

Treball de Fi de Grau

# Enginyeria Mecànica



## Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

### RESUM

En aquest treball de fi de grau es proposa el disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça. El disseny compleix amb els requisits que s'estableixen a la normativa de la Formula SAE (Society of Automotive Engineers) respecte al xassís.

Inicialment, es desenvolupa el fonament teòric del xassís explicant els paràmetres i requeriments més importants a tenir en compte, la història del xassís en la competició i els tipus d'estructures considerant els seus avantatges i inconvenients.

Seguidament, s'expliquen les diferents parts que formen l'estructura del xassís i els components més importants d'aquest. En un xassís de competició l'estructura ha de d'assegurar un bon comportament dinàmic, confort en la conducció i seguretat. L'estudi dels components és indispensable abans de fer el disseny perquè aquest sigui òptim. El fet que la línia motriu disposi d'un motor elèctric condiona tot el disseny que serà diferent del d'un vehicle de combustió interna convencional.

El disseny CAD en tres dimensions es realitza amb el software CATIA V5, i es detalla el procés seguit. Pel que fa a les simulacions aquestes s'elaboren a partir d'un anàlisi per elements finits i s'utilitza el software ANSYS Mechanical.

En aquest projecte s'exposen diferents estudis com són el marc teòric de la competició, el dimensionat de les barres tubulars, la verificació de la resistència del xassís a diferents situacions de càrrega, la rigidesa a torsió i el comportament dinàmic mitjançant un anàlisi modal. També s'inclou l'explicació del procés de fabricació que es seguiria.

L'objectiu d'aquest projecte és l'obtenció d'un disseny que compleixi amb tots els requeriments inicialment plantejats. Respecte al primer disseny s'han realitzat algunes modificacions per tal de complir amb els requisits dels estudis realitzats.



## RESUMEN

En este trabajo de fin de grado se propone el diseño de un chasis tubular para un vehículo eléctrico de competición monoplace. El diseño cumple con los requisitos que se establecen en la normativa de la Fórmula SAE (Society of Automotive Engineers) respecto al chasis.

Inicialmente, se desarrolla el fundamento teórico del chasis explicando los parámetros y requerimientos más importantes a tener en cuenta, la historia del chasis en la competición y los tipos de estructuras considerando sus ventajas e inconvenientes.

Seguidamente, se explican las diferentes partes que forman la estructura del chasis y los componentes más importantes de este. En un chasis de competición la estructura debe asegurar un buen comportamiento dinámico, confort en la conducción y seguridad. El estudio de los componentes es indispensable antes de hacer el diseño para que éste sea óptimo. El hecho de que la línea motriz disponga de un motor eléctrico condiciona todo el diseño que será diferente del de un vehículo de combustión interna convencional.

El diseño CAD en tres dimensiones se realiza con el software CATIA V5, y se detalla el proceso seguido. Con respecto a las simulaciones estas se elaboran mediante un análisis por elementos finitos y se utiliza el software ANSYS Mechanical.

En este proyecto se exponen diferentes estudios como son el marco teórico de la competición, el dimensionado de las barras tubulares, la verificación de la resistencia del chasis a diferentes situaciones de carga, la rigidez a torsión y el comportamiento dinámico mediante un análisis modal. También se incluye la explicación del proceso de fabricación de este.

El objetivo de este proyecto es la obtención de un diseño que cumpla con todos los requerimientos inicialmente planteados. Respecto al primer diseño se han realizado algunas modificaciones para cumplir con los requisitos de los estudios realizados.

## **ABSTRACT**

In this final degree project, it is proposed the design of a tubular chassis for a single-seater competition electric vehicle. The design meets with the requirements set out in the regulations of the Formula SAE (Society of Automotive Engineers) regarding the chassis.

Initially, it is developed the theoretical foundation of the chassis, also there are explained the most important parameters and requirements to consider. In addition, it is explained the history of the chassis in competition and the types of structures considering their advantages and disadvantages.

Next, the different parts that make up the chassis structure and its most important components are explained. In a competitive chassis, the structure must ensure good dynamic behaviour, driving comfort and safety. The study of the components is essential before making the design so that it is optimal. The fact that the powertrain has an electric motor determines the entire design that will be different from a conventional internal combustion vehicle.

The three-dimensional CAD design is performed with CATIA V5 software, and the process followed is detailed. Regarding the simulations, these are elaborated by means of a finite element analysis using ANSYS Mechanical software.

In this project there are exposed different studies such as the theoretical framework of the competition, the dimensioning of the tubular bars, the verification of the resistance of the chassis to different load situations, the torsional stiffness, and the dynamic behaviour by means of a modal analysis. Also, it includes an explanation of the manufacturing process.

The objective of this project is to obtain a design that meets all the initially proposed requirements. Regarding the first design, some modifications have been made to comply with the requirements of the studies carried out.



Treball de Fi de Grau

# Enginyeria Mecànica



## Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça

### Document 1: Índex general

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

## Disseny d'un xassís tubular

1	MEMÒRIA .....	3
1.1	FULL D'IDENTIFICACIÓ .....	3
1.2	OBJECTE .....	4
1.3	ABAST .....	5
1.4	ANTECEDENTS .....	6
1.4.1	Introducció al xassís .....	6
1.4.2	Història i evolució del xassís .....	6
1.4.3	Formula SAE .....	7
1.4.4	El xassís a la Formula SAE .....	9
1.5	NORMES I REFERÈNCIES .....	14
1.5.1	Disposicions legals i normes aplicades .....	14
1.5.2	Programes de càlcul .....	14
1.6	DEFINICIONS I ABREVIATURES .....	15
1.6.1	Elements de l'estructura del xassís .....	15
1.6.2	Components del xassís .....	16
1.7	REQUISITS DE DISSENY .....	19
1.7.1	Característiques del vehicle .....	19
1.7.2	Components del xassís .....	28
1.7.3	Dimensionat dels elements del xassís .....	47
1.8	PROCÉS DE FABRICACIÓ .....	66
1.8.1	Preparació dels materials .....	66
1.8.2	Tall dels tubs .....	67
1.8.3	Doblegat dels tubs .....	69
1.8.4	Soldadura .....	71
1.8.5	Tractament superficial .....	76
1.9	ANÀLISIS DE SOLUCIONS I RESULTATS FINALS .....	78
1.9.1	Primer disseny .....	78



## Disseny d'un xassís tubular

1.9.2	Anàlisis i resultats .....	85
1.9.3	Disseny final del xassís .....	117
1.10	CONCLUSIONS .....	126
1.11	BIBLIOGRAFIA.....	128
2	ANNEXES A LA MEMÒRIA.....	3
2.1	ANNEX 1:DOCUMENTACIÓ DE PARTIDA.....	3
2.1.1	Normativa de la Formula SAE 2021 .....	3
2.2	ANNEX 2:CÀLCULS.....	22
2.2.1	Dimensionat de les barres tubulars.....	22
2.2.2	Càlculs de Resistència del xassís.....	33
2.2.3	Rigidesa Torsional del xassís .....	53
2.2.4	Anàlisis Modal del xassís.....	64
2.3	ANNEX 3:POSSIBLES CONFIGURACIONS DE LA LÍNIA MOTRIU .....	73
2.3.1	Configuració 1 .....	73
2.3.2	Configuració 2 .....	74
2.3.3	Configuració 3 .....	75
2.3.4	Configuració 4 .....	75
2.4	ANNEX 4:POSSIBLES PROCESSOS DE SOLDADURA .....	77
2.4.1	Oxigas .....	77
2.4.2	Per arc amb elèctrode revestit .....	77
2.4.3	Per arc protegida amb gas.....	78
2.4.4	Per plasma .....	81
2.5	ANNEX 5: DISSENY CAD AMB CATIA V5.....	82
2.5.1	Procediment seguit per al disseny .....	83
2.6	ANNEX 6:ANNEX DE JUSTIFICACIÓ DE PREUS .....	92
2.6.1	Quadres de preus bàsics.....	92
2.6.2	Partides d'Obra.....	93



## Disseny d'un xassís tubular

2.7	ANNEX 7:CATÀLEGS .....	95
2.7.1	Catàleg de tubs SSAB.....	95
2.7.2	Catàleg de tubs 25CrMo4.....	95
2.7.3	Fitxa tècnica motor EMRAX 228.....	95
2.7.4	Fitxa tècnica controlador motor BAMOCAR D3 .....	95
2.7.5	Atenuador d'impactes (Impact Attenuator).....	95
3	PLÀNOLS	
3.1	Plànol de conjunt	
3.2	Plànol general	
3.3	Part posterior xassís	
3.4	Part davantera xassís	
3.5	Part central xassís	
3.6	Cèrcol principal (Main Hoop)	
3.7	Cèrcol frontal (Front Hoop)	
3.8	Detalls unions soldades	
3.9	Plataforma inferior	
4	PLEC DE CONDICIONS.....	2
4.1	PLEC DE CONDICIONS GENERAL.....	2
4.1.1	Objecte del plec.....	2
4.1.2	Documents del projecte .....	2
4.1.3	Normativa aplicable .....	2
4.2	PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES PARTICULARS .....	4
4.2.1	Materials.....	4
4.3	PLEC DE CONDICIONS FACULTATIVES .....	6
4.3.1	Obligacions i drets del contractista .....	6
4.3.2	Treballs, materials i medis auxiliars .....	6
4.3.3	Recepcions i liquidació .....	7



## Disseny d'un xassís tubular

4.4	PLEC DE CLÀUSULES ADMINISTRATIVES PARTICULARS.....	9
4.4.1	Base fonamental.....	9
4.4.2	Garantia de compliment i fiances.....	9
4.4.3	Preus i revisions .....	10
4.4.4	Valoració i abonament dels treballs .....	10
4.5	PLEC DE CONDICIONS LEGALS.....	13
4.5.1	Arbitratge i jurisdicció.....	13
4.5.2	Accidents laborals .....	13
4.5.3	Rescissió del contracte.....	13
4.6	PLEC DE CONDICIONS DE FABRICACIÓ I MUNTATGE .....	15
4.6.1	Introducció.....	15
4.6.2	Tipus de perills que intervenen en el procés de fabricació i muntatge ...	16
5	ESTAT DE AMIDAMENTS .....	2
5.1	Capítol II: Materials per a la fabricació .....	2
6	PRESSUPOST .....	2
6.1	Quadre de preus N°1 .....	2
6.2	Quadre de preus N°2.....	2
6.3	Pressupost General.....	4
6.4	Resum del pressupost.....	5



Treball de Fi de Grau

# Enginyeria Mecànica



## Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça

### Document 1: Memòria

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

1	MEMÒRIA .....	3
1.1	FULL D'IDENTIFICACIÓ .....	3
1.2	OBJECTE .....	4
1.3	ABAST .....	5
1.4	ANTECEDENTS .....	6
1.4.1	Introducció al xassís .....	6
1.4.2	Història i evolució del xassís .....	6
1.4.3	Formula SAE .....	7
1.4.4	El xassís a la Formula SAE .....	9
1.5	NORMES I REFERÈNCIES .....	14
1.5.1	Disposicions legals i normes aplicades .....	14
1.5.2	Programes de càlcul .....	14
1.6	DEFINICIONS I ABREVIATURES .....	15
1.6.1	Elements de l'estructura del xassís .....	15
1.6.2	Components del xassís .....	16
1.7	REQUISITS DE DISSENY .....	19
1.7.1	Característiques del vehicle .....	19
1.7.2	Components del xassís .....	28
1.7.3	Dimensionat dels elements del xassís .....	47
1.8	PROCÉS DE FABRICACIÓ .....	66
1.8.1	Preparació dels materials .....	66
1.8.2	Tall dels tubs .....	67
1.8.3	Doblegat dels tubs .....	69
1.8.4	Soldadura .....	71
1.8.5	Tractament superficial .....	76
1.9	ANÀLISIS DE SOLUCIONS I RESULTATS FINALS .....	78



## Disseny d'un xassís tubular

1.9.1	Primer disseny .....	78
1.9.2	Anàlisi i resultats .....	85
1.9.3	Disseny final del xassís .....	117
1.10	CONCLUSIONS .....	126
1.11	BIBLIOGRAFIA.....	128



# 1 MEMÒRIA

## 1.1 FULL D'IDENTIFICACIÓ

<b>TÍTOL</b>	Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça.
<b>CODI DE REFERÈNCIA</b>	JBP_TFG_2021
<b>PROJECTE DIRIGIT A</b>	Treball de fi de grau, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Química, Universitat Rovira i Virgili.
<b>PROMOTOR</b>	Universitat Rovira i Virgili.  Ctra. de Valls, s/n, 43007 Tarragona 902 33 78 78
<b>PROJECTE ENCARREGAT A</b>	Jordi Baiget Papió  39953867S  Carrer Sant Francesc 7, 43360 Cornudella de Montsant, Tarragona  657969187  jordibaiget.mtb@gmail.com
<b>PROJECTISTA</b>	Jordi Baiget Papió  Grau Enginyeria Mecànica  39953867S  Carrer Sant Francesc 7, 43360 Cornudella de Montsant, Tarragona  657969187  jordibaiget.mtb@gmail.com



## 1.2 OBJECTE

L'objecte d'aquest treball de fi de grau és realitzar el disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça. Per a l'elaboració d'aquest disseny s'han seguit la majoria dels requisits de la normativa de la competició Formula SAE organitzada per la Society of Automotive Engineers (SAE).

L'estructura del xassís està composta per tubs de secció circular d'acer aliat, en concret, tubs de 25CrMo4 molt utilitzats en el món de la competició. Per al disseny en tres dimensions s'ha utilitzat el software CATIA, un dels més habituals en automoció. I per al posterior anàlisi per elements finits s'ha utilitzat el software ANSYS, compatible amb la majoria de softwares. Per a la realització dels plànols s'ha utilitzat el software SOLIDWORKS compatible amb el software CATIA.

En la fase de disseny, aquest xassís es basa en tot moment en les dimensions d'un vehicle estil formula i s'estudien els components que incorpora aquest i que afectaran a la geometria de l'estructura final.

En la fase d'anàlisi, es simulen diferents situacions en les que es troba el vehicle durant la competició i es verifica si es compleix amb els criteris de resistència estructural i rigidesa torsional. Finalment, també es realitza un anàlisi modal per estudiar la dinàmica del vehicle.

Amb la realització d'aquest projecte l'objectiu ha estat sempre el de consolidar els coneixements adquirits durant el grau i desenvolupar-los en el sector de l'automoció. Amb el disseny d'un xassís les dos fases principals són la de disseny i la d'anàlisi i partir d'aquestes fases s'han assolit els coneixements necessaris per a la realització d'un xassís adequat per al món de la competició que compleix amb els requisits plantejats inicialment.



### 1.3 ABAST

L'abast d'aquest projecte és el disseny i anàlisi de l'estructura d'un xassís tubular d'un vehicle elèctric de competició monoplaça d'acord amb els requisits de la Formula SAE.

En la fase de disseny amb CATIA s'han definit totes les dimensions d'acord amb la normativa establerta per la Formula SAE i també s'han estudiat els components que van subjectes al xassís tenint en compte les seves dimensions i punts d'ancoratge. En la fase d'anàlisi amb ANSYS s'ha estudiat la resistència estructural, la rigidesa i el comportament dinàmic de l'estructura utilitzant com a base també gran part de la normativa Formula SAE.

Per finalitzar amb el projecte s'ha explicat el procés de fabricació del xassís i s'ha realitzat un pressupost que indica el preu aproximat del projecte. Aquesta part és molt important perquè sense un estudi econòmic correcte el projecte no seria rentable i no es podria desenvolupar.



## 1.4 ANTECEDENTS

### 1.4.1 Introducció al xassís

El xassís és l'estructura principal d'un vehicle sobre la qual van muntats els diferents elements mecànics. La seva principal funció és la de suportar de la manera més rígida possible tots els elements que componen el vehicle. Entre aquests elements destaquen la línia motriu, el sistema de suspensió, el sistema de frens, sistema de direcció, la carrosseria, el pilot, entre d'altres.

Els tres paràmetres més importants a tenir en compte en el disseny d'un xassís són els següents:

- La lleugeresa. És important que l'estructura del xassís sigui el més lleugera possible ja que aquest fet millorarà la potència i el rendiment del motor i reduint el consum de la bateria o combustible.
- La rigidesa. És el principal paràmetre a tenir en compte degut a que és el que més afecta al comportament del vehicle en circulació. Normalment aquest paràmetre s'avalua mitjançant la rigidesa torsional (en Nm/º), l'objectiu es aconseguir una rigidesa adequada segons el tipus de vehicle i les necessitats d'aquest.
- El procés de fabricació. Aquest haurà de ser viable per a que el seu cost no es vegi incrementat i haurà de tenir en compte tots els requisits de cada tipus de vehicle.

### 1.4.2 Història i evolució del xassís

El xassís d'un vehicle és l'estructura que connecta el vehicle amb l'asfalt com ja s'ha comentat. Al llarg de la història s'han dissenyat molts tipus de xassís que han anat evolucionant fins a dia d'avui.

Fa més de cent anys els vehicles que es fabricaven constaven de dos parts ben diferenciades la carrosseria i el xassís, també anomenada carrosseria independent. El material utilitzat per a la fabricació era la fusta i la tècnica utilitzada era la mateixa que per a la construcció de carruatges de cavalls.

A partir del 1910, es van començar a utilitzar materials més habituals avui en dia com l'acer i l'alumini de manera que aquests proporcionaven unes millors propietats mecàniques a l'estructura tals com major resistència i rigidesa.



## Disseny d'un xassís tubular

Un dels primers vehicles amb un xassís tubular complet va ser el Mercedes 300SL fabricat entre els anys 1954 i 1967, i va ser dissenyat per l'enginyer Rudolf Uhlenhaut. El material principal utilitzat va ser l'aliat Crom-Molibdè per a les barres tubulars i aquestes estaven unides mitjançant soldadura i triangulades entre sí per a tenir la màxima rigidesa. La massa total d'aquest xassís era de 82 quilograms (Figura 1.1).



*Figura 1.1. Xassís tubular del Mercedes 300SL.*

*[[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Paris\\_-\\_Retromobile\\_2013\\_-\\_Mercedes-Benz\\_300\\_SL\\_coup%C3%A9\\_-\\_004.jpg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b4/Paris_-_Retromobile_2013_-_Mercedes-Benz_300_SL_coup%C3%A9_-_004.jpg)].*

Més endavant es van començar a fabricar els vehicles mitjançant el tipus de carrosseria autoportant i aquest mètode és el més utilitzat actualment per totes les marques d'automòbils. El vehicle disposa del bastidor i de la carrosseria integrats en un sol element, de manera que les funcionalitats del xassís passen a la carrosseria.

### **1.4.3 Formula SAE**

La Formula SAE [1] és una competició que desafia equips d'estudiants universitaris d'arreu del món que estan cursant un grau o bé un post grau relacionat amb el sector de l'automoció.

Aquesta competició es va originar als Estats Units l'any 1982 i l'organisme encarregat va ser la Society of Automotive Engineers (SAE). Aquesta societat actualment encara és l'encarregada de regular tota la normativa referent a aquesta competició. I el seu paper és global a totes les competicions arreu del món (Figura 1.2).





*Figura 1.2. Logo de la Society of Automotive Engineers (SAE). SAE International.*

Els estudiants han de concebre, dissenyar, fabricar, desenvolupar i competir amb vehicles estil fórmula.

Les experiències que s'adquireixen quan participes en aquesta competició són les següents:

- Habilitats de gestió de projectes, pressupostos, comunicació i gestió de recursos.
- Treball en equip.
- Aplicació de normes i regulacions de la indústria.
- Dissenyar, construir i provar el rendiment d'un vehicle real.
- Interactuar i competir amb estudiants de tot el món.
- Elaborar i preparar documentació tècnica.

Els estudiants a més a més tenen contacte amb professionals del sector ja que treballaran amb ells i això suposarà un gran aprenentatge.

La competició desafia el rendiment dels vehicles en una sèrie d'esdeveniments i proves tan a pista com fora de pista que ofereix la possibilitat de demostrar la seva creativitat i enginyeria als diferents equips que participen.

Cada disseny serà jutjat i avaluat envers la resta de competidors en una sèrie de proves estàtiques i dinàmiques per determinar quin es el vehicle que millor compleix els objectius de disseny per tal de fabricar-se i comercialitzar-se amb èxit.

Aquesta competició té els seus orígens als Estats Units tal i com s'ha definit, però a partir dels anys 90 es va anar estenent arreu del món fins a internacionalitzar-se totalment. Actualment aquesta competició es disputa a totes les ubicacions que apareixen a la Figura 1.3, de manera que tots els països segueixen la mateixa normativa i les proves són puntuables per a una classificació mundial. En cada competició de cada país hi participen fins a 120 equips i uns 2000 estudiants.



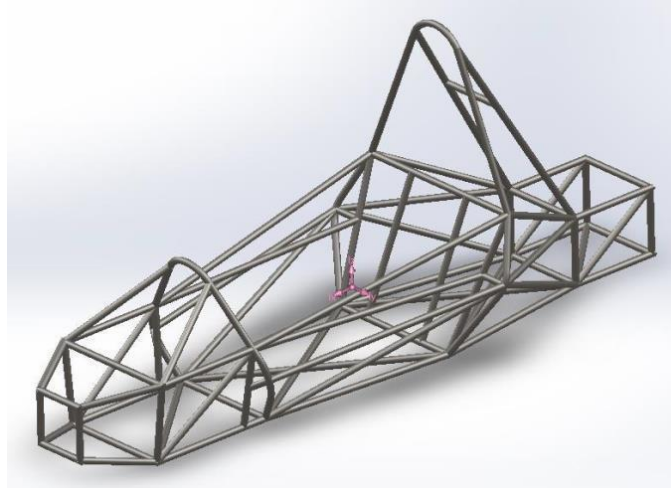
## Disseny d'un xassís tubular



*Figura 1.4. Xassís monocasc d'un vehicle de la Formula SAE.*  
[<https://www.semanticscholar.org/paper/Analysis-of-Composite-Chassis-Eurenius-Danielsson/14f9d8e99cb1012baacf9239c89d7f4804544bb9#extracted>].

Per la seva banda, les estructures tubulars (Figura 1.5) són les més utilitzades en la competició amb diferència principalment pel tema econòmic ja que la majoria d'universitats no disposen d'un pressupost tan elevat. El material més utilitzat en aquest tipus d'estructura és l'acer o aliats del mateix i les barres són de secció circular o quadrangular. Aquestes estructures presenten també bones propietats de resistència i rigidesa però la massa és bastant més elevada i això provoca que no siguin tan competitives com les estructures monocasc. A més a més, per a la fabricació d'un xassís tubular és necessari disposar d'un soldador expert ja que les soldadures en les unions de les barres són de gran dificultat i han d'estar correctament per tal de no comprometre la seguretat del pilot. Un altre inconvenient de les estructures tubulars és que la seva capacitat de deformació per flexió i torsió és molt reduïda en comparació amb els xassís monocasc.





*Figura 1.5. Xassís tubular d'un vehicle de la Formula SAE.  
[[https://www.researchgate.net/figure/Posicion-del-centro-de-gravedad-del-diseno-final-Debido-a-que-solo-conocemos-el-peso-del\\_fig28\\_316860745](https://www.researchgate.net/figure/Posicion-del-centro-de-gravedad-del-diseno-final-Debido-a-que-solo-conocemos-el-peso-del_fig28_316860745)].*

### **Requeriments del xassís**

Els requeriments del xassís que determinaran el disseny del vehicle són els següents: la dinàmica, el confort i la seguretat durant la conducció.

Segons la dinàmica en la conducció, al tractar-se d'un vehicle de competició la resposta del vehicle degut als accionaments durant la conducció serà molt més directa i la dinàmica es veurà afectada.

Aquesta dinàmica és analitzada mitjançant l'estudi de les forces a les quals el vehicle està sotmès durant la conducció, per tant es tenen en compte factors com la resposta del vehicle a un gir del volant, la necessitat de precisió en corba, la maniobrabilitat, l'estabilitat en el seguiment de la via, el comportament de frenada en corba, la capacitat de tracció de les rodes del vehicle en diferents situacions, la resposta a un gir brusca i la resposta del sistema de suspensió (Figura 1.6).



## Disseny d'un xassís tubular



*Figura 1.6. Representació d'una situació de conducció d'un vehicle de la Formula SAE.*  
 [<https://www.udel.edu/udaily/2018/august/fsae-race-car-building-team-finish-23rd-engineering/>].

Segons el confort en la conducció, es tindrà en compte la resposta vibracional del vehicle generada durant la conducció i que afectarà al confort del pilot. En un vehicle de competició el sistema de suspensions és molt específic i està format per braços en doble triangle que uneixen les rodes amb l'estructura del xassís.

Els factors que determinen el confort del vehicle són aquells tals com la sensibilitat als impactes en el volant, les vibracions del volant, la resposta freqüencial de les suspensions, l'absorció de les suspensions, la sensibilitat del vehicle a les irregularitats del paviment, l'esmoreïment de les rodes i el control del balanceig, capcineig i guinyada del vehicle (Figura 1.7).

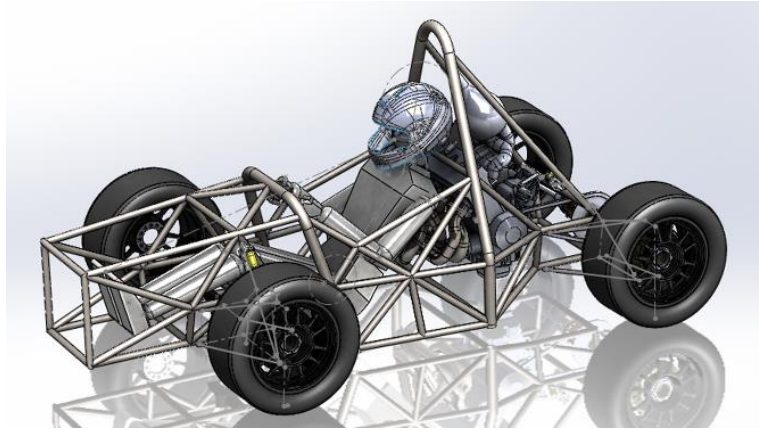


*Figura 1.7. Representació del sistema de suspensió d'un vehicle de la Formula SAE.*  
 [<https://abhijeetscad.wordpress.com/2015/01/03/fsae-car/>].

Segons la seguretat en la conducció, serà imprescindible en aquest tipus de vehicle la seva resposta en situacions límit en un circuit que puguin comprometre la integritat del pilot. És per això que el xassís estarà dissenyat perquè sigui segur en totes aquestes situacions.

## Disseny d'un xassís tubular

Els factors que determinen la seguretat del vehicle (Figura 1.8) són tals com el control durant el gir a altes velocitats o en superfícies danyades o lliscants, la predictibilitat del comportament del vehicle, la distància de frenada i el control de la força de frenada, el control del patinatge de roda i la seguretat en cas d'accident, impacte amb altres vehicles o elements de la via, situació de bolcada, entre d'altres.



*Figura 1.8. Representació del pilot a l'interior del xassís protegit en cas d'accident.  
[<https://cargocollective.com/huntershank/Formula-Penn-Racing-FSAE>].*



## 1.5 NORMES I REFERÈNCIES

### 1.5.1 Disposicions legals i normes aplicades

- Norma española UNE: 157001. Criterios generales para la elaboración de proyectos.
- Formula SAE Rules 2021.
- Formula Student Germany Rules 2020.
- Formula SAE Rules 2017-18.
- UNE 1039, *Dibujos técnicos. Acotación. Principios generales, definiciones, métodos de ejecución e indicaciones especiales.*
- UNE-EN 10305-3:2016 de tubs d'acer per a aplicacions de precisió.

### 1.5.2 Programes de càlcul

- CATIA V5 Dassault Systemes.
- ANSYS 2021 R1.
- Microsoft Excel 2020.
- SOLIDWORKS 2016 Dassault Systemes.
- AUTODESK AUTOCAD 2021.



## 1.6 DEFINICIONS I ABREVIATURES

### 1.6.1 Elements de l'estructura del xassís

A continuació es defineixen els diferents elements que componen l'estructura del xassís indispensables d'identificar prèviament a l'inici del disseny. Aquests estan definits a la normativa de la Formula SAE 2021 [2] i són els següents (Figura 1.9):

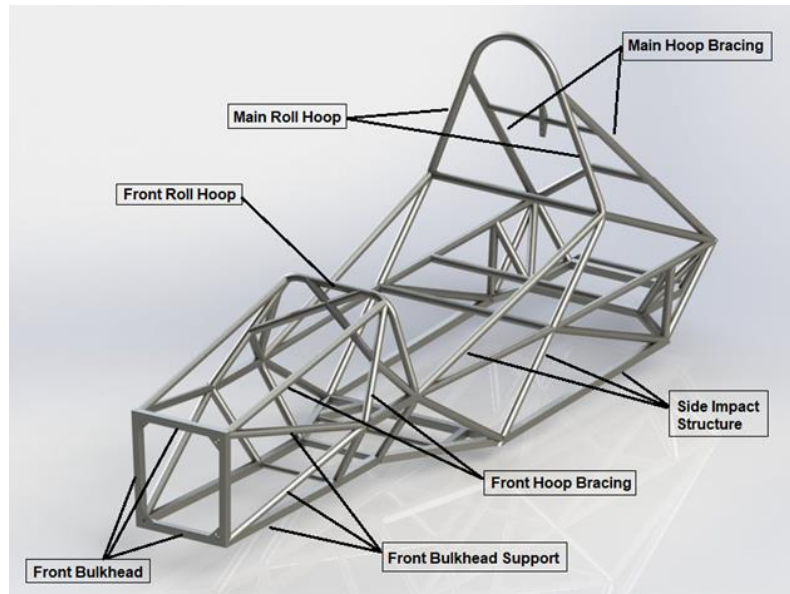


Figura 1.9. Xassís d'exemple on s'identifiquen els elements que componen l'estructura. Font pròpia.

#### 1.6.1.1 Main Hoop

Cèrcol principal (Main Hoop). Barra doblegada situada sobre el cap del pilot. La seva funció principal és protegir el pilot en cas d'una situació de bolcada. Té forma de cercle com el seu nom indica i requereix de majors dimensions que la resta de tubs ja que els esforços que haurà de suportar també seran majors. L'extrem és arrodonit ja que d'aquesta manera s'evita una concentració de tensions.

#### 1.6.1.2 Front Hoop

Cèrcol frontal (Front Hoop). Barra doblegada situada sobre les cames del pilot, propera al volant. La seva funció és la de protegir la part superior del pilot, parts com el pit, els braços i les espatlles. Igual que amb el Main Hoop, aquest també requereix de majors dimensions que la resta de tubs ja que els esforços que haurà de suportar també seran majors.

### *1.6.1.3 Roll Hoop Braces and Supports*

Tirants i suports de cercol (Roll Hoop Braces and Supports). Aquests van units als cercols mitjançant soldadura i la seva funció és la de minorar les tensions que han de suportar els cercols de manera que es transmeten part d'elles a aquests tirants i suports.

### *1.6.1.4 Side Impact Structure*

Estructura d'impacte lateral (Side Impact Structure). Es tracta d'una estructura formada per 3 o més tubs que formen triangles entre ells i la seva funció és la de protegir el pilot també en cas d'impacte lateral. De la mateixa manera que amb el Main i Front Hoops requereix de majors dimensions que la resta de tubs ja que els esforços que haurà de suportar també seran majors.

### *1.6.1.5 Front Bulkhead*

Mampara frontal (Front Bulkhead). Estructura plana que proporciona protecció als peus del conductor. La seva funció és la de suportar l'atenuador d'impactes (Impact Attenuator) i de proporcionar seguretat al pilot en cas d'impacte frontal ja que és el primer element que rebria un impacte d'aquest estil.

### *1.6.1.6 Front Bulkhead Support*

Support de mampara frontal (Front Bulkhead Support). Està format per un conjunt de tubs que uneixen la mampara frontal (Front Bulkhead) amb la resta d'elements del xassís. Aquests han de suportar majors esforços que el Front Bulkhead ja que en cas d'impacte ha de ser capaç de distribuir de forma uniforme les tensions cap a la resta d'elements del xassís.

### *1.6.1.7 Rest of Frame Members*

Qualsevol membre de l'estructura, guia o suport que transfereixi una càrrega des del sistema de restricció del pilot.

## **1.6.2 Components del xassís**

A continuació es defineixen els components dels que disposarà el vehicle i que afectaran al disseny i comportament del xassís. Es tindran en compte les seves dimensions i els seus punts d'ancoratge al xassís. Aquests components són els següents:

### 1.6.2.1 Línia motriu

La línia motriu és el sistema que permet transmetre el moviment del motor a les rodes i d'aquesta manera propulsar el vehicle. En el vehicle de competició d'aquest projecte la línia motriu està composta pels següents components: el motor elèctric, el controlador del motor, el paquet de bateries, el diferencial i els paliers.

#### **Motor elèctric**

El motor és el component principal i la seva funció és la de transformar l'energia elèctrica que li proporciona el paquet de bateries en energia mecànica que es transfereix a les rodes, passant pel diferencial i els paliers.

#### **Controlador del motor**

El controlador del motor és el component encarregat de controlar tots aquells processos que involucren el motor elèctric i el paquet de bateries. S'encarrega de controlar el flux d'energia que es transmet i la velocitat i acceleració del vehicle.

#### **Paquet de bateries**

El paquet de bateries és l'element encarregat d'emmagatzemar l'energia necessària que serà transmesa al motor per propulsar el vehicle. Una de les seves principals funcions és la de Subministrar la màxima potència als motors a la tensió desitjada.

#### **Diferencial**

És un sistema d'engranatges que s'encarrega de regular la velocitat de gir de les dues rodes que estan unides per un sol eix. Aquesta característica és molt important en el pas en corba perquè la roda que passa per l'exterior ha de recórrer un camí més llarg que la que passa per l'interior de la corba afectant així en les seves velocitats angulars.

#### **Paliers**

És un element de la transmissió mecànica en els vehicles automòbils destinat a transmetre la potència des del diferencial a les rodes motrius. La configuració dels paliers varia en funció dels requeriments del tipus de transmissió, suspensió i la direcció de cada vehicle.



### *1.6.2.2 Sistema de frens*

El sistema de frens d'un vehicle és l'encarregat de reduir o aturar la inèrcia de les parts mòbils en contacte amb el terra, és a dir, les rodes. Els cotxes moderns tenen frens a les quatre rodes, operats per un sistema hidràulic. Aquests frens poden ser de disc o de tambor.

### *1.6.2.3 Sistema de suspensió*

El sistema de suspensió d'un vehicle és el conjunt de components mecànics que uneixen la part suspesa del vehicle amb la superfície rodant. Permet obtenir un major control i seguretat del vehicle donat que contribueix a millorar l'estabilitat d'aquest, millorant l'adherència i la resposta de la direcció, i a més a més, serveix per absorbir les irregularitats de el terreny de manera que proporciona una major comoditat als ocupants de el vehicle.

### *1.6.2.4 Sistema de direcció*

El sistema de direcció d'un vehicle és l'encarregat de controlar la trajectòria del vehicle sota qualsevol condició de conducció. El conductor gira un volant el qual acciona les rodes gràcies a un sistema de direcció.

### *1.6.2.5 Rodes*

La roda és un element de forma circular que a través de la seva funció mecànica fa girs al voltant d'un eix.

### *1.6.2.6 Impact attenuator*

És un dispositiu destinat a reduir els danys causats per una col·lisió a les estructures, vehicles i conductors. Els atenuadors d'impacte estan dissenyats per absorbir l'energia cinètica del vehicle quan impacta.

## 1.7 REQUISITS DE DISSENY

Per al disseny del xassís s'han seguit un conjunt de requisits recollits a la normativa de la competició. En concret, aquests requisits han estat obtinguts de la normativa de l'any 2021 de la Formula SAE [2], que es la normativa general elaborada per a les competicions que es disputen a les universitats dels Estats Units, i aquests estan definits de forma completa en l'annex 1.

És important destacar que per a l'abast d'aquest treball de fi de grau el xassís que s'ha dissenyat compleix amb tots els requeriments de la competició respecte al xassís. Ara bé, la resta de requisits imposats per la norma referents a parts del vehicle que no siguin el xassís s'han obviat o bé s'han tingut en compte per sobre ja que es considera que no són de vital importància per a l'elaboració d'aquest projecte.

I també cal destacar que aquest projecte es centra en el disseny d'un xassís d'un vehicle de competició monoplaça i la normativa de la FSAE s'ha utilitzat com a base per a què el disseny del xassís tingués una coherència i un punt de partida del qual començar. Per tant, molts dels requisits de la normativa no s'han seguit al peu de la lletra i aquesta s'ha utilitzat com una referència bibliogràfica més.

Amb tot això, a continuació es detallen les característiques del vehicle del qual s'ha dissenyat el xassís, els elements dels que disposa aquest i el dimensionat dels mateixos.

### 1.7.1 Característiques del vehicle

En aquest apartat es detallen les característiques del vehicle que segueixen la normativa de la FSAE. Cal deixar clar des del principi que aquest vehicle és estil fórmula i per tant les seves característiques seran adients a aquest estil de vehicles de competició.

Les característiques són les següents:

- Seguint amb el concepte d'estil fórmula, el vehicle és de rodes obertes (open wheeled) i de cabina de pilotatge oberta (open cockpit), i les quatre rodes no estaran en línia recta.

En el projecte no s'han dissenyat les rodes com per avaluar en detall aquesta característica, però, les dimensions finals del xassís que es poden visualitzar a l'apartat de plànols del treball són adients per al disseny de rodes obertes així que sí que s'estaria complint amb aquest primer requisit.

## Disseny d'un xassís tubular

S'ha decidit col·locar les rodes en la seva possible posició per mostrar que efectivament es tracta d'un vehicle de rodes obertes i això s'observa a la Figura 1.10.

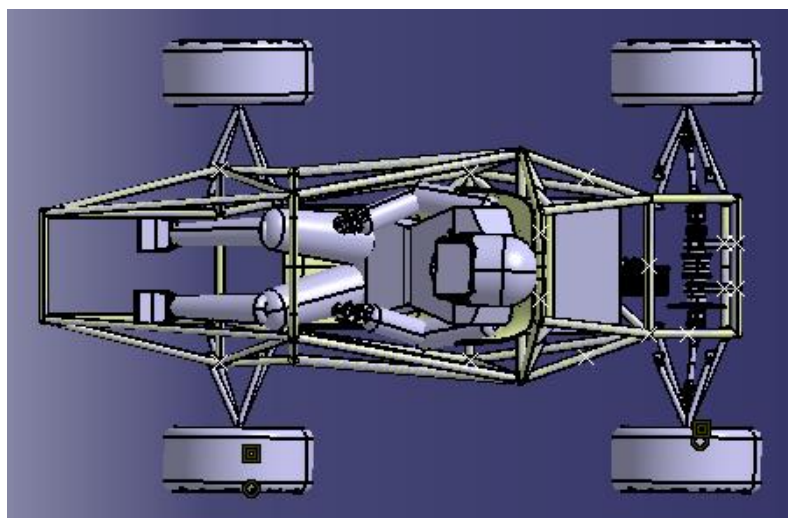


Figura 1.10. Representació de la condició de rodes obertes del vehicle. Font pròpia.

- La característica essencial que es va seguir per a començar el disseny amb el programa CATIA és la distància entre eixos (wheelbase), detallat el procés seguit en l'annex 5.

El requisit de la normativa és que aquesta distància sigui de com a mínim 1525 mm. Tenint en compte les distàncies escollides anteriorment per altres equips participants en la competició, la longitud aproximada que tindrà el vehicle per a que tots els components s'hi ajustin i la valoració personal de la disposició dels mateixos, s'ha decidit que la distància entre eixos sigui de 1530 mm tal i com s'observa a la Figura 1.11.



## Disseny d'un xassís tubular

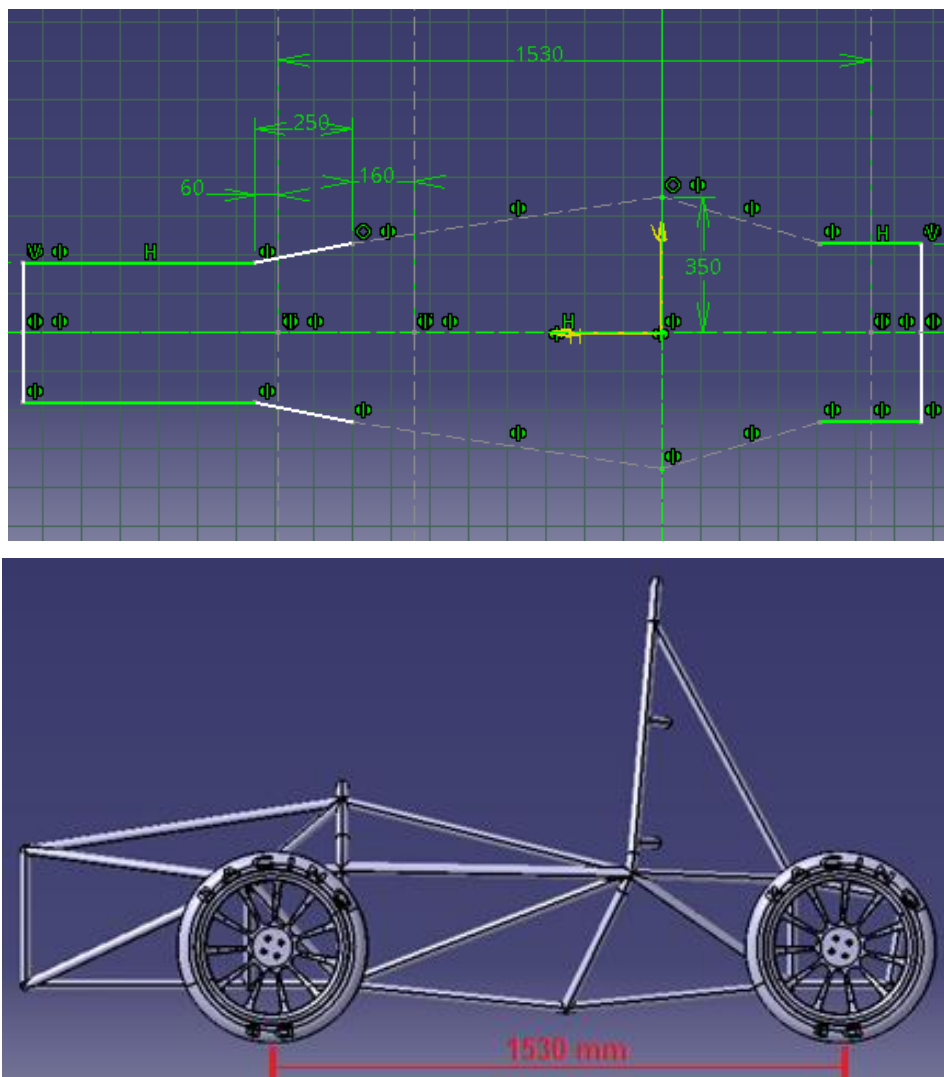


Figura 1.11. Representació de la distància entre eixos. Font pròpia.

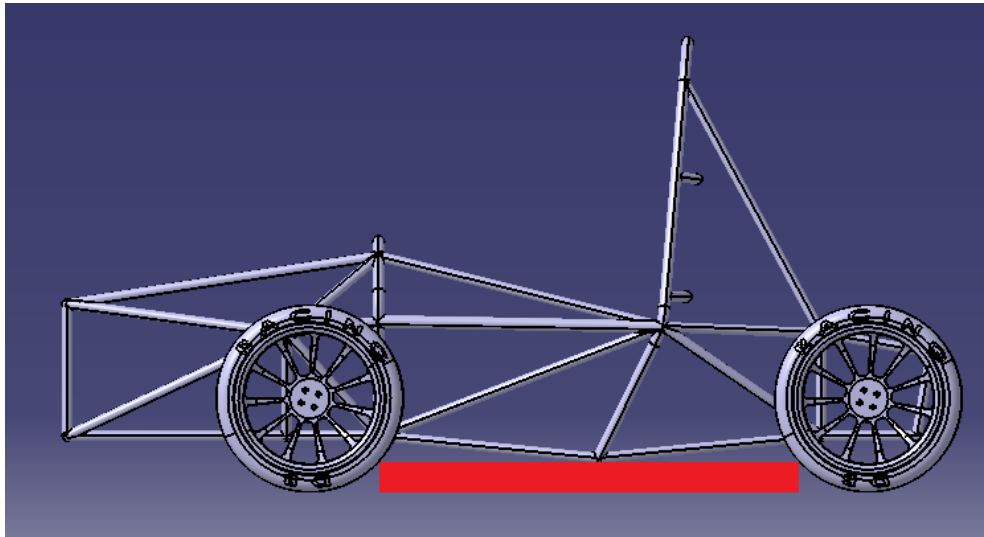
- Per a l'ample de via a la normativa no s'especifiquen unes dimensions en concret. Es demana que aquest sigui coherent per proporcionar estabilitat al balanceig i a la rotació segons l'eix x.

Com en el cas del primer requisit de rodes obertes, l'ample de via tampoc es pot determinar sinó es realitza el disseny de la resta d'elements com els eixos, sistema de direcció o sistema de suspensió. Ara bé, les dimensions del xassís permetran que aquest ample de via es pugui dimensionar de forma adequada per a un vehicle com aquest.

- L'alçada des del terra és una altra de les característiques definides a la norma i aquesta ens diu que cap part del vehicle que no siguin les rodes pot tocar el terra durant les proves dinàmiques.



Tal i com s'observa a la figura següent (Figura 1.12) aquesta distància serà la suficient com perquè cap element contacti amb el terra. Ara bé, com que és un requisit que també depèn d'altres elements dissenyats, en aquest cas les rodes, tampoc es pot determinar de forma concreta quina és la seva magnitud.



*Figura 1.12. Representació de l'alçada des del terra. Font pròpia.*

- Una altra de les característiques essencials que es van seguir per al disseny són totes aquelles que fan referència al pilot del vehicle.

El pilot no és un component del xassís com a tal, però és indispensable tenir en compte les seves dimensions, la posició i l'espai que ocuparà en el vehicle per a que el disseny del xassís sigui l'adequat.

En primer lloc, les dimensions del pilot estan definides a la normativa de la FSAE i són les relatives al percentil 95 masculí.

Les dimensions apareixen a la taula següent (Taula 1.1):



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 1.1. Taula de mesures del percentil 95 masculí. Anthropometric Reference Data FSAE [3].

Dimensió #	Dimensió	Percentil 95 Masculí
	Massa	102 kg
1	Alçada de peu	186,5 cm
5	Alçada del maluc	100 cm
8	Alçada assegut	97 cm
10	Alçada espatlles assegut	64,5 cm
17	Amplada espatlles assegut	50,5 cm
19	Amplada maluc	40,5 cm
25	Longitud braç estirat	71,5 cm
30	Longitud peu	28,5 cm
31	Amplada peu	11 cm

Cada nombre correspon a una mesura del cos diferent. Aquestes mesures es distingeixen a la següent figura (Figura 1.13):

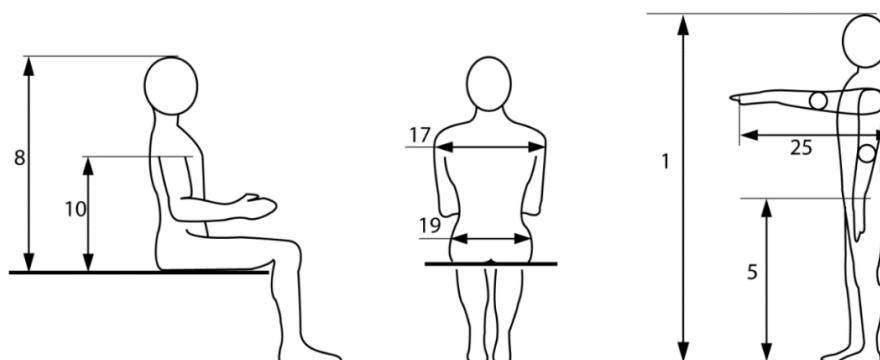


Figura 1.13. Esquema on s'indiquen les magnituds de la taula anterior. Anthropometric Reference Data FSAE [3].

