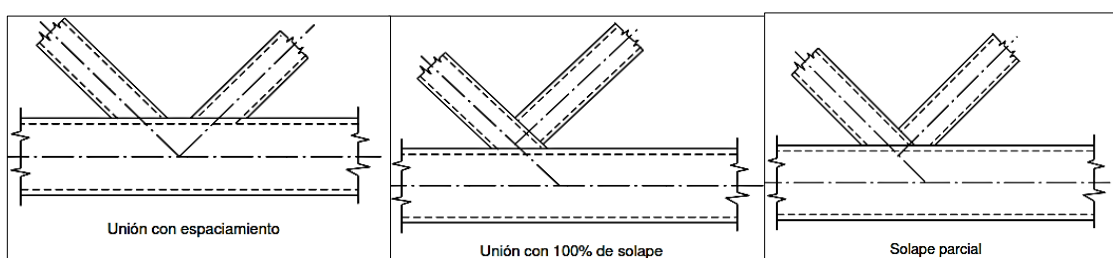


Figura E.15. Preparació dels extrems

E.3.3.3 Soldadura TIG

Les unions es realitzaran amb aquest tipus de soldadura (Figura E.16).

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 l'argó, el qual aïlla el material fos de l'atmosfera exterior evitant així la seva contaminació. L'arc elèctric s'estableix entre l'elèctrode de tungstè no consumible i la peça. El gas inert envolta també l'elèctrode evitant així tota possibilitat d'oxidació.

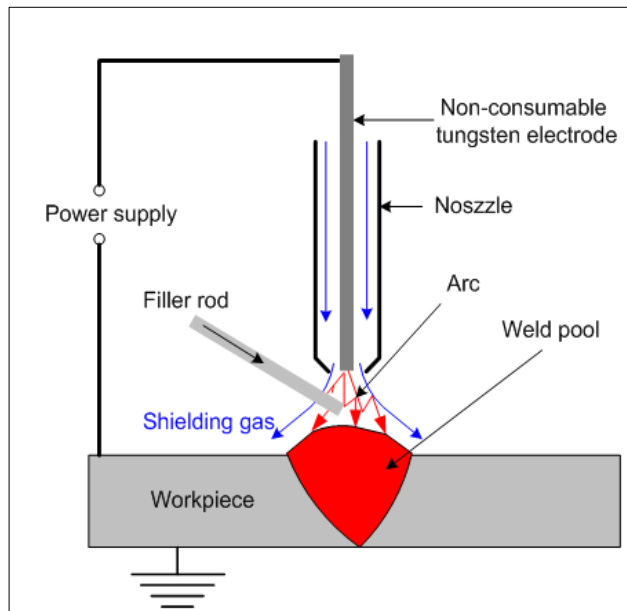


Figura E.16. Soldadura TIG/GTAW

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 a aquest cas el tipus de corrent emprat és altern. El TIG premut té aplicació sobretot per a gruixos petits.

E.4 Resum

En aquest annex hem seleccionat el material utilitzat i també hem fet un estudi per determinar quin és el mètode de fabricació que més ens interessaria si volguéssim portar a terme la fabricació del xassís del vehicle esportiu 1000 grup CM.

El tub final escollit és el tub de precisió sense soldadura, estriat en fred, segons la norma de fabricació DIN 2391 de qualitat d'acer ST-52 i acabat BK, distribuïts per Ducal International, S.A.

El mètode de fabricació que hem escollit per dur a terme el xassís del nostre vehicle, tot tenint en compte la viabilitat d'altres possibilitats, és el següent:

- **Tall**

El tall dels extrems de les barres es portarà a terme mitjançant el mètode de tall per serrat perquè és més barat i senzill que el tall amb el bufador.

- **Corbat**

El corbat dels perfils tubulars serà el corbat en fred mitjançant els rodets. Escollim el corbat en fred perquè és més econòmic que el corbat en calent i escollim fer la curvatura amb els rodets perquè amb aquest mètode podem obtenir radis de corbat en funció del diàmetre molt grans.

- **Soldadura**

El mètode escollit per portar a terme la soldadura a sigut per fusió amb arc metàl·lic i del tipus TIG.

El gas inert que utilitzem és el gas argó, el qual aïlla el material fos de l'atmosfera exterior evitant així la seva contaminació.

Els elèctrodes no consumibles necessaris per a la soldadura TIG seran de tungstè ja que té el punt de fusió més elevat de tots els metalls i el punt d'ebullició més alt de tots els elements coneguts.

Un cop definit tot el material i el mètode de fabricació del xassís ja podríem passar a fer la fabricació del xassís del nostre vehicle.