En segon lloc, referent a la visibilitat, el pilot en posició de conducció ha de tenir un camp de visió de mínim 100° a banda i banda, incorporant si són necessaris retrovisors per complir amb aquesta premissa.

En tercer lloc, tenint en compte les dimensions anteriors obtingudes de la normativa de la FSAE, s'obté un plantilla del pilot simulant la seva posició de conducció. A la Figura 1.14 s'aprecia aquesta plantilla.



## Disseny d'un xassís tubular

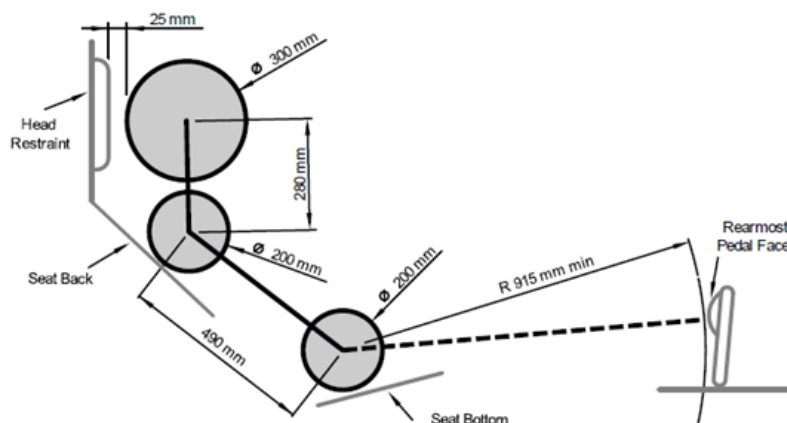


Figura 1.14. Plantilla del pilot segons les dimensions i la posició dins el vehicle. FSAE Rules 2021 [2].

En quart lloc, i també tenint en compte la normativa de la FSAE, s'han obtingut dues plantilles de les dimensions del Cockpit.

La primera, la de l'obertura de la cabina (Cockpit) i és la següent (Figura 1.15):

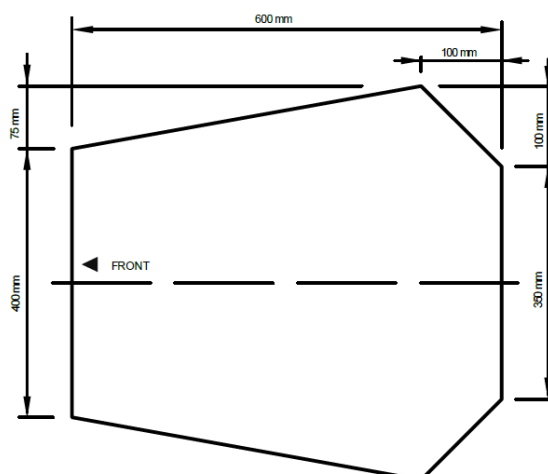


Figura 1.15. Plantilla de l'obertura del Cockpit. FSAE Rules 2021 [2].

Aquesta plantilla s'entén que està compresa entre el Cèrcol Frontal (Front Hoop) i el Cèrcol Principal (Main Hoop).

I a la segona (Figura 1.16), la plantilla de la secció transversal intern del Cockpit:



## Disseny d'un xassís tubular

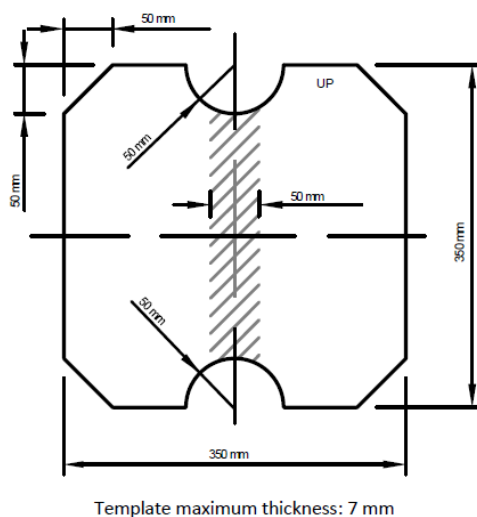


Figura 1.16. Plantilla de la secció transversal del Cockpit. FSAE Rules 2021 [2].

Tenint en compte les dimensions anteriors obtingudes de la normativa de la FSAE, s'obté un plantilla del pilot simulant la seva posició de conducció.

Tal i com es detalla en l'annex de disseny del xassís amb CATIA, s'ha realitzat un disseny propi sense detalls d'aquest pilot amb les dimensions corresponents. Seguidament, s'ha descarregat una plantilla del pilot corresponent també a aquest percentil a la pàgina GRABCAD [4] i s'han comparat els dos per comprovar si aquest últim complia amb els requisits de la competició (Figura 1.17).

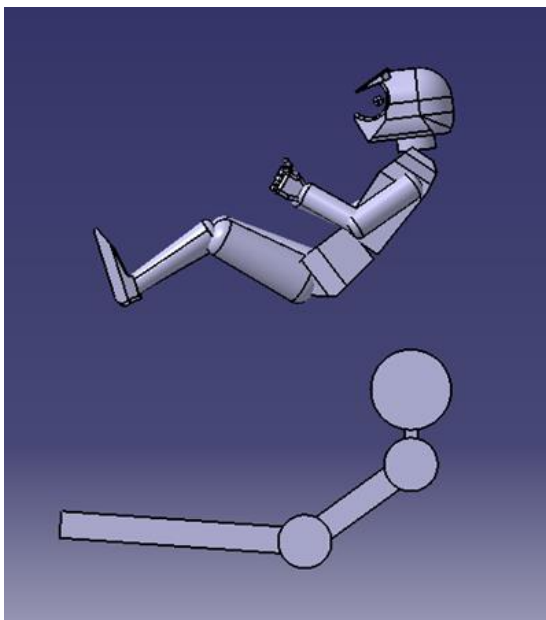


Figura 1.17. Comparació dels pilots. Pilot descarregat (part superior) i pilot disseny propi (part inferior). Font pròpia.

## Disseny d'un xassís tubular

Es va decidir utilitzar aquest disseny descarregat degut a la major quantitat de detalls i acabats i la incorporació de totes les parts del cos interessants per al disseny com els braços, les mans, les cames i els peus, a més a més del casc que augmenta notablement el volum del cap de la persona.

Aquesta plantilla es va utilitzar per dibuixar en planta la forma del xassís col·locant en la part central al pilot, d'aquesta manera es poden obtenir unes primeres dimensions aproximades de les que tindrà finalment el disseny acabat (Figura 1.18).

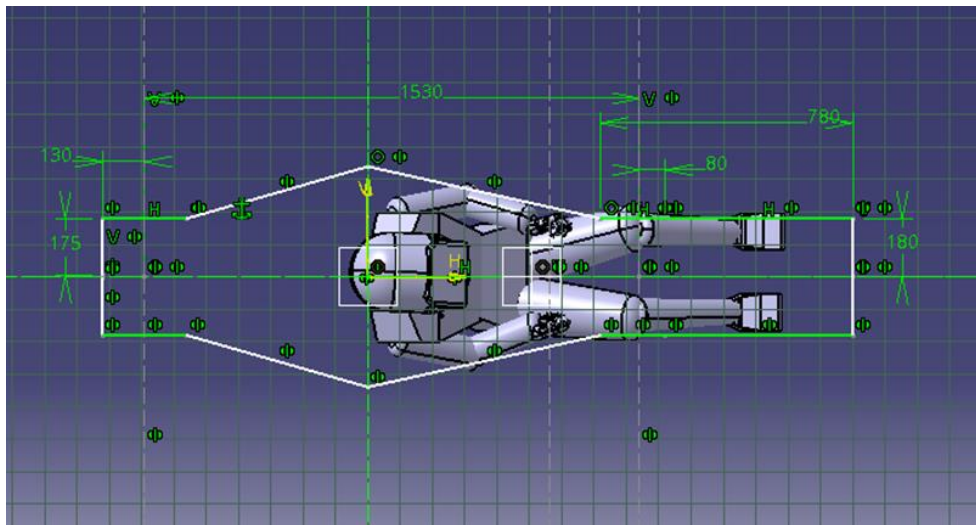


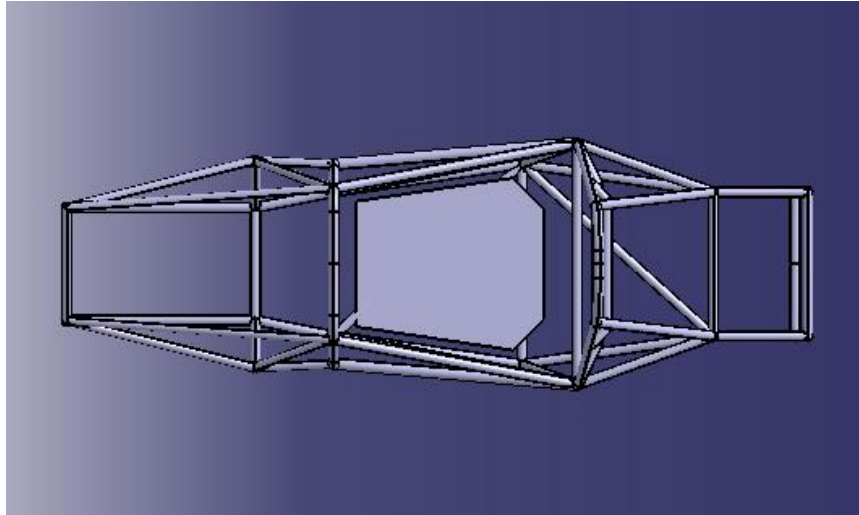
Figura 1.18. Vista en planta del xassís amb el pilot situat en la posició central. Font pròpia.

També tenint en compte la normativa de la FSAE, s'han obtingut dues plantilles del les dimensions del Cockpit.

La primera, la de l'obertura de la cabina (Cockpit). Aquesta plantilla s'entén que està compresa entre el Cèrcol Frontal (Front Hoop) i el Cèrcol Principal (Main Hoop). I la segona, la plantilla de la secció transversal interna del Cockpit.

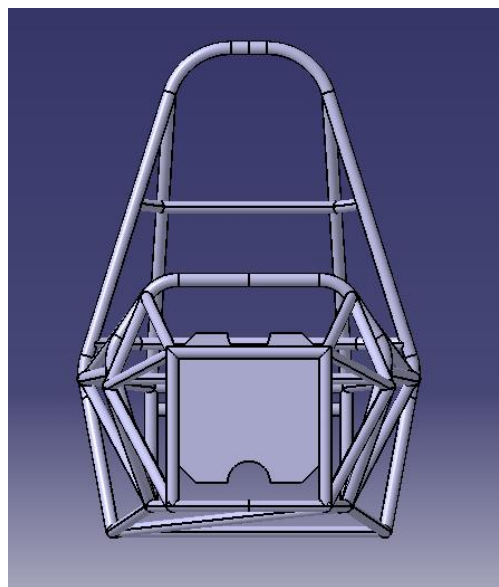
Durant el disseny del xassís es va comprovar en tot moment que el Cockpit complís amb aquests requisits i com es pot veure en les següents figures el disseny és l'adequat.





*Figura 1.19. Col·locació de la plantilla de l'obertura de la cabina sobre el xassís. Font pròpia.*

Tal i com es veu a la Figura 1.19, la plantilla de l'obertura de la cabina en planta està correctament ubicada i demostra que el pilot té l'espai suficient per efectuar les seves funcions i inclús aquest disposa de major espai que el mínim requerit.



*Figura 1.20. Col·locació de la plantilla de la secció transversal de la cabina en el xassís. Font pròpia.*

Tal i com es veu a la Figura 1.20, el Cockpit també disposa de l'espai necessari segons la secció transversal, per tant, també es verifica que el disseny del xassís compleix amb aquest requisit.

### 1.7.2 Components del xassís

S'entenen com a components del xassís aquells subsistemes, tenint en compte les parts de les que disposa cadascun d'ells, que formen el xassís. La informació d'aquest apartat ha estat obtinguda dels llibres [5] i [6].

Per a classificar els diferents components del xassís es segueix una metodologia modular que és la més utilitzada en la indústria.

Per aquest projecte s'ha simplificat la classificació dels components per centrar-se en aquells que són més importants per així poder estudiar-los de forma clara i concisa.

Per tant, la classificació dels components del xassís és la següent:

- Línia motriu
  - Motor elèctric
  - Controlador del motor
  - Paquet de bateries
  - Diferencial
  - Paliers
- Sistema de frens
- Sistema de suspensió
- Sistema de direcció
- Rodes
- Atenuador d'impactes

#### 1.7.2.1 Línia motriu

La línia motriu és un sistema format per aquells elements que permeten propulsar el vehicle. Es genera energia mecànica que es transmet des del motor a les rodes del vehicle.

Les principals funcions de la línia motriu són:

- Transformar energia elèctrica en energia mecànica per accionar les rodes.
- Controlar a transferència de potència a les rodes segons les condicions de la via.
- Connectar i desconnectar el motor.
- Recuperar l'energia durant la frenada. Fre regeneratiu.
- Emmagatzemar energia elèctrica.

## Disseny d'un xassís tubular

- Esmorteir les vibracions generades per la rotació del motor.

La línia motriu del vehicle del projecte està formada per un motor elèctric situat a la part posterior que serà l'encarregat de generar l'energia mecànica per accionar les rodes.

La línia motriu es classifica segons el posicionament del motor: tenint en compte la direcció de l'eix del motor, es tracta d'una línia motriu amb motor transversal. I segons la situació del motor, aquest es tracta d'un motor posterior situat darrere a l'allotjament del pilot.

Aquesta línia motriu també es classifica segons els eixos tractors, en aquest cas es tracta d'un vehicle amb tracció posterior.

### **Configuració de la línia motriu**

En l'annex de possibles configuracions de la línia motriu (annex 3) es presenten les possibles configuracions de la línia motriu amb l'objectiu de definir quina serà la millor opció per al vehicle d'aquest projecte.

Partint de la premissa de que es tracta d'un vehicle elèctric, la línia motriu es veurà afectada ja que s'haurà de tenir en compte que s'elimina la caixa de canvis i el sistema de transmissió es simplifica de forma significativa.

Una de les avantatges que proporciona una línia motriu d'un vehicle elèctric és la possibilitat de col·locar motors directament en roda. Per tant es podrien disposar fins i tot quatre motors, un a cada roda del vehicle es quals estarien dominats per un sistema de control adequat de manera que s'aplicaria un parell diferent a cada roda en funció de les necessitats i condicions de la via. Aquest sistema s'anomena "torque vectoring".

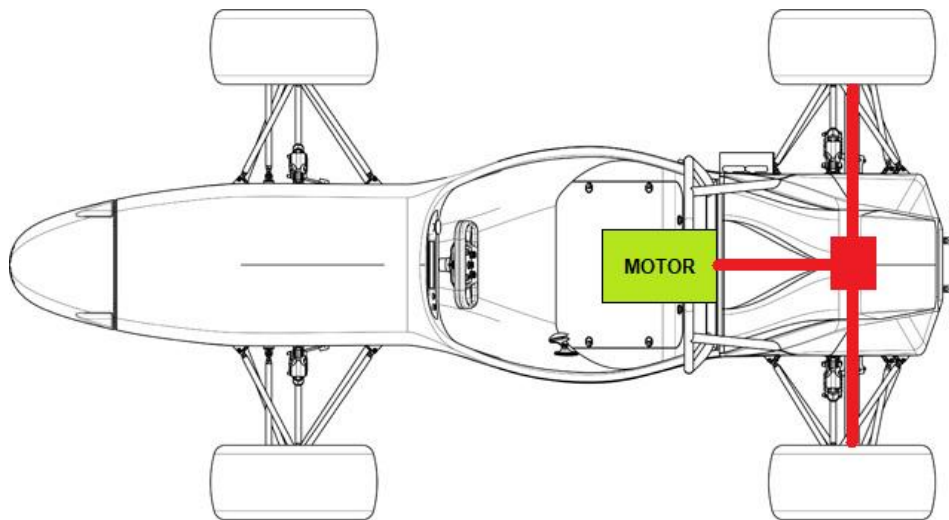
Tenint en compte els aspectes tècnics, el xassís i l'estructura, les possibles configuracions de línia motriu que s'han estudiat són les següents:

- Configuració 1: Tracció posterior amb 1 motor (RWD).
- Configuració 2: 2 motors en roda posteriors.
- Configuració 3: Tracció posterior i 2 motors en roda davanters.
- Configuració 4: 4 motors en roda

Finalment, d'entre les configuracions possibles per a la línia motriu s'ha de decidir quina és la que incorporarà el vehicle i que afectarà en el disseny del xassís.

## Disseny d'un xassís tubular

D'entre les quatre configuracions s'ha escollit la configuració 1, que és la de Tracció posterior amb 1 motor (RWD). Aquesta configuració es mostra a la Figura 1.21:



*Figura 1.21. Representació esquemàtica de la configuració 1. Font pròpia.*

Els motius pels quals s'ha decidit escollir aquesta configuració han estat la facilitat de col·locar tots els elements a la part posterior del vehicle i la simplicitat que hi ha en el procés de selecció dels elements i posterior muntatge al vehicle. A més a més, només serà necessari l'ús d'un controlador de motor ja que només es disposa d'un motor. En el cas que el vehicle utilitzés qualsevol altra configuració de les esmentades seria necessari l'ús de més d'un controlador per monitoritzar les funcions dels motors fet que augmentaria la complexitat del projecte.

### Motor

El principal element de la línia motriu és el motor. Tal i com s'ha expressat anteriorment és l'element encarregat de generar l'energia mecànica per propulsar el vehicle.

En aquest cas es tracta d'un motor elèctric, per tant, transforma l'energia elèctrica que li proporciona el paquet de bateries en energia mecànica que es transfereix a les rodes passant pel diferencial i els paliers. La particularitat es que aquesta transferència és de forma directa evitant sistemes d'embragatge i caixes de canvi. Ara bé, aquesta transferència estarà controlada en tot moment pel controlador del motor.

En la competició de la Formula Student els motors més utilitzats són els de l'empresa EMRAX Innovative E-motors. Aquests motors es caracteritzen per tenir un disseny compacte i un pes reduït oferint unes característiques molt competitives. A més, és

integrable en molts sistemes de línia motriu i també en el cas d'aquest projecte que incorpora un diferencial s'adapta perfectament. El model més adequat per a vehicles com el d'aquest projecte és l'EMRAX 228.

### **EMRAX 228**

Un motor que podria incorporar el vehicle del projecte és l'EMRAX 228 [7]. Es tracta d'un motor elèctric síncron que per les seves característiques és el més adient per aquest projecte.

Aquest model de motor es pot utilitzar a baix, mitjà i alt voltatge. En cada tipus de motor segons els seu voltatge hi ha una classificació segons si estan refrigerats per aire, líquid o una combinació dels dos. Per obtenir la màxima potència contínua del motor és important escollir una refrigeració combinada i aquesta potència és de 62 KW que pot arribar fins als 109 KW en la potència pic.

A la Figura 1.22 s'observa aquest model de motor:



*Figura 1.22. Model de motor EMRAX 228. EMRAX Innovative E-motors.*

Pel que fa a altres característiques d'aquest model és important destacar les seves dimensions amb un diàmetre de 228 mm i una amplada de 86 mm que juntament amb la seva massa de 12.6 Kg el converteixen en un motor amb relació potència-pes molt alta en comparació amb altres models, i amb una eficiència de fins un 98 %.

El fet que sigui un motor compacte facilita molt el muntatge del mateix en l'estructura del xassís utilitzant 6 perns de mètric 6 a la part frontal i 8 perns de mètric 8 a la part del darrere.

## Disseny d'un xassís tubular

Totes les característiques tècniques del motor s'observen a la Taula 1.2 extreta de la fitxa tècnica d'aquest model de motor EMRAX 228.

Taula 1.2. Taula d'especificacions tècniques del model de motor EMRAX 228. EMRAX Innovative E-motors.

Type	EMRAX 228 High Voltage			EMRAX 228 Medium Voltage			EMRAX 228 Low Voltage		
<b>Technical data</b>									
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	12,0	12,4	12,3	12,0	12,4	12,3	12,0	12,4	12,3
Diameter $\phi$ / width [mm]	228 / 86								
Maximal battery voltage [Vdc] and max load RPM	680 Vdc (5500 RPM)			500 Vdc (5500 RPM)			160 Vdc (5500 RPM)		
Peak motor power at max load RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	109								
Continuous motor power (at 5500 RPM)	50	53	62	50	53	62	50	53	62
Maximal rotation speed [RPM]	5500 (6500 for a few seconds with magnetic field weakening)								
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual) [Arms]	240			340			900		
Continuous motor current [Arms]	115			160			450		
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]	230								
Continuous motor torque [Nm]	96	102	120	96	102	120	96	102	120
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	1,1			0,75			0,27		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]	120								
Motor efficiency [%]	92-98%								
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]	16,7			7,0			1,1		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]	11,4			17,0			42,5		
Wire connection	star								
Induction in Ld/Lq [ $\mu$ H] of 1 phase	177/183			76/79			10,3/10,6		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,0730			0,0478			0,0176		
Specific idle speed (no load) [RPM/1Vdc]	9,8			14			40		
Specific load speed (max load) [RPM/1Vdc]	8			11			34		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]	up to 100								
Magnetic flux – axial [Vs]	0,0542			0,0355			0,0131		
Temperature sensor on the stator windings	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor inertia LC motor [kg·m <sup>2</sup> ]	0,0383								
Bearings (front/back) - FAG	6206:3206 (for axial-radial forces; for pull-push mode, $\alpha=25^\circ$ )								

Per al disseny del xassís, les característiques més importants d'aquest model són les següents (Taula 1.3):



Taula 1.3. Dades tècniques d'interès del motor EMRAX 228. Font pròpia.

Dades tècniques	EMRAX 228
<b>Tipus</b>	Motor/Generador de flux axial
<b>Massa</b>	12,3 kg
<b>Diàmetre</b>	228 mm
<b>Ample</b>	86 mm
<b>Potència contínua</b>	62 KW
<b>Potència pic</b>	109 KW
<b>Refrigeració</b>	aire/combinada/líquid
<b>Muntatge</b>	Part frontal: x6 M6
	Part darrere: x8 M6

A partir d'aquestes dades obtingudes es definirà la posició del motor en el xassís, per tant, s'hauran de dissenyar els suports necessaris. Aquest motor anirà a la part posterior del xassís proporcionant el moviment a les rodes. Aquesta transmissió serà mitjançant dos pinyons i una cadena que uniran el motor amb el diferencial i els paliers, tot formant un conjunt rígid.

### Controlador del motor

Un altre element imprescindible que va lligat al motor és el controlador de motor. En un vehicle elèctric el sistema de potència consta de 2 components: el motor, que proporciona la potència, i el controlador, que domina l'aplicació d'aquesta potència. Si es compara amb vehicles de combustió interna, aquests consten de molt més components com ara el motor, el carburador, la bomba d'oli, la bomba d'aigua, el sistema de refrigeració, entre d'altres. Per tant, amb molts menys components el vehicle elèctric és capaç proporcionar la potència necessària i de forma més eficient.

Aquest controlador treballa entre el paquet de bateries i el motor per tal de controlar la velocitat i l'acceleració del vehicle (Figura 1.23). Aquesta és la funció que tenen els carburadors en els vehicles de combustió interna.



## Disseny d'un xassís tubular

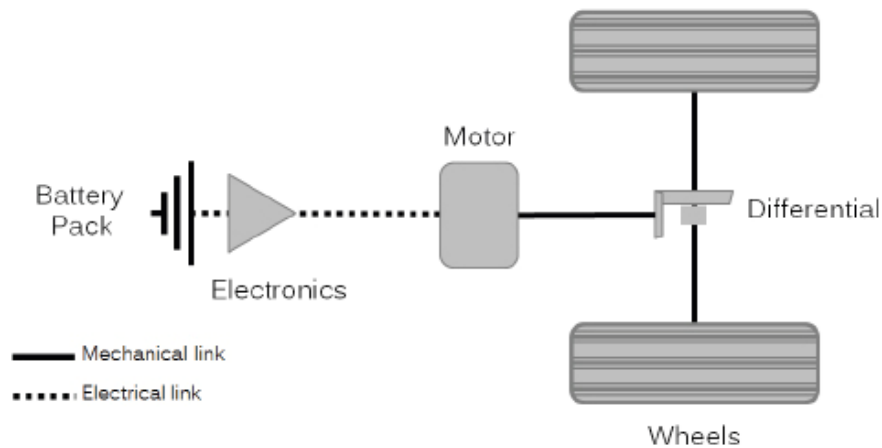


Figura 1.23. Esquema de la disposició dels components de la línia motriu d'un vehicle elèctric. [<https://www.nap.edu/read/21744/chapter/6>].

El controlador transforma el corrent continu de les bateries en corrent altern a part de controlar el flux d'energia que es transmet. És important destacar que el corrent es transforma en el cas que els motors que s'hagin d'alimentar siguin de corrent altern. En el cas del vehicle d'aquest projecte com que el motor funciona amb corrent continu no serà necessari que el controlador realitzi la transformació. Una altra funció del controlador és que permet invertir la rotació del motor de manera que el vehicle pot anar marxa enrere.

Finalment, el controlador converteix el motor en un generador en l'anomenat sistema de fre regeneratiu. Es tracta d'un procés en què el motor s'utilitza com un generador per recarregar les bateries quan el vehicle disminueix la velocitat. Durant aquest procés, l'energia cinètica absorbida pels frens genera una calor que es transforma en electricitat que s'utilitza per recarregar les bateries. Aquest sistema incrementa el rang d'un vehicle elèctric entre un 5 – 10 %, també disminueix el desgast dels frens i redueix els costos de manteniment.

En el món de la competició de la FSAE s'utilitzen molts tipus de controladors en funció de les característiques de la línia motriu definida pels equips. Tal i com s'ha definit anteriorment el vehicle d'aquest projecte constarà d'un sol motor el qual haurà d'anar controlat per un controlador i el model més utilitzat pels equips en aquest cas és el BAMOCAR D3 del fabricant Unitek Industrie Elektronik [8]. A més a més el fabricant del motor EMRAX Innovative E-motors recomana l'ús d'aquest model de controlador per als seus motors.

### BAMOCAR D3

Les principals característiques d'aquest controlador són l'acceleració molt dinàmica i cicles de frenada, alta eficiència i funcionament uniforme, precís i suau.

La massa d'aquest controlador no supera els 8.5 Kg i les seves dimensions són de 400 mm de llarg, 250 mm d'ample i 145 mm d'alçada. Degut a l'alta demanda de potència del sistema, aquest controlador requereix un sistema de refrigeració líquida. Es caracteritza també per ser un controlador robust amb gran protecció contra condicions ambientals dures.

A la Figura 1.24 s'observa aquest model de controlador de motor:



*Figura 1.24. Model de controlador de motor BAMOCAR D3. Unitek Industrie Elektronik.*

Com a mesura de seguretat incorpora una funció de parada d'emergència i la part funcional és a prova de curtcircuit. El rang d'entrada de potència és de 12 a 700 V i funciona a 125 o 200 A. I les entrades i sortides són digitals, programables i la unitat de control també és digital.

Les característiques per aquest model de controlador de motor es recullen a la Taula 1.4:



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 1.4. Característiques tècniques del model BAMOCAR D3. Unitek Industrie Elektronik.

Power supply voltage	12V= to 400V=				
Auxiliary supply	12V= or (24V=) $\pm 10\%$ / 4a (2a) Ripple voltage <10%, self-restable fuse				
Data BAMOCAR-D2-	dim.		125/250	200/400	
Rated supply voltage	V=	24 bis max. 400			
Rated output voltage	V=	20 to 360			
Continue current rms	A=		125	200	
Peak current	A <sub>ip</sub>		250	400	
Dissipation max.	kW		2	3	
Clock frequency	kHz	8-16			
Level Over voltage	V=	programmable to max 440v			
External fusing	A		160	250	
Weight	kg		5,8	6,8	
Dimension HxWxD	mm	403x250x145			
Size			2	2	

D'entre totes les característiques, per al disseny del xassís, les més importants d'aquest model són les següents (Taula 1.5):

Taula 1.5. Dades tècniques d'interès del controlador BAMOCAR D3. Font pròpia.

Dades tècniques	BAMOCAR D3
<b>Tipus</b>	Controlador per a motors de CC
<b>Massa</b>	8,5 kg
<b>Dimensions</b>	403x250x145 mm
<b>Refrigeració</b>	líquid
<b>Muntatge</b>	Rails
	Placa

A partir d'aquestes dades obtingudes es definirà la posició del controlador del motor en el xassís, per tant, s'hauran de dissenyar els suports necessaris. El fabricant recomana dues possibles formes de muntatge, mitjançant rails o suportant el controlador sobre una placa. A les següents figures (Figura 1.25 i Figura 1.26) s'observen aquestes dues opcions de muntatge:



## Disseny d'un xassís tubular



Figura 1.25. Muntatge sobre rails. Unitek Industrie Elektronik.



Figura 1.26. Muntatge sobre placa. Unitek Industrie Elektronik.

### Paquet de bateries

El paquet de bateries és l'element encarregat d'emmagatzemar l'energia necessària per propulsar el vehicle. Subministra corrent continu al motor sempre passant pel controlador, que, tal i com s'ha definit anteriorment, transforma aquest corrent en altern si el motor s'alimenta de corrent altern. En aquest cas, l'escollida per aquest projecte no serà necessari que transformi el corrent ja que el motor s'alimenta amb corrent continu.

En el mercat existeixen molts tipus de bateries i cadascuna es diferencia de les altres per les següents característiques: energia específica (Wh/Kg), densitat energètica específica (Wh/l), potència específica (W/Kg), cicles de vida, cost de desenvolupament (US\$/kWh) i eficiència de càrrega-descàrrega (%).

Per conèixer els requeriments funcionals de les bateries s'ha d'analitzar la química cel·lular, les dimensions i el procés de selecció de la configuració. Els requeriments funcionals són els següents:

- Subministrar la màxima potència als motors a la tensió desitjada.
- Emmagatzemar l'energia suficient per alimentar el vehicle.



## Disseny d'un xassís tubular

- Complir amb les normes de seguretat per al pilot.
- No sobreescalfar-se durant el funcionament del vehicle.
- No afegir un pes significatiu per sobre del pes propi de les cèl·lules.
- Facilitat en el muntatge i desmuntatge.

Un dels elements més importants del paquet de bateries és el sistema de gestió de les bateries, el qual està constantment monitoritzant l'estat del paquet, el corrent i dona l'ordre d'obrir els relés en cas d'emergència.

Per a aquest projecte s'ha decidit utilitzar un paquet de bateries de cèl·lules de ions de liti, les més utilitzades en la competició i en el sector de l'automoció en general ja que presenten unes característiques superiors a la resta de tipus de bateries per a l'ús en un vehicle. A continuació es defineixen les característiques d'aquestes bateries.

### IÓ-LITI (LI-ION)

Les bateries escollides són les de ió liti. Els seus avantatges principals són que tenen una alta densitat d'energia, descàrrega plana, bon servei en un ampli rang de temperatures i gran duració en emmagatzemat.

El funcionament d'aquestes bateries és basa en utilitzar reaccions electroquímiques per produir una corrent elèctrica. Consten de tres components principals: el càtode, l'ànode i l'electròlit. A la Figura 1.27 s'observen dos esquemes d'aquest tipus de bateries en estat de càrrega i descàrrega. Els ions de liti passen de l'elèctrode negatiu a l'elèctrode positiu durant la descàrrega i durant la càrrega els ions de liti es desplacen de l'elèctrode positiu a l'elèctrode negatiu.

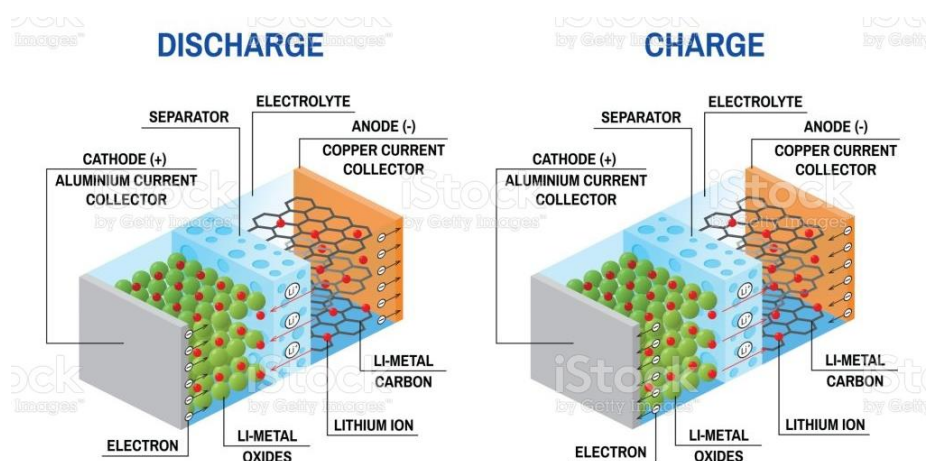


Figura 1.27. Esquema d'una bateria de cèl·lules de ions de liti en estat de càrrega i descàrrega. [<https://www.colourbox.com/vector/li-ion-battery-diagram-vector-27731986>].



Ara bé, aquestes bateries també tenen un gran inconvenient, requereixen una gran seguretat. Els problemes principals que es deriven de l'ús d'aquestes bateries són la sobrecàrrega, el sobreescalfament o el curtcircuit ja que poden provocar un incendi o una explosió. A més a més són molt sensibles a altes temperatures i es degraden molt ràpid si s'exposen a elles. Per últim, el preu és elevat en comparació amb altres tipus de bateries.

En vehicles de la FSAE aquestes bateries solen anar en paquets dissenyats per als equips i el fabricant s'adapta als requeriments. Per a l'abast d'aquest projecte, es simularà l'ús d'un paquet de bateries suposant unes dimensions i un pes aproximat. Aquest paquet de bateries anirà ubicat a la part inferior del vehicle just darrere del pilot i ocupant el màxim espai possible per aconseguir les millors prestacions.

### **Diferencial**

El diferencial és l'element previ als paliers el qual distribueix un parell d'entrada generat pel motor elèctric en dos parells de sortida en forma de paliers que transmeten aquests parells a les dues rodes posteriors.

La seva principal característica és que aquests parells de sortida no són iguals, permetent que cada roda giri a la velocitat angular adequada segons les condicions de tracció del vehicle. Aquesta característica és indispensable en el pas en corba del vehicle ja que la roda que passa per l'exterior ha de recórrer un camí més llarg que la que passa per l'interior de la corba afectant així en les seves velocitats angulars.

### **DIFERENCIAL AUTOBLOCANT**

Els diferencials més utilitzats en la competició són del tipus autoblocant. Aquests s'utilitzen per evitar l'inconvenient de la pèrdua de tracció en situacions determinades, això s'aconsegueix limitant la possibilitat de que una roda giri lliure respecte l'altra segons un grau de resistència fix.

En concret un dels models més utilitzat és el model Drexler Limited Slip. Aquest fabricant, Drexler Automotive [10], està especialitzat en aquest tipus de diferencials específics per al món de la competició. A la següent figura (Figura 1.28) s'observa aquest diferencial:



*Figura 1.28. Model de diferencial Drexler Limited Slip. Drexler Automotive.*

### **Paliers**

Els paliers són aquells elements que tenen la funció de transmetre el gir des del diferencial fins a les rodes. Del diferencial surten dos paliers, un per cada roda, els quals giren a diferents velocitats angulars.

Aquest moviment és possible transmetre'l a les rodes ja que el palier es tracta d'una barra articulada a unes juntes homocinètiques.

### **Sistema de frens**

El següent sistema és imprescindible en qualsevol vehicle, però encara més en un vehicle de competició el qual assolirà grans velocitats i aquestes hauran de ser contrarestades per un bon sistema de frens capaç de garantir la seguretat del pilot en tot moment. La informació d'aquest apartat ha estat obtinguda dels llibres [5] i [6].

Aquest sistema de frens ha de complir amb unes funcions molt importants per tal que sigui eficaç. Ha de ser capaç d'actuar en les quatre rodes i de bloquejar-les quan sigui necessari. A més a més, aquest sistema ha d'estar dominat des d'un sol punt de control.

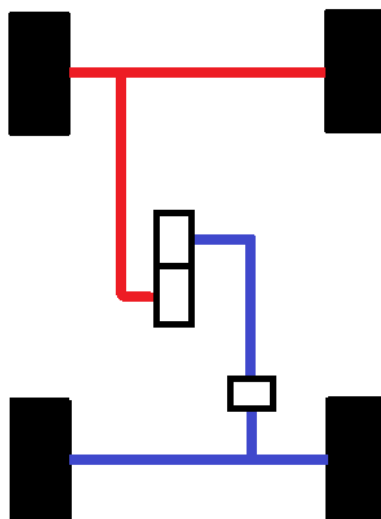
El sistema estarà compost per dos circuits hidràulics independents un de l'altre per tal de que si hi hagués algun problema en un dels circuits, el sistema fos capaç de parar el vehicle amb l'altre circuit.

D'entre les possibles configuracions dels circuits de frens que s'han estudiat s'ha decidit utilitzar la configuració de circuit independent. En aquesta configuració cada eix disposa del seu circuit de fre de manera que hi ha un circuit per a les rodes davanteres i un circuit per a les rodes posteriors.



## Disseny d'un xassís tubular

A la Figura 1.29 s'observa un esquema d'aquesta configuració de circuits de frens hidràulics:



*Figura 1.29. Representació esquemàtic de la configuració de circuit de frens independents.  
Font pròpia.*

Entre les característiques d'aquesta configuració destaca que no hi ha desviació del vehicle en cas de que un dels circuits falli perquè serà possible actuar en un dels dos eixos.

El mecanisme amb el qual s'actuarà a les rodes per a frenar-les serà mitjançant frens de disc. Aquest sistema de frens és un dels més utilitzats i això és degut a que els vehicles tenen una capacitat de frenada major, un temps de frenada menor i, en conseqüència una menor distància de frenada. La seva principal avantatge és que al estar muntats a l'aire, la seva refrigeració és molt bona en comparació amb els frens de tambor. Els elements que formen els frens de disc són els següents: el disc de fre, la pinça de fre i les pastilles de fre. A la Figura 1.30 s'observa un exemple de frens de disc en un vehicle de la Formula SAE.



## Disseny d'un xassís tubular

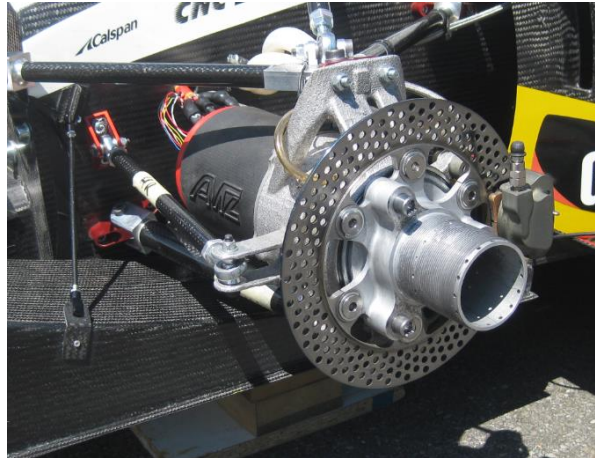


Figura 1.30. Representació del sistema de frens de disc en un vehicle de la Formula SAE.  
[<https://udgracingteam.wordpress.com/2015/01/25/com-frena-un-formula-student/>].

### Sistema de suspensió

El sistema de suspensió d'un vehicle és aquell que garanteix el contacte permanent del vehicle amb el terreny. Aquest està format per un element elàstic i un element amortidor.

Aquest sistema permet absorbir les irregularitats del terreny per millorar la comoditat del pilot. També augmenta l'estabilitat del vehicle millorant l'adherència i el control del sistema de direcció.

Està format per un conjunt d'elements que es troben entre les masses suspeses i les masses no suspeses (Figura 1.31). Aquesta informació ha estat extreta també dels llibres [5] i [6].

- Masses Suspeses: corresponen a masses suspeses tots aquells elements suportats pel sistema de suspensió. En són exemple els elements de la línia motriu, el xassís i la carrosseria.
- Masses no Suspeses: corresponen a masses no suspeses tots aquells elements que no estan suportats pel sistema de suspensió i que estan en contacte amb el terreny. En són exemple les rodes, els frens i els rodaments.



## Disseny d'un xassís tubular

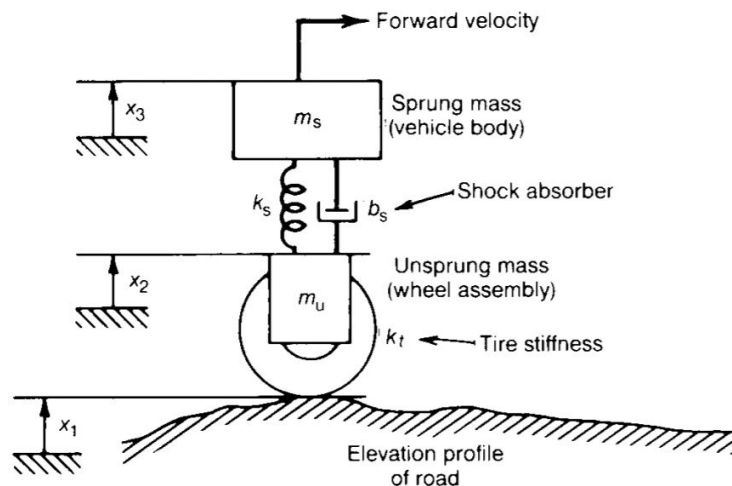


Figura 1.31. Representació esquemàtica de la suspensió d'un vehicle.

[[https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/forward-velocity-sprung-mass-vehicle-body-m\\_s-shock-absorber-b\\_s-unsprung-mass-wheel-assembl-q34841926](https://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/forward-velocity-sprung-mass-vehicle-body-m_s-shock-absorber-b_s-unsprung-mass-wheel-assembl-q34841926)].

En la figura anterior s'observa un esquema que mostra la dinàmica de la suspensió d'un vehicle de forma simplificada. El bloc de la part superior representa a les masses suspeses (sprung mass) i el bloc de la part inferior representa a les masses no suspeses (unsprung mass). Entre les dues masses hi ha un element elàstic i un element amortidor.

En vehicles de competició aquest sistema es prepara per aconseguir les millors condicions de tracció del vehicle en situacions d'acceleració i de pas per corba per exemple. En aquest tipus de vehicles interessa un centre de gravetat baix i és per això que el disseny del sistema de suspensió es veu condicionat.

D'entre els sistemes més utilitzats en el món de la competició en destaquen dos per sobre de la resta, i són el sistema Push-rod i el sistema Pull-rod.

Aquests sistemes tenen en comú que utilitzen el mateix tipus de suspensió de tres braços o doble triangle. Els braços d'aquests triangles són articulats i la seva funció és suportar el pes del vehicle a través de la suspensió. Uneixen la mangueta i la caixa amb el vehicle.

La diferència és que el sistema Push-rod incorpora una barra en diagonal que treballa a compressió mentre que el sistema Pull-rod incorpora una barra en diagonal que treballa a tracció. Aquesta diferència es pot observar a la Figura 1.32:



## Disseny d'un xassís tubular

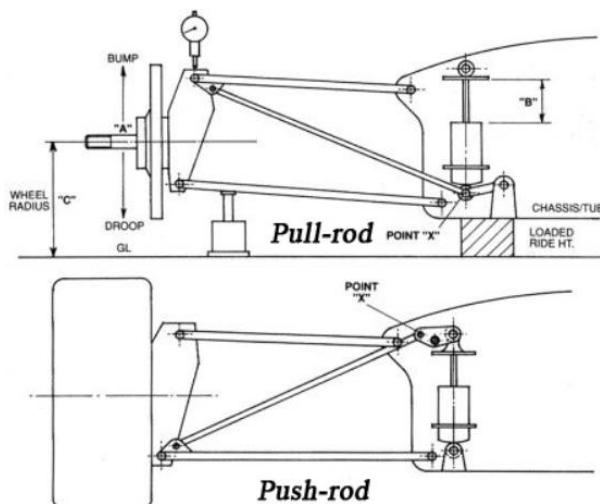


Figura 1.32. Esquemes del sistemes de suspensió Pull-rod i Push-rod.  
[<https://suspensionsguy.wordpress.com/>].

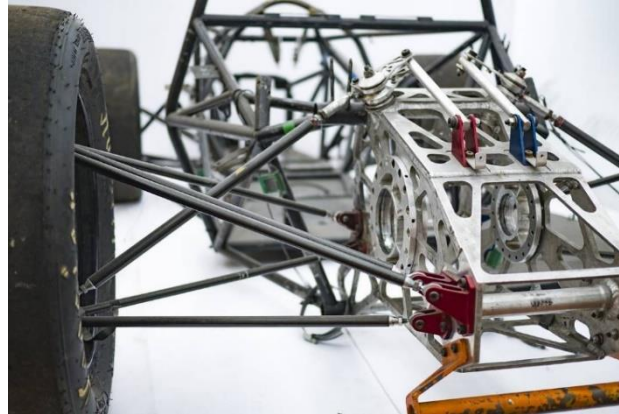
El principal motiu pel qual es dissenyen aquests tipus de sistemes és per alliberar l'espai entre les rodes i el xassís d'elements elàstics i amortidors ja que aquests produirien efectes aerodinàmics no desitjats. Utilitzant aquests sistemes, aquests elements queden allotjats a l'interior del xassís tal i com es pot veure a la Figura 1.32.

Partint d'aquests dos sistemes s'ha decidit que el sistema s'utilitzarà en el monoplaça elèctric és el sistema Push-rod pels següents motius:

- És més robusta.
- Major facilitat d'accés i d'ajust dels elements.
- Cost de fabricació menor.
- És el sistema més utilitzat en la competició Formula Student.
- Major capacitat d'absorbir les irregularitats del terreny.

En la següent figura (Figura 1.33) s'observa molt bé com és el disseny d'un sistema de suspensió Push-Rod:





*Figura 1.33. Exemple d'una suspensió Push-Rod d'un vehicle de la FSAE.  
[[https://tr.pinterest.com/emre\\_582000/](https://tr.pinterest.com/emre_582000/)].*

### **Sistema de direcció**

El sistema de direcció d'un vehicle és l'encarregat de controlar la trajectòria del vehicle sota qualsevol condició de conducció. El conductor gira un volant el qual acciona les rodes gràcies a un sistema de direcció. La informació d'aquest apartat ha estat obtinguda dels llibres [5] i [6].

Aquest sistema tindrà efectes en el comportament dinàmic, la seguretat i el confort. Les característiques que defineixen un sistema de direcció òptim són la robustesa, la sensibilitat i la precisió. És important que el sistema de direcció transmeti al conductor les condicions de la via per la pròpia seguretat d'aquest ja que en cas contrari suposaria un perill.

Tal i com està definit a la normativa de la FSAE la direcció assistida electrònicament està prohibida, per tant, per al disseny del sistema de direcció del vehicle s'ha optat per un disseny totalment mecànic que disposarà dels següents elements:

- Volant: és l'element que transmet el moviment de les rodes a través de la columna de direcció i el sistema de direcció. El seu disseny depèn de l'espai en la cabina del pilot i de la quantitat de moviment que es vulgui transmetre.
- Mecanisme de desconexió ràpida: és l'element que permet desconectar el volant de la columna de direcció en qualsevol moment. En cas d'accident és indispensable per tal que el pilot pugui sortir del vehicle el més ràpid possible.
- Columna de direcció: és l'element que transmet el parell de gir del volant a la cremallera de direcció. Està formada per dos eixos units per una junta universal.
- Junta universal: és l'element que uneix els dos eixos anteriors i que per tant permet transmetre un parell entre dos eixos no alineats.



## Disseny d'un xassís tubular

- Cremallera de direcció: és l'element que transforma el moviment circular que prové de la columna de direcció en moviment lineal mitjançant una barra dentada, que és la cremallera.
- Braços de direcció: tal i com el seu nom indica són els elements que uneixen la sortida de la cremallera amb la mangueta de la roda i així permetre el gir de les rodes. Als extrems es disposa normalment de terminals de direcció (Rod end) que són elements formats per una carcassa amb un coixinet interior.

Tots aquest elements del sistema de direcció del vehicle s'aprecien a la Figura 1.34:

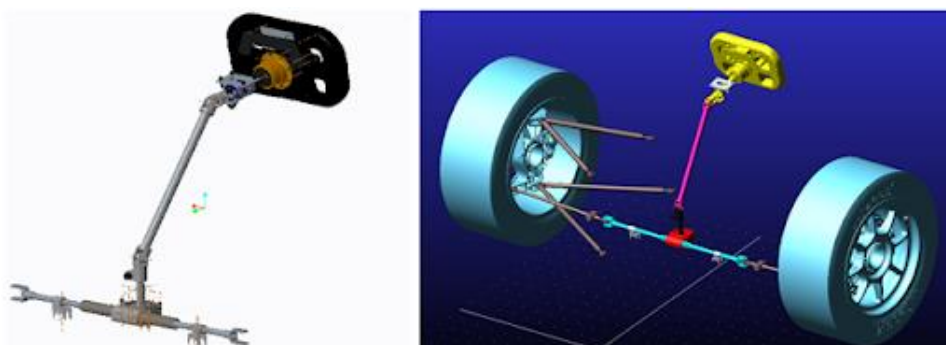


Figura 1.34. Representació dels elements del sistema de direcció d'un vehicle de competició de la FSAE. [<http://www.multibody.net/teaching/msms/students-projects-2018/fsae-steering-system/>].

### Rodes

Des de la normativa de la FSAE es demana que les rodes tinguin un diàmetre mínim de 203.2 mm (8 polzades) i a més a més els vehicles han de tenir dos tipus de pneumàtics, secs i humits.

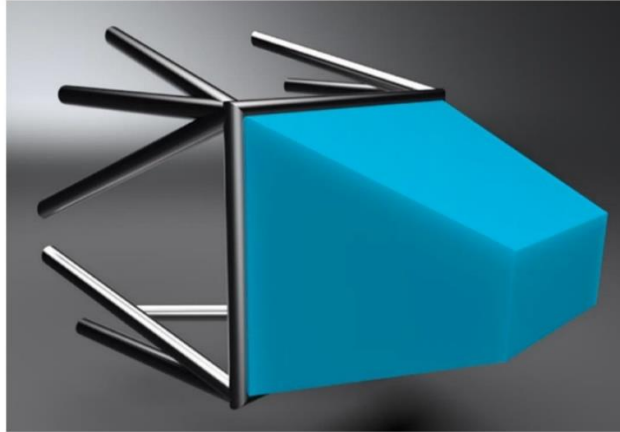
Per a l'abast d'aquest projecte no s'ha estudiat el comportament i la dinàmica de les rodes, simplement s'ha definit la seva posició respecte al xassís.

### Atenuador d'impactes

Es tracta d'un component que va ancorat a la mampara frontal (Front Bulkhead) de manera que no forma part de l'estructura del xassís. La seva principal funció és la de reduir les tensions en cas d'impacte. Els atenuadors d'impacte estan dissenyats per absorbir l'energia cinètica del vehicle quan impacta. Informació obtinguda de [10].

La normativa de la Formula SAE proporciona unes mesures normalitzades d'aquest component per tal que els equips ho tinguin en compte a l'hora de dissenyar el seu vehicle. El material del que està fabricat aquest atenuador d'impactes és el Impax 700

Foam, que es tracta d'un material molt deformable capaç de resistir una gran quantitat d'energia en molt poc temps. A la Figura 1.35 s'observa com és la forma d'aquest component.



*Figura 1.35. Representació d'un atenuador d'impactes en la seva posició en el xassís.*  
 [<https://www.mdpi.com/2073-8994/12/10/1647>].

En els annexes s'adjunta el plànol facilitat per la normativa de la Formula SAE on s'observen les dimensions d'un atenuador d'impactes per tal d'adaptar-lo al disseny del vehicle.

### 1.7.3 Dimensionat dels elements del xassís

En l'apartat de dimensionat de les barres tubulars s'explica quin ha estat el procés seguit per a determinar les diferents seccions de les que estarà composta l'estructura del xassís complint en tot moment la normativa de la FSAE [2].

Per a un vehicle de competició és molt important que el xassís estigui compost d'un material adequat que presenti bones prestacions de resistència, rigidesa, lleugeresa i aquestes acompanyades per un preu assequible i coherent.

Els dos materials més utilitzats que garanteixen aquestes prestacions són l'acer i l'alumini. D'entre aquests dos, el que s'ha decidit utilitzar per al disseny és l'acer. En comparació amb l'alumini, el seu preu és més econòmic i, sobretot, suposa una major facilitat en la fabricació ja que els processos a realitzar són més ràpids. Ara bé, és cert que l'alumini presenta unes característiques de resistència molt similars a l'acer i és molt més lleuger també.



## Disseny d'un xassís tubular

Altres materials utilitzats per al disseny d'un xassís de competició són el titani i el magnesi. S'ha decidit que no s'utilitzarà cap dels dos en el disseny degut al preu i la dificultat en el tractament i conformabilitat dels mateixos.

### 1.7.3.1 Requisits de la Formula SAE

Per a l'elecció de l'acer s'han seguit els requisits de la normativa de la FSAE. Les propietats que ha de tenir l'acer per a que sigui adequat per als càlculs es presenten a la Taula 1.6:

Taula 1.6. Taula de propietats dels tubs d'acer segons la FSAE Rules 2021. Font pròpia.

Propietats tubs acer FSAE		
Mòdul de Young (E)	200	Gpa
Límit elàstic (Sy)	305	Mpa
Tensió ruptura (Su)	365	Mpa

### 1.7.3.2 Material i diàmetre de les barres tubulars

L'acer és un material que es pot classificar de moltes maneres: per la seva composició química, segons la qualitat, per la seva aplicació, entre d'altres. A més a més, cada país disposa de les seves normatives i reglamentació corresponent.

Per a l'abast d'aquest projecte, s'ha decidit utilitzar la classificació dels acers regulada per la norma UNE-EN 10305-3:2016 de tubs d'acer per a aplicacions de precisió [11].

En aquest projecte s'han estudiat dos possibles proveïdors de tubs d'acer i són els següents: SSAB i Proformance Metals.

#### SSAB

La primera alternativa és SSAB [12], una empresa molt especialitzada en acers d'alta resistència que té la seva seu central a Estocolm, Suècia.

Els tub que s'ha decidit utilitzar per aquest projecte és el model Docol Tube 420LA. Es tracta d'un tub de precisió de baix aliatge i alta resistència. L'empresa l'ofereix en forma circular, rectangular, quadrada i en altres formes especials. Aquests presenta diferents opcions de superfície i revestiment com el laminat en fred, galvanitzat, galvano-recuit i galfan.

Les característiques i propietats d'aquest tub són ideals per al sector de l'automoció fent èmfasis en la durabilitat, la conformabilitat i la soldabilitat.



## Disseny d'un xassís tubular

Pel que fa a les propietats mecàniques del tub complirà amb els requisits imposats per la FSAE. Els valors del límit elàstic i de la tensió de ruptura es mostren a la Taula 1.7:

*Taula 1.7. Taula de propietats mecàniques del model Docol Tube 420LA. Catàleg de tubs de precisió SSAB.*

### Mechanical Properties

Grade	Yield strength $R_{p0.2}$ (min MPa)	Tensile strength $R_m$ (min MPa)	Elongation A (min %)
CR420LA	420	490	12
HR420LA	420	490	12

Mechanical properties meet the requirements of EN 10305 (+CR2).

En relació amb la composició química, aquest model està compost per Carboni (C), Silici (Si), Manganès (Mn), Fòsfor (P), Sofre (S) i Alumini (Al) en les proporcions que es mostren a la Taula 1.8:

*Taula 1.8. Taula de composició química del model Docol Tube 420LA. Catàleg de tubs de precisió SSAB.*

### Chemical Composition

Grade	C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al <sup>tot1</sup> (min %)
CR420LA	0.16	0.55	1.70	0.025	0.025	0.020
HR420LA	0.16	0.55	1.70	0.025	0.025	0.020

Chemical composition meets the requirements of EN 10305.

If other chemical elements such as Ti, Nb or V are used, the content of these elements are reported in the inspection document.

1) This requirement is not applicable provided the steel contains a sufficient amount of other nitrogen binding elements, such as Ti, Nb or V.

## Proformance Metals

La segona alternativa és Proformance metals [13]. Els tubs que s'han decidit estudiar en aquest projecte són del material 25CrMo4 de l'empresa Proformance metals situada al Regne Unit i especialitzada en el subministrament d'aquest tipus de tubs de competició.

El 25CrMo4 és un acer aliat d'alta resistència que conté Crom (Cr) i Molibdè (Mo). Les característiques i propietats d'aquest tub són ideals per al sector de l'automoció fent èmfasis en la durabilitat, la conformabilitat i la soldabilitat.

Pel que fa a les propietats mecàniques del tub complirà amb els requisits imposats per la FSAE. Els valors del límit elàstic i de la tensió de ruptura es mostren a la Taula 1.9:



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 1.9. Taula de propietats mecàniques del tub de 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.

Properties	Typical Minimum Value (Stress relieved)	Typical Minimum Value (Normalised)	Typical Minimum Value (Heat Treated)
Tensile	740 Mpa	N/A	1100 Mpa
Yield	590 Mpa	500 Mpa	N/A
Elongation	15%	25%	N/A

En relació amb la composició química, aquest model està compost per Carboni (C), Silici (Si), Manganès (Mn), Fòsfor (P), Sofre (S), Crom (Cr) i Molibdè (Mo) en les proporcions que es mostren a la Taula 1.10:

Taula 1.10, Taula de composició química del 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.

1.7218 25CrMo4	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
min.	0,22		0,6			0,9	0,15		
max.	0,29	0,4	0,9	0,035	0,04	1,2	0,30		

### Seccions de les barres tubulars

Per a la secció dels tubs s'ha escollit una secció circular, per tant es tindran en compte les propietats associades a aquest tipus de secció.

A continuació es procedirà a definir les dimensions inicials dels tubs segons el component de l'estructura que conformin i es verificarà que compleixin amb els requisits de la FSAE. És important destacar que aquestes dimensions que tindran els tubs són les inicials, és a dir, de partida per dissenyar l'estructura. Posteriorment es faran les simulacions pertinents per comprovar si les dimensions escollides resistiran els esforços als que es sotmetrà el vehicle.

Per a cada dimensió A,B,C i D s'han definit el diàmetre exterior, diàmetre interior i espessor que compleixin amb el requisits de l'Àrea de secció transversal mínima i el Moment d'Inèrcia mínim.

En el cas dels tubs de l'empresa SSAB, a la següent taula (Taula 1.11) es resumeix quin diàmetre exterior, espessor i massa per unitat de longitud correspondrà a cada component de l'estructura del xassís:



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 1.11. Taula resum de les dimensions inicials de cada component de l'estructura del xassís (SSAB). Font pròpia.

Component de l'estructura	Size	D(mm)	t(mm)	(kg/m)
Front Bulkhead	B	28	1,5	0,98
Front Bulkhead support	C	28	1,25	0,825
Front Hoop	A	30	2	1,38
Front Hoop Bracing	B	28	1,5	0,98
Side Impact Structure	B	28	1,5	0,98
Bent Upper Side Impact Member	D	35	1,25	1,04
Main Hoop	A	30	2	1,38
Main Hoop Bracing	B	28	1,5	0,98
Main Hoop Bracing Supports	C	28	1,25	0,825
Driver restraint Harness Attachment	B	28	1,5	0,98
Shoulder Harness Mounting Bar	A	30	2	1,38
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	C	28	1,25	0,825
Accumulator Protection Structure	B	28	1,5	0,98
Component Protection	C	28	1,25	0,825
Other Structural Tubing	C	28	1,25	0,825

En el cas dels tubs de l'empresa Proformance Metals, a la següent taula (Taula 1.12) es resumeix quin diàmetre exterior, espessor i massa per unitat de longitud correspondrà a cada component de l'estructura del xassís:

Taula 1.12. Taula resum de les dimensions inicials de cada component de l'estructura del xassís (ProFormance Metals). Font pròpia.

Component de l'estructura	Size	D(mm)	t(mm)
Front Bulkhead	B	28	1,5
Front Bulkhead support	C	28	1,5
Front Hoop	A	30	2
Front Hoop Bracing	B	28	1,5
Side Impact Structure	B	28	1,5
Bent Upper Side Impact Member	D	35	1,5
Main Hoop	A	30	2
Main Hoop Bracing	B	28	1,5
Main Hoop Bracing Supports	C	28	1,5
Driver restraint Harness Attachment	B	28	1,5
Shoulder Harness Mounting Bar	A	30	2
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	C	28	1,5
Accumulator Protection Structure	B	28	1,5
Component Protection	C	28	1,5
Other Structural Tubing	C	28	1,5



### Material i seccions inicials

D'entre les dos opcions de proveïdors possibles i després de realitzar l'estudi de materials dels dos, s'ha decidit que els tubs que s'utilitzaran per al disseny del xassís seran els de l'empresa Proformance Metals. Aquests, tal i com s'ha definit, són d'un acer aliat d'alta resistència que conté Crom (Cr) i Molibdè (Mo), el material és el 25CrMo4 segons la norma EN 10305-1. Aquest aliat d'acer disposa de bones propietats de soldadura i gràcies a la seva composició química, és adequat per bonificar i té una gran tenacitat amb resistències a tracció altes. És un dels materials més utilitzats pels equips de la Formula SAE ja que presenta unes propietats (Taula 1.13) molt adequades per al sector de l'automoció.

Taula 1.13. Propietats del 25CrMo4 / EN 10305-1. Font pròpia.

Propietats del 25CrMo4 / EN 10305-1		
Mòdul de Young (E)	205	Gpa
Densitat ( $\rho$ )	7850	Kg/m <sup>3</sup>
Límit elàstic (Sy)	590	Mpa
Tensió ruptura (Su)	740	Mpa
Coef. Poisson ( $\nu$ )	0,29	

A partir dels càlculs de dimensionat anteriors s'han obtingut unes seccions inicials dels tubs segons les parts del xassís. Tenint en compte el disseny i la disposició dels elements del xassís les seccions inicials dels tubs de les quals es partirà són les següents:

- Secció circular A: Es tracta d'una secció de 30 mm de diàmetre i 2 mm d'espessor (Figura 1.36). Utilitzada per als components Front Hoop, Main Hoop i Shoulder Harness Mounting bar.



## Disseny d'un xassís tubular

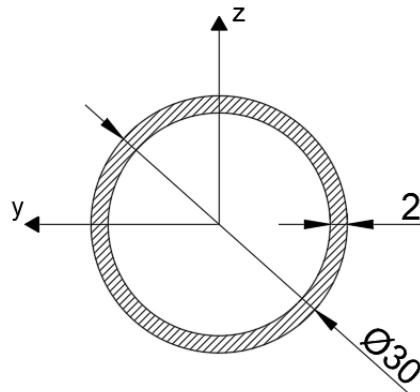


Figura 1.36. Secció circular A (mm). Font pròpia.

- Secció circular B-C: Es tracta d'una secció compartida pel tipus B i C i en aquest cas es considera com una sola secció de 28 mm de diàmetre i 1,5 mm d'espessor (Figura 1.37). Utilitzada per als components Front Bulkhead, Front Bulkhead support, Front Hoop Bracing, Side Impact Structure, Main Hoop Bracing, Main Hoop Bracing Supports, Driver restraint Harness Attachment, Shoulder Harness Mounting Bar Bracing, Accumulator Protection Structure, Component Protection i Other Structural Tubing.

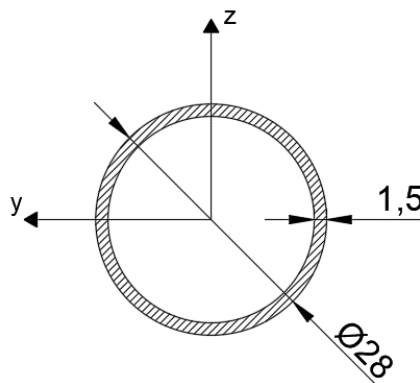


Figura 1.37. Secció circular B-C (mm). Font pròpia.

- Secció circular D: Es tracta d'una secció de 35 mm de diàmetre i 1,5 mm d'espessor (Figura 1.38). Utilitzada per al component Bent Upper Side Impact Member.



## Disseny d'un xassís tubular

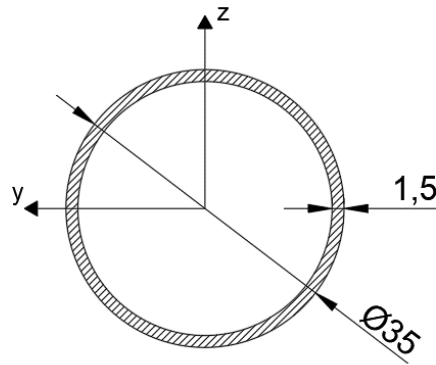


Figura 1.38. Secció circular  $D$  (mm). Font pròpia.

### 1.7.3.3 Sistema de triangularització

Un dels sistemes més importants a tenir en compte en el disseny d'un xassís és el sistema de triangulació. Un xassís rígid és la clau de qualsevol disseny d'automoció d'altres prestacions. Aquesta rigidesa s'aconsegueix mitjançant la forma de l'estructura i s'utilitzen estructures que formen triangles.

Per entendre el principi d'aquest sistema el següent exemple és molt entenedor:

Partint d'una estructura de quatre barres iguals formant un quadrat i articulades en les seves unions, si se li aplica una força lateral aquesta estructura es voldrà plegar. Ara bé, si afegim una barra diagonal a l'interior del quadrat i provem llavors d'aplicar la mateixa força lateral, l'estructura es mantindrà en la seva posició i serà rígida (Figura 1.39).

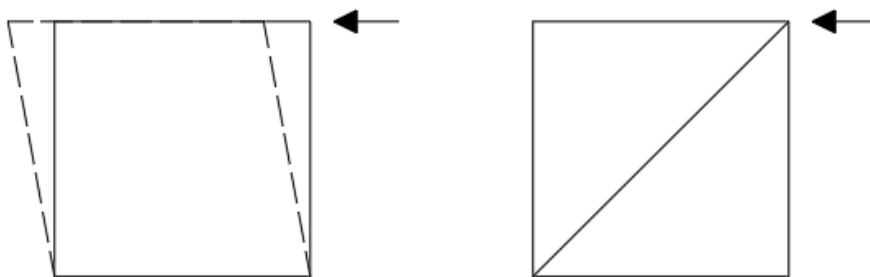


Figura 1.39. Representació exemple triangulació. Font pròpia.

Pel que fa a la normativa de la Formula SAE, aquesta exigeix que l'estructura estigui formada per triangles de manera que aquesta es compongui de barres i nusos. D'aquesta manera s'aconsegueix un xassís el més rígid i lleuger possible ja que el fet que les barres formin triangles provoca que només pateixin esforços purament de tracció

o compressió, evitant així esforços de flexió. La normativa disposa d'un esquema on es defineix com ha de ser una correcta triangularització perquè aquests esforços de flexió no es produeixin (Figura 1.40).

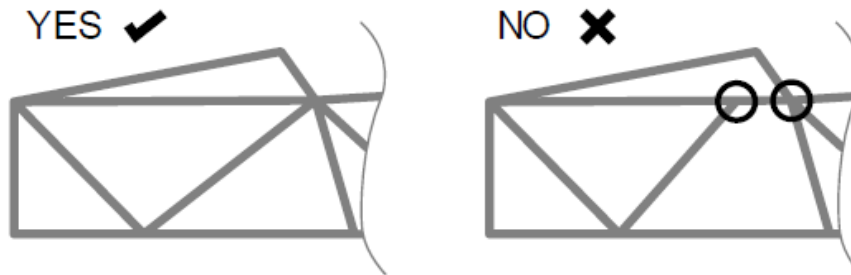


Figura 1.40. Esquema que defineix com han de ser les triangularitzacions correctes. FSAE Rules 2021.

#### 1.7.3.4 Dimensions, ubicació i punts d'ancoratge dels components del xassís

En aquest apartat es definiran les dimensions dels components del xassís d'acord amb el seu model CAD aplicat al programa CATIA. Aquests components s'han obtingut o bé directament de la pàgina web del fabricant o són de disseny propi. A continuació es detallen els components utilitzats:

#### **MOTOR EMRAX 228**

Tal i com s'ha especificat en apartats anteriors el motor escollit per a propulsar el vehicle ha estat el model EMRAX 228 de Innovative E-motors. Partint de les seves dimensions de 228 mm de diàmetre i 86 mm d'amplada s'ha obtingut el seu disseny en 3 dimensions a través de la pàgina web del fabricant i el resultat és el que apareix a la figura següent (Figura 1.41):

## Disseny d'un xassis tubular

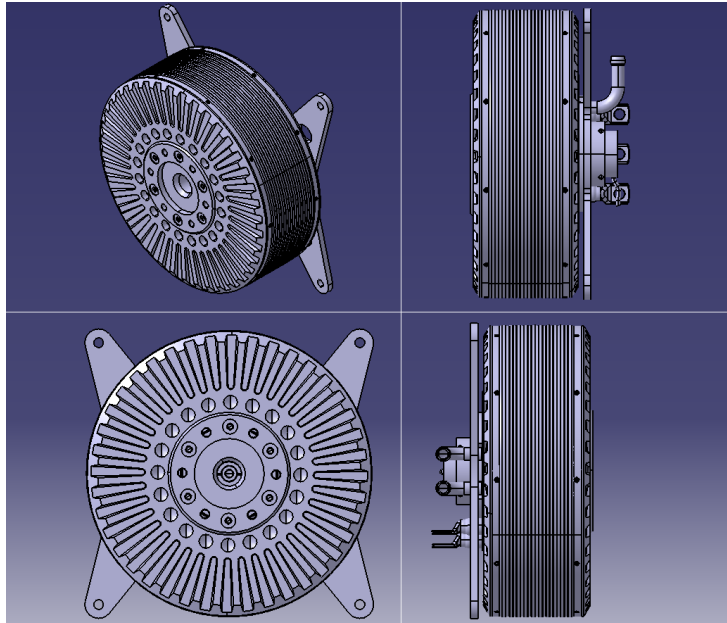
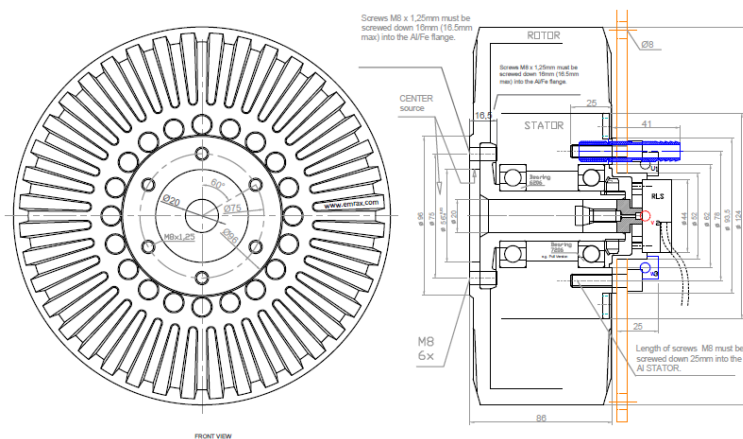


Figura 1.41. Disseny CAD del motor EMRAX 228. EMRAX Innovative E-motors.

A la següent figura (Figura 1.42), apareixen les dimensions del motor de forma detallada:



## Disseny d'un xassis tubular

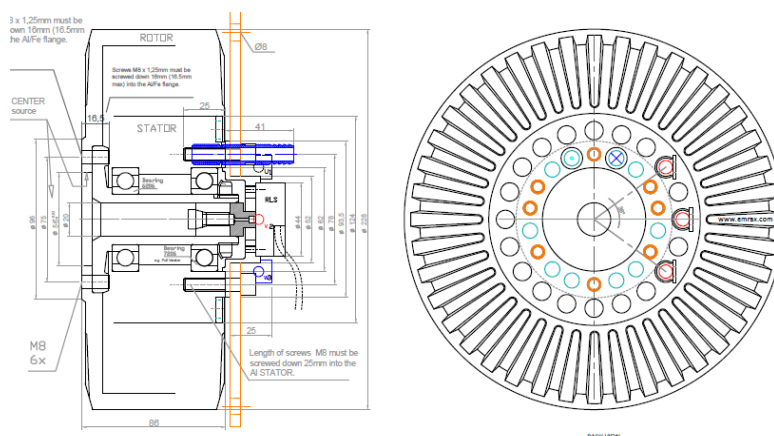


Figura 1.42. Dimensions del model EMRAX 228. EMRAX Innovative E-motors.

La ubicació del motor EMRAX 228 és a la part posterior del vehicle a l'interior de l'estructura del xassis. En posició vertical amb l'eix del motor paral·lel a l'eix de les rodes. Tal i com s'ha especificat anteriorment la transmissió entre el motor i les rodes serà a través de dos pinyons i una cadena. A la Figura 1.43 s'observa la ubicació del motor en el xassis:

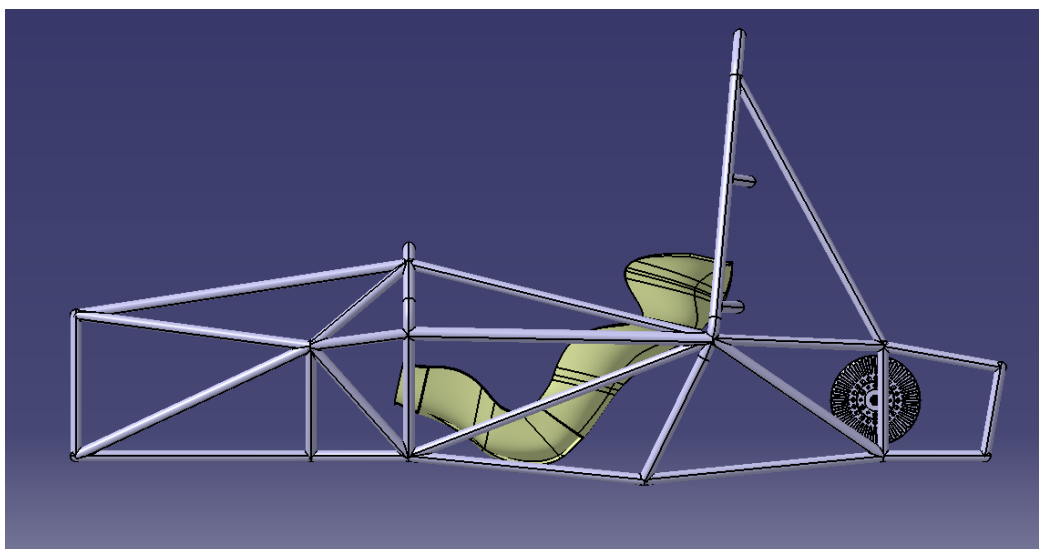


Figura 1.43. Ubicació del motor EMRAX 228 respecte l'estructura del xassis. Font pròpia.

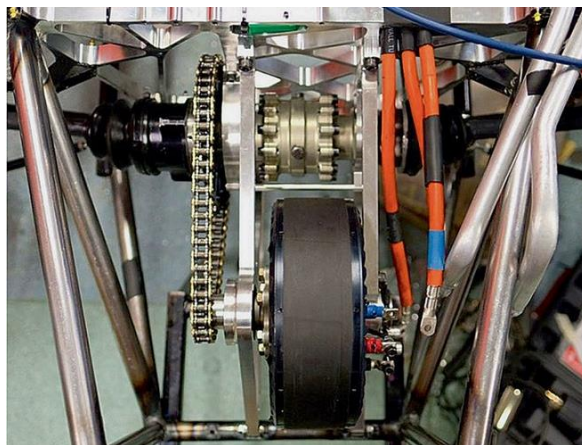
### Punts d'ancoratge

Per a l'ancoratge del motor amb el xassis s'ha definit que aquest anirà recobert d'una carcassa d'alumini que s'unirà al xassis mitjançant uns suports i la part inferior d'aquesta carcassa anirà unida amb una placa d'alumini que serà la mateixa on es recolzarà el



## Disseny d'un xassís tubular

paquet de bateries. A la vegada aquesta carcassa anirà unida amb l'eix posterior. Aquestes unions i punts d'ancoratge s'assemblarien molt als de la Figura 1.44:

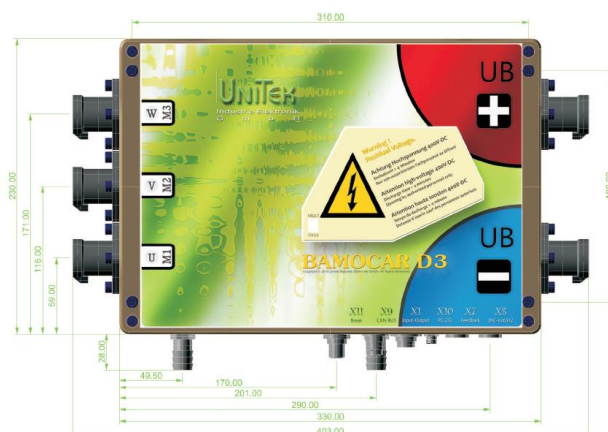


*Figura 1.44. Exemple de punts d'ancoratge i unions del motor al xassís. Equip Monash Motorsport [14].*

### CONTROLADOR DE MOTOR BAMOCAR D3

Tal i com s'ha especificat en apartats anteriors el controlador del motor seleccionat ha estat el model BAMOCAR D3 del fabricant Unitek Industrie Elektronik. Partint de les dimensions del controlador de 403 mm de llarg, 250 mm d'ample i 145 mm d'alçada s'ha adaptat la seva posició al xassís de manera que queda per sobre del motor i del paquet de bateries i queda subjectat just entre el cercol principal (main hoop) i els suports d'aquest.

A les següents figures (Figura 1.45 i Figura 1.46), apareixen les dimensions del controlador de forma detallada:



*Figura 1.45. Vista en planta del controlador BAMOCAR D3. Unitek Industrie Elektronik.*



## Disseny d'un xassís tubular



Figura 1.46. Vista frontal del controlador BAMOCAR D3. Unitek Industrie Elektronik.

Per al seu disseny CAD el fabricant no proporciona cap element per a descarregar a la seva pàgina web per tant s'ha decidit fer el disseny de forma simplificada com un rectangle de base i la corresponent extrusió de 145 mm. El resultat és el següent (Figura 1.47):

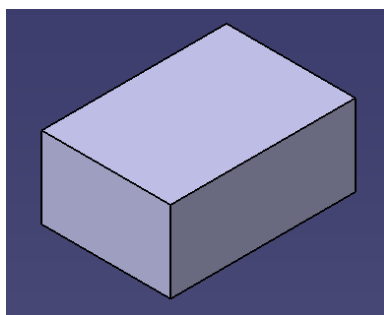


Figura 1.47. Disseny CAD del controlador motor BAMOCAR D3. Unitek Industrie Elektronik.

Aquest s'ha ubicat en el xassís tal i com es mostra a la Figura 1.48:

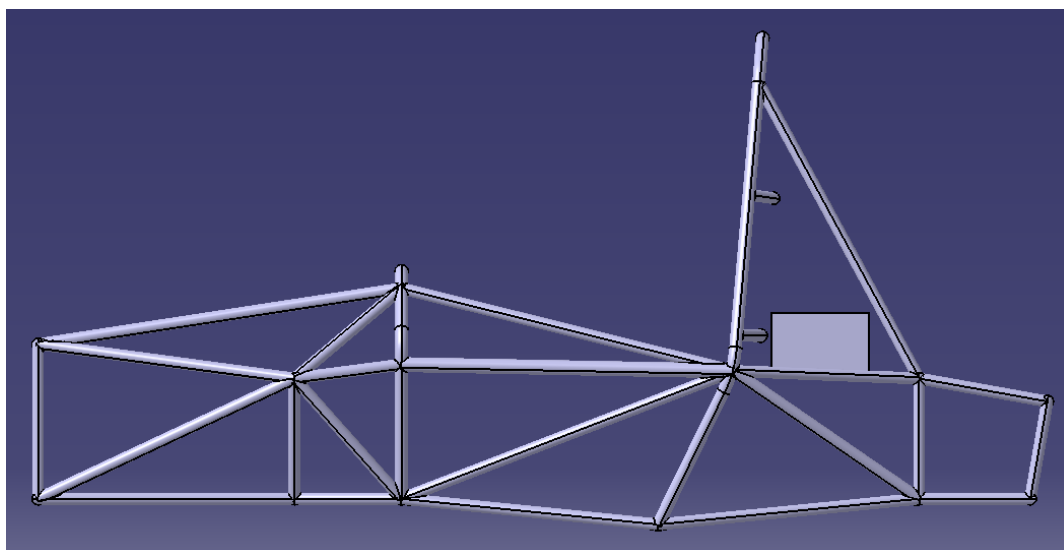


Figura 1.48. Ubicació del controlador de motor BAMOCAR D3 respecte l'estructura del xassís.  
Font pròpia.



### Punts d'ancoratge

Per a la subjecció s'ha escollit el sistema que proposa el fabricant mitjançant rails de manera que es col·locaran en direcció transversal al controlador tal i com s'observa a la Figura 1.49:



*Figura 1.49. Muntatge sobre rails del controlador BAMOCAR D3. Unitek Industrie Elektronik.*

### Paquet de bateries ló-liti

Per al paquet de bateries s'ha escollit un de cèl·lules de ions de liti. Tal i com s'ha comentat anteriorment els equips de la FSAE normalment realitzen el disseny del seu paquet personalitzat i el demanen al fabricant de manera que aquest s'adapta a les necessitats dels equips. Per a l'abast d'aquest projecte s'ha definit l'espai lliure per a aquest paquet de bateries i les possibles solucions d'ancoratge, per tant, no s'ha realitzat el disseny d'aquest element de la línia motriu.

A la Figura 1.50 s'observa aquest espai lliure que queda pel paquet de bateries just darrere del seient del pilot entre aquest i el motor. La seva ubicació és a la part més inferior de l'estructura del xassís ja que interessa que el centre de gravetat sigui el més baix possible per a un millor comportament del vehicle en pista. El paquet de bateries és l'element de major massa del vehicle i és un factor molt a tenir en compte.



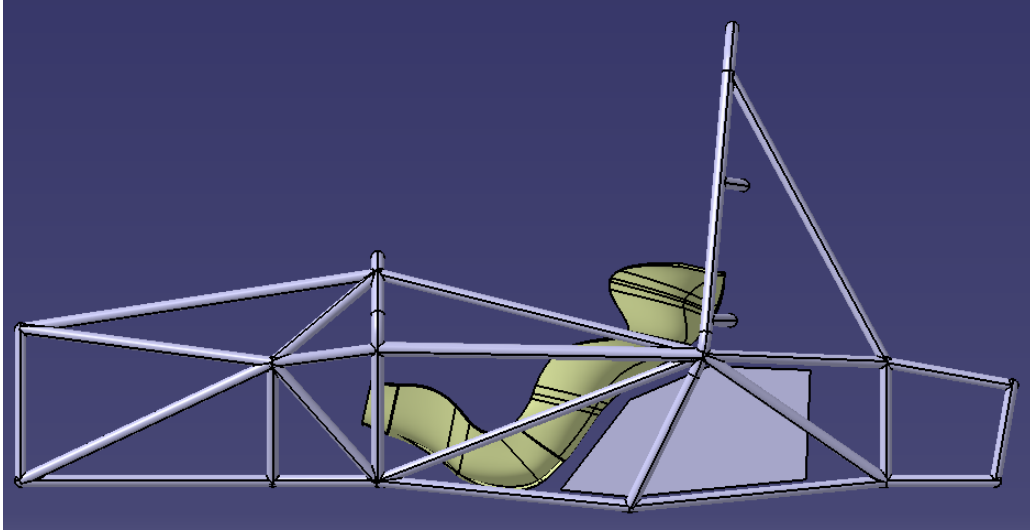


Figura 1.50. Espai lliure per al paquet de bateries respecte l'estructura del xassís. Font pròpia.

### Punts d'ancoratge

Per a l'ancoratge del paquet de bateries amb el xassís aquest serà mitjançant una placa d'alumini sobre la que es recolzaran les bateries i aquesta placa anirà ancorada al xassís.

A la Figura 1.51 es mostra l'exemple de l'equip de la FSAE de la universitat de Pensilvània que va optar per aquesta solució per ancorar el seu paquet de bateries al xassís.



Figura 1.51. Exemple de punts d'ancoratge i unions del paquet de bateries al xassís. Equip Penn Electric Racing [15].



### Eix posterior

Pel que fa a l'eix posterior els elements que el componen són el diferencial i els paliers. Per al diferencial tal i com s'ha definit anteriorment s'ha escollit el model Drexler Limited Slip del fabricant Drexler Motorsport. Es tracta d'un diferencial autoblocant el qual permetrà que els paliers girin a diferents velocitats angulars.

Aquests elements van subjectats al xassís mitjançant un suports com els de la Figura 1.52 i s'ubiquen a la part més posterior del xassís just darrere del motor (Figura 1.53). El motor i aquest conjunt estan molt propers ja que van connectats mitjançant una cadena i dos pinyons.

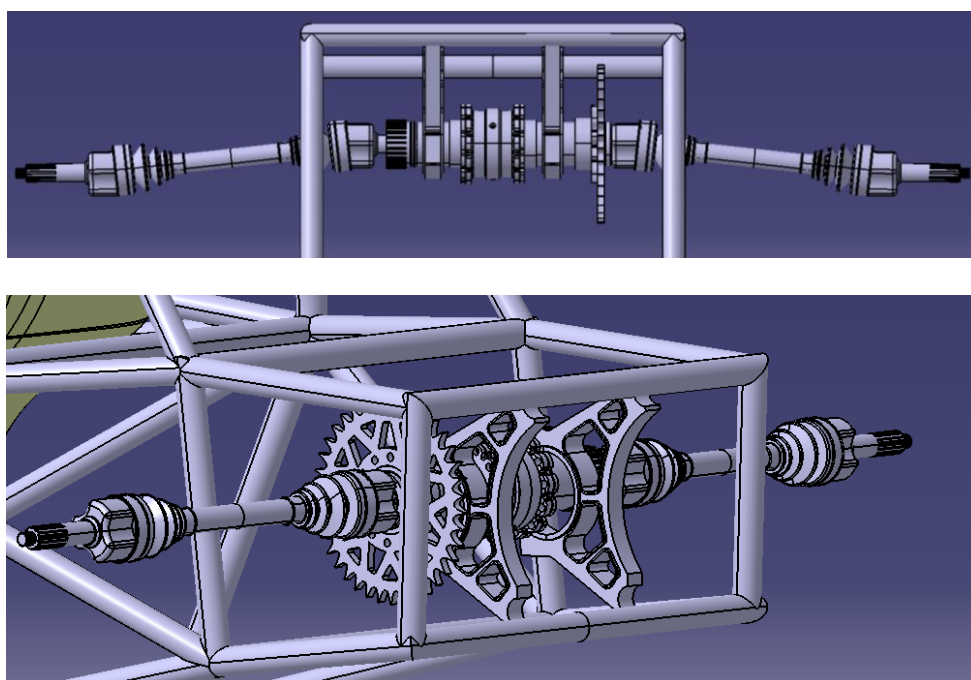


Figura 1.52. Exemple de punts d'ancoratge i unions de l'eix posterior al xassís. Font pròpia.



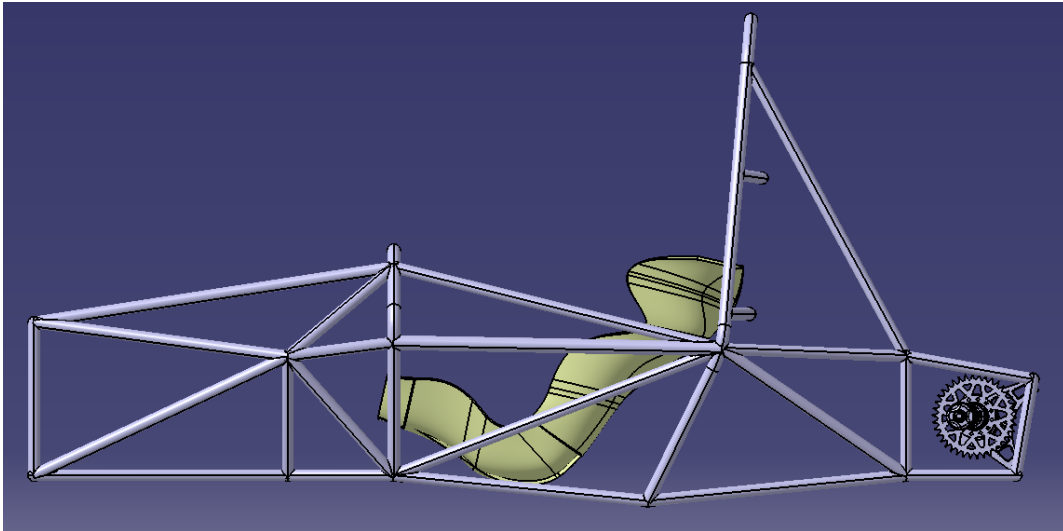


Figura 1.53. Ubicació de l'eix posterior respecte l'estructura del xassís. Font pròpia.

### Sistema de suspensió

En relació amb el sistema de suspensió del vehicle s'ha escollit el sistema Push-rod, un dels més utilitzats en el món de l'automoció. Aquest consta de tres braços o doble triangle, un superior i un inferior. Per l'interior d'aquests s'hi ubica una barra que s'uneix amb l'amortidor, la qual treballa a compressió.

Els dos triangles, per una banda, van units a la mangueta i la caixa, i per altra banda, van units al xassís.

Per a l'abast d'aquest projecte no s'ha realitzat el disseny del sistema de suspensió. S'ha realitzat només la definició del mateix escollint-lo entre els diferents tipus i s'han ubicat els seus punts d'ancoratge amb el xassís.

En la següent figura (Figura 1.54) es mostra un exemple del dimensionat en 3 dimensions del sistema de suspensió realitzat per un usuari extern:

## Disseny d'un xassís tubular

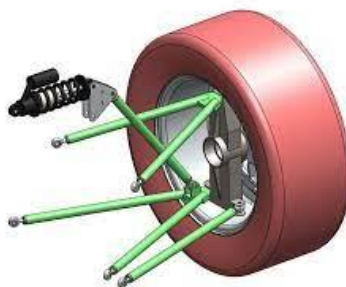


Figura 1.54. Exemple del dimensionat el 3D del sistema de suspensió Push-rod.  
[<https://core.ac.uk/download/pdf/11049378.pdf>].

### Punts d'ancoratge

En primer lloc, per als punts d'ancoratge dels braços amb el xassís s'haurà de tenir en compte que aquests braços han d'estar articulats per realitzar correctament la seva funció. Per a les unions amb la roda i amb el xassís s'utilitzaran ròtules per permetre la rotació dels braços en els tres eixos i, per tant, permeten l'articulació d'aquests. Les ròtules que s'utilitzen són com les de la Figura 1.55 i es troben als extrems dels braços de suspensió.



Figura 1.55. Exemple de les ròtules utilitzades en el sistema de suspensió.  
[[https://www.casadelruliman.com/15sbt24\\_timken\\_articulacion](https://www.casadelruliman.com/15sbt24_timken_articulacion)].

Per a unir la ròtula amb la roda i el xassís s'utilitzen cargols i femelles passants per la ròtula i per els dos forats del suports que van units al xassís i a la roda. En la següent figura (Figura 1.56) s'observa una possible solució per a unir el xassís amb els braços de suspensió i és la que s'ha decidit utilitzar en aquest projecte. Mitjançant la soldadura dels suports com els que es mostren a la Figura 1.56 al xassís, els braços de suspensió quedarien units a banda i banda. És important destacar que aquestes suports aniran soldats en els punts d'unió de les barres del xassís o el més proper possible d'aquests, per mantenir la triangularització i evitar així esforços de flexió innecessaris. Aquest procés es seguirà tant per a l'eix anterior com per a l'eix posterior, on el xassís ja està

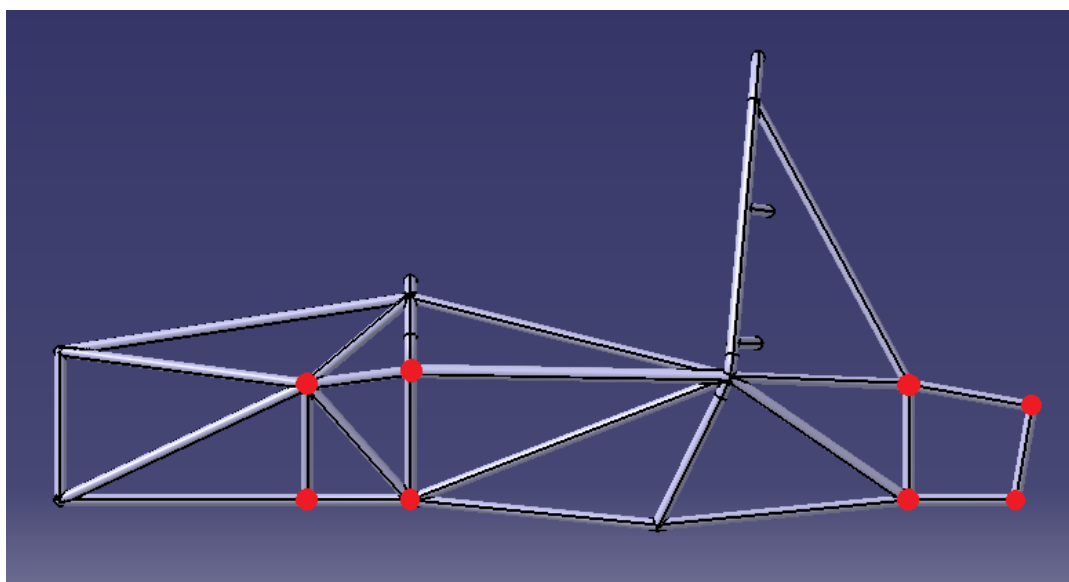


## Disseny d'un xassís tubular

dissenyat per a que les soldadures dels suports es realitzin en les unions de les barres tubulars (Figura 1.57).



*Figura 1.56. Exemple de punts d'ancoratge i unions del sistema de suspensió posterior al xassís. Penn Electric Racing [15].*



*Figura 1.57. Punts d'unió dels braços de suspensió amb el xassís. Font pròpia.*



## 1.8 PROCÉS DE FABRICACIÓ

En el següent apartat de procés de fabricació es detallaran tots els passos seguits de forma seqüencial per a obtenir el producte final, en aquest cas el xassís d'un vehicle elèctric de competició monoplaça. L'objectiu d'aquest apartat és que el resultat final tingui una geometria el més semblant al disseny realitzat amb els softwares esmentats en apartats anteriors.

El procés seguit per a la fabricació del xassís es pot observar al següent diagrama de flux de la Figura 1.58.

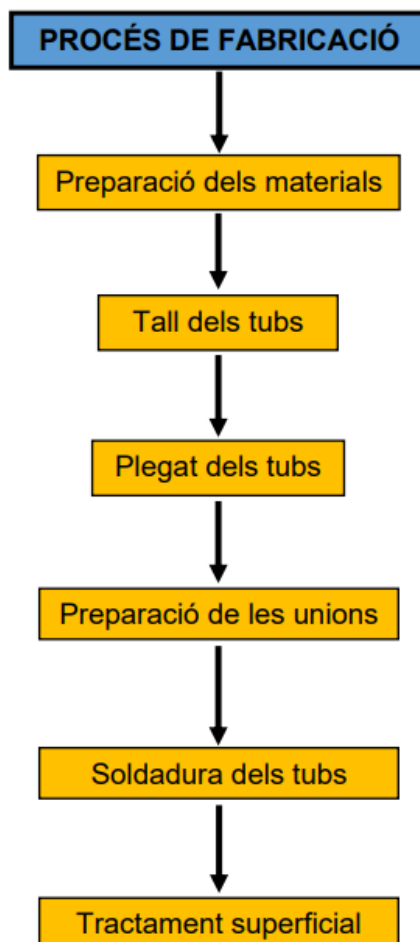


Figura 1.58. Diagrama de flux del procés de fabricació del xassís. Font pròpia.

### 1.8.1 Preparació dels materials

El primer pas per començar el procés de fabricació és disposar dels materials adequats. Tal i com s'ha explicat en l'apartat 1.6.3, dels dos proveïdors de tubs s'ha escollit l'empresa anglesa ProFormance Metals la qual subministra el material en barres

tubulars de 6 metres de llarg (Figura 1.59). Per a la construcció del xassís es necessitaran gairebé 40 metres de tubs i per tant s'hauran de demanar a l'empresa les quantitats adequades d'aquests atenen als diferents tipus de seccions definides per a cada part de l'estructura.



*Figura 1.59. Barres tubulars subministrades pel proveïdor. Proformance metals [13].*

### **1.8.2 Tall dels tubs**

Una vegada obtinguts els tubs es procedeix amb el tallat d'aquests. El fabricant envia els tubs amb un tallat recte en els extrems d'aquests però per al posterior soldat de les unions serà necessari que els extrems dels tubs siguin tallats d'acord amb la geometria d'aquestes unions.

Es cert que existeixen diversos mètodes per a tallar els tubs que es diferencien entre ells per la precisió en el tall, el procés seguit, la maquinària utilitzada i sobretot en l'aspecte econòmic. Entre aquests mètodes els més utilitzats són el tall per bufador, per làser, per plasma i per serrat.

En aquest projecte s'ha decidit utilitzar el mètode de tall per serrat ja que es tracta del més econòmic i serà òptim per a obtenir els extrems dels tubs amb les geometries desitjades les quals no seran molt complexes.

El serrat és un procés de desbast que es realitza amb una fulla de serra per arrencada d'encenall amb la intenció de tallar el material. Abans de començar a tallar és important tenir en compte el gruix de la serra que s'utilitzarà ja que afectarà en les dimensions finals dels tubs tallats. La maquinària utilitzada en aquest cas solen ser serres circulars, alternatives o de cinta.



## Disseny d'un xassís tubular

Per a obtenir les geometries desitjades en els extrems dels tubs per a les unions posteriors, és important definir els tipus d'unions entre perfils tubulars. Generalment s'utilitza l'extrem de boca de peix que permet unir diversos tubs amb avantatges com aportar un cordó de soldadura més homogeni i amb la quantitat de material adequada. Partint dels extrems de boca de peix es possible realitzar unions com les que apareixen a la figura següent (Figura 1.60):

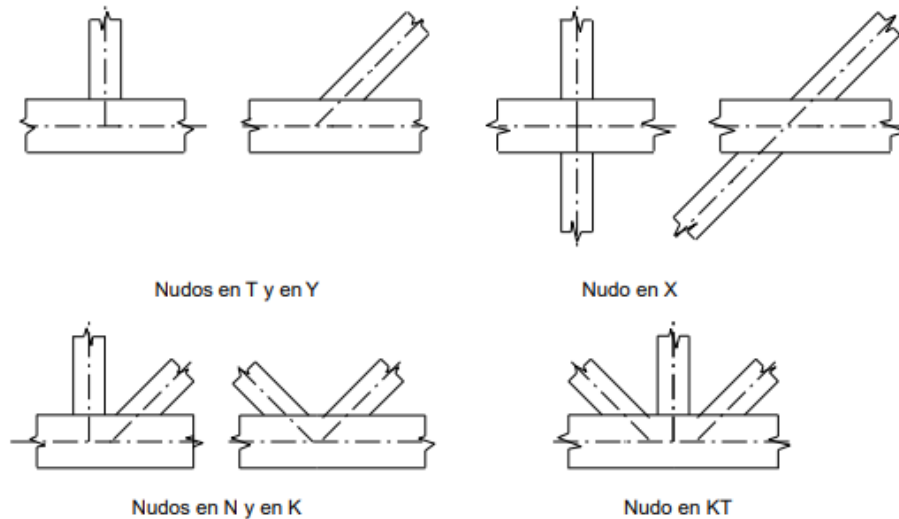


Figura 1.60. Tipus bàsics de nusos. Instituto Técnico de la Estructura en Acero [16].

Aplicant els tipus d'unions anteriors s'obtenen resultats com els de la Figura 1.61 i la Figura 1.62:



Figura 1.61. Exemple 1 d'unió soldada de tubs.

[<https://www.kaykaindustrial.com.mx/products/kaka-pn-1-2a-base-corte-boca-de-pez-para-muecas-en-tubos>].





Figura 1.62. Exemple 2 d'unió soldada de tubs. [<http://ururecli.blogspot.com/2012/05/maquina-para-realizar-boca-de-pescado.html>].

### 1.8.3 Doblegat dels tubs

A continuació el següent pas serà el doblegat dels tubs. Aquest procés s'haurà d'aplicar principalment als tubs que formen part dels cercols principal i frontal (Main Hoop i Roll Hoop), i a alguns tubs que per la seva geometria també serà necessari doblegar-los.

Aquest doblegat dels tubs també es pot fer per diversos mètodes. En primer lloc, els tubs es poden conformar en fred o en calent. En la construcció dels xassís d'aquest tipus la majoria dels equips dobleguen els tubs en fred principalment perquè és molt més econòmic. En aquest projecte també s'ha decidit que el conformat serà en fred i per a la realització d'aquest existeixen diversos mètodes com el doblegat per pressió, mitjançant rodets o bé mitjançant tall a biaix. Tenint en compte les propietats mecàniques del material dels tubs i els mètodes de doblegat utilitzats per altres equips, s'ha decidit realitzar el doblegat dels tubs mitjançant rodets. És molt important tenir en compte el límit elàstic del material ja que aquest no ha de ser superat durant l'operació de doblegat, i la longitud de la fibra neutra. El comportament del tub hauria de ser el següent (Figura 1.63):

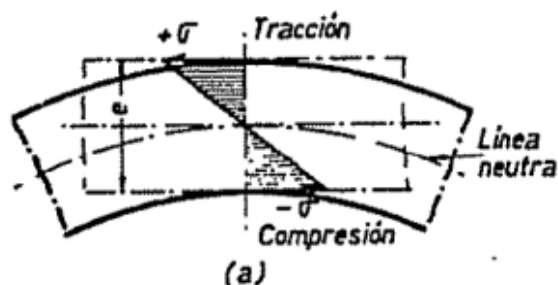
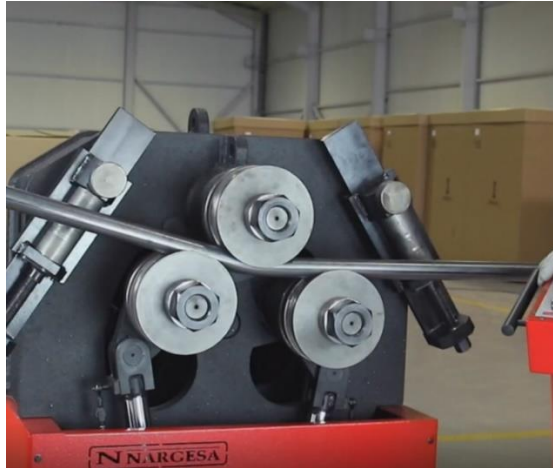


Figura 1.63. Deformació elàstica d'un tub. Apunts Tecnologia Mecànica.



## Disseny d'un xassís tubular

El doblegat mitjançant rodets consisteix en passar el tub entre, normalment, tres rodets que solen girar sobre si mateixos i és el rodet central el que es desplaça mentre que els altres són fixes. Aquest rodet central és el que determina el radi de curvatura. Els 3 rodets s'han d'adaptar a cada secció a doblegar, per tant, les seves dimensions varien en funció de quin tub s'ha de doblegar (Figura 1.64).



*Figura 1.64. Corbadora de perfils tubulars.  
[<https://www.pinterest.es/pin/837739968175923070/>].*

Tal i com s'especifica a la normativa, el radi mínim de corbat dels tubs ha de ser de l'ordre de tres vegades al diàmetre exterior del tub, aquest mesurat des del centre del tub. Durant el disseny es va tenir en compte aquest aspecte i els doblecs realitzats tenen un radi de 150, 100 i 90 mil·límetres tots ells iguals o superiors als 90 mil·límetres corresponents al requisit mencionat ja que els tubs són de 30 mil·límetre de diàmetre exterior (Figura 1.65 i Figura 1.66).



## Disseny d'un xassís tubular

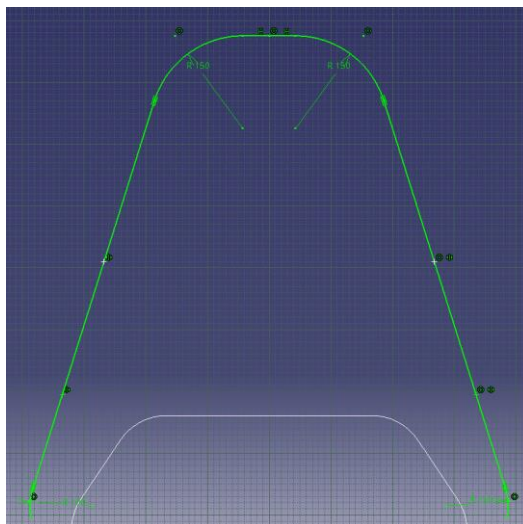


Figura 1.65. Radis de curvatura del cercol principal, 150 i 100 mm. Font pròpia.

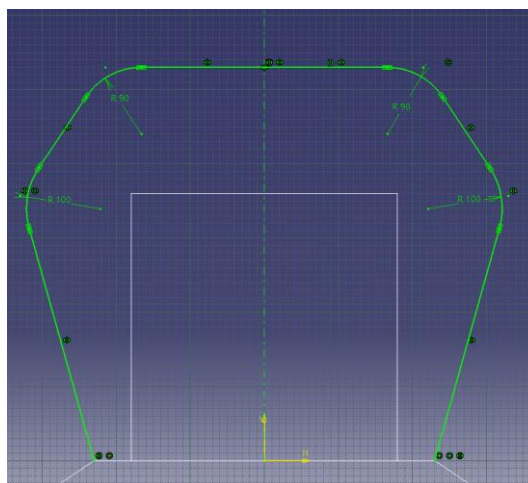


Figura 1.66. Radis de curvatura del cercol frontal, 100 i 90 mm. Font pròpia.

Un altre factor a tenir en compte, és que les màquines de corbat tenen un límit de radi de curvatura segons el perfil que s'està doblegant, que sol ser de 5 vegades superior al diàmetre exterior del tub. Per tant, en el cas dels cercols aquest doblecs no poden superar els 150 mm de radi de curvatura. Tal i com s'ha definit, aquest límit tampoc es veurà superat.

#### 1.8.4 Soldadura

A partir de tots els paràmetres definits fins aquest moment en què s'ha tingut en compte el tall i doblegat dels tubs, aquests ja estaran a punt per al procés de soldadura. Tenint en compte el material del que estan fabricats els tubs, un acer aliat de Crom i Molibdè, es parteix d'unes condicions ideals per a començar a soldar ja que aquest material té



## Disseny d'un xassís tubular

unes propietats mecàniques i fisicoquímiques excel·lents que ofereixen una gran soldabilitat. Per tant, es podran utilitzar molts mètodes per a soldar les unions.

Com que els perfils que s'han de soldar són tubs, per tant, són buits per dins, la tecnologia que s'utilitzarà és la soldadura per fusió. Hi ha diversos tipus de soldadura per fusió i els que més s'utilitzen són els següents:

- Soldadura Oxigas: El calor entès com a font d'energia es genera per la reacció química entre un gas combustible (acetilè, propà, gas natural) i un gas comburent (oxigen). La reacció que es produeix és exotèrmica i forma una flama que es dirigeix, mitjançant un bufador, cap als extrems de les peces a unir provocant la seva fusió per soldadura. La protecció del bany de fusió la realitzen els mateixos gasos de la flama, encara que en algun cas és necessari recórrer a la utilització de desoxidants (Figura 1.67).

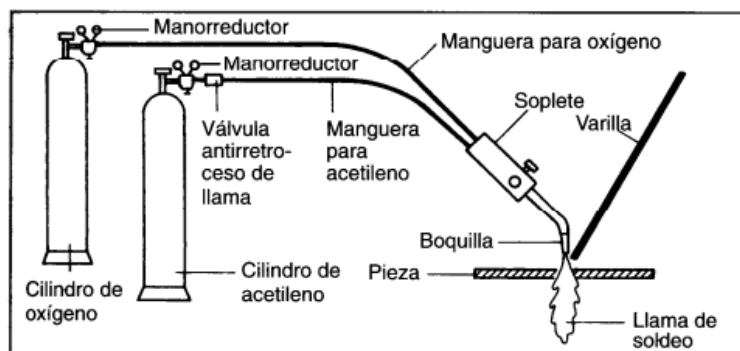


Figura 1.67. Equip de soldadura Oxiacetilènica. Apunts Tecnologia Mecànica.

- Soldadura per arc amb elèctrode revestit: La soldadura per arc amb elèctrode revestit és un procés en el que la fusió del metall es produeix gràcies a la calor generada per un arc elèctric establert entre l'extrem revestit i el metall base de una unió a soldar.

El metall d'aportació s'obté per la fusió de l'elèctrode en forma de petites gotes.

La

protecció s'obté per la descomposició del revestiment en forma de gasos i en forma

d'escòria líquida que flota sobre el bany de fusió i, posteriorment, solidifica.



## Disseny d'un xassís tubular

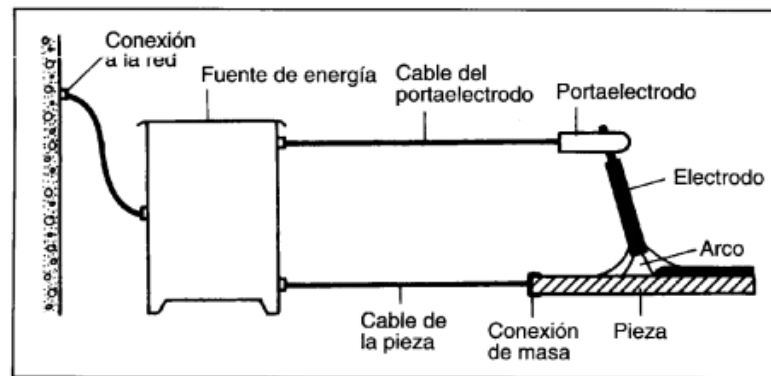


Figura 1.68. Equip de soldadura per arc amb elèctrode revestit. *Apunts Tecnologia Mecànica.*

- Soldadura per arc protegida amb gas: La funció primordial dels gasos de protecció és evitar que el metall a altes temperatures, el bany de fusió i l'elèctrode s'oxidin o contaminin. Si l'aire entra en contacte amb el metall fos, l'oxigen de l'aire reaccionarà amb el material produint òxids, el nitrogen pot causar porositat i la humitat del aire també pot causar porositat i provocar esquerdes. Els gasos més comuns són l'Argó, l'Heli i el Diòxid de Carboni. Dins d'aquest tipus de soldadura els processos més comuns són el TIG i el MIG/MAG:
  - TIG:

La soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), o també anomenada GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) utilitza com a font d'energia l'arc elèctric que s'estableix entre un electrode no consumible i la peça a soldar, mentre un gas inert protegeix el bany de fusió. El material d'aportació quan s'utilitza s'aplica mitjançant varetes com en la soldadura oxiacetilènica (Figura 1.69).

Els principals avantatges d'aquest tipus de soldadura són:

- Arc estable i concentrat.
- No es produeix escòria.
- Produeix soldadures llises i regulars.
- Es poden aconseguir soldadures de gran qualitat.
- Permet el control independent de la font d'energia i del metall d'aportació

Ara bé, també té algunes limitacions com:

## Disseny d'un xassís tubular

- La taxa de deposició és menor que la que és pot obtenir amb altres processos de soldadura per arc.
- L'aplicació manual exigeix una gran habilitat per part del soldador.
- En presència de corrents d'aire pot resultar difícil aconseguir una protecció adequada de la zona de soldadura.

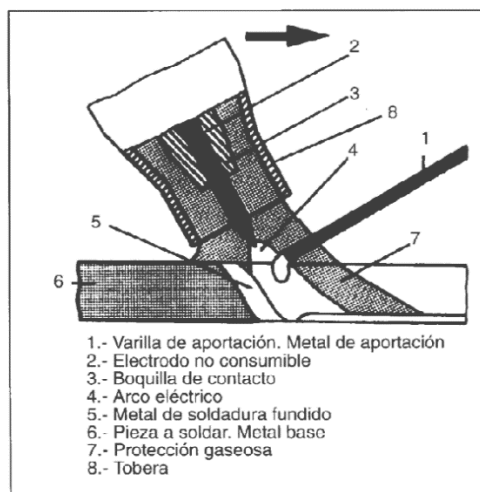


Figura 1.69. Esquema dels elements que intervien en una soldadura TIG. Apunts Tecnologia Mecànica.

○ MIG/MAG:

En la soldadura MIG (Metal Inert Gas) / MAG (Metal Active Gas), també anomenada GMAW (Gas Metal Arc Welding) el calor necessari es generat per un arc que s'estableix entre un elèctrode consumible i el metall base. L'elèctrode és un filferro massís, nu, que s'alimenta de forma continua automàticament i es converteix en el metall dipositat segons es consumeix (Figura 1.70).



## Disseny d'un xassís tubular

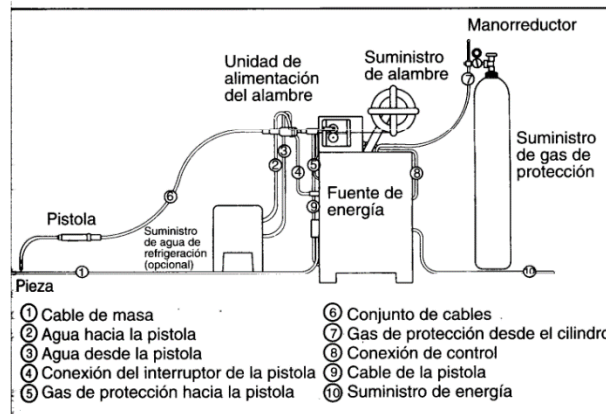


Figura 1.70. Equip de soldadura MIG/MAG. Apunts Tecnologia Mecànica.

- Soldadura per plasma: Aquest tipus de soldadura és una modificació de la soldadura TIG. La principal diferència amb la soldadura TIG és que en la soldadura per plasma s'afegeix un gas que es fa passar a través d'un orifici estret i proporciona una columna de plasma estreta. Normalment es treballa amb corrent continua i polaritat directa i elèctrodes de tungstè o tungstè-tori (Figura 1.71).

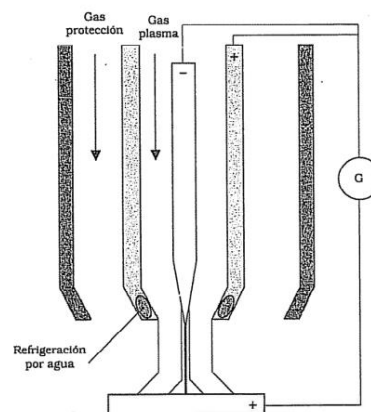


Figura 1.71. Esquema d'una torxa de plasma d'arc transferit. Apunts Tecnologia Mecànica.

Després de valorar els tipus de soldadura per fusió més interessants, s'ha decidit que s'utilitzarà la soldadura per arc protegida amb gas TIG.

El principal motiu pel que s'ha escollit aquest tipus de soldadura és perquè és la més adequada per a soldar els elements que formen l'estructura del xassís, és a dir, tubs de petit espessor. És adequada perquè tot i que es necessita una persona molt qualificada per efectuar les soldadures el sistema no produirà escòria degut a l'atmosfera del gas inert, aquestes soldadures seran de gran qualitat, llises i regulars, es podrà utilitzar amb



metall d'aportació com és el cas d'aquest projecte i pot utilitzar-se en tot tipus d'unions i posicions.

Respecte al metall d'aportació, és convenient que aquest disposi d'unes característiques mecàniques i físiques iguals o el més semblants al metall base de l'estructura, el 25CrMo4 (Figura 1.72).



*Figura 1.72. Representació del procés de soldadura TIG en un xassís FSAE. E-tech Racing UPC [<https://www.e-techracing.es/>].*

### 1.8.5 Tractament superficial

Finalment, després d'efectuar totes les unions amb soldadura TIG es procedirà a realitzar una neteja superficial de tota l'estructura mitjançant fluids de neteja que permetran aplicar posteriorment un cromat de l'estructura. Com a fluids de neteja normalment s'utilitzen solucions alcalines per seu baix cost.

Una vegada l'estructura està neta s'aplicarà el cromat tal i com s'ha dit amb l'objectiu que aquesta adquireixi una bona resistència a la corrosió i permeti aplicar la pintura després. El procés de pintura consistirà en col·locar l'estructura del xassís a l'interior d'un forn de polimeritzat per recobriments en pols. La temperatura a l'interior del forn serà d'entre uns 180 i 200 graus. L'aspecte d'aquests forns sol ser com el de la Figura 1.73:



*Figura 1.73. Forn de polimeritzat per recobriments en pols.  
[[https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-824060236-cabina-de-pintura-automotriz-\\_JM](https://articulo.mercadolibre.com.ar/MLA-824060236-cabina-de-pintura-automotriz-_JM)].*



## 1.9 ANÀLISIS DE SOLUCIONS I RESULTATS FINALS

### 1.9.1 Primer disseny

En aquest apartat s'explica quin va ser el procés seguit per a l'obtenció del primer disseny vàlid per a la competició Formula SAE. Per al disseny s'ha utilitzat el software CATIA V5.

Primer de tot es van definir les característiques principals del vehicle per tal de tenir un punt de partida. Aquestes característiques van ser les següents:

- Distància entre eixos (wheelbase): S'ha definit una distància de 1530 mm.
- Pilot: Per al pilot s'han definit les seves dimensions a partir del percentil 95 masculí.
- Requeriments estructurals i aspectes tècnics: S'han tingut en compte tots els requeriments estructurals definits anteriorment en l'apartat de normativa de la FSAE.

El primer s'ha fet es dibuixar en planta la forma del xassís col·locant en la part central al pilot, d'aquesta manera es poden obtenir unes primeres dimensions aproximades de les que tindrà finalment el disseny acabat (Figura 1.74):

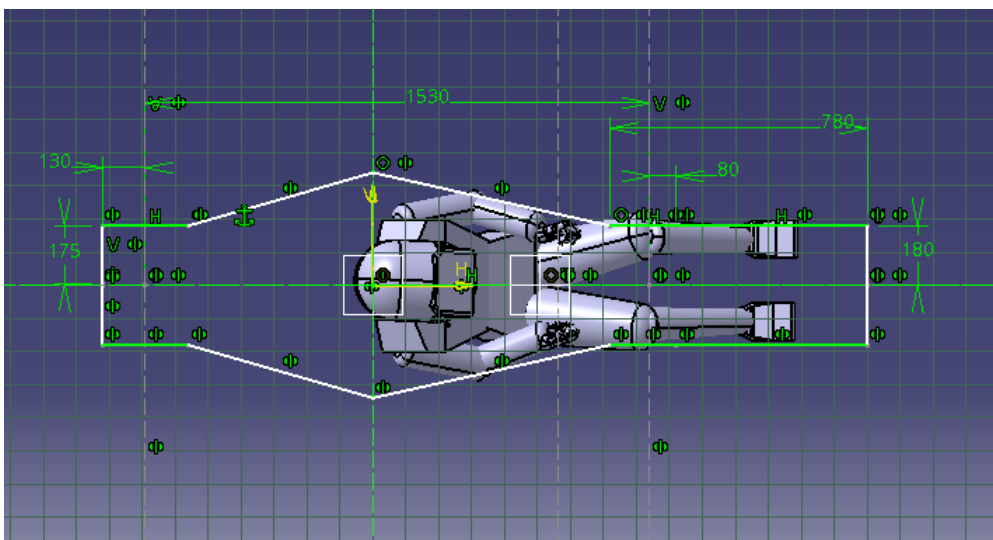


Figura 1.74. Vista en planta del xassís amb el pilot situat en la posició central. Font pròpia (CATIA V5).

Seguidament el següent pas realitzat ha estat la comprovació de l'obertura de la cabina mitjançant la plantilla també mencionada en anteriorment (Figura 1.75).

## Disseny d'un xassís tubular

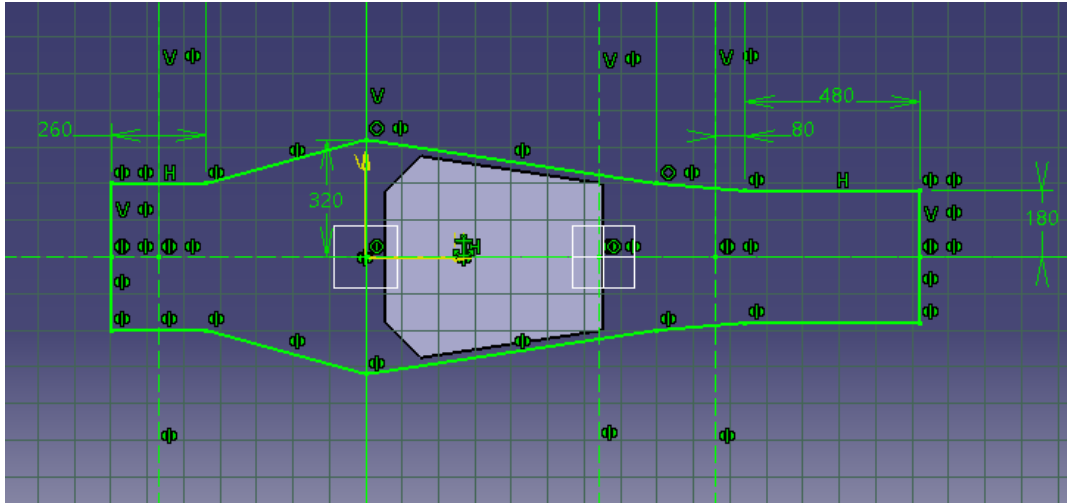


Figura 1.75. Col·locació de la plantilla de l'obertura de la cabina sobre la base del xassís. Font pròpia (CATIA V5).

A continuació, s'han definit les alçades des del terra (ground clearance) de la base anteriorment comentada (Figura 1.76).

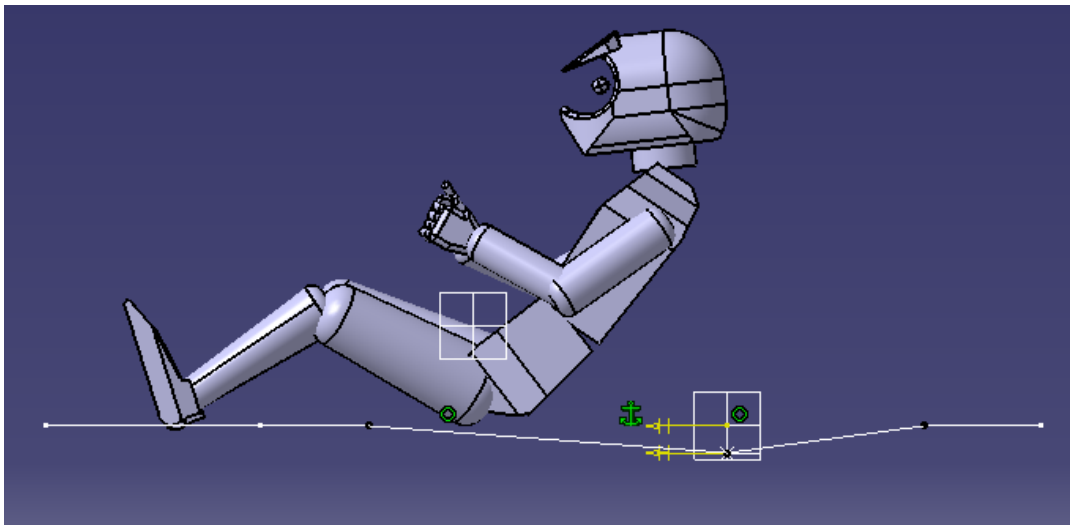


Figura 1.76. Vista lateral dreta que mostra la diferència d'alçades des del terra. Font pròpia (CATIA V5).

A partir d'aquest moment es procedeix amb el disseny de la mampara frontal (front bulkhead) i del cercle frontal (front hoop) amb els seus corresponents suports (Figura 1.77 i Figura 1.78).

## Disseny d'un xassís tubular

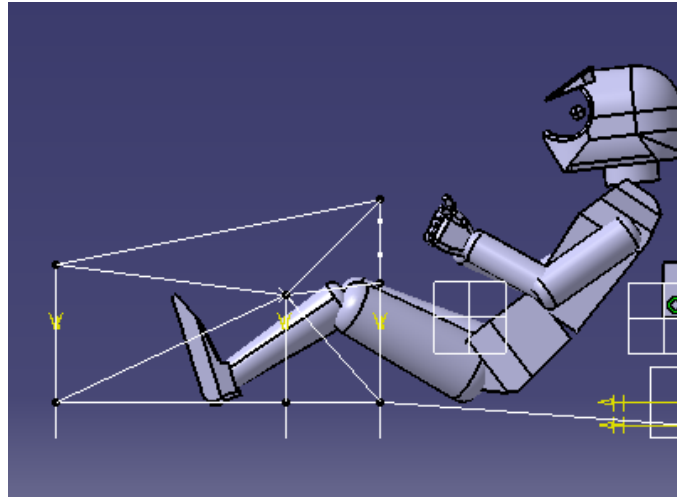


Figura 1.77. Vista lateral dreta que mostra el disseny de la mampara frontal i del cercol frontal. Font pròpia (CATIA V5).

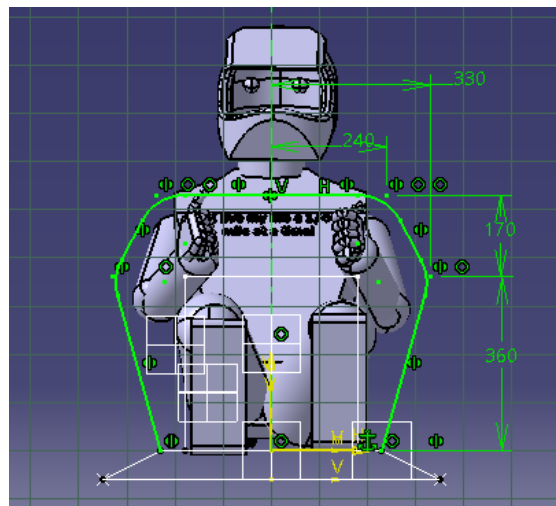


Figura 1.78. Vista frontal que mostra les formes rectangular i hexagonal de la mampara frontal i del cercol frontal respectivament. Font pròpia (CATIA V5).

Després de realitzar el disseny de la mampara frontal i del cercol frontal, s'ha procedit a dissenyar el cercol principal (main hoop) en primer lloc i l'estructura d'impacte lateral en segon lloc (Figura 1.79, Figura 1.80 i Figura 1.81).



## Disseny d'un xassís tubular

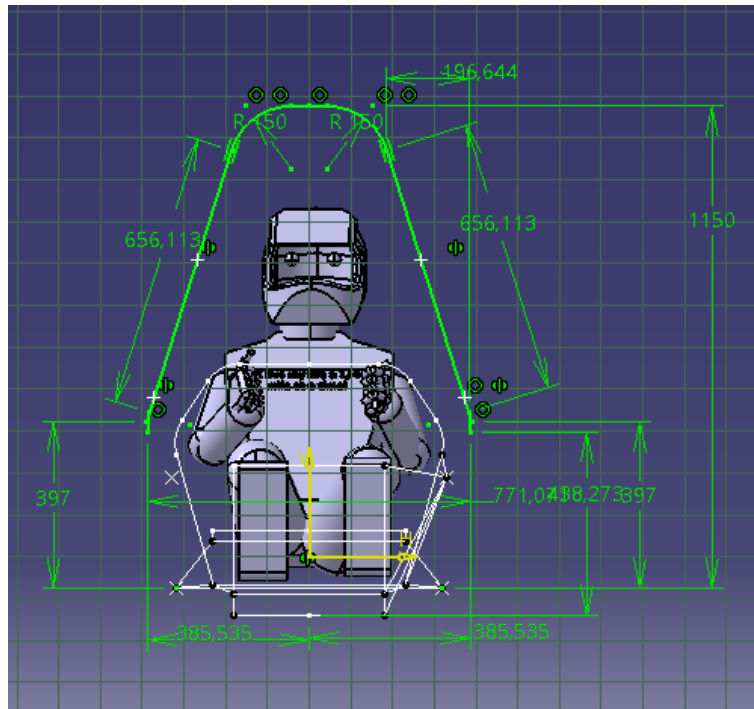


Figura 1.79. Vista frontal que mostra la forma del cercol principal. Font pròpia (CATIA V5).

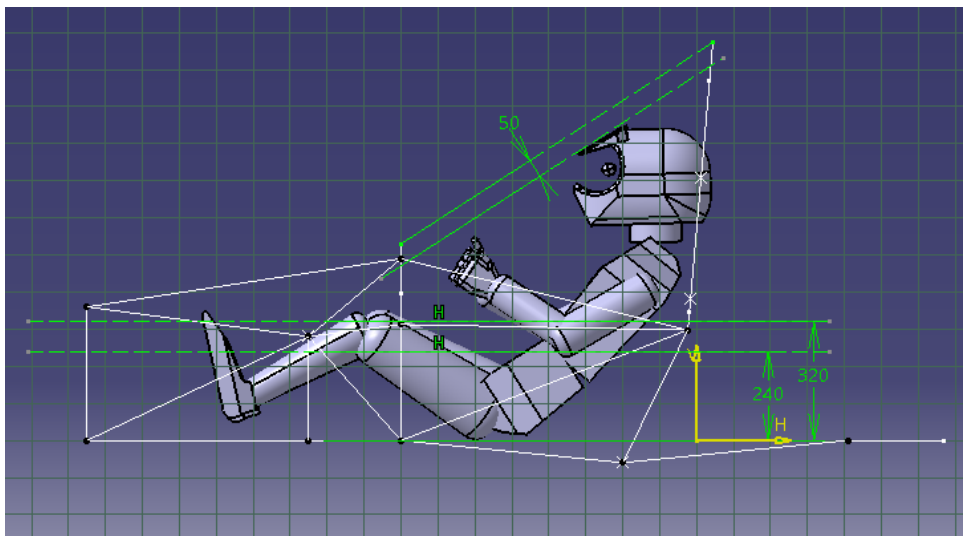


Figura 1.80. Vista lateral dreta que mostra els requeriments de posició del cercol principal i de l'estructura d'impacte lateral. Font pròpia (CATIA V5).



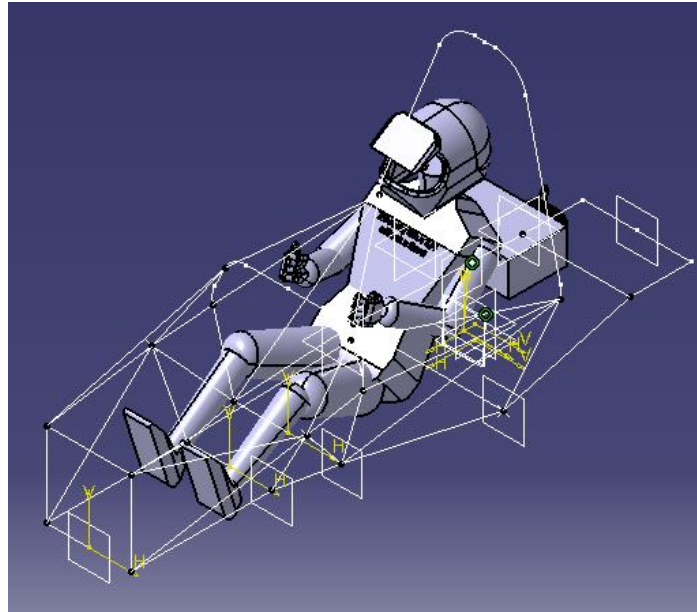


Figura 1.81. Vista isomètrica on s'observen tots els elements anteriors. Font pròpia (CATIA V5).

El cercol principal disposa de dos tirants que s'uneixen amb la part inferior de l'estructura de xassís (Figura 1.82).

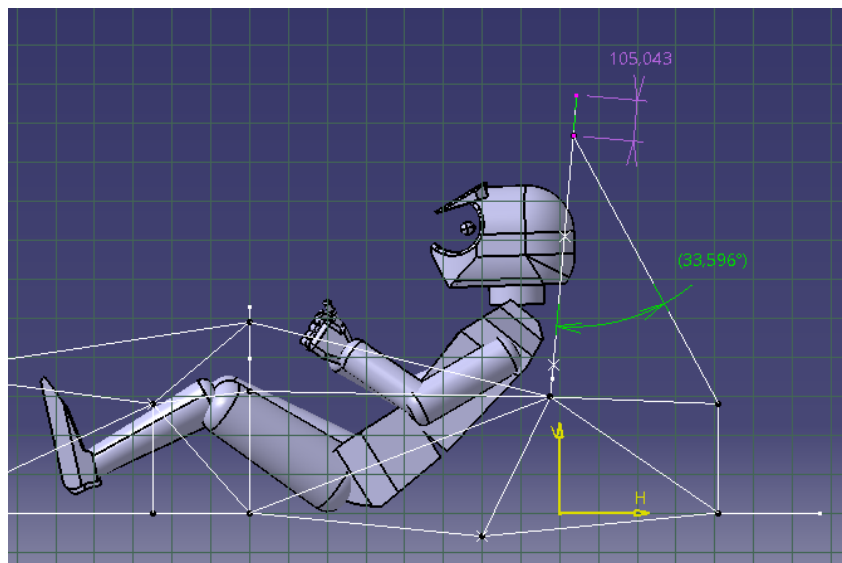


Figura 1.82. Vista lateral dreta on es mostren les dimensions requerides en els tirants de suport del cercol principal. Font pròpia (CATIA V5).

En la part final del disseny amb el programa CATIA V5 s'han posicionat el motor i el controlador motor en les seves possibles localitzacions finals per comprovar si aquests tenen l'espai suficient (Figura 1.83).



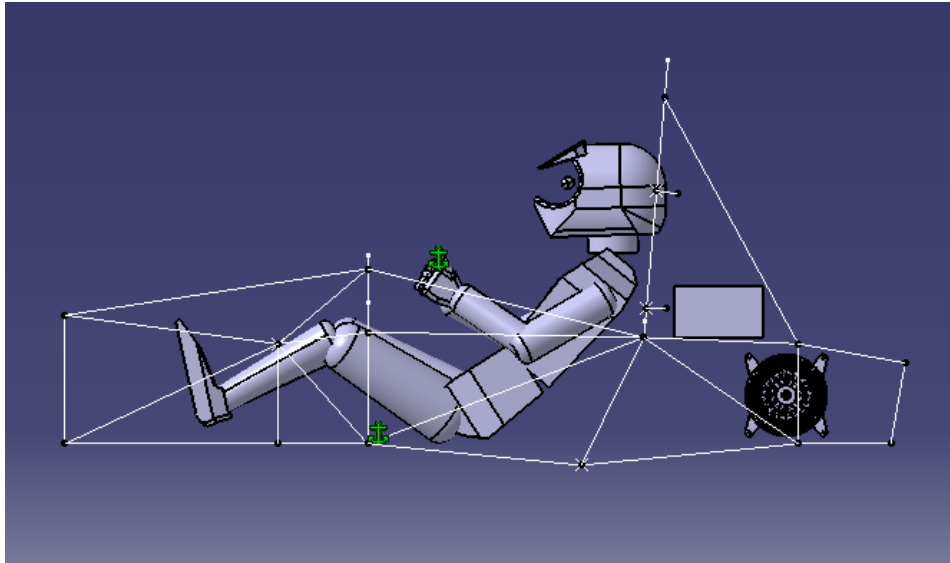


Figura 1.83. Vista lateral dreta on es mostra el motor, el controlador motor i la part final de l'estructura del xassís. Font pròpia (CATIA V5).

Per acabar, es col·loca el seient del pilot en la seva posició i només queda definir l'espai que queda per a l'allotjament del paquet de bateries (Figura 1.84).

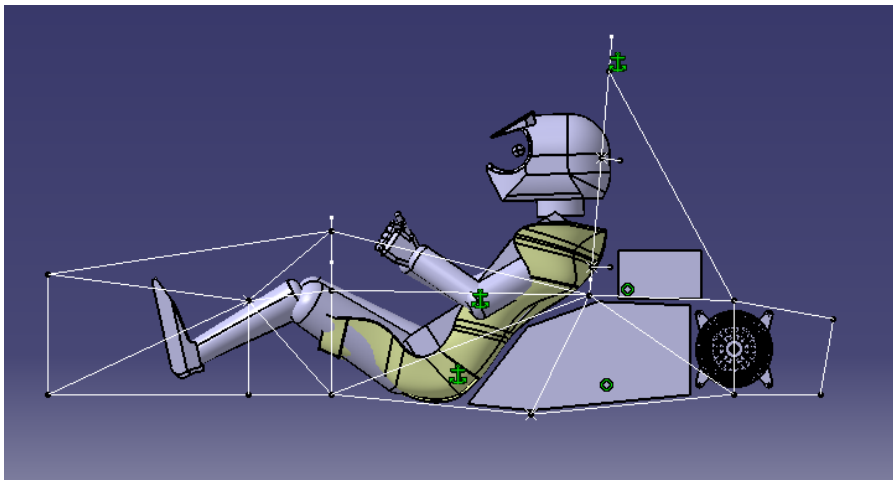
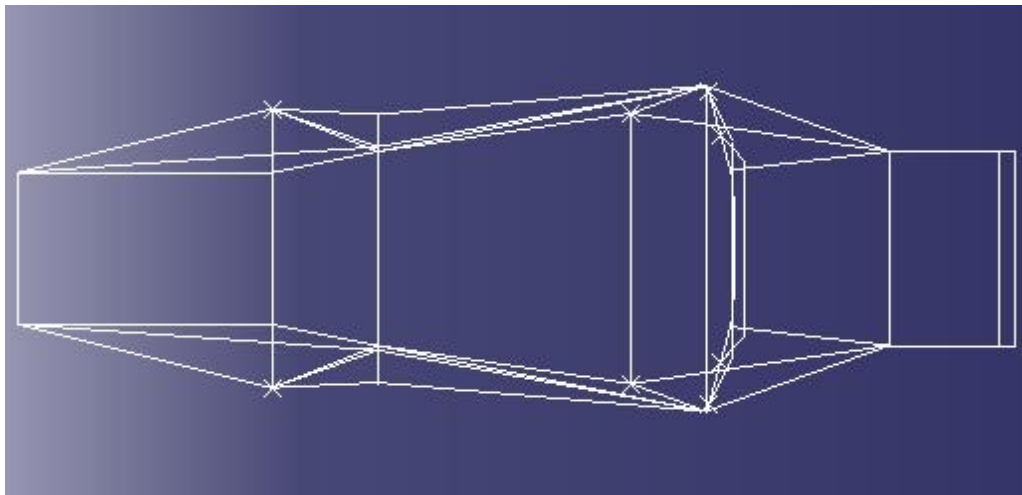
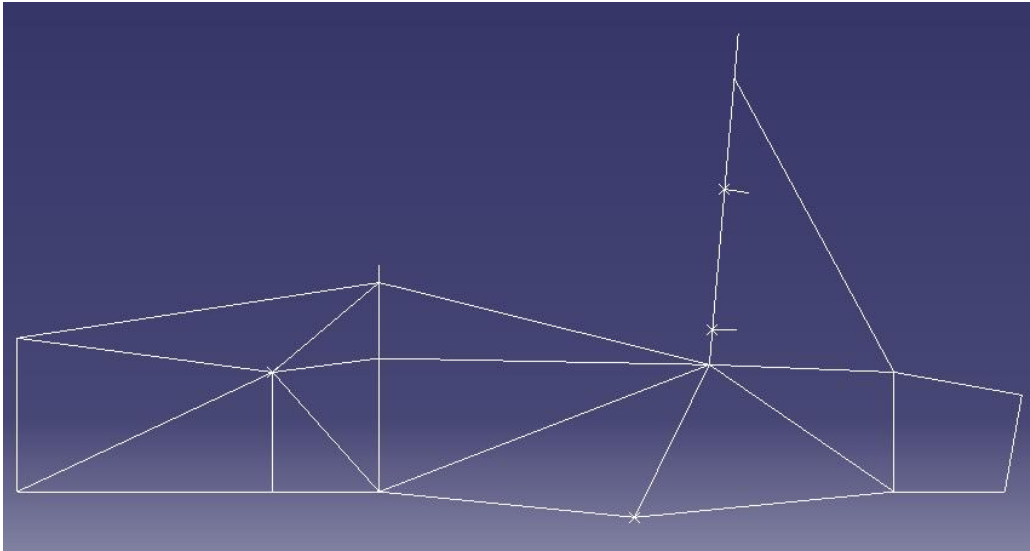


Figura 1.84. Disposició dels elements de la part posterior del vehicle juntament amb l'espai cedit per al paquet de bateries. Font pròpia (CATIA V5).

El resultat final del primer disseny que compleix amb tots els requisits de la normativa Formula SAE és el següent (Figura 1.85):



## Disseny d'un xassís tubular

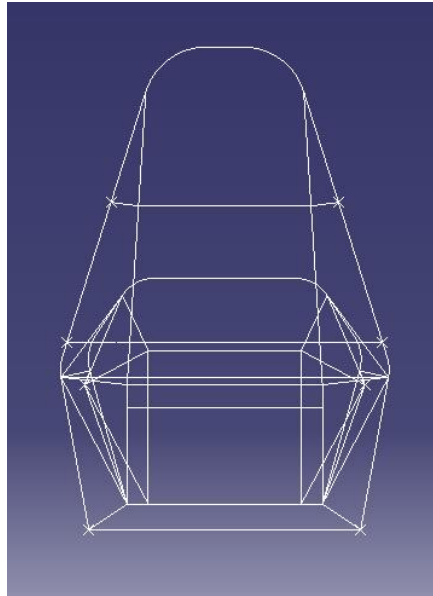


Figura 1.85. Primer disseny del xassís proposat. Font pròpia (CATIA V5).

### 1.9.2 Anàlisis i resultats

A continuació s'han realitzat estudis per elements finits mitjançant el programa ANSYS Mechanical. Les unitats que s'utilitzen en l'estudi són les següents: distància en mm, força en N i tensió en MPa o N/mm<sup>2</sup>.

El software ANSYS Mechanical consta de tres fases:

1. Pre-procés: Consisteix en importar el CAD des del software CATIA V5 i partir d'aquí definir el tipus d'element, els materials, les seccions i el mallat. Es duen a terme totes les accions anteriors a la resolució de l'estructura.
2. Solució: Es defineixen els casos de càrrega i les restriccions per calcular l'estructura.
3. Post-procés: Fa referència a totes les accions posteriors a la resolució del model. S'analitzen les dades i s'extreuen conclusions.

Els estudis realitzats han estat els següents: resistència , rigidesa torsional i anàlisi modal de l'estructura del xassís. A partir d'aquests estudis s'han introduït modificacions que han afectat al disseny final del xassís.

### BEAM188

El tipus d'element utilitzat per a les simulacions amb ANSYS Mechanical és el BEAM188 [17]. S'ha escollit aquest element perquè és útil per analitzar estructures tipus biga

## Disseny d'un xassís tubular

esvelta o moderadament gruixuda. Està basat en la teoria de Timoshenko que inclou efectes de deformació i tallant.

Aquest element està format per dos nodes i sis o set graus de llibertat. Aquests venen definits per desplaçaments en X, Y i Z, i rotació al voltant també dels eixos X, Y i Z. El setè grau de llibertat és opcional i fa referència a la torsió (Figura 1.86).

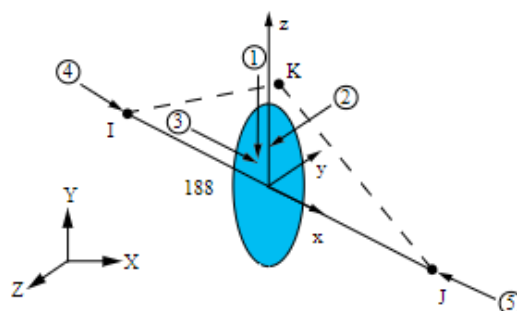


Figura 1.86. Element tipus BEAM188. Department of Applied Mechanics.

Aquest element també inclou per defecte rigideses en qualsevol anàlisi amb grans deflexions. Aquestes rigideses permeten analitzar els problemes d'estabilitat o col·lapse de l'estructura. Problemes de materials no lineals com elasticitat, plasticitat i fluència són possible d'analitzar amb aquest element.

### 1.9.2.1 Resistència del xassís

S'ha decidit aplicar la normativa de la FSAE de l'any 2017-2018 [10] que incorporava unes hipòtesis de càrrega en diferents situacions a les que podia estar sotmesa l'estructura del xassís.

S'ha definit un sistema de coordenades que es mostra a la Figura 1.87. A partir d'aquest sistema la normativa proposa un seguit d'hipòtesis de càrrega en les tres direccions següents:

- Longitudinal: eix x.
- Transversal: eix y.
- Vertical: eix z.



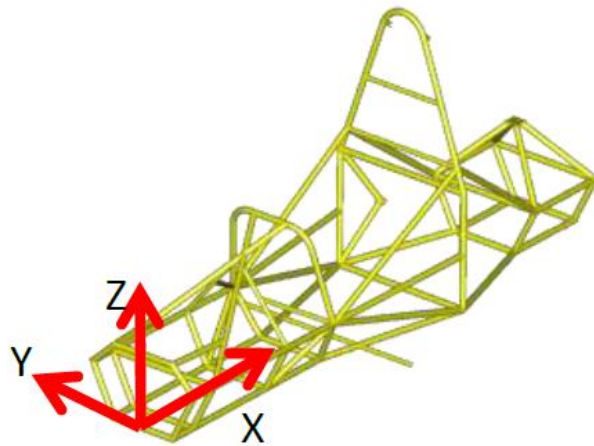


Figura 1.87. Sistema de coordenades utilitzat per als càlculs de resistència. Formula SAE rules 2017-2018.

Els càlculs de resistència han de complir en tot moment els següents criteris [18]:

- Criteri de tensió:
  - Material: 25CrMo4

Taula 1.14. Propietats del 25CrMo4 /EN 10305-1. Font pròpia.

Propietats del 25CrMo4 / EN 10305-1		
Mòdul de Young (E)	205	Gpa
Densitat ( $\rho$ )	7850	Kg/m3
Límit elàstic (Sy)	590	Mpa
Tensió ruptura (Su)	740	Mpa
Coef. Poisson ( $\nu$ )	0,29	

- Tensió màxima: Equivalent stress Von-Mises (ANSYS)

La tensió màxima de la qual s'obtingran els resultats serà obtinguda a partir del criteri de màxima tensió de Von Mises en l'acer [19]. Aquest criteri es basa en la teoria de Von Mises-Hencky, es coneix també com la teoria de l'energia a tallant o teoria de l'energia de distorsió màxima. S'utilitza en materials isòtrops i la seva expressió és la següent (Eq. 1.1):

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

(Eq. 1.1)

Sabent que,



## Disseny d'un xassís tubular

$\sigma_1$ : Primera tensió principal [MPa].

$\sigma_2$ : Segona tensió principal [MPa].

$\sigma_3$ : Tercera tensió principal [MPa].

Aquesta teoria explica que un material dúctil començarà a cedir en una ubicació quan la tensió de Von Mises sigui igual al límit de tensió d'aquest material. Aquest límit de tensió correspon al límit elàstic que si es superat suposarà la plastificació del material (Figura 1.88, (Eq. 1.2 i (Eq. 1.3).

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm} \quad (\text{Eq. 1.2})$$

$$\sigma_{Von\ Mises} \leq \sigma_e \quad (\text{Eq. 1.3})$$

$\sigma_{Von\ Mises}$ : Màxima tensió de Von Mises [MPa].

$\sigma_e$ : Tensió de límit elàstic [MPa].

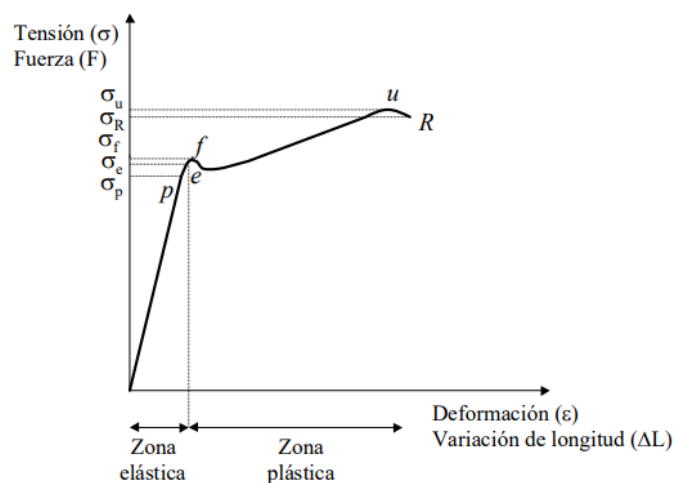


Figura 1.88. Diagrama de tensió-deformació. Apunts Ciència i Tecnologia de Materials.

A més a més, es tindran en compte els punts de concentració de tensions on hi haurà les tensions màximes a l'estructura del xassís. Aquestes s'observaran a les següents figures de resultats.

- Coeficient de seguretat:

## Disseny d'un xassís tubular

Aquest coeficient minora la resistència i per tant ofereix un marge de seguretat per dimensionar. S'ha definit un coeficient de seguretat de 1,1 que representa aproximadament que es tindrà en compte un límit elàstic del 90% del límit elàstic del material.

- Tensió admissible: Límit elàstic/ $C_s = 536,4$  MPa (Eq. 1.4).

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{C_s} = \frac{590}{1,1} = 536,4 \text{ MPa}$$

(Eq. 1.4)

- Criteri de deflexió:
  - Deflexió màxima: Total deformation (ANSYS), (Eq. 1.5).
  - Deflexió admissible: 25 mm.

$$\delta_{max} \leq \delta_{adm}$$

(Eq. 1.5)

$$\delta_{adm}(\text{normativa}) = 25 \text{ mm}$$

A continuació s'estudiarà la resistència de l'estructura a partir de 5 situacions de càrrega possibles segons la normativa de la FSAE:

**Situació 1**

- Main Hoop, Bracing and Bracing Supports.
- Càrrega aplicada:  $F_x=6$  KN,  $F_y=5$  KN,  $F_z=-9$  KN.
- Punt d'aplicació: Zona més alta del cercol principal (Main Hoop).
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls. Rotació permesa.
- Màxima deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa.

Verificació dels criteris (Taula 1.15):

Taula 1.15. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 1. Font pròpia.

	SITUACIÓ 1	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	<b>16,399 mm</b>
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	<b>622,89 MPa</b>



## Disseny d'un xassís tubular

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 16,4 mm però no compleix el de tensió amb 622,9 MPa.

Es proposa augmentar l'espessor de la secció A que correspon als cercles frontal i principal ja que el punt on es produeixen les tensions màximes es troba a la part superior del cercle principal (Main Hoop). Per tant, s'augmenta l'espessor de 2 a 2,5 mm (Figura 1.89).

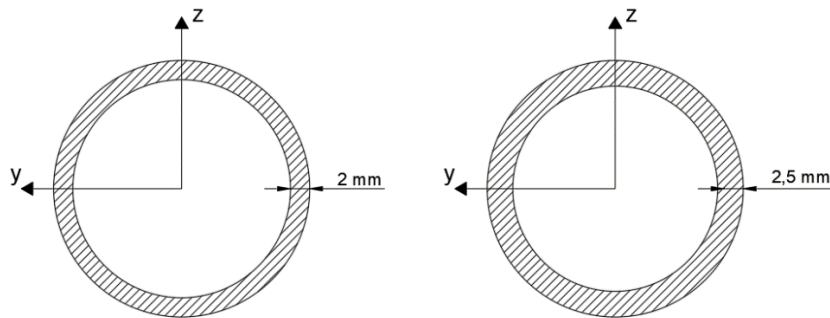


Figura 1.89. Augment de l'espessor de la secció A. Font pròpia (Autocad 2021).

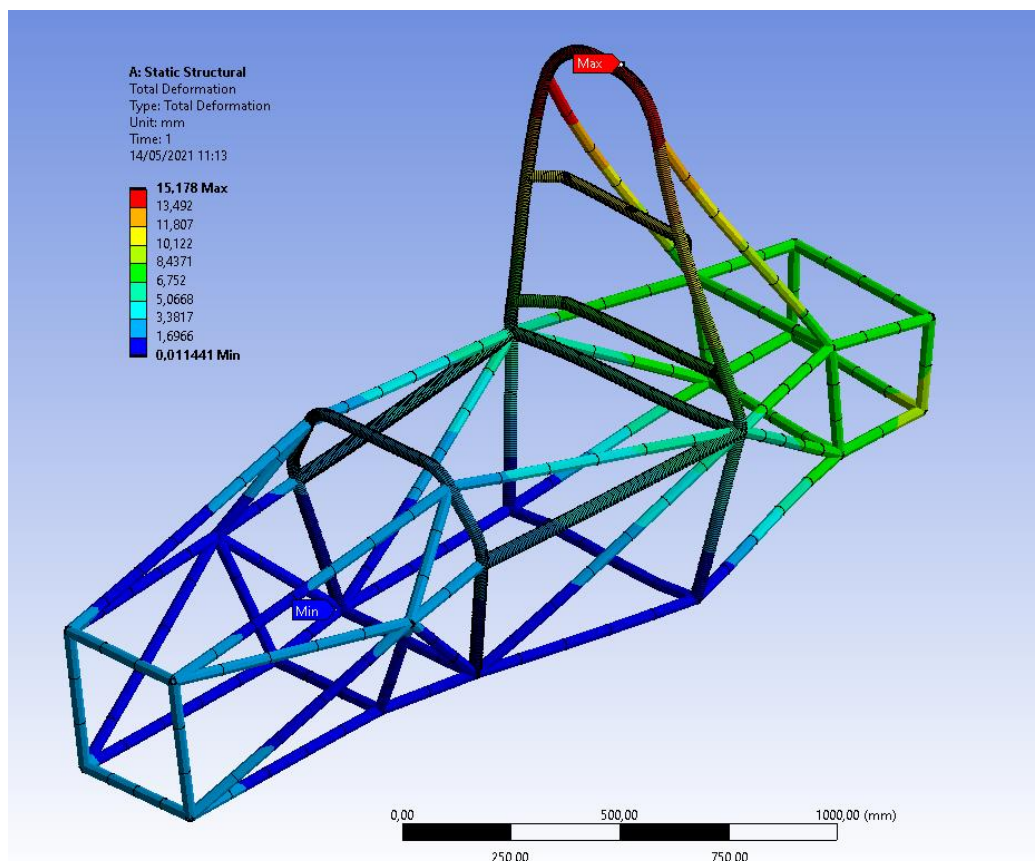


Figura 1.90. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

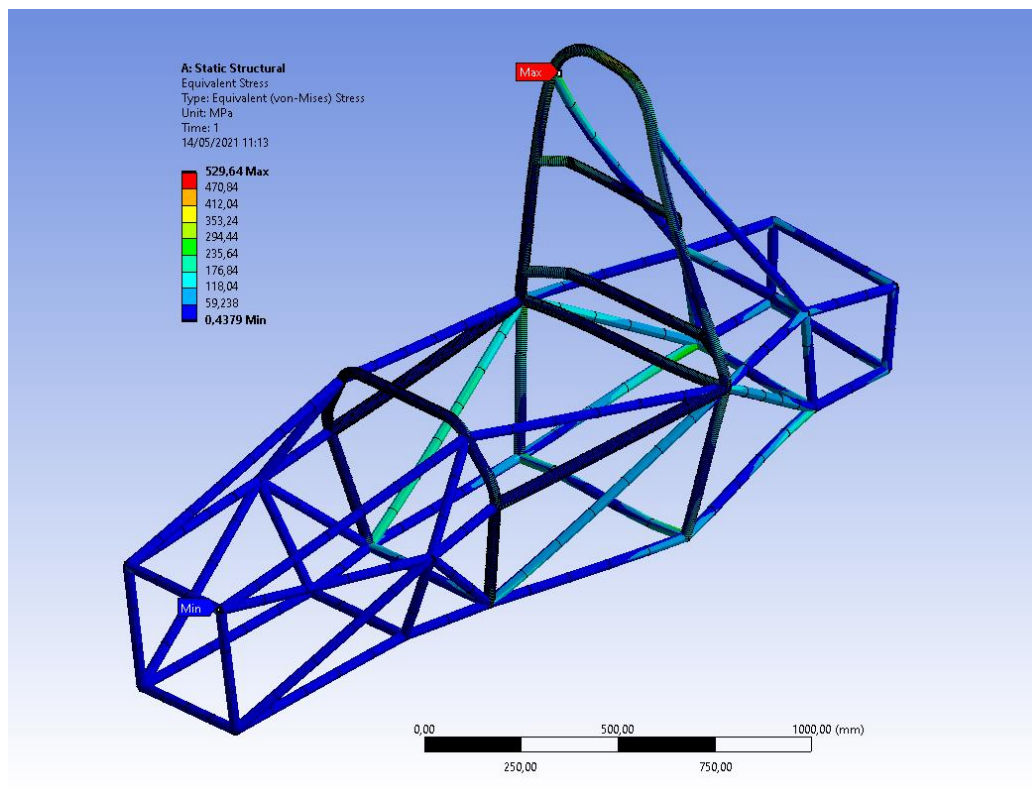


Figura 1.91. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Verificació dels criteris (Taula 1.16):

Taula 1.16. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 1. Font pròpia.

	SITUACIÓ 1	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	15,178 mm
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	529,64 MPa

Ara es comproven de nou els resultats i ja es compleix el criteri de deflexió amb 15,2 mm i el de tensió amb 529,6 MPa. Aquesta tensió màxima es produeix a la unió del cercol principal (main hoop) amb el seu braç de suport.

## Situació 2

- Front Hoop
- Càrrega aplicada:  $F_x=6$  KN,  $F_y=5$  KN,  $F_z=-9$  KN.
- Punt d'aplicació: Zona més alta del cercol frontal (Front Hoop).
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls. Rotació permesa.



## Disseny d'un xassís tubular

- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa

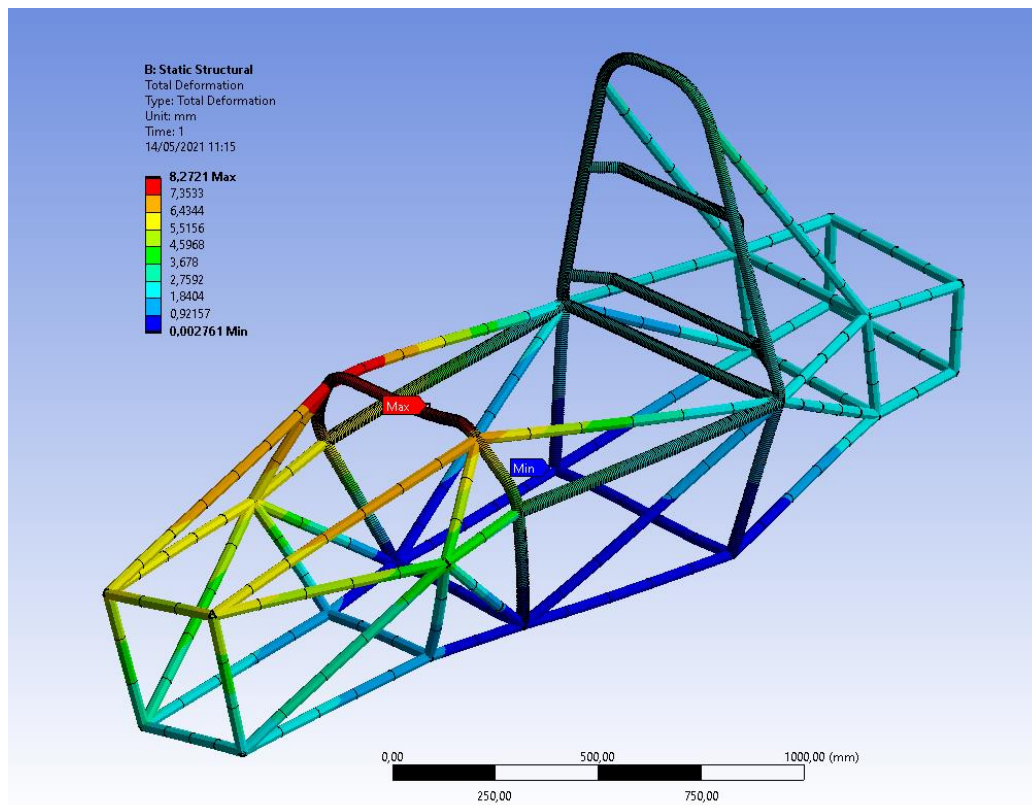


Figura 1.92. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 2. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassis tubular

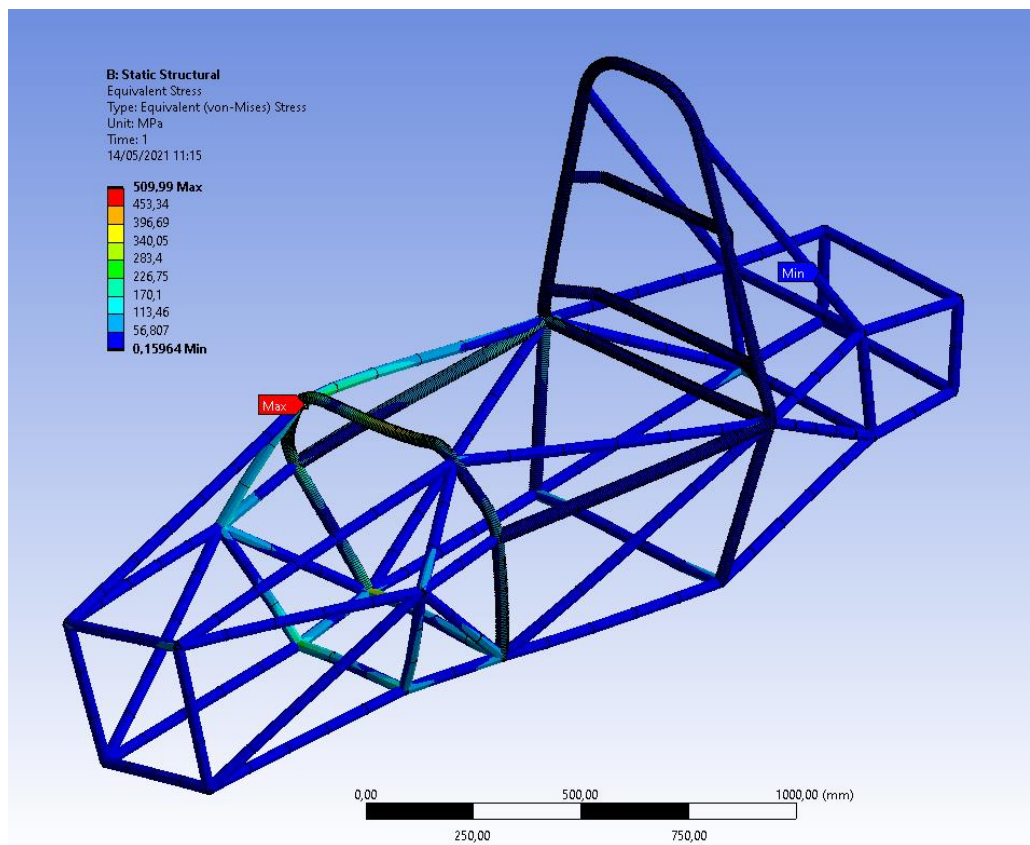


Figura 1.93. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 2. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Verificació dels criteris (Taula 1.17):

Taula 1.17. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 2. Font pròpia.

	SITUACIÓ 2	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	<b>8,272 mm</b>
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	<b>509,99 Mpa</b>

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 8,3 mm i també compleix el de tensió amb 510 MPa. Aquesta tensió màxima es produeix a la unió del cercol frontal (front hoop) amb el seu braç de suport.

### Situació 3

- Side Impact
- Càrrega aplicada:  $F_y=7$  KN.
- Punt d'aplicació: Zona més crítica de l'estructura d'impacte lateral.



## Disseny d'un xassís tubular

- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls. Rotació permesa.
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa

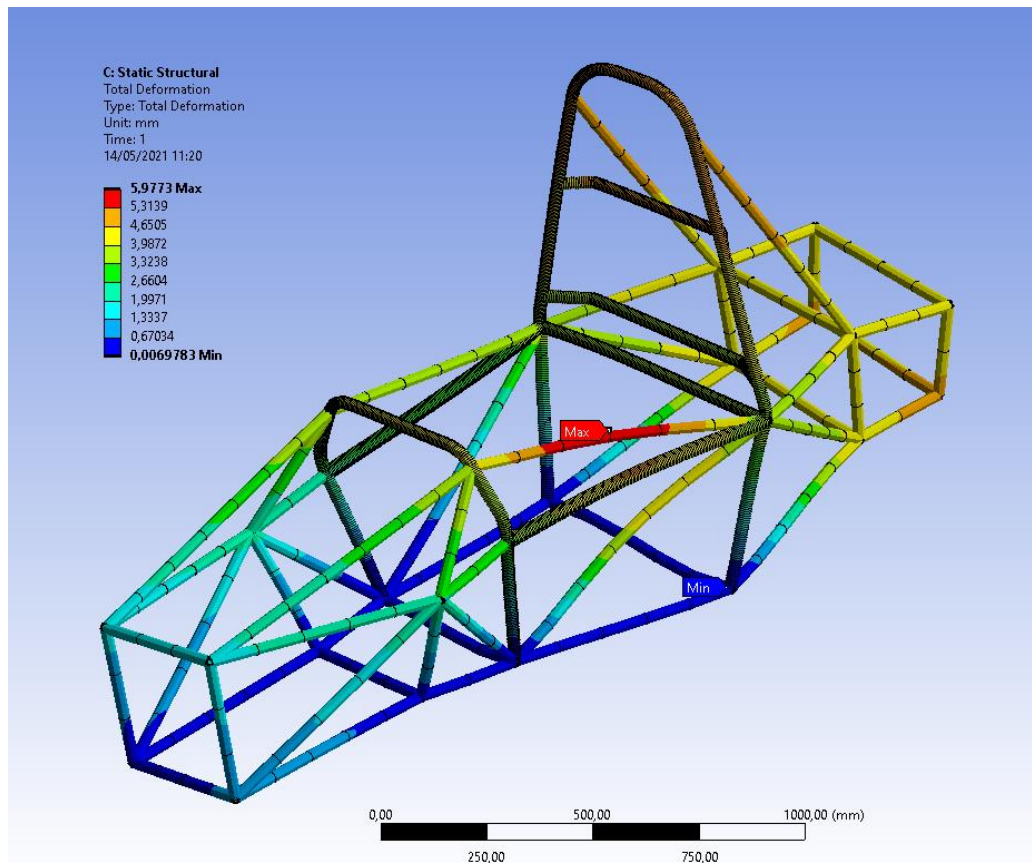


Figura 1.94. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

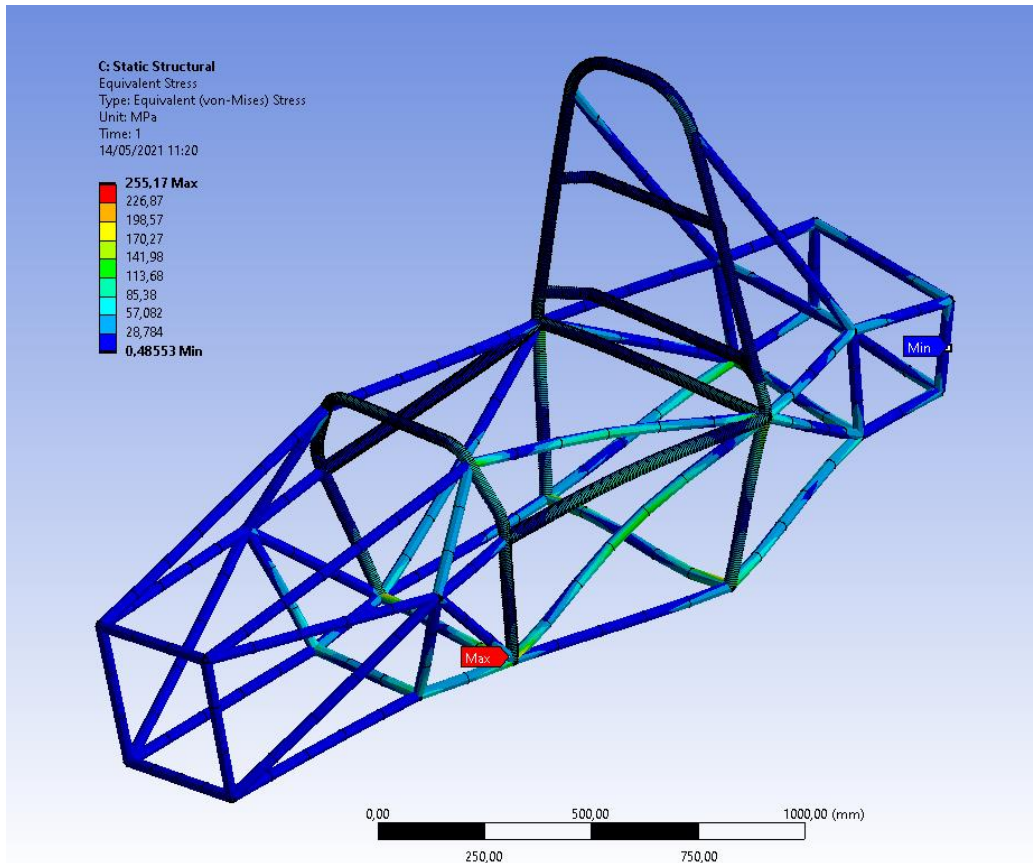


Figura 1.95. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Verificació dels criteris (Taula 1.18):

Taula 1.18. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 3. Font pròpia.

	SITUACIÓ 3	
	Requisits FSAE	Resultats
Deflexió	25 mm	5,977 mm
Tensió	536,36 MPa	255,17 MPa

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 6 mm i també compleix el de tensió amb 255,2 MPa. Aquesta tensió màxima es produeix a la unió de l'estructura d'impacte lateral amb la part inferior esquerra del cercol frontal (front hoop).

#### Situació 4

- Front Bulkhead and Bulkhead support.
- Càrrega aplicada:  $F_x=120$  KN.
- Punt d'aplicació: Vèrtexs de la mampara frontal (Front Bulkhead).



## Disseny d'un xassís tubular

- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol principal (Main Hoop) nuls i de les unions entre el cercol principal (Main Hoop) i la barra de muntatge de l'arnés de seguretat (shoulder harness mounting bar).
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa

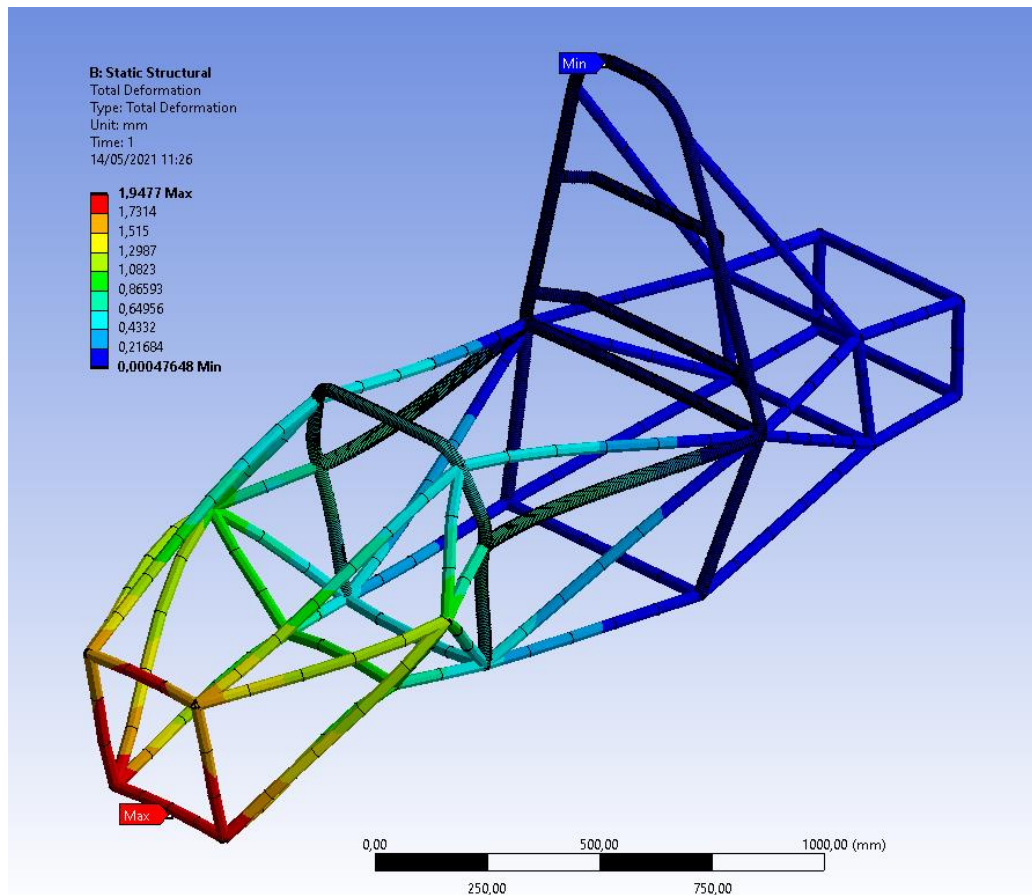


Figura 1.96. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 4. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

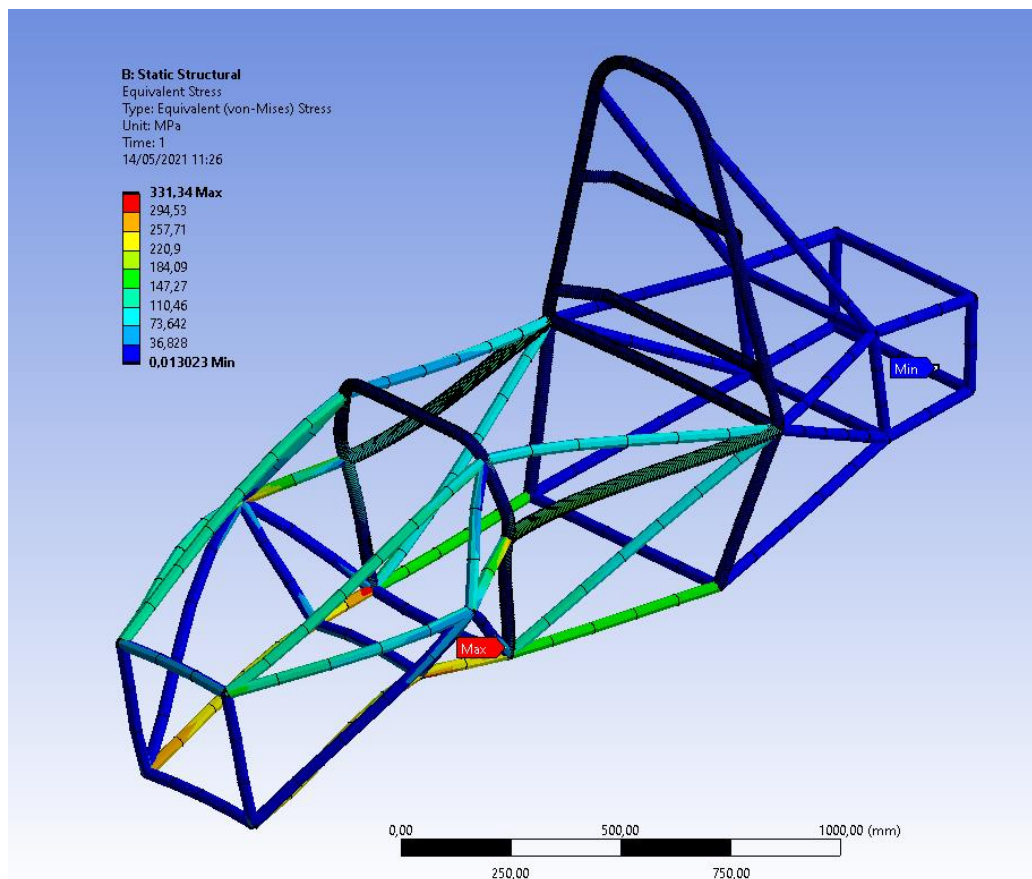


Figura 1.97. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Verificació dels criteris (Taula 1.19):

Taula 1.19. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 4. Font pròpia.

	SITUACIÓ 4	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	<b>1,948 mm</b>
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	<b>331,34 Mpa</b>

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 1,9 mm i també compleix el de tensió amb 331,3 MPa. Aquesta tensió màxima també es produeix a la unió de l'estructura d'impacte lateral amb la part inferior esquerra del cercol frontal (front hoop).

### Situació 5

- Shoulder Harness Attachment
- Càrrega aplicada:  $F=7$  KN per node en direcció horitzontal.



## Disseny d'un xassís tubular

- Punt d'aplicació: Anclatges dels cinturons a la barra de muntatge de l'arnés de seguretat (shoulder harness mounting bar).
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls.
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa

S'han afegit 2 reforços per a la barra d'ancoratge de l'arnés de seguretat (Shoulder Harness mounting bar).

En conseqüència, s'ha modificat la posició de la barra d'ancoratge de l'arnés de seguretat (Shoulder Harness mounting bar). S'ha ubicat en una posició més elevada per tal que per sota dels reforços hi quedi espai per ubicar el controlador del motor (Figura 1.98).

La direcció de la força és horitzontal, és a dir, a  $0^\circ$  respecte l'eix x. El motiu és perquè en aquesta direcció es produeixen els esforços majors a la barra d'ancoratge i és important analitzar les pitjors situacions possibles.

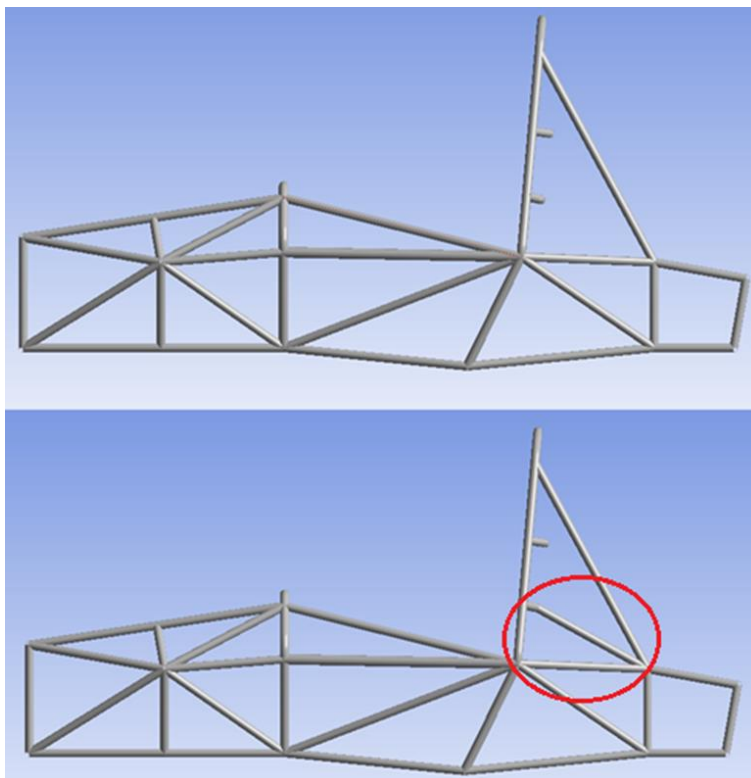


Figura 1.98. Incorporació dels reforços posteriors a la barra d'ancoratge de l'arnés. Font pròpia (ANSYS Mechanical,



## Disseny d'un xassís tubular

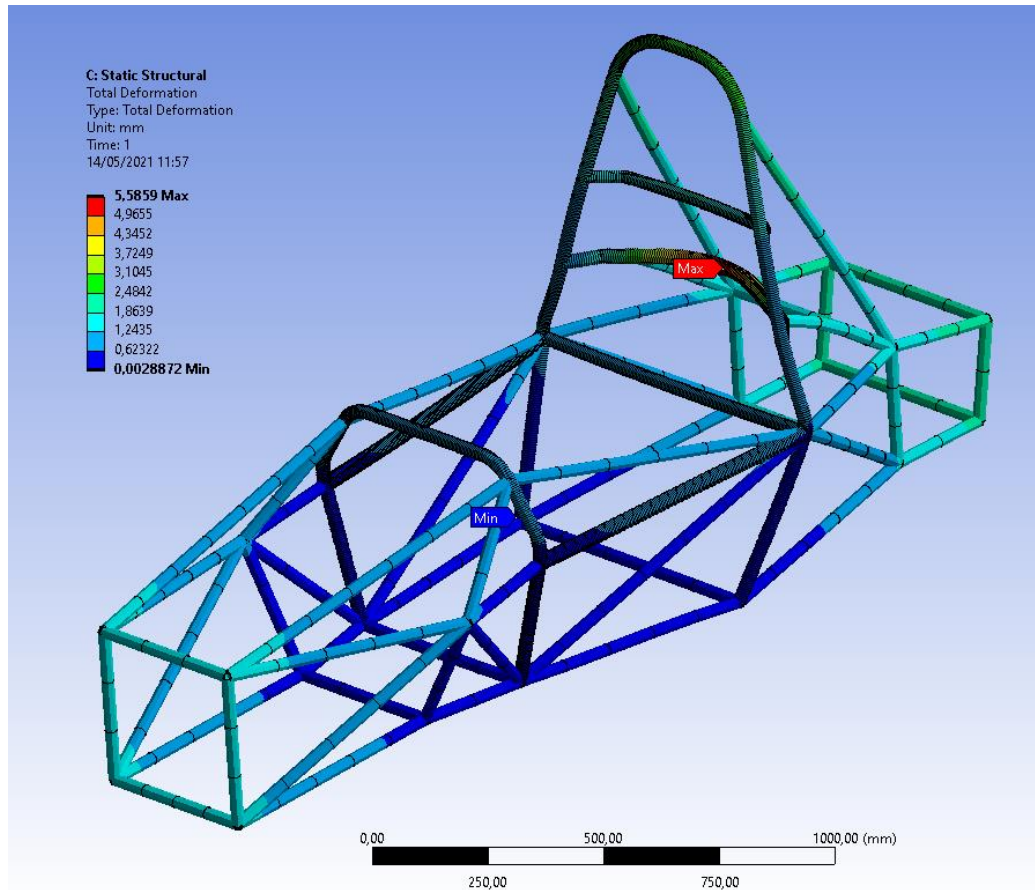


Figura 1.99. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 5. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

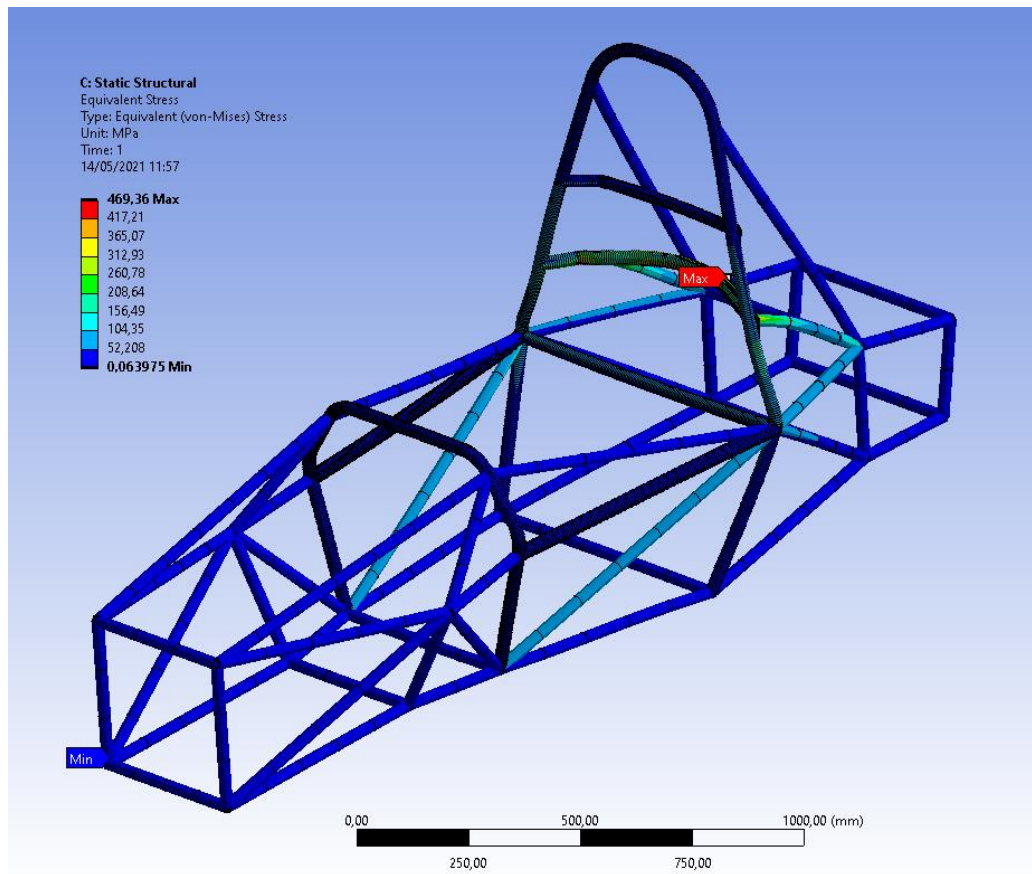


Figura 1.100. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 5. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Verificació dels criteris (Taula 1.20):

Taula 1.20. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 5. Font pròpia.

	SITUACIÓ 5	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	<b>5,586 mm</b>
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	<b>469,36 Mpa</b>

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 5,6 mm i també compleix el de tensió amb 469,4 MPa. Aquesta tensió màxima es produeix al centre de la barra de muntatge de l'arnés de seguretat (shoulder harness mounting bar).

Després de realitzar les modificacions necessàries s'ha verificat que l'estructura del xassís compleix amb totes les situacions de càrrega proposades. Per tant, compleix amb els criteris de tensió i deflexió i l'estructura és resistent.



### 1.9.2.2 Rigidesa torsional del xassís

En el següent apartat es comprovarà la rigidesa torsional del xassís [19]. Aquesta rigidesa torsional fa referència a la deformació que patirà l'estructura si s'aplica un esforç de torsió, en altres paraules, a la resistència que oposa el xassís a girar en l'eix en què s'aplica el moment torçor.

En el cas del projecte i seguint amb la premissa d'anàlisi d'elements tipus biga, es realitza l'estudi de la rigidesa torsional en elements tipus biga.

Un element tipus biga encastada en un extrem i de secció constant, és sotmès a un moment torçor aplicat en el seu altre extrem. La biga es deformarà amb valors màxims en l'extrem on s'aplica el moment torçor, en canvi, en l'altre extrem on s'ubica l'encastament aquestes deformacions seran nul·les (Figura 1.101).

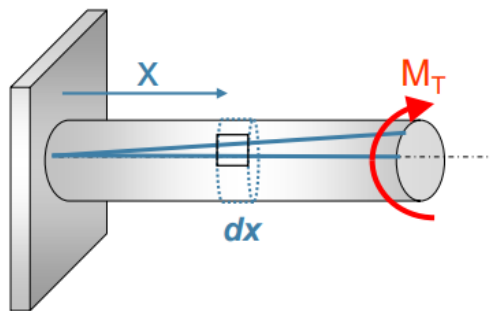


Figura 1.101. Biga encastada sotmesa a un esforç de torsió. Apunts Elasticitat i Resistència de Materials.

Si s'analitza la porció  $dx$  per tal d'avaluar les deformacions el resultat és el següent (Figura 1.102):

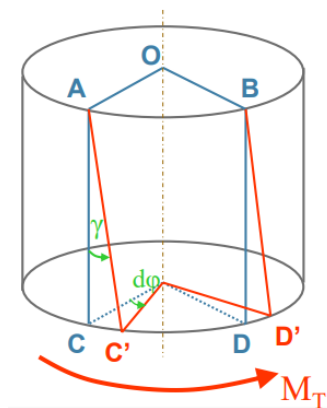


Figura 1.102. Ampliació de la porció  $dx$  on es mostren les deformacions que pateix. Apunts Elasticitat i Resistència de Materials.



## Disseny d'un xassís tubular

L'única deformació soferta per l'element és una deformació angular, definida per l'angle  $\gamma$  i aquesta deformació és produïda exclusivament per tensions tangencials ((Eq. 1.6(Eq. 1.7)).

$$\gamma = \frac{R \cdot d\varphi}{dx}$$

(Eq. 1.6)

$$\frac{d\varphi}{dx} = \theta$$

(Eq. 1.7)

L'element  $\theta$  correspon al gir per unitat de longitud, constant perquè el moment torçor és constant ((Eq. 1.8).

$$\gamma = R \cdot \theta$$

(Eq. 1.8)

I per la Llei de Hooke tenim (Eq. 1.9):

$$\tau = G \cdot \gamma = G \cdot R \cdot \theta$$

(Eq. 1.9)

Així doncs, pel que fa tensions, l'element patiria tensions tallant (Figura 1.103) les quals depenen linealment del radi (Eq. 1.10).

$$\tau = G \cdot R \cdot \theta$$

(Eq. 1.10)

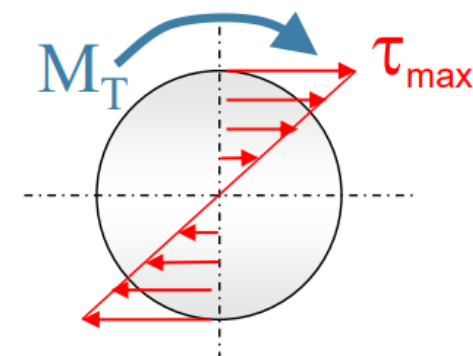


Figura 1.103. Distribució de tensions en secció transversal sotmesa a moment torçor. Apunts Elasticitat i Resistència de Materials.



Tenint en compte la teoria, per calcular la rigidesa torsional del xassís a la pràctica s'haurà de dividir el moment torçor aplicat entre l'angle girat per xassís.

Per tant, l'expressió que determina la rigidesa torsional (K) és la següent (Eq. 1.11):

$$K = \frac{M_T}{\theta} \quad [Nm/^\circ]$$

(Eq. 1.11)

On:

$M_T$ : Moment torsor aplicat [ $N \cdot m$ ]

$\theta$ : Gir per unitat de longitud [ $^\circ$ ]

Cada secció transversal girarà a un angle determinat segons la posició en x i, per tant, la rigidesa serà diferent per a cada secció. S'obté un valor infinit en l'encastament com una asímptota vertical quan x és 0, i un valor mínim en l'extrem lliure on s'aplica el moment torçor, és a dir, quan la x és màxima (Figura 1.104).

La funció que s'obindrà és del tipus (Eq. 1.12):

$$y = \frac{K}{X}$$

(Eq. 1.12)

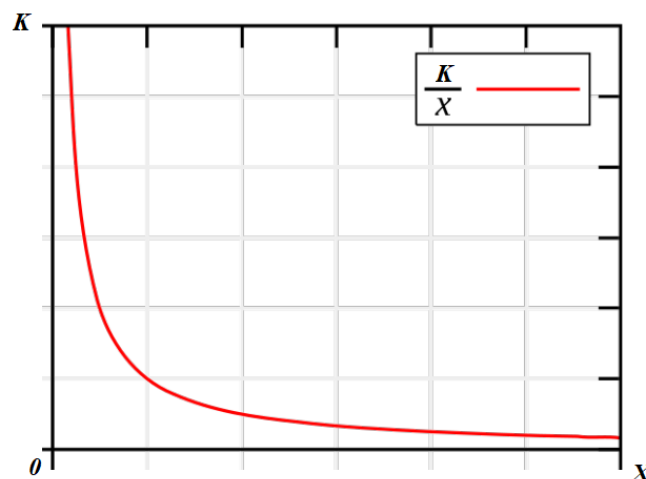


Figura 1.104. Gràfica de la funció entre la rigidesa k i la distància x. Font pròpia.

## Disseny d'un xassís tubular

A partir d'aquí s'estableix una analogia entre la biga encastada de secció circular i el xassís dissenyat el qual s'encastarà en quatre punts simulant un assaig a torsió com el de la Figura 1.105.

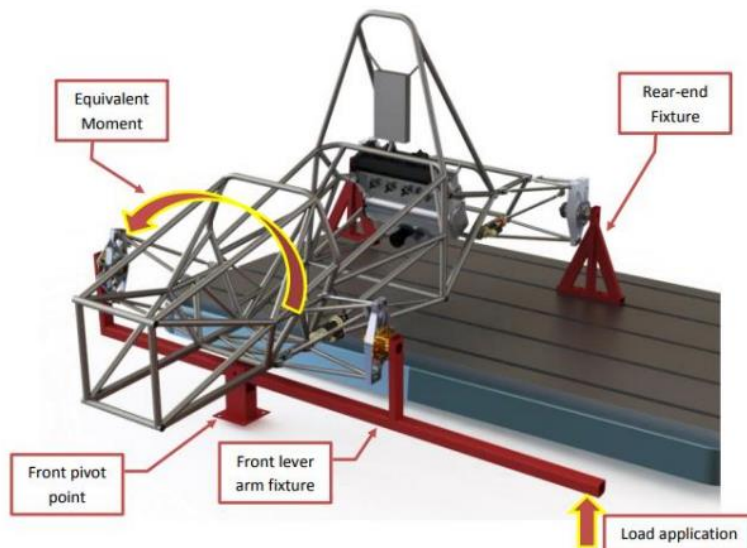


Figura 1.105. Assaig de torsió d'un xassís de la FSAE. Washington University [20].

En l'assaig experimental, es fixen les boixes posteriors a una estructura rígida hipotèticament no deformable. Les boixes davanteres es fixen a una barra de torsió a la qual se li aplica un moment torçor. Mitjançant una cèl·lula de càrrega es mesura en tot moment la força que s'aplica a la barra de torsió i alhora uns inclinòmetres mesuren l'angle girat de la secció on estan col·locats.

Per a l'assaig teòric d'aquest projecte s'ha representat el més semblant a un assaig experimental real de manera que s'ha fet la simulació al mateix software on s'han realitzat els càlculs de resistència, el ANSYS Mechanical.

El procés de simulació va consistir en fixar els quatre vèrtexs inferiors de la part posterior simulant un encastament, com en el cas de la biga. Seguidament es va aplicar un moment torçor de 1000 N·m en forma de parells de forces aplicats a cada node on van ancorats els braços de suspensió, de manera que si són 8 nodes, 4 per cada costat, cada node ha de rebre un moment torçor de 125 N·m (Taula 1.21).

Taula 1.21. Valors de moments torçors. Font pròpia.

<b>Moment torsor Total</b>	1000 N·m
<b>Moment torsor per node</b>	125 N·m



## Disseny d'un xassís tubular

Per calcular la força que s'ha d'aplicar a cada node, sabem que (Eq. 1.13):

$$M_T = F \cdot d \quad [N \cdot m]$$

(Eq. 1.13)

*F*: Força aplicada al node [N]

*d*: Distància des del punt d'aplicació de la força a l'eix x del xassís [m]

Les forces que s'hauran d'aplicar a cada node són els següents (Taula 1.22):

Taula 1.22. Forces aplicades a cada node. Font pròpia.

	Distància (m)	Força (N)
<b>Node 1 (D)</b>	0,33	-378,79
<b>Node 2 (C)</b>	0,32	-393,59
<b>Node 3 (A)</b>	0,23	-543,48
<b>Node 4 (B)</b>	0,23	-543,48
<b>Node 5 (F)</b>	0,33	378,79
<b>Node 6 (E)</b>	0,32	393,59
<b>Node 7 (G)</b>	0,23	543,48
<b>Node 8 (H)</b>	0,23	543,48

A partir de les restriccions i càrregues proposades s'avaluarà la tensió màxima com en el cas de la verificació de resistència del xassís en què aquesta no podia superar el límit elàstic del material tenint en compte un coeficient de seguretat de 1,1. I també s'avaluarà la deformació màxima que patirà el xassís en l'eix z per tal de calcular així la rigidesa torsional.



## Disseny d'un xassís tubular

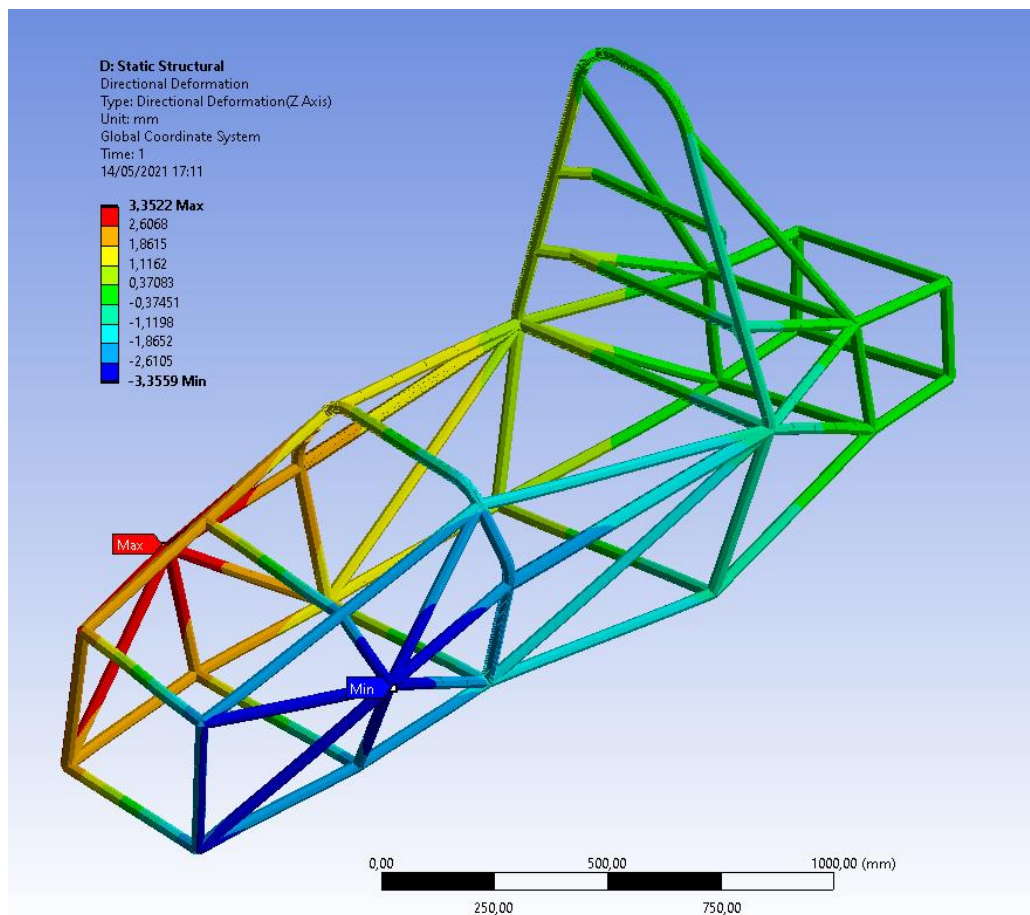


Figura 1.106. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en l'eix z en l'assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

La deformació màxima en l'eix z es produeix en els nodes D i F, és a dir, els nodes davanters superiors on anirien ancorats els braços de suspensió.

A partir del valor de deformació màxima de 3,36 mm en valor absolut es calcula la rigidesa a torsió del xassís.

Primer es divideix el valor de deformació en z entre la distància a l'eix x, d'aquesta manera s'obté el valor de l'angle de gir en radians. S'utilitza la hipòtesis de petites deformacions, per tant, la tangent de l'angle de gir és igual a l'angle de gir. Això es demostra a la Figura 1.107.



## Disseny d'un xassís tubular

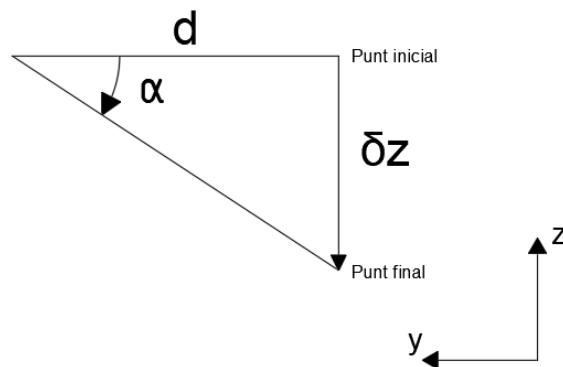


Figura 1.107. Càlcul de l'angle de gir amb la hipòtesis de petites deformacions. Font pròpia

Així doncs (Eq. 1.14),

$$\operatorname{tg}(\alpha) = \frac{\delta z}{d}$$

$$\alpha \approx \frac{\delta z}{d} \text{ [radians]}$$

(Eq. 1.14)

Es passen els radians a graus (Eq. 1.15),

$$1 \text{ radian} = \frac{360}{2\pi}^\circ$$

(Eq. 1.15)

El resultat de la rigidesa torsional és el següent (Taula 1.23):

Taula 1.23. Càlcul de la rigidesa torsional del xassís. Font pròpia.

$\delta z$ (mm)	d (mm)	Angle (rad)	Angle ( $^\circ$ )	Rigidesa (Nm/ $^\circ$ )
3,3559	330	0,0102	0,5827	<b>1716,3</b>

La rigidesa té un valor de 1716,3 Nm/ $^\circ$ .

Si tenim en compte els valors estàndards de rigidesa torsional per a diferents grups de vehicles el resultat seria vàlid. A la següent taula (Taula 1.24) es mostra:

## Disseny d'un xassís tubular

Taula 1.24. Valors de rigidesa torsional del xassís per a diferents grups de vehicles. University of Surrey [21].

Vehicle	Roll stiffness [Nm/deg]	Chassis torsional stiffness [Nm/deg]	Chassis / roll stiffness ratio
Formula SAE car, [4]	500 - 1500	1000 - 5000	2 - 8
Passenger car, [5]	500 - 2500	5000 - 20000	4 - 10
Winston Cup racing car, [6]	1500 - 2500	15000 - 30000	6 - 12
Sports car, [1]	500 - 5000	15000 - 40000	3 - 8
Formula One car, [1]	1500 - 7500	10000 - 100000	6 - 12

Els valors d'aquesta taula han estat obtinguts per un estudi realitzat per alumnes de la Universitat de Surrey. Per altra banda, un altre estudi realitzat per un alumne de la Universitat Tècnica d'Eindhoven defineix els següents valors a la taula següent (Taula 1.25):

Taula 1.25. Valors de rigidesa torsional del xassís en un vehicle Formula SAE. Technische Universiteit Eindhoven [22].

	mass	stiffness	specific stiffness
Competition low	30 kg	50 kNm/rad	1.7 kNm/rad/kg
Competition average	25 kg	120 kNm/rad	4.8 kNm/rad/kg
Competition high	20 kg	300 kNm/rad	15 kNm/rad/kg
URE05 chassis	<25 kg	>200 kNm/rad	>8 kNm/rad/kg

Per tant, els dos estudis confirmen que el rang de valors ronda entre els 1000 i 5000 Nm/° de rigidesa torsional del xassís. Tenint en compte el valor obtingut de 1716,3 Nm/° s'ha cregut convenient augmentar aquesta rigidesa fins a un valor proper als 3000 Nm/° el qual es considera un valor mitjà de rigidesa el qual suposarà un increment de barres i per tant un increment de massa del vehicle però serà necessari per al bon comportament dinàmic del vehicle.

A partir del resultat de deflexions del xassís s'ha decidit reforçar la part del xassís on van ancorats els braços col·locant barres en creu a la part superior i a la part inferior d'aquesta part. A més a més s'ha reforçat el pis del xassís per a subjectar elements com el paquet de bateries i la part on anirà ancorat el seient, i els resultats obtinguts han estat els següents (Figura 1.108):



## Disseny d'un xassís tubular

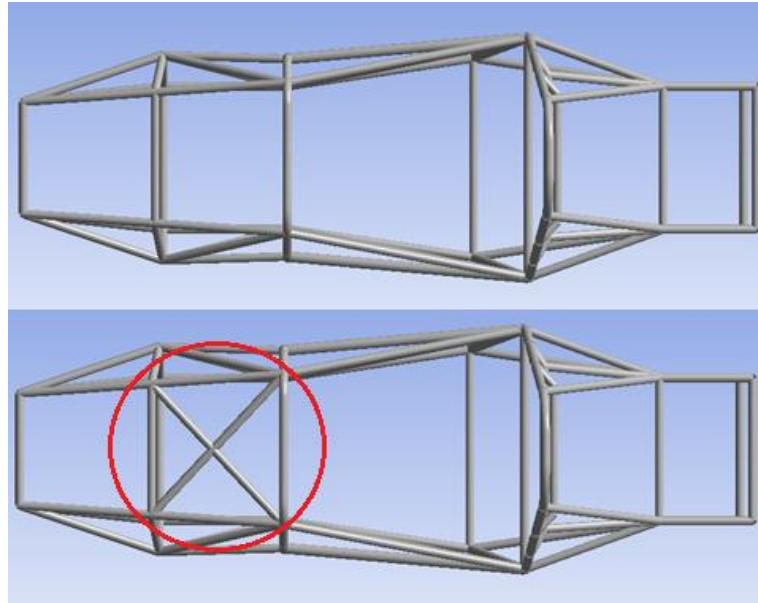


Figura 1.108. Modificació de l'estructura per augmentar la rigidesa torsional. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

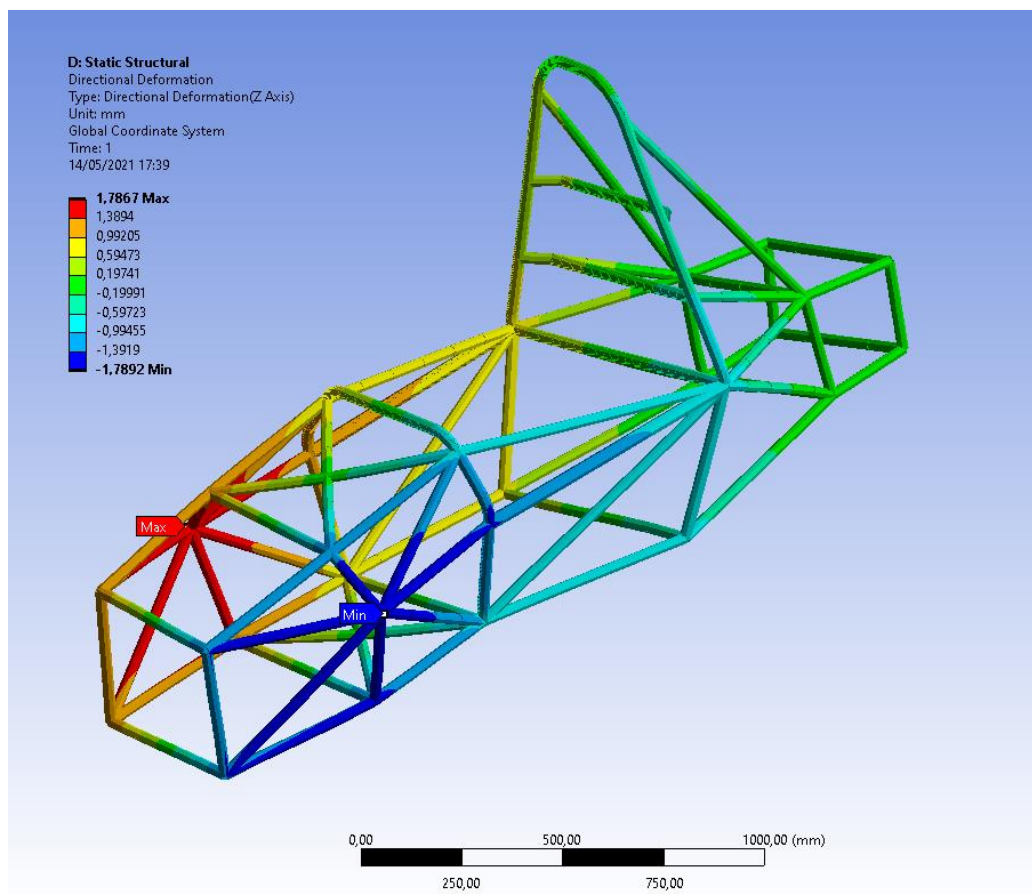


Figura 1.109. Resultats de la deflexió (mm) actualitzats que es produeixen en l'eix z en l'assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



La deformació màxima en l'eix z es segueix produint en els nodes D i F, és a dir, els nodes davanters superiors on anirien ancorats els braços de suspensió.

A partir del valor de deformació màxima de 1,79 mm en valor absolut es calcula la rigidesa a torsió del xassís de nou i el resultat és el següent (Taula 1.26):

Taula 1.26. Càlcul actualitzat de la rigidesa torsional del xassís. Font pròpia.

$\delta z$ (mm)	d (mm)	Angle (rad)	Angle ( $^{\circ}$ )	Rigidesa (Nm/ $^{\circ}$ )
3,3559	330	0,0102	0,5827	1716,3
1,7892	330	0,0054	0,3106	3219,1

El resultat ara és de 3219,1 Nm/ $^{\circ}$  de rigidesa torsional, un valor més adequat d'acord amb els estudis mencionats anteriorment.

Si comparem la massa del vehicle abans i després els resultats són els següents (Taula 1.27):

Taula 1.27. Comparació de masses del xassís. Font pròpia.

Massa xassís abans	Massa xassís després	$\Delta$ massa
38,464 Kg	40,882 Kg	2,418 Kg

El fet de reforçar l'estructura ha suposat un increment en la massa de 2,418 Kg.

### 1.9.2.3 Anàlisi Modal del xassís

En el següent apartat es realitzarà un anàlisi modal del xassís [23] de manera que s'estudiaran els diferents modes de freqüència del xassís i la freqüència natural que correspon a cada mode. L'objectiu d'aquest apartat es realitzar un estudi del comportament dinàmic de l'estructura del xassís.

Per al càlcul de les freqüències naturals i les formes modals s'utilitzarà el mateix software que fins ara l'ANSYS Mechanical el qual ens permet resoldre sistemes d'alta complexitat i amb molts graus de llibertat.

És important conèixer la resposta modal del sistema per a verificar el seu disseny ja que aquest es sotmetrà a càrregues dinàmiques durant la conducció en circuit i d'aquesta manera es tindrà una idea de la seva resposta vibratòria enfront a les accions esperades.



## Disseny d'un xassís tubular

En els paràmetres d'anàlisi es defineixen els 6 primers modes de freqüència d'acord amb el mètode de Block Lanczos Iteration [24] tenint en compte el mateix mallat que en els càlculs de resistència i torsió. El resultat de la freqüència natural de cada mode són els següents (Taula 1.28):

Taula 1.28. Modes amb la corresponen freqüència natural. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

\*\*\* FREQUENCIES FROM BLOCK LANCZOS ITERATION \*\*\*

MODE	FREQUENCY (HERTZ)
1	45.81972235008
2	70.93578687670
3	77.15169094025
4	93.70257598208
5	101.5540625492
6	140.7259894172

Els diferents modes de freqüència són els següents:

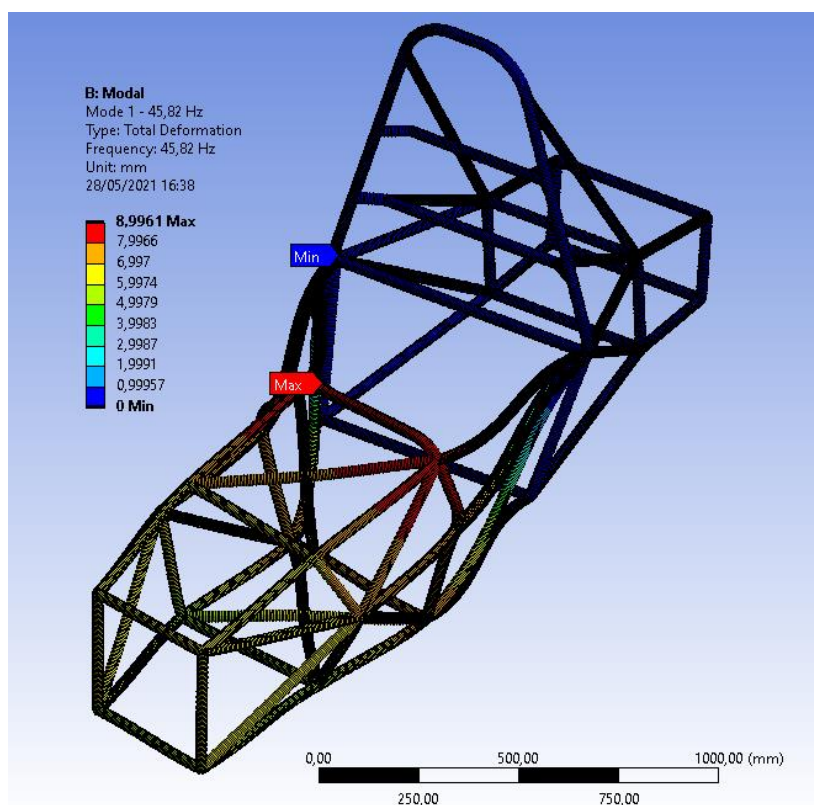


Figura 1.110. Resultats del primer mode de freqüència (45,82 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

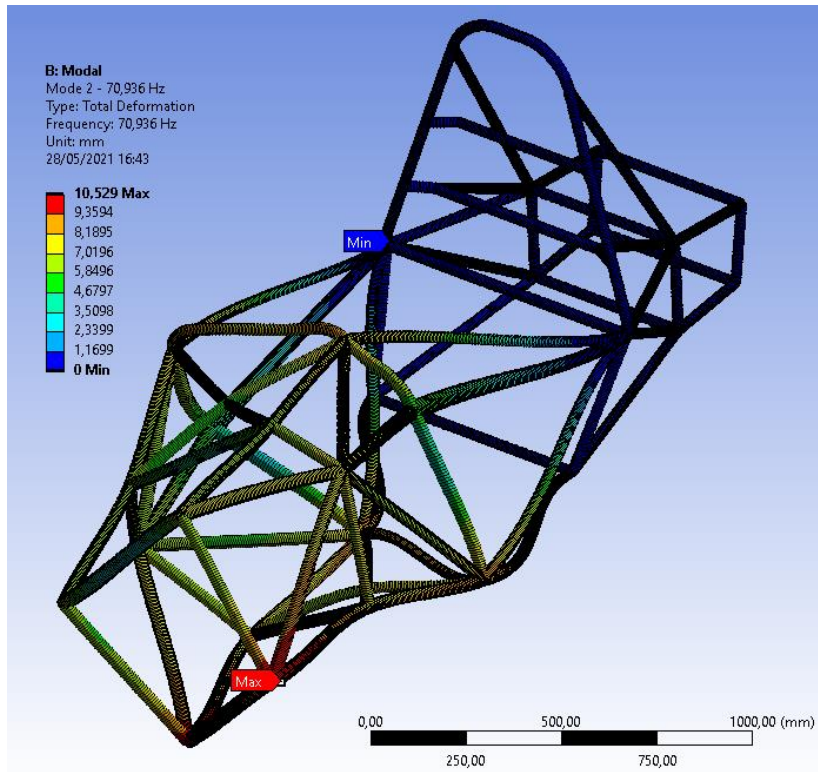


Figura 1.111. Resultats del segon mode de freqüència (70,94 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).

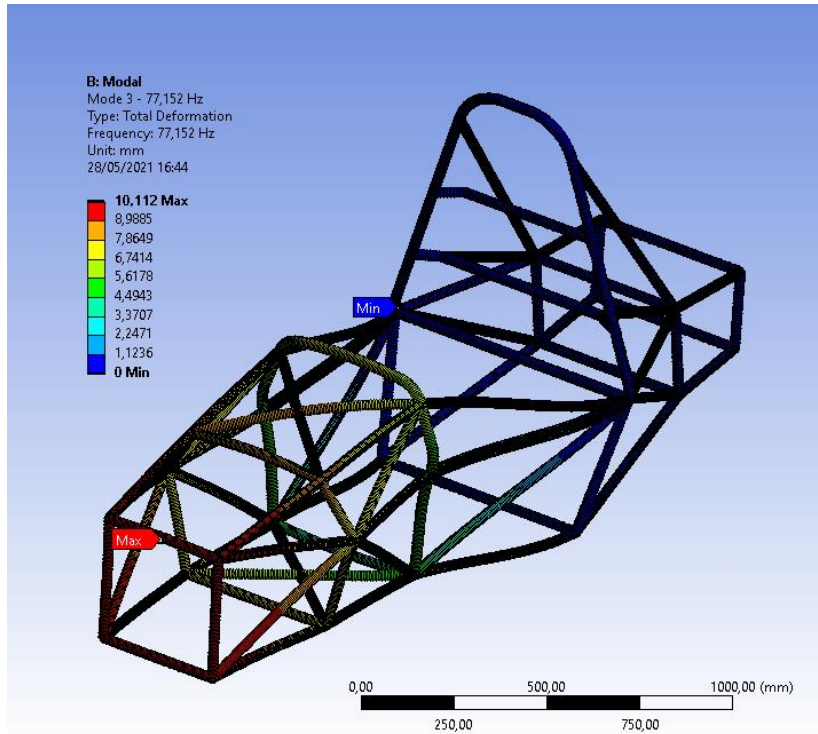


Figura 1.112. Resultats del tercer mode de freqüència (77,15 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

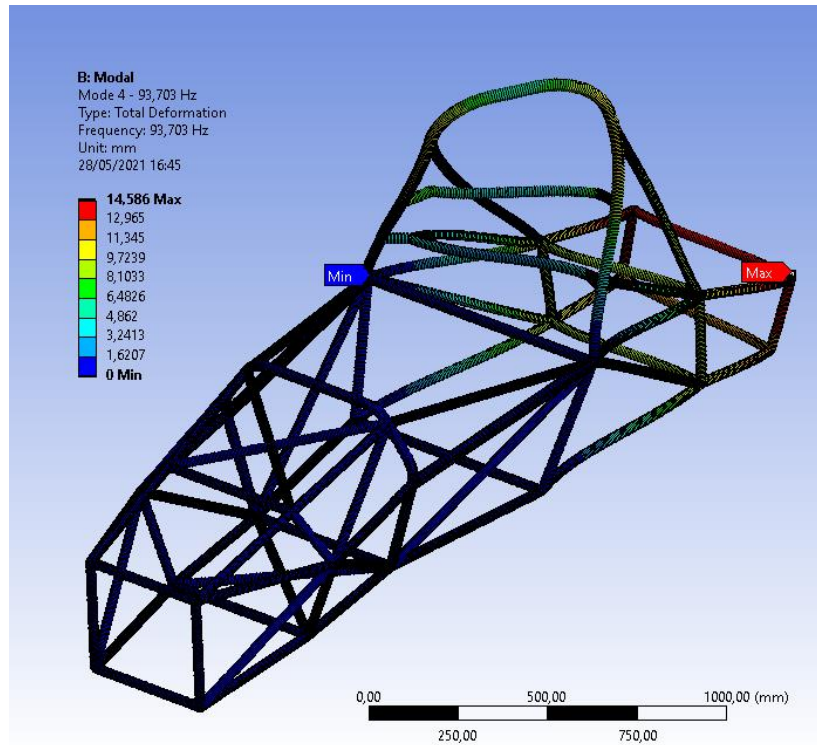


Figura 1.113. Resultats del quart mode de freqüència (93,70 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).

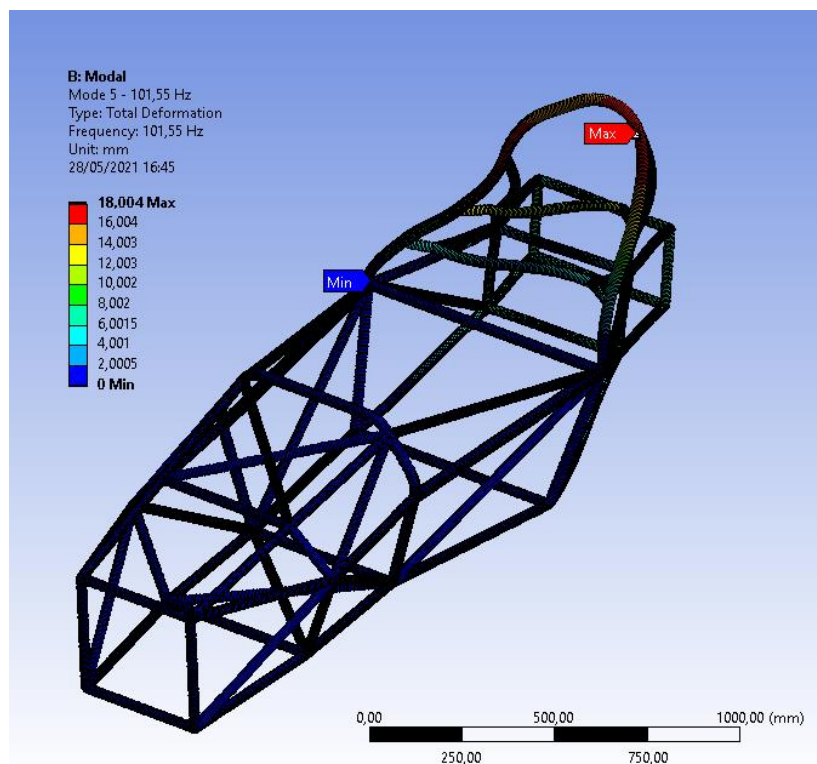


Figura 1.114. Resultats del cinquè mode de freqüència (101,55 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

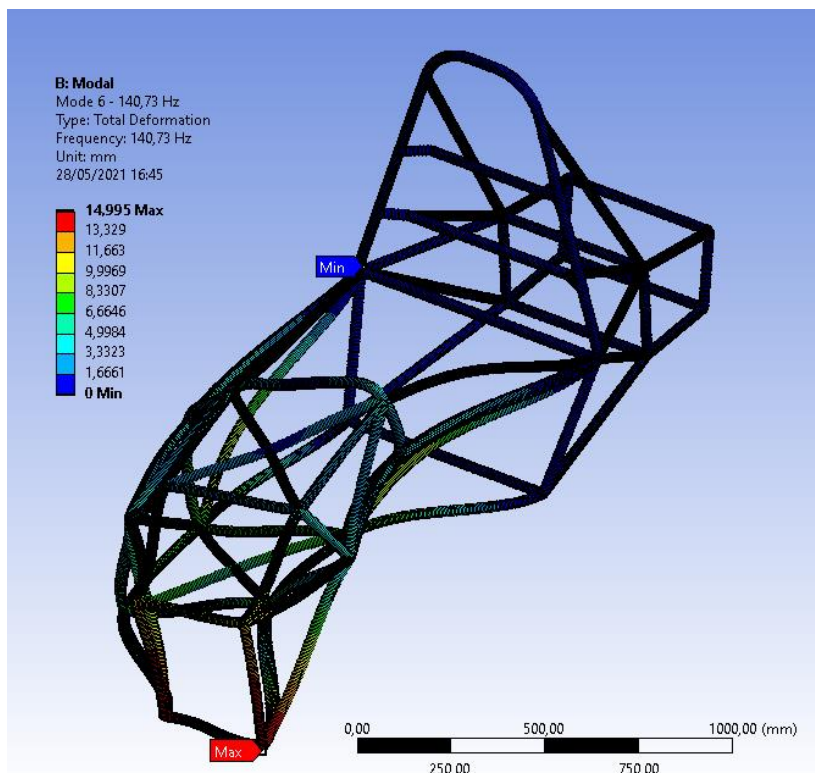


Figura 1.115. Resultats del sisè mode de freqüència (140,73 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Aquests han estat els resultats de deformacions del xassís en cada mode de freqüència i els punts màxims i mínims d'aquestes. Els valors de freqüències es troben en un rang de 45 Hz a 140 Hz.

Per tal de comprovar si aquest anàlisi és satisfactori les freqüències naturals haurien d'estar fora del rang de possibles fonts d'excitació externes que ronden entre els 0 Hz i els 100 Hz ja que sinó es produirà l'efecte no desitjat de ressonància. Les possibles fonts d'excitació podrien venir d'irregularitats en l'asfalt, el motor desequilibrat o vibracions provinents de la transmissió.

Tenint en compte els resultats obtinguts el disseny no seria òptim, ara bé, l'anàlisi anterior no ha tingut en compte la massa dels components que conformen el vehicle com el pilot, seient, elements de la línia motriu, sistema de direcció, sistema de frens, entre d'altres.

Si s'afegeix la massa de tots els components les freqüències naturals dels modes de freqüència es veuran augmentades d'acord amb la dinàmica de sistemes de N graus de llibertat sense cap càrrega externa aplicada.



## Disseny d'un xassís tubular

La dinàmica del sistema ve descrita per l'equació següent on no hi ha amortidor (Eq. 1.16):

$$[m]\ddot{\vec{v}}(t) + [k]\vec{v}(t) = 0$$

(Eq. 1.16)

On:

$[m]$ : Matriu de masses del sistema

$$\begin{pmatrix} f_{I1} \\ f_{I2} \\ \cdot \\ f_{Ii} \\ \cdot \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \cdots & m_{1i} & \cdots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \cdots & m_{2i} & \cdots & m_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \\ m_{i1} & m_{i2} & m_{i3} & \cdots & m_{ii} & \cdots & m_{iN} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{v}_1 \\ \ddot{v}_2 \\ \cdot \\ \ddot{v}_i \\ \cdot \end{pmatrix}$$

$[k]$ : Matriu de rigidesa del sistema

$$\begin{pmatrix} f_{S1} \\ f_{S2} \\ \cdot \\ f_{Si} \\ \cdot \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdots & k_{1i} & \cdots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdots & k_{2i} & \cdots & k_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \\ k_{i1} & k_{i2} & k_{i3} & \cdots & k_{ii} & \cdots & k_{iN} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ v_i \\ \cdot \end{pmatrix}$$

$v$ : Desplaçament del sistema lineal (Eq. 1.17)

$$v = A \cdot \sin(\omega_i t)$$

(Eq. 1.17)

On:

$A$ : Amplitud del mode de freqüència [m]

$\omega_i$ : Freqüència natural de cada mode de freqüència [Hz]

Per tant, s'obté la següent equació (Eq. 1.18):

$$-\omega_i^2 [m] + [k] = 0$$

(Eq. 1.18)

## Disseny d'un xassís tubular

Així doncs, si tenim ara en compte les masses dels diferents components del vehicle tal i com es mostra a la Figura 1.116, els resultats de les freqüències naturals seran superiors i per tant l'estructura es trobarà fora del rang de possible ressonància.

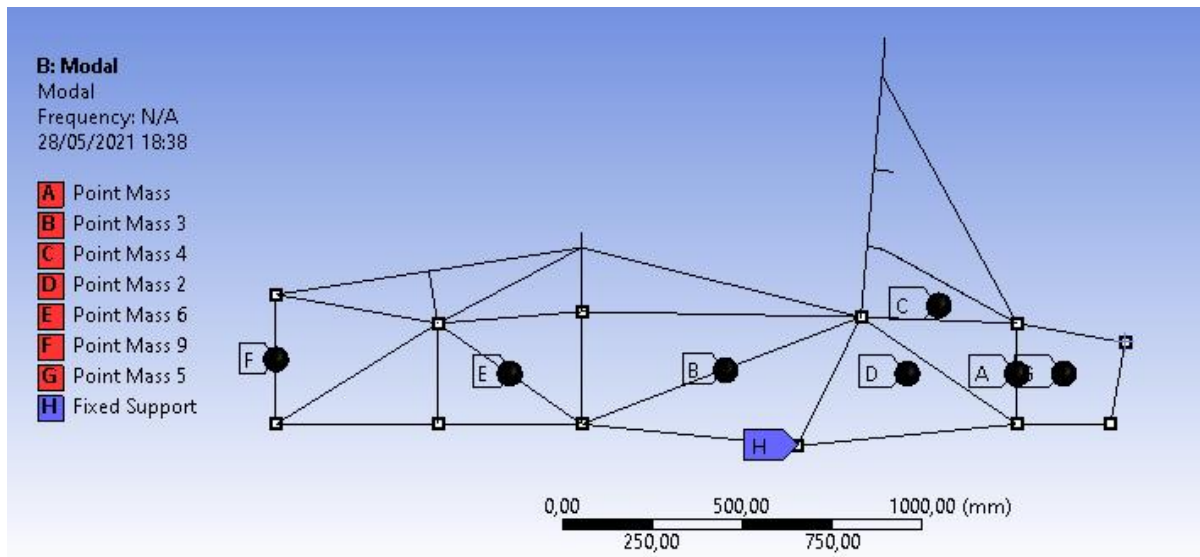


Figura 1.116. Aplicació de les masses dels diferents components del vehicle. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Els resultats de les freqüències naturals són els següents (Taula 1.29):

Taula 1.29. Modes amb la corresponen freqüència natural actualitzats. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

\*\*\* FREQUENCIES FROM BLOCK LANCZOS ITERATION \*\*\*

MODE	FREQUENCY (HERTZ)
1	102.6756189655
2	138.2788881139
3	218.9139901567
4	224.6480457460
5	234.6721383923
6	234.8389594860

Ara els resultats si que es troben allunyats del rang de freqüències no desitjat, tret del primer mode de freqüència. Això indica que es podrien arribar a produir situacions de ressonància que provocarien la incomoditat del pilot. Però també es cert que un vehicle de competició no està dissenyat amb el paràmetre de la comoditat per davant sinó que el que es busca és que sigui el més ràpid possible. Per tant, els resultats de les freqüències naturals un cop aplicades les masses es donarien per òptims.



### 1.9.3 Disseny final del xassís

Per acabar, en l'últim apartat de la memòria s'explicaran les modificacions realitzades en el primer disseny del xassís per a obtenir el disseny final d'aquest. Seguidament s'exposaran les característiques i propietats d'aquest disseny final.

Respecte al primer disseny les modificacions realitzades han estat les següents:

- Augment de l'espessor de la Secció A de 2 a 2,5 mm. Modificació introduïda arran dels càlculs de resistència del xassís (Figura 1.117).

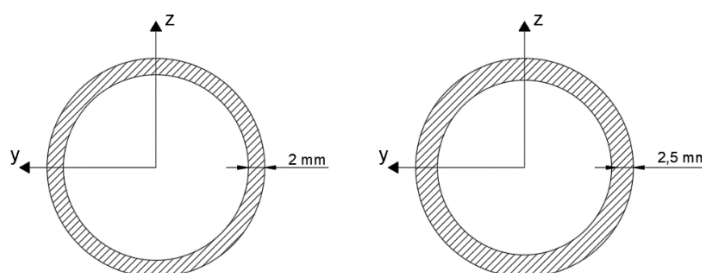


Figura 1.117. Augment de l'espessor de la secció A. Font pròpia.

- Introducció de reforços a la part posterior de la barra d'ancoratge de l'arnés de seguretat (Shoulder Harness mounting bar). Modificació introduïda arran dels càlculs de resistència del xassís (Figura 1.118).

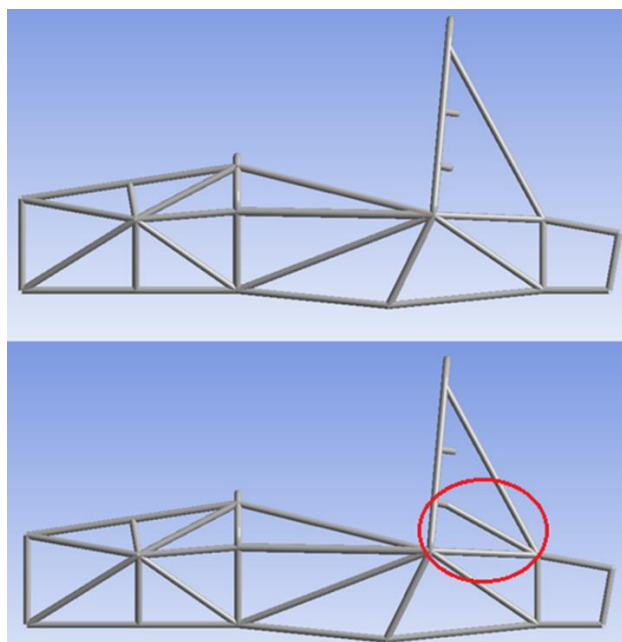


Figura 1.118. Incorporació dels reforços posteriors a la barra d'ancoratge de l'arnés. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

- Introducció de reforços en creu a la part davantera de l'estructura del xassís. Modificació introduïda arran dels càlculs de rigidesa torsional del xassís (Figura 1.119).

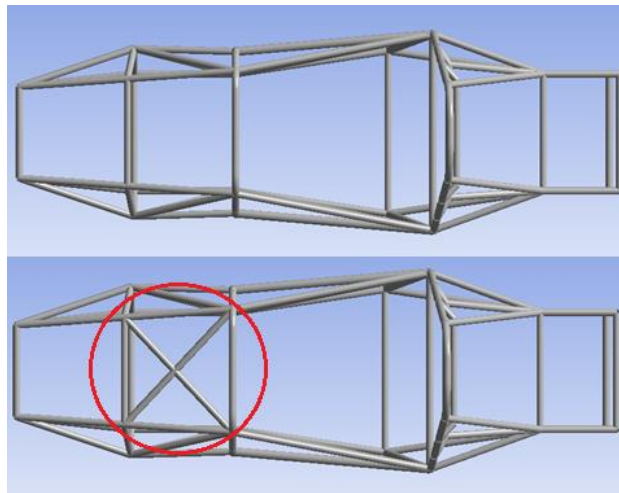


Figura 1.119. Modificació de l'estructura per augmentar la rigidesa torsional. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

### Característiques finals del xassís

A continuació es detallen les característiques finals que defineixen al xassís dissenyat per aquest projecte:

- Dimensions i massa (Taula 1.30):

Taula 1.30. Característiques de dimensions i massa del xassís. Font pròpia.

DIMENSIONS I MASSA			
Llargada	2387,9	mm	
Ample	804,1	mm	
Alçada	1162,1	mm	
Distància entre eixos	1530	mm	
Massa	40,88	Kg	

- Seccions de les barres tubulars:

Secció circular A: Es tracta d'una secció de 30 mm de diàmetre i 2,5 mm d'espessor (Figura 1.120).



## Disseny d'un xassís tubular

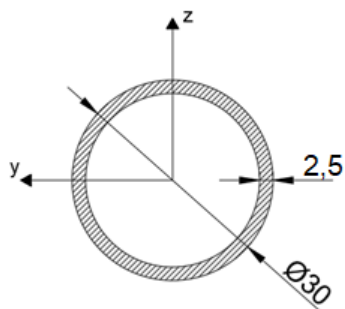


Figura 1.120. Secció circular A. Font pròpia.

Secció circular B-C: Es tracta d'una secció compartida pel tipus B i C i en aquest cas es considera com una sola secció de 28 mm de diàmetre i 1,5 mm d'espessor (Figura 1.121).

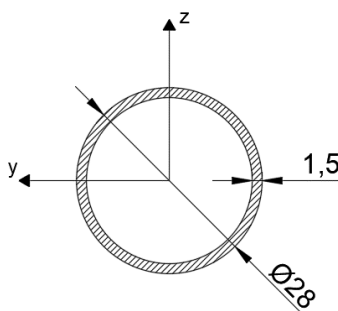


Figura 1.121. Secció circular B-C. Font pròpia.

Secció circular D: Es tracta d'una secció de 35 mm de diàmetre i 1,5 mm d'espessor (Figura 1.122).

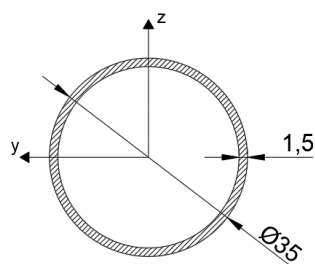


Figura 1.122. Secció circular D. Font pròpia.

Secció final de cada component de l'estructura (Taula 1.31, Taula 1.32 i Figura 1.123):



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 1.31. Secció final de cada component. Font pròpia.

Component de l'estructura	D(mm)	t(mm)	d(mm)	Secció
Front Bulkhead	28	1,5	25	B
Front Bulkhead support	28	1,5	25	C
Front Hoop	30	2,5	25	A
Front Hoop Bracing	28	1,5	25	B
Side Impact Structure	28	1,5	25	B
Bent Upper Side Impact Member	35	1,5	32	D
Main Hoop	30	2,5	25	A
Main Hoop Bracing	28	1,5	25	B
Main Hoop Bracing Supports	28	1,5	25	C
Driver restraint Harness Attachment	28	1,5	25	B
Shoulder Harness Mounting Bar	30	2,5	25	A
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	28	1,5	25	C
Accumulator Protection Structure	28	1,5	25	B
Component Protection	28	1,5	25	C
Other Structural Tubing	28	1,5	25	C

Taula 1.32. Agrupació dels components amb la mateixa secció. Font pròpia.

Nº	Descripció	D ext. (mm)	Espessor (mm)	Longitud (mm)	Massa (Kg)	Material
1	<b>SECCIÓ TUB A</b>	30	2,5	5710,10	9,68	25CrMo4 / EN 10305-1
2	SECCIÓ TUB B-C	28	1,5	29859,83	29,27	25CrMo4 / EN 10305-1
3	<b>SECCIÓ TUB D</b>	35	1,5	1558,31	1,93	25CrMo4 / EN 10305-1
			TOTAL:	37128,24	40,88	



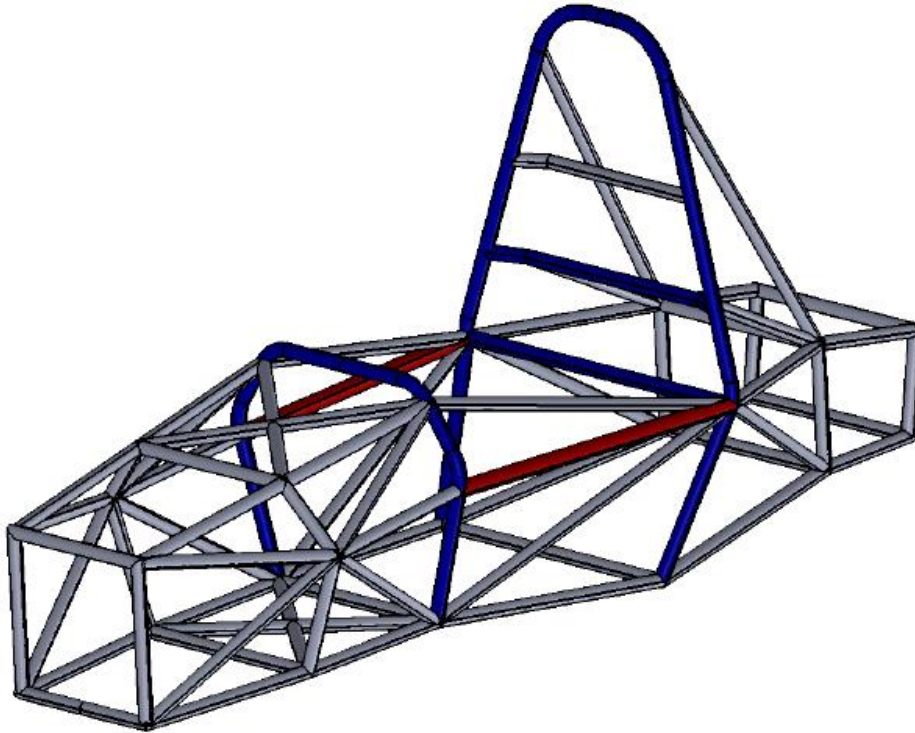


Figura 1.123. Representació en colors de cada part de l'estructura i la seva secció. Font pròpia.

- Rigidesa torsional final (Taula 1.33):

Taula 1.33. Valor de la rigidesa torsional final del xassís. Font pròpia.

<b>Rigidesa torsional</b>	3219,1 Nm/º
---------------------------	-------------

- Estructura final (Figura 1.124, Figura 1.125, Figura 1.126, Figura 1.127, Figura 1.128, Figura 1.129, Figura 1.130 i Figura 1.131):



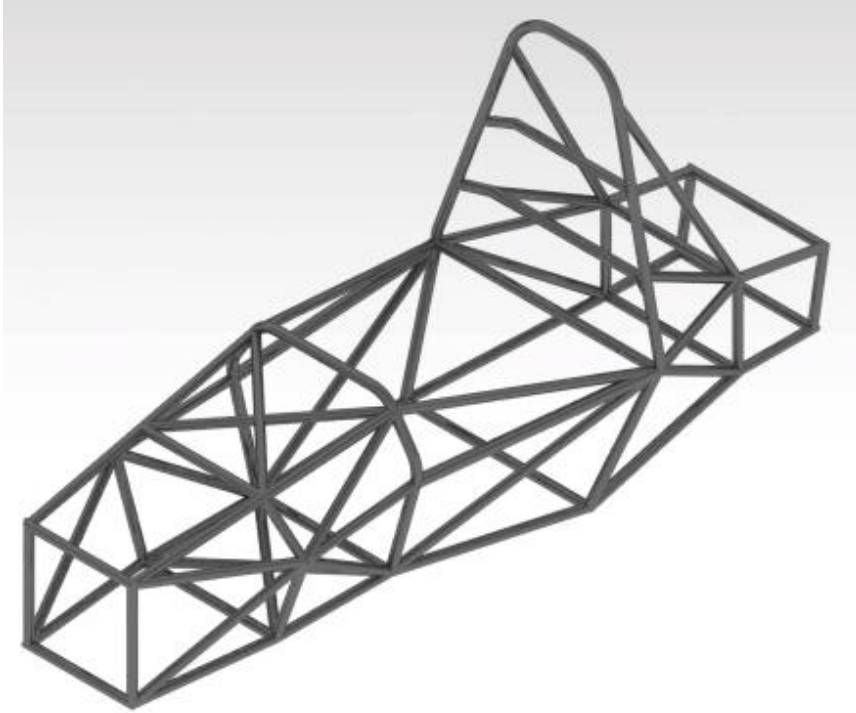


Figura 1.124. Disseny final del xassís. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

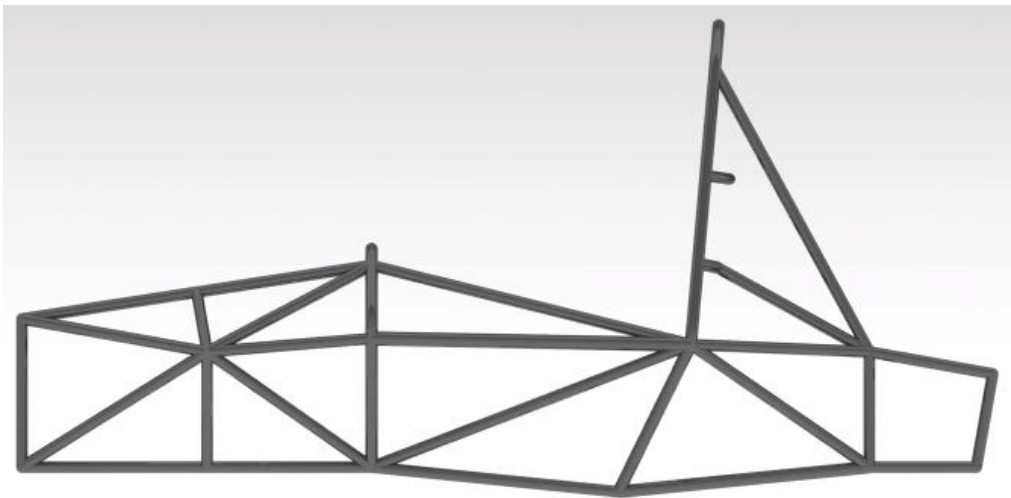
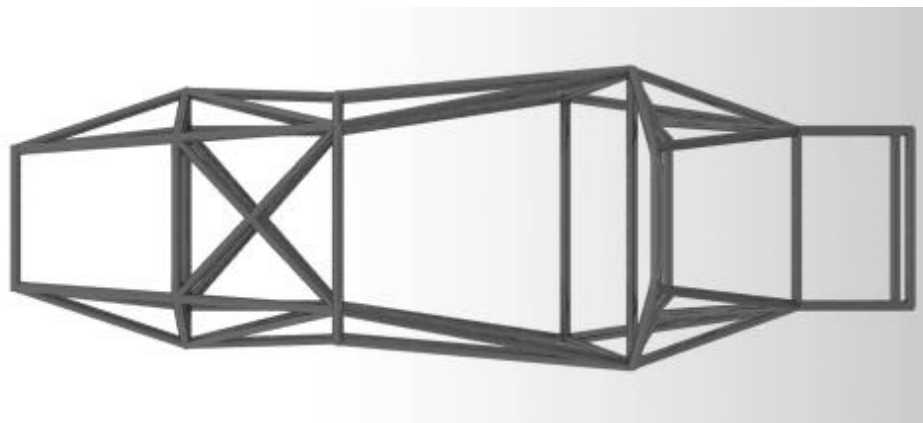
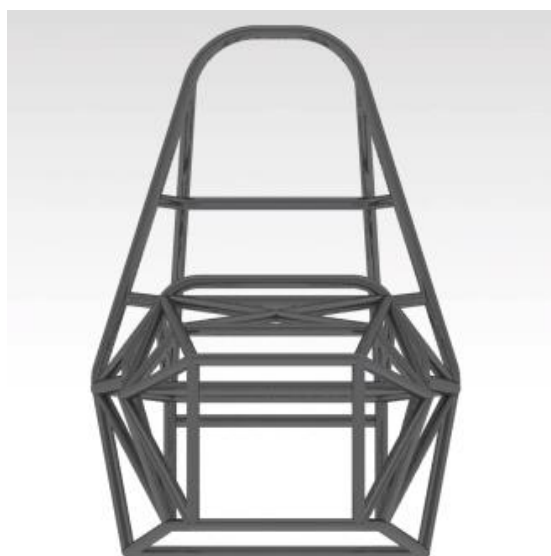


Figura 1.125. Vista lateral del disseny final. Font pròpia (ANSYS Mechanical).





*Figura 1.126. Vista en planta del disseny final. Font pròpia (ANSYS Mechanical).*



*Figura 1.127. Vista frontal del disseny final. Font pròpia (ANSYS Mechanical).*



## Disseny d'un xassís tubular

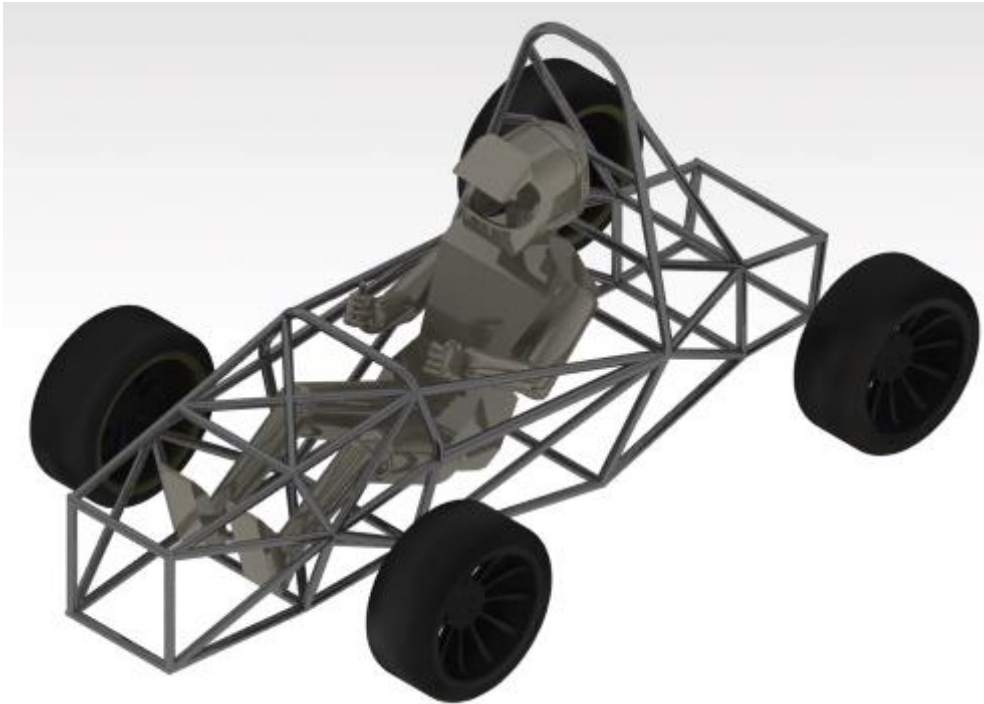


Figura 1.128. Disseny final del xassís (pilot i rodes). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



Figura 1.129. Vista lateral del disseny final (pilot i rodes). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



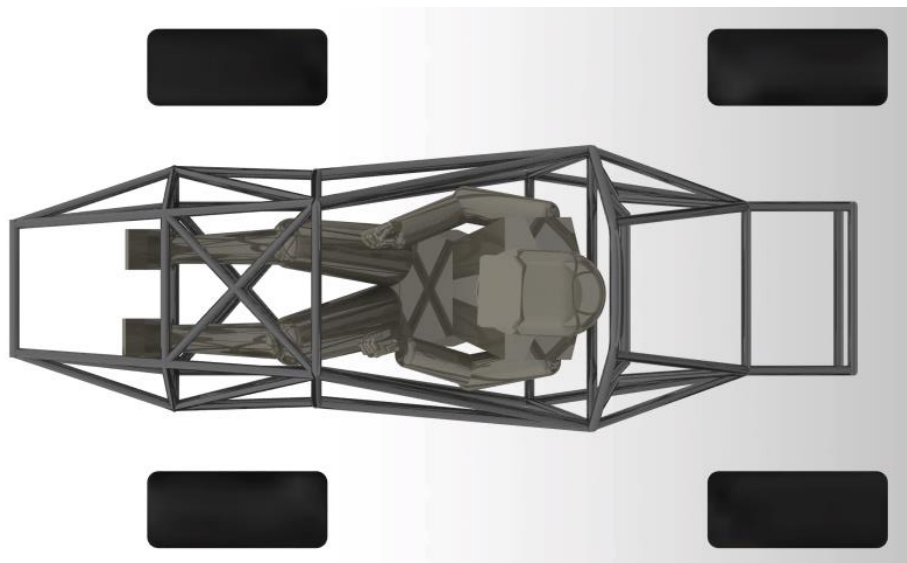


Figura 1.130. Vista en planta del disseny final (pilot i rodes). Font pròpia (ANSYS Mechanical).

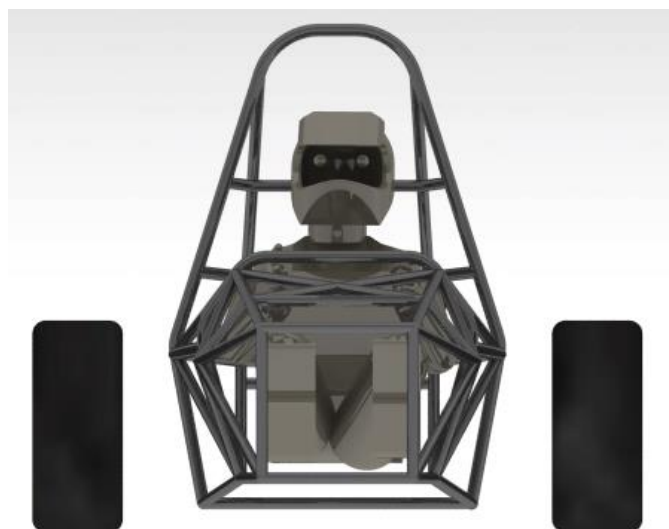


Figura 1.131. Vista frontal del disseny final (pilot i rodes). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## 1.10 CONCLUSIONS

En aquest apartat s'expliquen les conclusions extretes després de la realització del projecte. Després de tota la feina realitzada el principal que es pot concloure en un projecte d'aquestes característiques és el següent:

- El disseny realitzat compleix amb tot els requisits de la normativa Formula SAE que han estat d'interès per a l'abast del projecte. Entre aquests requisits destaquen els que tenen en compte la seguretat del pilot en cas d'accident ja que és primordial perquè el disseny sigui adequat i òptim. Cal destacar la importància de la ubicació del pilot dins la cabina, un aspecte imprescindible per a elaborar el disseny.
- En termes de resistència estructural el disseny respon satisfactòriament a totes les situacions de càrrega proposades. S'ha tingut en compte un criteri de deflexió d'acord amb la tensió màxima de Von Mises, la qual havia de ser inferior al límit elàstic del material (590 MPa) per assegurar d'aquesta manera que no es produís una deformació plàstica dels tubs. S'ha fixat en tot moment un coeficient de seguretat de 1,1 que minorava el límit elàstic del material. També s'ha tingut en compte un criteri de deformació el qual definia una deformació admissible de 25 mm per a no comprometre l'estructura.

Per a complir amb els criteris ha estat necessari realitzar modificacions en quan a augments d'espessors dels tubs en els cèrcols i la introducció de tubs de reforç en les zones més crítiques per tal d'alleugerir la concentració de tensions en un punt. Com a punt negatiu el fet de realitzar aquestes modificacions ha provocat un augment de la massa total de l'estructura.

- Respecte a la rigidesa torsional del xassís, tenint en compte que el rang de valors es troba entre 1000 i 5000 Nm/º, s'ha aconseguit una rigidesa a torsió final de 3219,1 Nm/º. Aquest valor s'ha aconseguit gràcies a la introducció de reforços en creu al sector on van ancorats els braços de suspensió per ser aquest el que més va patir en l'assaig a torsió. Tenint en compte els valors de rigidesa torsional dels equips que formen part de la competició el valor aconseguit situa l'estructura dins de la mitjana de 3000 Nm/º un valor adequat que assegurarà un bon comportament en pista del vehicle.

Ara bé, el fet d'introduir aquests reforços, com en el cas anterior de verificació de resistència, ha suposat un augment de la massa total de l'estructura fins a arribar a un valor de 40,88 kg.



## Disseny d'un xassís tubular

- Després de realitzar un anàlisi modal del xassís s'han obtingut uns valors esperats de les sis primeres freqüències naturals que es troben allunyades del rang de freqüències no desitjades entre 0Hz i 100 Hz. Dins d'aquest rang es podrien produir situacions de ressonància provocades per fonts d'excitació externes. S'han realitzat dos anàlisis modals el primer sense tenir en compte la massa dels components del vehicle i en el segon si que s'ha tingut en compte. S'ha comprovat doncs que el fet d'incorporar la massa dels diferents components ha suposat un augment de les freqüències naturals tal i com descriu la dinàmica dels sistemes de N graus de llibertat.

Ara bé, el valor de la primera freqüència natural de 102,7 Hz es troba molt proper als 100 Hz del rang anterior fet que podria provocar situacions no desitjades d'incomoditat en l'habitacle. Es pot justificar que no seria un problema greu ja que el paràmetre comoditat no és indispensable en un vehicle de competició i per tant no s'ha cregut convenient interpretar aquest valor de freqüència com un obstacle en el disseny.

- Per acabar, la conclusió final després d'haver realitzat el projecte és l'aprenentatge adquirit durant el procés i la capacitat de desenvolupar els coneixements adquirits en el grau en un treball d'interès. El camp de l'automoció engloba molts temes i el de la competició busca sempre obtenir els millors resultats. El disseny realitzat és adequat i compleix amb els requeriments d'un vehicle elèctric de competició monoplaça.



## 1.11 BIBLIOGRAFIA

- [1] SAE International. (<https://www.sae.org/> 5 de febrer de 2021).
- [2] Formula SAE Rules 2021 Version 1.0 30 July 2020.
- [3] Anthropometric Reference Data FSAE.
- [4] Grabcad Stratasys. (<https://grabcad.com/> 3 de març de 2021).
- [5] HEIBING, B. (2011) *Chassis Handbook. Fundamentals, Driving Dynamics, Components, Mechatronics, Perspectives*. Berlin, Vieweg+Teubner Verlag.
- [6] REIMPELL, J. (2001) *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. Oxford, Butterworth-Heinemann.
- [7] Emrax Innovative E-Motors. (<https://emrax.com/> 7 de març de 2021).
- [8] Unitek Industrie Elektronik. (<https://www.unitek-industrie-elektronik.de/> 7 de març de 2021).
- [9] Drexler Automotive. (<https://www.drexler-automotive.com/> 9 de març de 2021).
- [10] Formula SAE Rules 2017-18 September 2016.
- [11] Norma UNE-EN 10305-3:2016 de tubs d'acer per a aplicacions de precisió.
- [12] Acer d'alta resistència SSAB. (<https://www.ssab.es/> 15 de març de 2021).
- [13] ProFormance Metals. (<https://proformancemetals.co.uk/> 16 de març de 2021).
- [14] Equip Monash Motorsport. (<https://www.monashmotorsport.com/> 2 d'abril de 2021).
- [15] Equip Penn Electric Racing. (<https://www.pennelectricracing.com/> 2 d'abril de 2021).
- [16] Instituto Técnico de la Estructura en Acero (ITEA) Construcción en acero.
- [17] Department of Applied Mechanics. ([https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans\\_help\\_v182/ans\\_elem/Hlp\\_E\\_BEAM\\_188.html](https://www.mm.bme.hu/~gyebro/files/ans_help_v182/ans_elem/Hlp_E_BEAM_188.html) 10 d'abril de 2021).
- [18] BROWN, J. (2002) *Motor Vehicle Structures: Concepts and Fundamentals*. Oxford, Butterworth-Heinemann.



- [19] Apunts Elasticitat i Resistència de Materials.
- [20] Shiroma, C. *Torsional Stiffness Measuring Device*, 81, 2017.
- [21] Sampo, E. *Chassis Torsional Stiffness: Analysis of the Influence on Vehicle Dynamics*, SAE International 2010.
- [22] Van Kerkhoven, J. *Design of a Formula Student race car chassis*, Technische Universiteit Eindhoven 2008.
- [23] Apunts de Dinàmica de Sistemes Mecànics.
- [24] Al Bukhari, M. *Designing Space Frame Race Car Chassis Structure Using Natural Frequencies Data from Ansys Mode Shape Analysis*. International Journals 2015.



Treball de Fi de Grau  
**Enginyeria Mecànica**



**Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle  
elèctric de competició monoplaça**

**Document 2: Annexes a la Memòria**

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

2	ANNEXES A LA MEMÒRIA .....	3
2.1	ANNEX 1:DOCUMENTACIÓ DE PARTIDA.....	3
2.1.1	Normativa de la Formula SAE 2021.....	3
2.2	ANNEX 2:CÀLCULS.....	22
2.2.1	Dimensionat de les barres tubulars.....	22
2.2.2	Càlculs de Resistència del xassís.....	33
2.2.3	Rigidesa Torsional del xassís .....	53
2.2.4	Anàlisi Modal del xassís.....	64
2.3	ANNEX 3:POSSIBLES CONFIGURACIONS DE LA LÍNIA MOTRIU .....	73
2.3.1	Configuració 1 .....	73
2.3.2	Configuració 2 .....	74
2.3.3	Configuració 3 .....	75
2.3.4	Configuració 4 .....	75
2.4	ANNEX 4:POSSIBLES PROCESSOS DE SOLDADURA .....	77
2.4.1	Oxigas .....	77
2.4.2	Per arc amb elèctrode revestit .....	77
2.4.3	Per arc protegida amb gas.....	78
2.4.4	Per plasma .....	81
2.5	ANNEX 5: DISSENY CAD AMB CATIA V5.....	82
2.5.1	Procediment seguit per al disseny .....	83
2.6	ANNEX 6:ANNEX DE JUSTIFICACIÓ DE PREUS.....	92
2.6.1	Quadres de preus bàsics.....	92
2.6.2	Partides d'Obra.....	93
2.7	ANNEX 7:CATÀLEGS .....	95
2.7.1	Catàleg de tubs SSAB.....	95
2.7.2	Catàleg de tubs 25CrMo4.....	95



## Disseny d'un xassís tubular

2.7.3	Fitxa tècnica motor EMRAX 228 .....	95
2.7.4	Fitxa tècnica controlador motor BAMOCAR D3 .....	95
2.7.5	Atenuador d'impactes (Impact Attenuator).....	95



## 2 ANNEXES A LA MEMÒRIA

### 2.1 ANNEX 1:DOCUMENTACIÓ DE PARTIDA

#### 2.1.1 Normativa de la Formula SAE 2021

##### 2.1.1.1 Normativa general

La competició desafia equips d'estudiants universitaris que estan cursant un grau o bé un post grau relacionat amb el món de l'automoció.

Els estudiants han de concebre, dissenyar, fabricar, desenvolupar i competir amb vehicles estil fórmula.

Les experiències que s'adquireixen quan participes en aquesta competició són les següents:

- Habilitats de gestió de projectes, pressupostos, comunicació i gestió de recursos.
- Treball en equip.
- Aplicació de normes i regulacions de la indústria.
- Dissenyar, construir i provar el rendiment d'un vehicle real.
- Interactuar i competir amb estudiants de tot el món.
- Elaborar i preparar documentació tècnica.

Els estudiants a més a més tenen contacte amb professionals del sector ja que treballaran amb ells i això suposarà un gran aprenentatge.

La competició desafia el rendiment dels vehicles en una sèrie d'esdeveniments i proves tan a pista com fora de pista que ofereix la possibilitat de demostrar la seva creativitat i enginyeria als diferents equips que participen.

Cada disseny serà jutjat i avaluat envers la resta de competidors en una sèrie de proves estàtiques i dinàmiques per determinar quin es el vehicle que millor compleix els objectius de disseny per tal de fabricar-se i comercialitzar-se amb èxit.

La normativa de la Formula SAE és responsabilitat del "Formula SAE Rules Committee" i sota l'autoritat de la "SAE International Collegiate Design Series".

La normativa vigent per a la competició és aquella publicada al lloc web i referent a l'any actual.

## Disseny d'un xassís tubular

Aquesta normativa pot ser que es revisi, s'actualitzi o es modifiqui en qualsevol moment durant la temporada de competició. Per tant, és responsabilitat dels equips revisar-la periòdicament.

Pel fet de participar en la competició, l'equip i els membres de l'equip individualment es comprometen i estan obligats a complir amb la normativa publicada pel "Formula SAE Rules Committee".

La violació de la intenció d'una norma es considera la violació de la norma en qüestió.

L'equip i els membres de l'equip individualment són els responsables de llegir i comprendre la normativa vigent de la competició en la que participen. A més a més, es considera que participen en la competició des del moment en que arriben al lloc de la competició fins que marxen del mateix.

Si es produeix una conducta antiesportiva, l'equip rebrà un avís d'un oficial. Una segona infracció comportarà l'expulsió de l'equip de la competició.

Una discussió o una desobediència amb qualsevol oficial pot comportar l'eliminació de l'equip de la competició.

Tampoc està permès l'alcohol, drogues o fumar en els diferents recintes de la competició.

Tret que s'indiqui el contrari, totes les normes s'apliquen a qualsevol tipus de vehicle en tot moment.

Les normes específiques segons el tren motriu de cada vehicle s'indicaran de la següent forma:

- Vehicles de combustió interna "IC" o "IC only".
- Vehicles elèctrics "EV" o "EV only".

El "Comittee" respondrà a aquelles preguntes que s'hagin respost a les bases o a les preguntes freqüents, o que requereixin algun tipus d'interpretació de normes noves.

Aquestes preguntes han d'incloure:

- Nom complet i informació de contacte de la persona que envia la pregunta.
- Nom de la Universitat.
- El tipus de competició en la qual l'equip vol participar.

## Disseny d'un xassís tubular

- Nombre de les regles aplicables.

Les preguntes s'enviaran al lloc web. Es permet un mínim de 2 setmanes per a l'obtenció de resposta.

Els equips tenen dret a protestar per qualsevol interpretació, puntuació o acció oficial que considerin que els ha causat algun dany real i no trivial al seu equip o ha tingut un efecte substancial en la seva puntuació.

El format a seguir en les protestes és el següent:

- Totes les protestes s'han de presentar per escrit.
- La protesta s'ha de presentar a l'organitzador o al personal de SAE International pel capità de l'equip.
- Un vídeo d'equip o una adquisició de dades no es revisaran com a part d'una protesta.

Els vehicles inscrits a la competició han de ser concebuts, dissenyats, fabricats i mantinguts pels membres de l'equip sense una implicació directa per part de professionals, enginyers, corredors o persones del sector.

L'equip d'estudiants pot utilitzar qualsevol coneixement relacionat amb el disseny i la informació de professionals o acadèmics sempre que aquest es presenti com una discussió d'alternatives amb els seus pros i contres.

Els estudiants també són els encarregats de totes les tasques de fabricació.

Totes les competicions de la Formula SAE poden publicar variacions de regles específiques per al funcionament dels esdeveniments als seus països. Encara que es mantenen els requisits i les restriccions de disseny dels vehicles per a tots els països.

L'idioma oficial de la Formula SAE Series és l'Anglès. Per tant, tota la documentació, presentacions, discussions es presentaran en aquest idioma.

### *2.1.1.2 Requisites del vehicle*

#### **Configuració**

El vehicle ha de ser de rodes obertes ("open wheeled") i de cabina de pilotatge oberta ("open cockpit") amb quatre rodes que no estiguin en línia recta, seguint un estil formula ("formula style body").

### Rodes obertes ("open wheel")

Els vehicles de rodes obertes han de complir els criteris següents:

- Els 180° superiors de les rodes/pneumàtics no s'han d'obstruir quan s'observen des de la vertical per sobre les rodes.
- Les rodes/pneumàtics no s'han d'obstruir quan s'observen des del lateral.
- Cap part del vehicle pot entrar en la zona de manteniment definida per dues línies esteses verticalment en posicions a 75 mm per davant i 75 mm per darrere del diàmetre exterior de les rodes anterior i posteriors. Aquesta zona de manteniment s'estén lateralment des del pla exterior fins al pla interior de la roda.

En la següent figura (Figura 2.1) s'observen els criteris d'espai que s'han de complir en un vehicle d'aquest estil on el ratllat a la dreta indica que no es permet cap part en aquella zona i el ratllat a l'esquerra indica que la vista de la superfície ratllada no ha d'estar obstruïda.

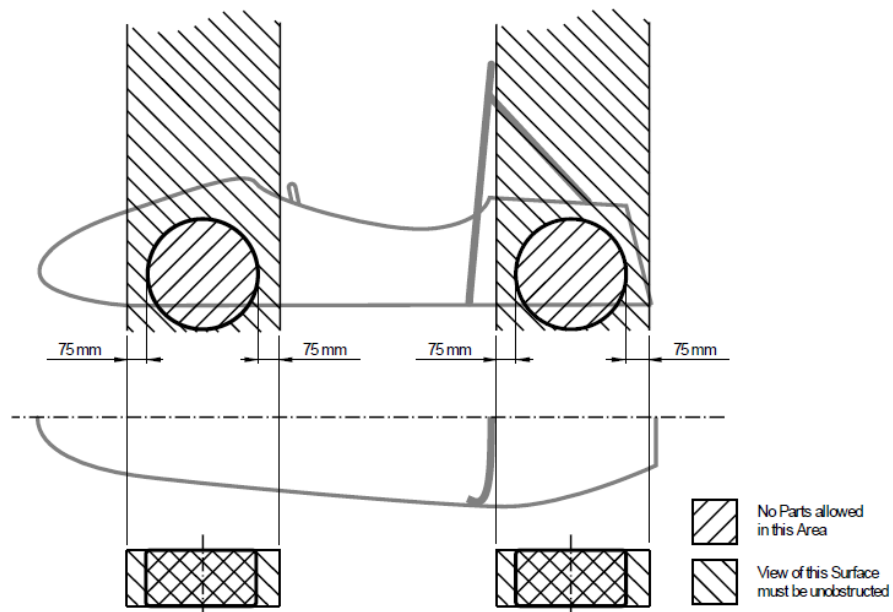


Figura 2.1. Criteris a seguir en un Open Wheel. FSAE Rules 2021.

### Distància entre eixos (Wheelbase)

El vehicle ha de tenir una distància entre eixos de com a mínim 1525 mm.

A la Figura 2.2 s'observa la distància entre eixos:

## Disseny d'un xassís tubular

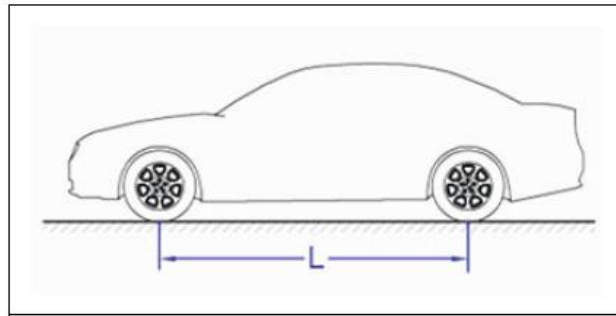


Figura 2.2. Distància entre eixos  $L$ . Norma ISO 612/DIN 70000.

### Ample de via (Vehicle Track)

La via i el centre de gravetat s'han de combinar per proporcionar una estabilitat al balanceig o rotació segons l'eix  $x$ .

A la Figura 2.3 s'observa aquest ample de via en un vehicle:

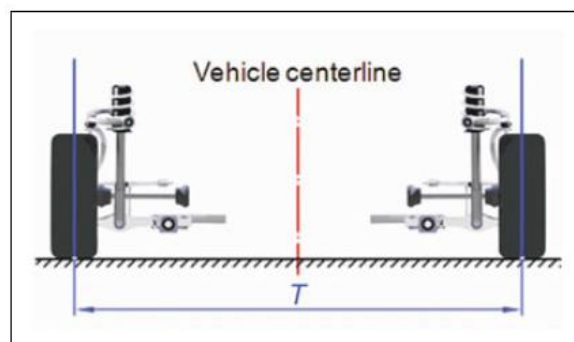


Figura 2.3. Ample de via  $T$ . Norma ISO 612/DIN 70000.

### Alçada des del terra (Ground Clearance)

Aquesta ha de ser suficient per prevenir que qualsevol part del vehicle excepte les rodes toqui el terra durant les proves dinàmiques de la competició.

Un contacte excessiu o intencionat d'alguna part del vehicle amb el terra seria motiu de perdre una carrera o tota una prova dinàmica.

#### 2.1.1.3 Pilot

### Allotjament

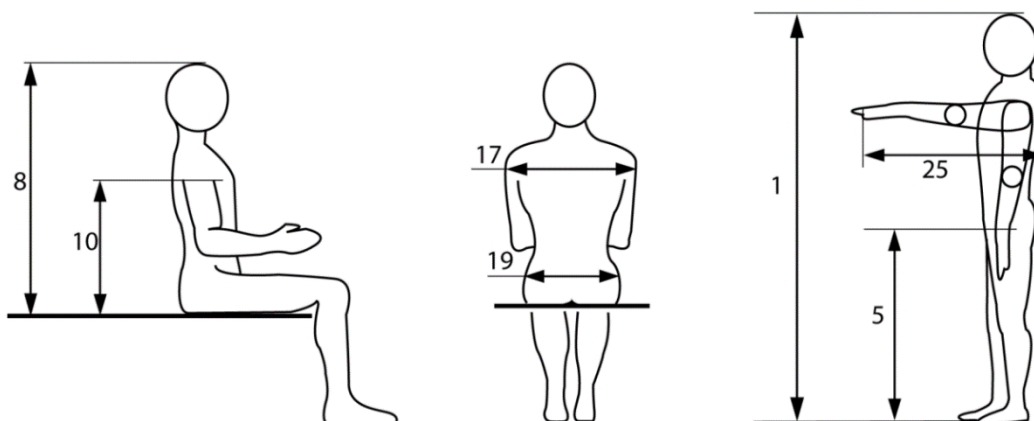
El vehicle ha d'allotjar pilots de mesures que van des del cinquè percentil femení fins al percentil 95 masculí.

## Disseny d'un xassís tubular

- L'allotjament inclou la posició, els controls i l'equip del pilot.
- Les dades antropomètriques es troben al lloc web de la FSAE i són les de la Taula 2.1 i la Figura 2.4:

*Taula 2.1. Taula de mesures en el rang del percentil 5 femení fins al percentil 95 masculí. Anthropometric Reference Data de la FSAE.*

Dimension #	Dimension	Measurements			
		95th Percentile Male		5 th Percentile Female	
		Metric	Imperial	Metric	Imperial
	Weight	102 kgs	225 #	49 kgs	108 #
1	Standing Height	186.5 cms	73.4 ins	151.5 cms	59.6 ins
5	Hip Height	100.0 cms	39.4 ins	74.0 cms	29.1 ins
8	Erect Sitting Height	97.0 cms	38.2 ins	79.5 cms	31.3 ins
10	Sitting Shoulder Height	64.5 cms	25.4 ins	50.5 cms	19.9 ins
17	Sitting Shoulder Width	50.5 cms	19.9 ins	37.5 cms	14.8 ins
19	Hip Width	40.5 cms	15.9 ins	31.0 cms	12.2 ins
25	Shoulder Grip Length	71.5 cms	28.1 ins	55.5 cms	21.9 ins
30	Foot Length - bare	28.5 cms	11.2 ins	22.0 cms	8.7 ins
31	Foot Width - bare	11.0 cms	4.3 ins	8.5 cms	3.3 ins



*Figura 2.4. Esquema on s'indiquen les magnituds de la taula anterior. Anthropometric Reference Data de la FSAE [3].*

En una situació de bolcada el cap i les mans del pilot en cap moment haurien d'entrar en contacte amb el terra.

### Visibilitat

El pilot ha de tenir una visibilitat suficient cap a la part davantera i cap als laterals del vehicle.

Quan el pilot està assegut en una posició de conducció normal ha de tenir un camp de visió mínim de 100° a banda i banda.

Si per complir amb aquesta normativa són necessaris retrovisors, aquests han de romandre en el seu lloc han d'ajustar-se per permetre la visibilitat necessària en totes les proves dinàmiques.

#### *2.1.1.4 Suspensió i direcció*

##### **Suspensió**

El vehicle ha d'estar equipat amb un sistema de suspensió completament operatiu amb amortidors davanters i posteriors, amb un recorregut mínim útil de roda de 50 mm amb el pilot assentat.

Tots els punts de muntatge de la suspensió han de ser visibles per a la inspecció tècnica, de forma directa o bé traient qualsevol tapa.

##### **Direcció**

El volant ha d'estar connectat mecànicament amb les rodes davanteres. La direcció assistida elèctricament està prohibida.

El sistema de direcció ha d'utilitzar un enllaç mecànic rígid que suporti les càrregues a tracció i compressió en el funcionament.

El bastidor de direcció també ha d'estar fixat mecànicament al xassís.

Les unions entre tots els components que fixen el volant al bastidor han de ser mecàniques i visibles per a la inspecció tècnica.

##### **Volant**

En qualsevol posició angular, la part superior del volant no ha de ser superior a la part superior del cercol frontal (Front Hoop).

El volant ha de tenir un perímetre continu gairebé circular o gairebé ovalat.

##### **Rodes i pneumàtics**

Les rodes han de tenir un diàmetre mínim de 203.2 mm (8 polzades).

Els vehicles han de tenir dos tipus de pneumàtics, Secs i Humits.

### 2.1.1.5 Xassís i estructura

#### **Xassís**

És el conjunt estructural fabricat que suporta tots els sistemes funcionals del vehicle.

Aquest conjunt pot ser una sola estructura fabricada, diverses estructures fabricades o una combinació d'estructures compostes i soldades.

#### **Estructura primària**

La combinació dels següents components:

- Cèrcol principal (Main Hoop): Barra doblegada situada sobre el cap del pilot.
- Cèrcol frontal (Front Hoop): Barra doblegada situada sobre les cames del pilot, aprop del volant.
- Tirants i suports de cercol (Roll Hoop Braces and Supports)
- Estructura d'impacte lateral (Side Impact Structure)
- Mampara frontal (Front Bulkhead): estructura plana que proporciona protecció als peus del conductor.
- Suport de mampara frontal (Front Bulkhead Support)
- Qualsevol membre del quadre, guia o suport que transfereixi una càrrega des del sistema de restricció del pilot.

#### **Triangulació**

És molt important que l'estructura estigui formada per triangles. És la forma d'unió de tots els membres del xassís provocant que l'estructura es compozi de bigues i nusos.

- Aquesta triangulació normalment es requereix entre un membre superior i un membre inferior, en què tots dos poden tenir múltiples segments que necessiten una diagonal per formar múltiples triangles.
- Això també s'entén per "correctament triangulat".

A la Figura 2.5 s'observen dos tipus de triangulacions, la primera correcta i la segona incorrecta:

## Disseny d'un xassís tubular

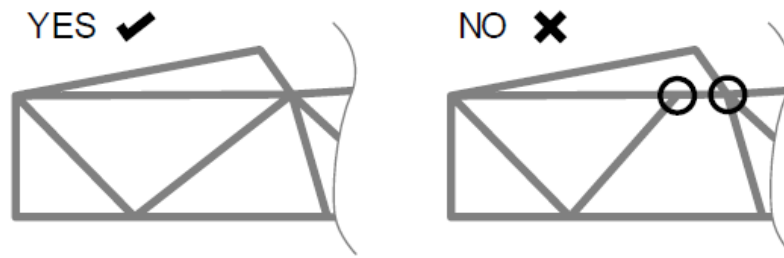


Figura 2.5. Esquema que defineix com han de ser les triangularitzacions correctes. FSAE Rules 2021 [2].

### Material no inflamable

Els materials utilitzats per a l'estructura del xassís han de ser metalls o materials no metàl·lics que compleixin les normes de Inflamabilitat UL94-V0, FAR25 o equivalents.

#### 2.1.1.6 Tubs i material

El material base que s'utilitza per als tubs és l'acer. A continuació es defineixen les característiques d'aquets.

### Requisits del tubs

En aquesta part es defineixen quines han de ser les dimensions de cada tub segons el component de l'estructura. Els diàmetres i gruixos proporcionats es basen en dimensions de tubs disponibles habitualment.

Aquestes dimensions es troben a la Figura 2.6:

## Disseny d'un xassís tubular

Application	Steel Tube Must Meet Size per F.3.4:
a. Front Bulkhead	Size B
b. Front Bulkhead Support	Size C
c. Front Hoop	Size A
d. Front Hoop Bracing	Size B
e. Side Impact Structure	Size B
f. Bent Upper Side Impact Member	Size D
g. Main Hoop	Size A
h. Main Hoop Bracing	Size B
i. Main Hoop Bracing Supports	Size C
j. Driver Restraint Harness Attachment	Size B
k. Shoulder Harness Mounting Bar	Size A
l. Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	Size C
m. Accumulator Protection Structure	Size B
n. Component Protection	Size C
o. Other Structural Tubing	Size C

Figura 2.6. Taula de classificació dels components segons les seves dimensions. FSAE Rules 2021 [2].

## Tubs d'acer

Segons les dimensions definides anteriorment per a cada tub, aquest ha de complir amb els 4 requisits de dimensió següents que apareixen a la Taula 2.2:

Taula 2.2. Requisits mínims de dimensió segons el tipus de tub. FSAE Rules 2021 [2].

Tube	Minimum Area Moment of Inertia	Minimum Cross Sectional Area	Minimum Outside Diameter or Square Width	Minimum Wall Thickness
a. Size A	11320 mm <sup>4</sup>	173 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	2.0 mm
b. Size B	8509 mm <sup>4</sup>	114 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	1.2 mm
c. Size C	6695 mm <sup>4</sup>	91 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	1.2 mm
d. Size D	18015 mm <sup>4</sup>	126 mm <sup>2</sup>	35.0 mm	1.2 mm

Les propietats per a qualsevol material d'acer per als càlculs presentats han de ser:

- Propietats no soldades per a càlculs continus de materials:  
Mòdul de Young (E) = 200 GPa  
Límit Elàstic (Sy) = 305 MPa  
Tensió Màxima (Su) = 365 MPa



### 2.1.1.7 Requisites del xassís

L'estructura primària del xassís es construirà amb tubs d'acer.

Referent als doblecs, s'ha de complir que el radi mínim d'aquests mesurat des del centre del tub, sigui tres vegades o més major que el diàmetre exterior del tub ( $3 \times DE$ ).

#### Cèrcols (Roll Hoops)

El xassís ha d'incloure un cercol principal (Main Hoop) i un cercol frontal (Front Hoop). Aquests s'han d'integrar de manera segura a l'estructura mitjançant la triangulació adequada.

Pel que fa als cercols i la posició del pilot:

Si el pilot està assegut en la posició normal, el casc del percentil 95 masculí i tots els de la resta de pilots de l'equip ha de complir:

- Hi hagi una distància mínima de 50 mm fins a la línia recta traçada des de la part superior del cercol principal (Main Hoop) a la part superior del cercol frontal (Front Hoop).
- Hi hagi una distància mínima de 50 mm fins a la línia recta traçada des de la part superior del cercol principal a l'extrem inferior d'aquest si els suports s'estenen endarrere.
- Que no sobrepassi la superfície posterior de cercol principal si els suports s'estenen endavant.

Aquests requisits s'observen a la Figura 2.7:

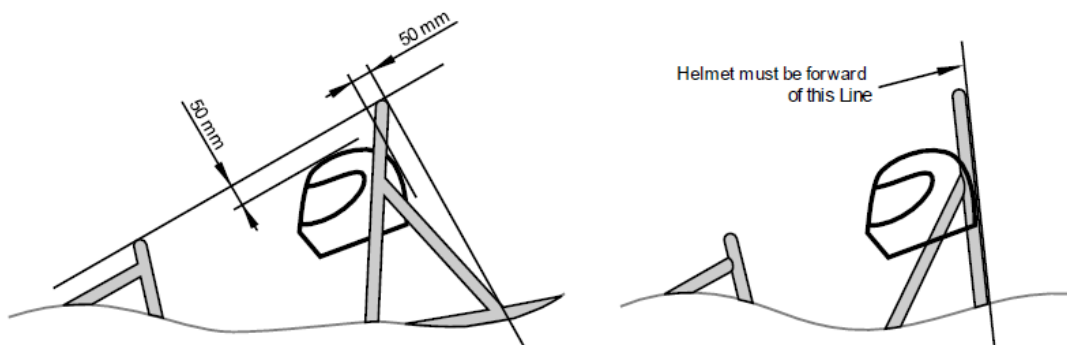


Figura 2.7. Requisites envers els cercols del xassís. FSAE Rules 2021 [2].

## Plantilla del pilot

S'utilitza una plantilla en dues dimensions per representar el percentil 95 masculí. Consta de les següents dimensions:

- Un cercle de 200 mm de diàmetre representa els malucs i les natges.
- Un cercle de 200 mm de diàmetre representa la regió de l'espatlla/cervical.
- Un cercle de 300 mm de diàmetre representa el cap amb casc.
- Una línia recta de 490 mm connecta els centres dels dos cercles de 200 mm.
- Una línia recta de 280 mm connecta el cercle de 200 mm superior amb el cercle del cap de 300 mm.

Aquesta plantilla es posiciona com s'indica a continuació:

- El seient s'ajusta a la posició més endarrerida.
- Els pedals es col·loquen a la posició més avançada.
- El cercle de 200 mm inferior es col·locarà a una distància mínima de 915 mm dels pedals.
- El cercle de 200 mm superior es col·locarà sobre el recolzament de l'esquena.
- El cercle de 300 mm es posicionarà a no més de 25 mm del suport del cap.

A continuació, s'observa la plantilla del pilot i la seva posició a la Figura 2.8:

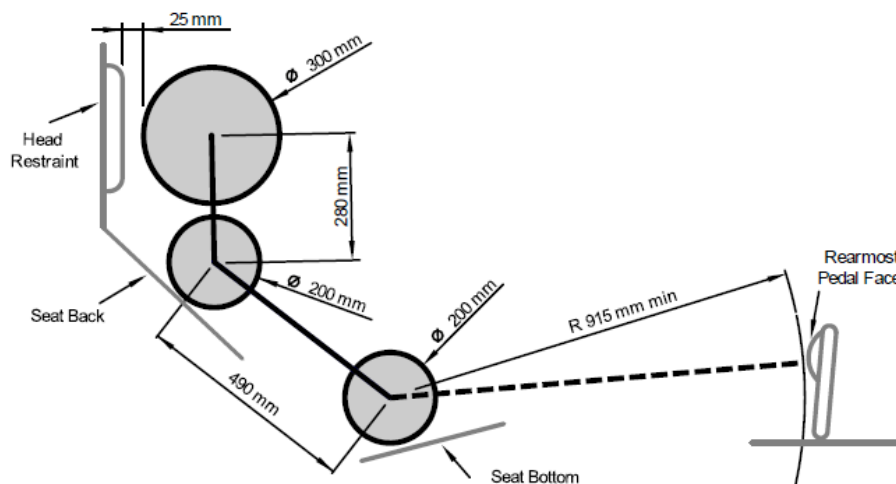


Figura 2.8. Plantilla del pilot amb dimensions i la seva posició en el vehicle. FSAE Rules 2021 [2].

## Cèrcol Frontal (Front Hoop)

## Disseny d'un xassís tubular

Ha d'estar construït a partir de tubs metàl·lics amb una secció tancada i amb una triangulació adequada.

És important que la superfície superior del cercol frontal ha de ser superior a la part superior del volant.

Aquest cercol no ha d'estar a més de 250 mm del volant mesurant horitzontalment.

En la vista lateral, qualsevol part del cercol no pot estar inclinada més de  $20^{\circ}$  respecte la vertical.

Les unions dels braços amb el cercol frontal poden estar com a màxim a 50 mm per sota de la superfície superior del cercol.

### **Cercol Principal (Main Hoop)**

Ha d'estar construït d'una sola peça de secció contínua i tancada de tubs d'acer.

En la vista lateral del vehicle:

- La part del cercol que es troba per sobre del seu punt de fixació al tub superior de l'estructura d'impacte lateral ha d'estar a menys de  $10^{\circ}$  respecte la vertical.
- La part del cercol que es troba per sota del seu punt de fixació no té restriccions angulars en direcció cap endavant, però ha d'estar a menys de  $10^{\circ}$  respecte la vertical en la direcció cap enrere.

En la vista frontal, els membres verticals han d'estar a una distància mínima de 380 mm mesurada en els punts on aquests membres s'uneixen amb els tubs de la part inferior de l'estructura principal.

### **Suports del Cercol Principal**

El Cercol Principal ha d'estar recolzat per dos suports estesos en direcció endavant o endarrere.

Si es cercol s'inclina cap endavant els seus suports es col·locaran davant seu, mentre que si s'inclina cap endarrere els seus suports es col·locaran darrere seu. L'angle que formen els suports amb el cercol ha de ser de més de  $30^{\circ}$ .

Aquests suports han d'estar fixats a una distància màxima de 160 mm respecte la superfície superior del cercol.

A la Figura 2.9 s'observen aquestes restriccions:



## Disseny d'un xassís tubular

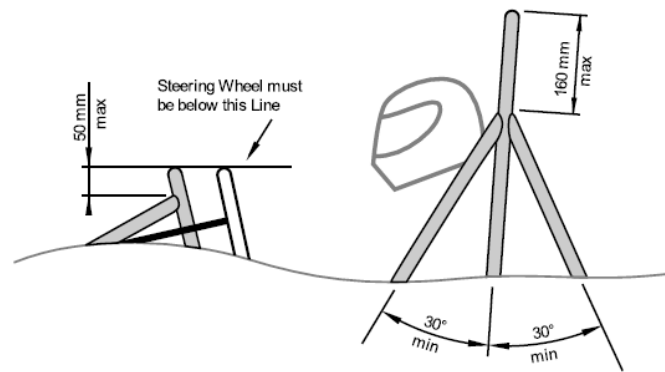


Figura 2.9. Requisits dels suports del cercol principal i frontal. FSAE Rules 2021 [2].

### 2.1.1.8 Xassís tubular

#### Mampara Frontal (Front Bulkhead)

S'ha de construir amb un conjunt de tubs que formin una secció tancada.

#### Suports de Mampara Frontal

Els membres dels suports s'han de construir amb un conjunt de tubs que formin una secció tancada.

La mampara frontal ha d'estar unida amb el Cercol Frontal (Front Hoop) per mitjà de tres membres: un superior, un inferior i una diagonal perquè estigui triangulat.

#### Braços de Cercol Frontal

El Cercol Frontal (Front Hoop) ha d'estar suportat per dos braços estesos en direcció cap endavant, un a cada costat de cercol.

Aquests han de protegir les cames del pilot i han d'estendre l'estructura fins davant dels peus del pilot.

Si el cercol frontal està inclinat més de  $10^\circ$  en la direcció cap enrere, aquest s'ha de reforçar amb suports addicionals.

Els braços han de ser rectes sense cap doblec.

#### Estructura d'impacte lateral

Amb una triangulació adequada, els membres de l'estructura d'impacte lateral es poden fabricar a partir de més d'un tub.

## Disseny d'un xassís tubular

Aquesta estructura ha de constar de tres o més membres tubulars situats a cada costat del vehicle quan el pilot es troba assentat en posició normal de conducció.

El membre superior de l'estructura:

- Ha de connectar el Cèrcol Frontal (Front Hoop) amb el Cèrcol Principal (Main Hoop).
- Ha de posicionar-se en una zona paral·lela al terra compresa entre 320 i 240 mm respecte el terra.

El membre inferior de l'estructura:

- Ha de connectar la part inferior del Cèrcol Frontal (Front Hoop) amb la part inferior del Cèrcol Principal (Main Hoop).

La diagonal de l'estructura:

- Ha de connectar el membre superior amb el membre inferior de l'estructura en la direcció endavant respecte el Cèrcol Principal i en la direcció endarrere respecte el Cèrcol Frontal.
- Ha de triangular completament l'estructura lateral.

A la Figura 2.10, s'observen els requisits respecte l'estructura d'impacte lateral:

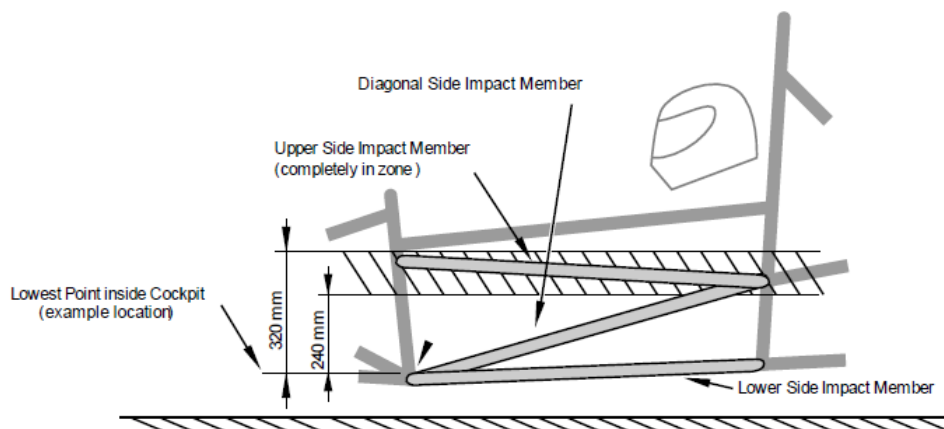


Figura 2.10. Requisits de l'estructura d'impacte lateral. FSAE Rules 2021 [2].

### Muntatge arnés de seguretat

La barra de muntatge de l'arnés de seguretat ha de complir:

## Disseny d'un xassís tubular

- Que sigui una sola peça de tubs d'acer de secció tancada i contínua d'acord amb les definides anteriorment.
- Que estigui fixat al cercol principal (Main Hoop) pels dos costats del xassís.

### Braços de Cercol Principal

L'extrem inferior dels braços ha d'estar recolzat sobre el Cercol Principal (Main Hoop) per un mínim de 2 membres per cada costat del vehicle. Un membre superior i un d'inferior en una configuració triangulada correctament.

- El membre superior s'ha d'unir amb el node on el membre superior de l'estructura d'impacte lateral s'uneix amb el Cercol Principal (Main Hoop).
- El membre inferior s'ha d'unir amb el node on el membre inferior de l'estructura d'impacte lateral s'uneix amb el Cercol Principal (Main Hoop).

#### 2.1.1.9 Aspectes tècnics

### Obertura de la cabina (Cockpit)

S'utilitza una plantilla com la de la Figura 2.11 per definir l'espai que hi ha d'haver en l'habitatge del pilot vist en planta.

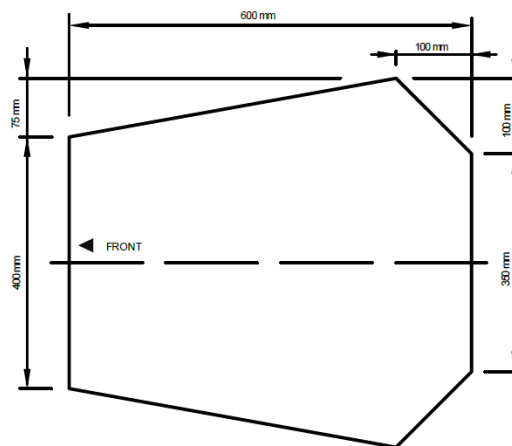


Figura 2.11. Plantilla de l'obertura del Cockpit vista en planta. FSAE Rules 2021.

Aquesta plantilla s'entén que està compresa entre el Cercol Frontal (Front Hoop) i el Cercol Principal (Main Hoop).

### Secció transversal interna

## Disseny d'un xassís tubular

S'utilitza una plantilla com la de la Figura 2.12 per definir la secció transversal interna de la cabina (Cockpit).

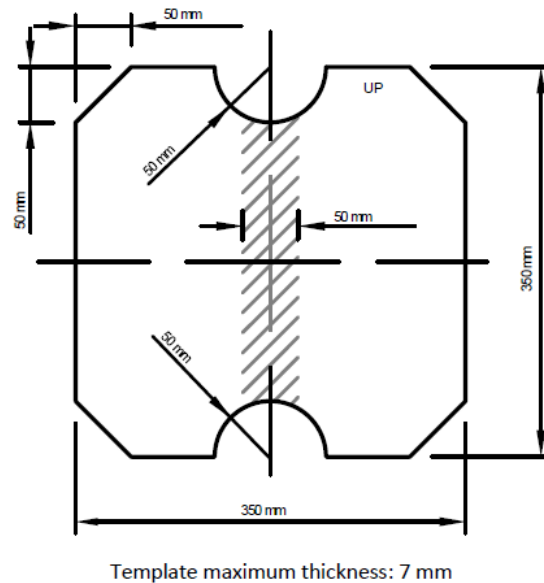


Figura 2.12. Plantilla de la secció transversal del Cockpit. FSAE Rules 2021.

### 2.1.1.10 Seguretat del pilot

El vehicle pot utilitzar diferents tipus de cinturons de 5, 6 o 7 punts d'ancoratge. La posició del pilot serà assentat a no més de  $30^\circ$  d'inclinació respecte la vertical (Upright Driving Position). Degut a aquesta condició només cal utilitzar 5 punts d'ancoratge.

#### Cinturó del maluc

Les corretges del cinturó han de passar pel voltant de la zona del maluc del pilot. Aquest cinturó ha de tenir 2 punts d'ancoratge que començaran a la part inferior del seient passant a través d'unes ranures. Esta prohibit que passi pels laterals del seient.

Tal i com s'ha definit abans la posició del pilot, aquest anirà en posició vertical i les corretges del cinturó han d'estar dins un rang d'entre  $45^\circ$  i  $65^\circ$  tal i com s'observa a la Figura 2.13:

## Disseny d'un xassís tubular

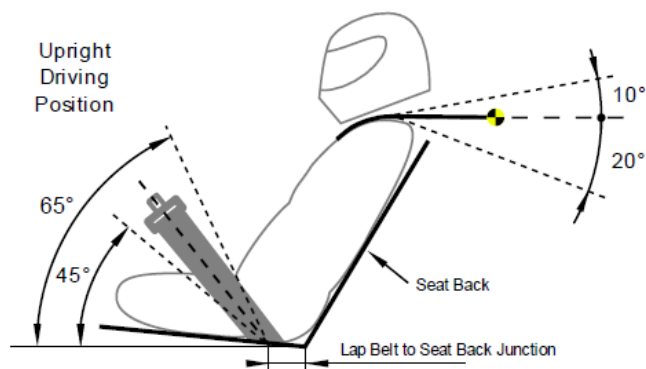


Figura 2.13. Requisit de posició del cinturó del maluc. FSAE Rules 2021.

### Arnés de l'espatlla

Es tracta d'un arnés que va ancorat a un perfil fabricat d'una sola peça i unit al Cèrcol Principal (Main Hoop). Estarà compost per dues corretges separades entre 178 mm i 229 mm entre elles tal i com s'observa a la figura x.

A més a més, aquestes corretges han d'estar compreses entre  $10^\circ$  superiors a l'horitzontal i  $20^\circ$  inferiors a l'horitzontal tal i com s'observa a la Figura 2.14.

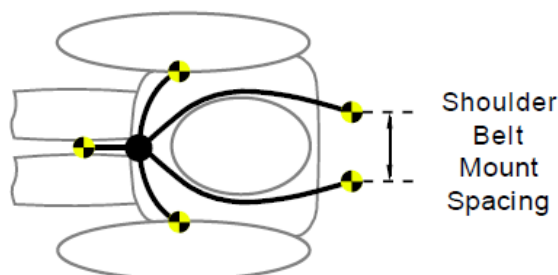


Figura 2.14. Requisit de separació de les corretges de l'arnés de l'espatlla. FSAE Rules 2021.

### Muntura antilliscant

Aquest element és el que impedeix que el pilot llisqui cap a la zona del volant i els pedals de manera que fixa la seva posició al seient. Aquesta muntura ha d'anar ancorada en línia amb la unió entre el pit i la zona del maluc. Si aquesta linealitat no es garanteix, no es pot superar un angle major a  $20^\circ$  respecte la unió del pit amb la zona del maluc tal i com s'observa a la Figura 2.15.

## Disseny d'un xassís tubular

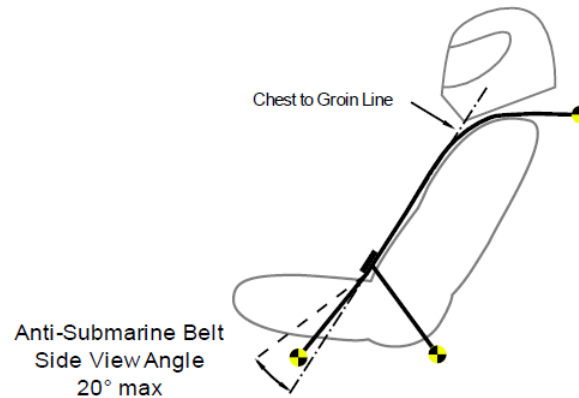


Figura 2.15. Requisit de posició de la muntura antilliscant. FSAE Rules 2021.

### Recolzament del cap

S'ha de garantir un recolzament del cap del pilot per la seva seguretat. Tal i com s'havia indicat a l'**apartat anterior** la distància respecte la vertical no ha de superar els 25 mm entre el casc i el recolzament del cap. La vulneració d'aquestes condicions podria suposar un gran perill pel pilot.

Aquest recolzament estarà compost per un encoixinat segons la normativa FIA Technical List No 17. Tal i com diu aquesta normativa aquest material ha de tenir un mínim de 38 mm d'espessor i una amplada mínima de 15 cm.

### Altres proteccions

Un altre dels requisits és que qualsevol part del cercol principal (Main Hoop), tirant i suports inclosos, que pugui impactar amb el casc del pilot, han d'anar recoberts per un material d'absorció d'energia especificat a la normativa FIA 8857-2001. Tal i com diu aquesta normativa aquest material ha de tenir un mínim de 12 mm d'espessor.

## 2.2 ANNEX 2: CÀLCULS

### 2.2.1 Dimensionat de les barres tubulars

En aquest annex s'estudiaran dos possibles proveïdors de tubs d'acer per a la construcció del xassís i es decidirà quina és la millor entre les dues opcions. Aquests dos proveïdors són: SSAB i Proformance metals.

#### SSAB

La primera alternativa és SSAB, una empresa molt especialitzada en acers d'alta resistència que té la seva seu central a Estocolm, Suècia.

Els tub que s'ha decidit utilitzar per aquest projecte és el model Docol Tube 420LA. Es tracta d'un tub de precisió de baix aliatge i alta resistència. L'empresa l'ofereix en forma circular, rectangular, quadrada i en altres formes especials. Aquests presenta diferents opcions de superfície i revestiment com el laminat en fred, galvanitzat, galvano-recuit i galfan.

Les característiques i propietats d'aquest tub són ideals per al sector de l'automoció fent èmfasis en la durabilitat, la conformabilitat i la soldabilitat.

El rang de dimensions d'aquest model ve definit per la Taula 2.3:

*Taula 2.3. Taula de rang de dimensions del model Docol Tube 420LA. Catàleg de tubs de precisió SSAB.*

#### Dimension Range

Docol Tube 420LA is available at circular, square and rectangular shapes.

Circular	16 - 88.9 mm
Square	19x19 - 60x60 mm
Rectangular	20x15 - 100x40 mm
Wall thickness	1.0 - 3.0 mm
Mill length	6000 mm

Other shapes, sizes and lengths are available upon request.

Els tubs principals de l'estructura del xassís seran de secció circular i tal i com mostra la taula es disposa de fins a 88,9 mm de diàmetre i fins a 3 mm d'espessor. A més a més, la longitud de matèria prima és de 6000 mm.

Pel que fa a les propietats mecàniques del tub complirà amb els requisits imposats per la FSAE. Els valors del límit elàstic i de la tensió de ruptura es mostren a la Taula 2.4:



## Disseny d'un xassís tubular

*Taula 2.4. Taula de propietats mecàniques del model Docol Tube 420LA. Catàleg de tubs de precisió SSAB.*

## Mechanical Properties

Grade	Yield strength $R_{p0.2}$ (min MPa)	Tensile strength $R_m$ (min MPa)	Elongation A (min %)
CR420LA	420	490	12
HR420LA	420	490	12

Mechanical properties meet the requirements of EN 10305 (+CR2).

Si es comparen aquests valors amb els imposats per la FSAE són superior i presenten un marge de seguretat. A la Taula 2.5 s'observa una comparació entre ells:

*Taula 2.5. Taula de comparació de propietats mecàniques. Font pròpia.*

	Propietats FSAE	Propietats Docol Tube 420LA
<b>Límit elàstic (<math>S_y</math>)</b>	305 Mpa	420 Mpa
<b>Tensió ruptura (<math>S_u</math>)</b>	365 Mpa	490 Mpa

En relació amb la composició química, aquest model està compost per Carboni (C), Silici (Si), Manganès (Mn), Fòsfor (P), Sofre (S) i Alumini (Al) en les proporcions que es mostren a la Taula 2.6:

*Taula 2.6. Taula de composició química del model Docol Tube 420LA. Catàleg de tubs de precisió SSAB.*

## Chemical Composition

Grade	C (max %)	Si (max %)	Mn (max %)	P (max %)	S (max %)	Al <sup>tot1</sup> (min %)
CR420LA	0.16	0.55	1.70	0.025	0.025	0.020
HR420LA	0.16	0.55	1.70	0.025	0.025	0.020

Chemical composition meets the requirements of EN 10305.

If other chemical elements such as Ti, Nb or V are used, the content of these elements are reported in the inspection document.

1) This requirement is not applicable provided the steel contains a sufficient amount of other nitrogen binding elements, such as Ti, Nb or V.

## Proformance metals

La segona alternativa és Proformance metals. Els tubs que s'han decidit estudiar en aquest projecte són del material 25CrMo4 de l'empresa Proformance metals situada al Regne Unit i especialitzada en el subministrament d'aquest tipus de tubs de competició.

El 25CrMo4 és un acer aliat d'alta resistència que conté Crom (Cr) i Molibdè (Mo). Les característiques i propietats d'aquest tub són ideals per al sector de l'automoció fent èmfasis en la durabilitat, la conformabilitat i la soldabilitat.

L'empresa ofereix diverses seccions de tubs però per a l'abast d'aquest projecte només es tindran en compte aquells tubs de secció circular.



## Disseny d'un xassís tubular

Els tubs principals de l'estructura del xassís seran de secció circular i tal i com mostra la taula es disposa de fins a 50 mm de diàmetre i fins a 3 mm d'espessor. A més a més, la longitud de matèria prima és de 6000 mm.

Pel que fa a les propietats mecàniques del tub complirà amb els requisits imposats per la FSAE. Els valors del límit elàstic i de la tensió de ruptura es mostren a la Taula 2.7:

*Taula 2.7. Taula de propietats mecàniques del tub de 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.*

Properties	Typical Minimum Value (Stress relieved)	Typical Minimum Value (Normalised)	Typical Minimum Value (Heat Treated)
Tensile	740 Mpa	N/A	1100 Mpa
Yield	590 Mpa	500 Mpa	N/A
Elongation	15%	25%	N/A

De la taula anterior els valors de límit elàstic i de tensió de ruptura utilitzats són els de la primera columna referents a aquells valors quan el material està alliberat de tensions.

Si es comparen aquests valors amb els imposats per la FSAE són superior i presenten un marge de seguretat. A la Taula 2.8 s'observa una comparació entre ells:

*Taula 2.8. Taula de comparació de propietats mecàniques. Font pròpia.*

	Propietats FSAE	Propietats 25CrMo4
<b>Límit elàstic (Sy)</b>	305 Mpa	590 Mpa
<b>Tensió ruptura (Su)</b>	365 Mpa	740 Mpa

En relació amb la composició química, aquest model està compost per Carboni (C), Silici (Si), Manganès (Mn), Fòsfor (P), Sofre (S), Crom (Cr) i Molibdè (Mo) en les proporcions que es mostren a la Taula 2.9:

*Taula 2.9. Taula de composició química del 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.*

1.7218 25CrMo4	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
min.	0,22		0,6			0,9	0,15		
max.	0,29	0,4	0,9	0,035	0,04	1,2	0,30		



### Seccions de les barres tubulars

Seguint amb l'estudi de les dos possibles alternatives, en aquest apartat es determinen les seccions que haurien de tenir els diferents tubs que formaran el xassís.

Tal i com s'ha definit anteriorment a la normativa de la FSAE, els tubs que s'utilitzaran han de complir uns requisits mínims de Moment d'Inèrcia, Àrea de secció transversal, Diàmetre exterior i Espessor.

Les parts que formen l'estructura del xassís tenen associada una dimensió i aquesta a la vegada ha de complir amb els requisits mínims definits, tal i com s'observa a la Taula 2.10 i la Taula 2.11:

*Taula 2.10. Taula de classificació dels components segons les seves dimensions. FSAE Rules 2021.*

Application	Steel Tube Must Meet Size per <b>F.3.4:</b>
a. Front Bulkhead	Size B
b. Front Bulkhead Support	Size C
c. Front Hoop	Size A
d. Front Hoop Bracing	Size B
e. Side Impact Structure	Size B
f. Bent Upper Side Impact Member	Size D
g. Main Hoop	Size A
h. Main Hoop Bracing	Size B
i. Main Hoop Bracing Supports	Size C
j. Driver Restraint Harness Attachment	Size B
k. Shoulder Harness Mounting Bar	Size A
l. Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	Size C
m. Accumulator Protection Structure	Size B
n. Component Protection	Size C
o. Other Structural Tubing	Size C



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.11. Taula de requisits mínims de dimensió segons el tipus de tub. FSAE Rules 2021.

Tube	Minimum Area Moment of Inertia	Minimum Cross Sectional Area	Minimum Outside Diameter or Square Width	Minimum Wall Thickness
a. Size A	11320 mm <sup>4</sup>	173 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	2.0 mm
b. Size B	8509 mm <sup>4</sup>	114 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	1.2 mm
c. Size C	6695 mm <sup>4</sup>	91 mm <sup>2</sup>	25.0 mm	1.2 mm
d. Size D	18015 mm <sup>4</sup>	126 mm <sup>2</sup>	35.0 mm	1.2 mm

**Secció Circular**

Per a la secció dels tubs s'ha escollit una secció circular, per tant es tindran en compte les propietats associades a aquest tipus de secció. A la Figura 2.16 s'observa la secció circular amb els seus paràmetres principals:

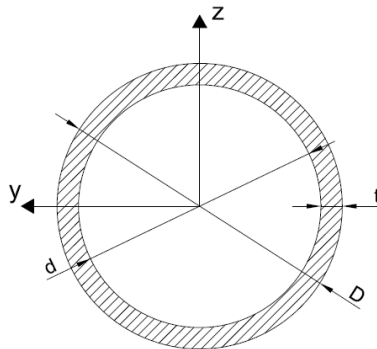


Figura 2.16. Secció circular. Font pròpia.

Les equacions associades a aquesta secció i que seran utilitzades per al dimensionament de les barres tubulars del xassís són les següents:

- Àrea de secció transversal (Eq. 2.1):

$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2) \quad [mm^2]$$

(Eq. 2.1)

- Moment d'Inèrcia (Eq. 2.2):

## Disseny d'un xassís tubular

$$I_y = I_z = \frac{\pi}{64} (D^4 - d^4) \quad [mm^4]$$

(Eq. 2.2)

- Espessor (Eq. 2.3):

$$t = \frac{D - d}{2} \quad [mm]$$

(Eq. 2.3)

A partir d'aquest moment es procedirà a definir les dimensions inicials dels tubs segons el component de l'estructura que conformin i es verificarà que compleixin amb els requisits de la FSAE. És important destacar que aquestes dimensions que tindran els tubs són les inicials, és a dir, de partida per dissenyar l'estructura. Posteriorment es faran les simulacions pertinents per comprovar si les dimensions escollides resistiran els esforços als que es sotmetrà el vehicle.

Per a cada dimensió A,B,C i D s'han definit el diàmetre exterior, diàmetre interior i espessor que compleixin amb el requisits de l'Àrea de secció transversal mínima i el Moment d'Inèrcia mínim.

Un altre factor important que s'ha tingut en compte a l'hora de definir els diàmetres i espessor és la massa de manera que s'ha elegit aquell tub que era més lleuger escollint aquell de diàmetre immediatament superior si era necessari. Durant el procés de dimensionament s'ha imposat l'elecció d'espessors mínims i diàmetres majors per aconseguir la menor massa dels tubs possible.

### Tub SSAB

Els valors de diàmetres, espessor i massa per unitat de longitud s'han obtingut del catàleg de tubs de precisió de SSAB i en concret de la Taula 2.12:

## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.12. Taula de dimensions dels tubs circulars del model Docol Tube 420LA. Catàleg de tubs de precisió SSAB.

## Dimensions

## Circular

Diameter	1.0 mm (kg/m)	1.25 mm (kg/m)	1.5 mm (kg/m)	2.0 mm (kg/m)	2.5 mm (kg/m)	3.0 mm (kg/m)
16 mm	0.370	0.455	0.536			
18 mm	0.419	0.516	0.610			
19 mm	0.444	0.547	0.647			
20 mm	0.469	0.578	0.684			
22 mm	0.518	0.640	0.758			
25 mm	0.592	0.732	0.869	1.13		
28 mm	0.666	0.825	0.980	1.28	1.57	1.85
30 mm	0.715	0.886	1.05	1.38	1.70	2.00
32 mm	0.765	0.948	1.13	1.48	1.82	2.15
35 mm	0.838	1.04	1.24	1.63	2.00	2.37
38 mm	0.912	1.13	1.35	1.78	2.19	2.59
41 mm	0.990	1.22	1.46	1.92	2.37	2.81
44.5 mm	1.07	1.33	1.59	2.10	2.59	3.07
48 mm		1.44	1.72	2.27	2.81	3.33
50 mm			1.79	2.37	2.93	3.48
55 mm			1.98	2.61	3.24	3.85
57 mm			2.05	2.71	3.36	4.00
60 mm			2.16	2.86	3.55	4.22
63.5 mm			2.29	3.03	3.76	4.48
76.1 mm			2.76	3.65	4.54	5.41
88.9 mm				4.29	5.33	6.36

En resum, partint dels requisits per a cada dimensió proposats per la FSAE, si es comparen amb els definits pel mètode mencionat els resultats és mostren a les taules següents (Taula 2.13, Taula 2.14, Taula 2.15 i Taula 2.16):

- Diàmetre exterior (mm):

Taula 2.13. Taula de comparació de diàmetres exteriors. Font pròpia.

	FSAE	DEFINITS
Size	D (mm)	D (mm)
A	25	<b>30</b>
B	25	<b>28</b>
C	25	<b>28</b>
D	35	<b>35</b>

- Espessor (mm):



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.14. Taula de comparació d'espessors. Font pròpia.

	<b>FSAE</b>	<b>DEFINITS</b>
<b>Size</b>	<b>t (mm)</b>	<b>t (mm)</b>
A	2	2
B	1,2	1,5
C	1,2	1,25
D	1,2	1,25

- Àrea de secció transversal (mm<sup>2</sup>):

Taula 2.15. Taula de comparació d'àrees de secció transversal. Font pròpia.

	<b>FSAE</b>	<b>DEFINITS</b>
<b>Size</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>
A	173	175,9
B	114	124,9
C	91	105
D	126	132,5

- Moment d'Inèrcia (mm<sup>4</sup>):

Taula 2.16. Taula de comparació de moments d'inèrcia. Font pròpia.

	<b>FSAE</b>	<b>DEFINITS</b>
<b>Size</b>	<b>I (mm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (mm<sup>4</sup>)</b>
A	11320	17329,0
B	8509	10997,1
C	6695	9416,5
D	18015	18896,7

Per últim, a la següent taula (Taula 2.17) es resumeix quin diàmetre exterior, espessor i massa per unitat de longitud correspondrà a cada component de l'estructura del xassís:



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.17. Taula resum de les dimensions inicials de cada component de l'estructura del xassís. Font pròpia.

Component de l'estructura	Size	D(mm)	t(mm)	(kg/m)
Front Bulkhead	B	28	1,5	0,98
Front Bulkhead support	C	28	1,25	0,825
Front Hoop	A	30	2	1,38
Front Hoop Bracing	B	28	1,5	0,98
Side Impact Structure	B	28	1,5	0,98
Bent Upper Side Impact Member	D	35	1,25	1,04
Main Hoop	A	30	2	1,38
Main Hoop Bracing	B	28	1,5	0,98
Main Hoop Bracing Supports	C	28	1,25	0,825
Driver restraint Harness Attachment	B	28	1,5	0,98
Shoulder Harness Mounting Bar	A	30	2	1,38
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	C	28	1,25	0,825
Accumulator Protection Structure	B	28	1,5	0,98
Component Protection	C	28	1,25	0,825
Other Structural Tubing	C	28	1,25	0,825

### Tub Performance metals

Els valors de diàmetres, espessor i massa per unitat de longitud s'han obtingut del catàleg de tubs de 25CrMo4 de Proformance metals i en concret de la Taula 2.18:

Taula 2.18. Taula de dimensions dels tubs circulars de 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.

25mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
	2.5mm
28mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
30mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
	2.5mm
	3.0mm
32mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
	2.5mm
35mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
40mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm



## Disseny d'un xassís tubular

Els resultats dels càlculs realitzats durant el procés de dimensionament es mostren a la següent taula (Taula 2.19). En aquesta taula apareixen els valors de diàmetre exterior (D), espessor (t), diàmetre interior (d), àrea de secció transversal (A) i moment d'inèrcia (I).

*Taula 2.19. Taula de resultats dels paràmetres calculats de cada component de l'estructura del xassís. Font pròpia.*

Component de l'estructura	D(mm)	t(mm)	d(mm)	A(mm <sup>2</sup> )	I(mm <sup>4</sup> )
Front Bulkhead	28	1,5	25	124,9	10997,1
Front Bulkhead support	28	1,5	25	124,9	10997,1
Front Hoop	30	2	26	175,9	17329,0
Front Hoop Bracing	28	1,5	25	124,9	10997,1
Side Impact Structure	28	1,5	25	124,9	10997,1
Bent Upper Side Impact Member	35	1,5	32	157,9	22189,9
Main Hoop	30	2	26	175,9	17329,0
Main Hoop Bracing	28	1,5	25	124,9	10997,1
Main Hoop Bracing Supports	28	1,5	25	124,9	10997,1
Driver restraint Harness Attachment	28	1,5	25	124,9	10997,1
Shoulder Harness Mounting Bar	30	2	26	175,9	17329,0
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	28	1,5	25	124,9	10997,1
Accumulator Protection Structure	28	1,5	25	124,9	10997,1
Component Protection	28	1,5	25	124,9	10997,1
Other Structural Tubing	28	1,5	25	124,9	10997,1

En resum, partint dels requisits per a cada dimensió proposats per la FSAE, es comparen amb els definits pel mètode mencionat els resultats és mostren a les taules següents (Taula 2.20, Taula 2.21, Taula 2.22 i Taula 2.23):

- Diàmetre exterior (mm):

*Taula 2.20. Taula de comparació de diàmetres exteriors. Font pròpia.*

	FSAE	DEFINITS
Size	D (mm)	D (mm)
A	25	<b>30</b>
B	25	<b>28</b>
C	25	<b>28</b>
D	35	<b>35</b>

- Espessor (mm):

## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.21. Taula de comparació d'espessors. Font pròpia.

	<b>FSAE</b>	<b>DEFINITS</b>
<b>Size</b>	<b>t (mm)</b>	<b>t (mm)</b>
A	2	2
B	1,2	1,5
C	1,2	1,5
D	1,2	1,5

- Àrea de secció transversal (mm<sup>2</sup>):

Taula 2.22. Taula de comparació d'àrees de secció transversal. Font pròpia.

	<b>FSAE</b>	<b>DEFINITS</b>
<b>Size</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>A (mm<sup>2</sup>)</b>
A	173	175,9
B	114	124,9
C	91	124,9
D	126	157,9

- Moment d'Inèrcia (mm<sup>4</sup>):

Taula 2.23. Taula de comparació de moments d'inèrcia. Font pròpia.

	<b>FSAE</b>	<b>DEFINITS</b>
<b>Size</b>	<b>I (mm<sup>4</sup>)</b>	<b>I (mm<sup>4</sup>)</b>
A	11320	17329,0
B	8509	10997,1
C	6695	10997,1
D	18015	22189,9

Per últim, a la següent taula (Taula 2.24) es resumeix quin diàmetre exterior, espessor i massa per unitat de longitud correspondrà a cada component de l'estructura del xassís:



Taula 2.24. Taula resum de les dimensions inicials de cada component de l'estructura del xassís. Font pròpia.

Component de l'estructura	Size	D(mm)	t(mm)
Front Bulkhead	B	28	1,5
Front Bulkhead support	C	28	1,5
Front Hoop	A	30	2
Front Hoop Bracing	B	28	1,5
Side Impact Structure	B	28	1,5
Bent Upper Side Impact Member	D	35	1,5
Main Hoop	A	30	2
Main Hoop Bracing	B	28	1,5
Main Hoop Bracing Supports	C	28	1,5
Driver restraint Harness Attachment	B	28	1,5
Shoulder Harness Mounting Bar	A	30	2
Shoulder Harness Mounting Bar Bracing	C	28	1,5
Accumulator Protection Structure	B	28	1,5
Component Protection	C	28	1,5
Other Structural Tubing	C	28	1,5

### 2.2.2 Càlculs de Resistència del xassís

S'ha definit un sistema de coordenades que es mostra a la Figura 2.17. A partir d'aquest sistema la normativa proposa un seguit d'hipòtesis de càrrega en les tres direccions següents:

- Longitudinal: eix x.
- Transversal: eix y.
- Vertical: eix z.



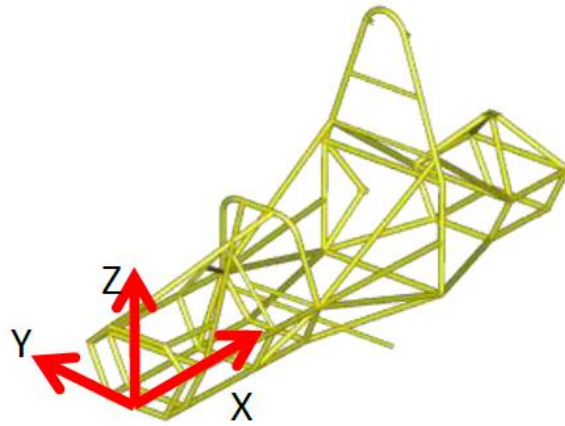


Figura 2.17. Sistema de coordenades utilitzat per als càlculs de resistència. FSAE rules 2017-2018 [10].

S'han tingut en compte els següents criteris de resistència:

- Criteri de tensió (Eq. 2.4):
  - Tensió màxima: Equivalent stress Von-Mises (ANSYS)
  - Coeficient de seguretat:  $C_s=1,1$ , es tindrà en compte un límit elàstic del 90% del límit elàstic del material.
  - Tensió admissible: Límit elàstic/ $C_s = 536,4$  MPa

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{adm}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{C_s}$$

$$\sigma_{max} = \sigma_{Von Mises}$$

$$\sigma_{Von Mises} \leq \sigma_e$$

$$\sigma_e = 590 \text{ MPa}$$

$$C_s = 1,1$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_e}{C_s} = \frac{590}{1,1} = 536,4 \text{ MPa}$$

(Eq. 2.4)

- Criteri de deflexió (Eq. 2.5):
  - Deflexió màxima: Total deformation (ANSYS)



## Disseny d'un xassís tubular

- Deflexió admissible: 25 mm

$$\delta_{max} \leq \delta_{adm}$$

$$\delta_{adm}(normativa) = 25 \text{ mm}$$

(Eq. 2.5)

Les simulacions s'han obtingut mitjançant el software ANSYS Mechanical amb el mètode dels elements finits.

Les unitats que s'utilitzaran en l'estudi són les següents: distància (en mm), força (en KN) i tensió (en MPa o N/mm<sup>2</sup>).

S'ha utilitzat un element tipus BEAM188 per al anàlisi de l'estructura. Aquest element té dos node i sis o set graus de llibertat en cadascun d'ells. Això inclou desplaçaments en x,y i z, i girs al voltant també de x, y i z. El setè grau de llibertat és el de torsió.

A continuació s'estudiarà la resistència de l'estructura a partir de 5 situacions de càrrega possibles segons la normativa de la FSAE:

**Situació 1**

- Main Hoop, Bracing and Bracing Supports.
- Càrrega aplicada:  $F_x=6 \text{ KN}$ ,  $F_y=5 \text{ KN}$ ,  $F_z=-9 \text{ KN}$ .
- Punt d'aplicació: Zona més alta del cercol principal (Main Hoop).
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls. Rotació permesa.
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa.

S'apliquen restriccions i càrregues (Figura 2.18):

## Disseny d'un xassís tubular

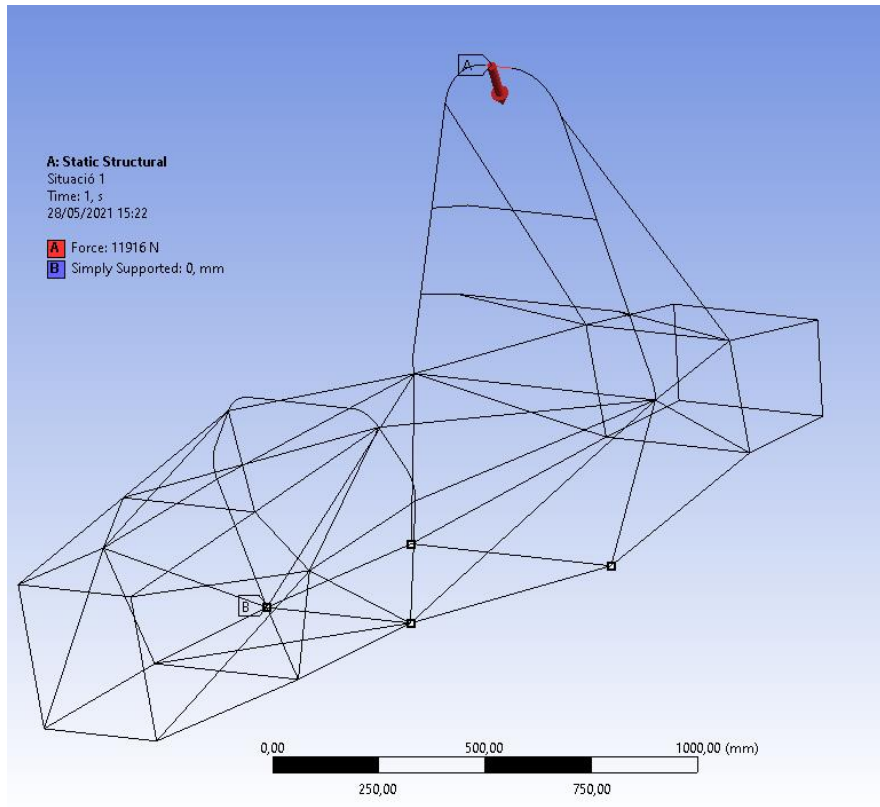


Figura 2.18. Càrregues i restriccions en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

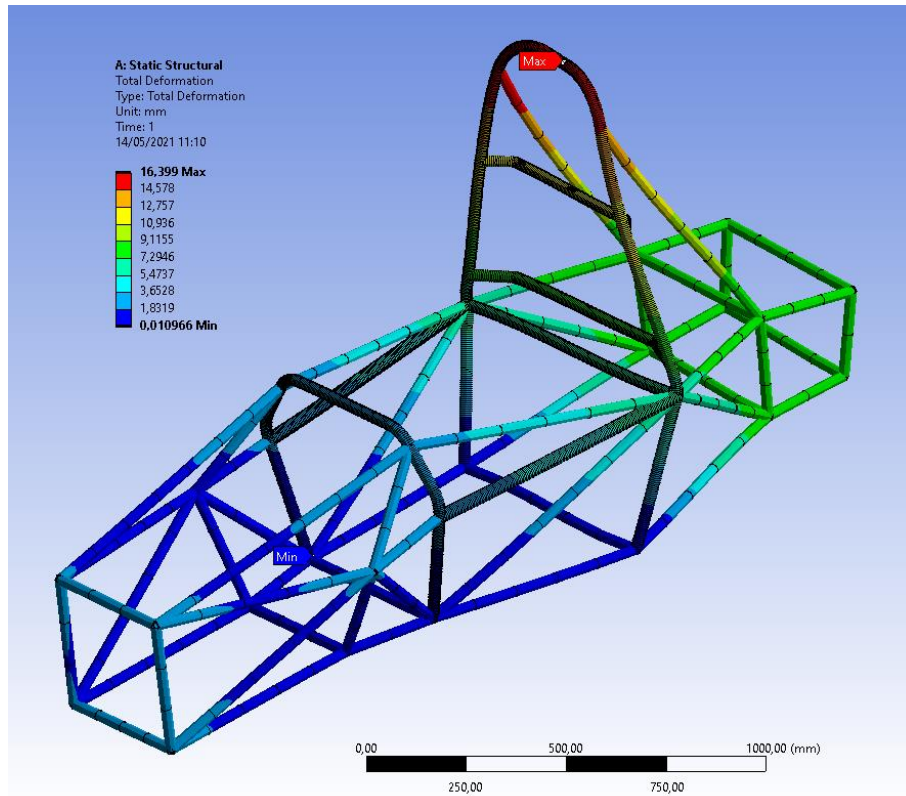


Figura 2.19. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

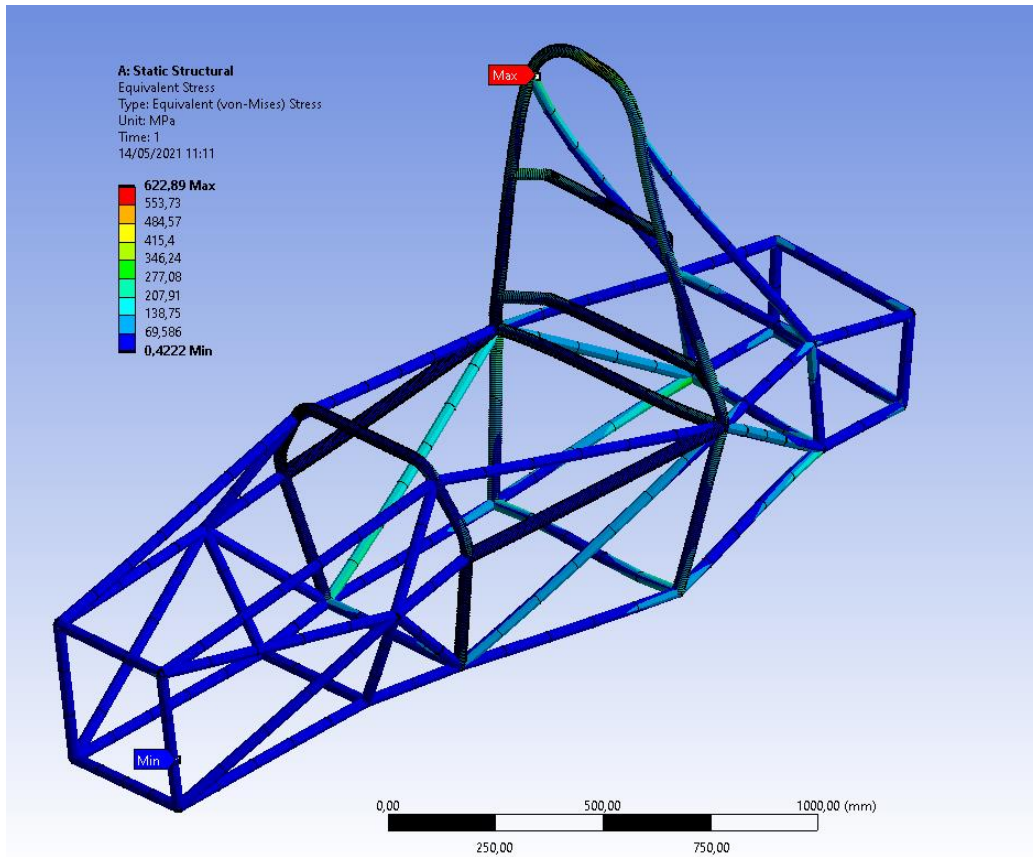


Figura 2.20. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Taula 2.25. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 1. Font pròpia.

	SITUACIÓ 1	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	<b>16,399 mm</b>
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	<b>622,89 MPa</b>

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 16,4 mm però no compleix el de tensió amb 622,9 MPa.

Es proposa augmentar l'espessor de la secció A de 2 a 2,5 mm.



## Disseny d'un xassís tubular

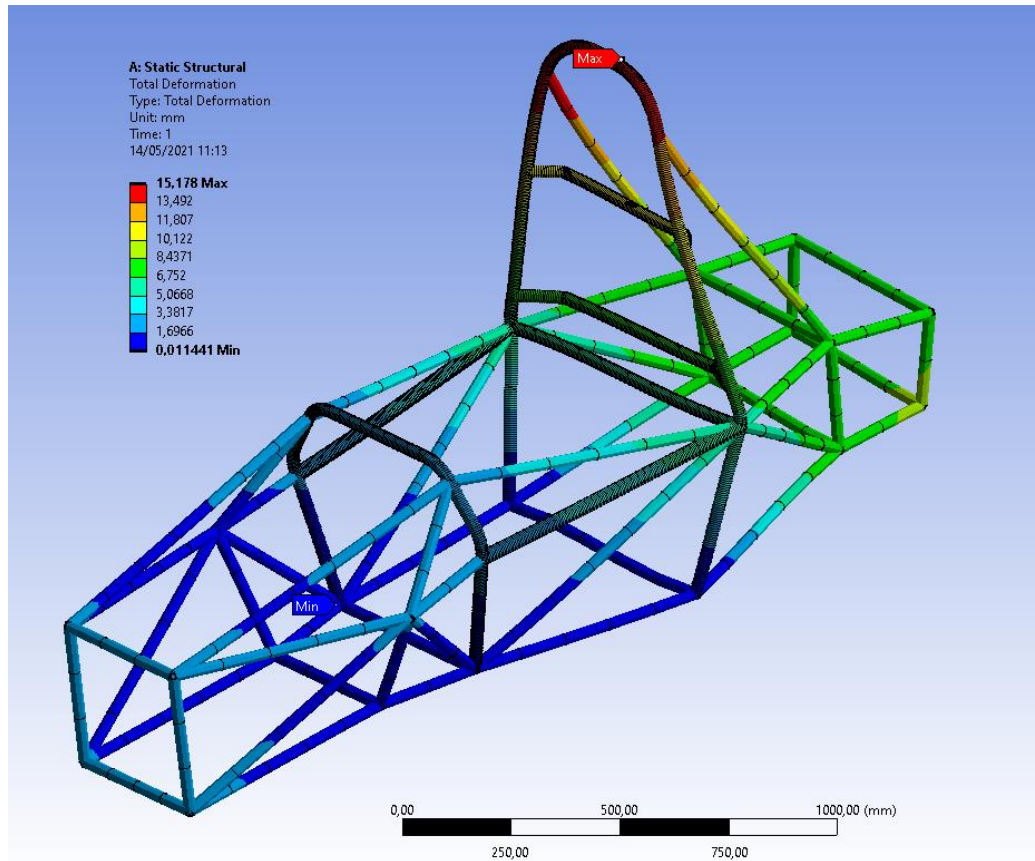


Figura 2.21. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

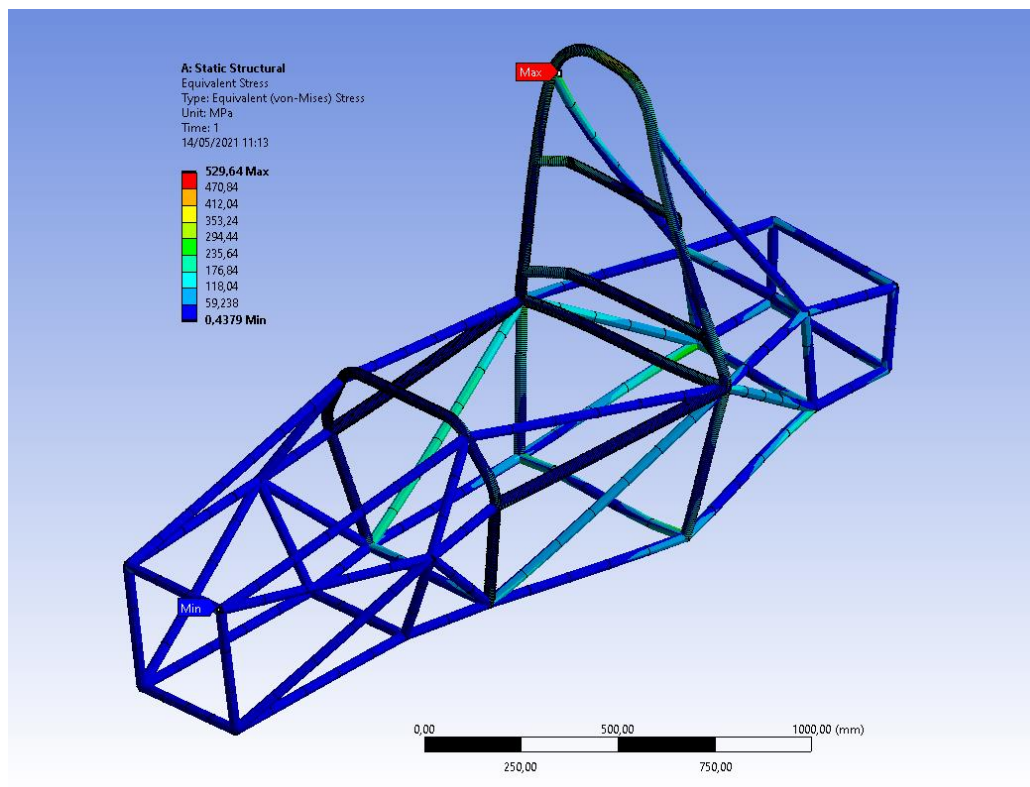


Figura 2.22. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 1. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Taula 2.26. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 1. Font pròpia.

	SITUACIÓ 1	
	Requisits FSAE	Resultats
Deflexió	25 mm	15,178 mm
Tensió	536,36 MPa	529,64 MPa

Ara es comproven de nou els resultats i ja es compleix el criteri de deflexió amb 15,2 mm i el de tensió amb 529,6 MPa.

### Situació 2

- Front Hoop
- Càrrega aplicada:  $F_x=6$  KN,  $F_y=5$  KN,  $F_z=-9$  KN.
- Punt d'aplicació: Zona més alta del cercol frontal (Front Hoop).
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls. Rotació permesa.
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa



## Disseny d'un xassís tubular

S'apliquen restriccions i càrregues (Figura 2.23):

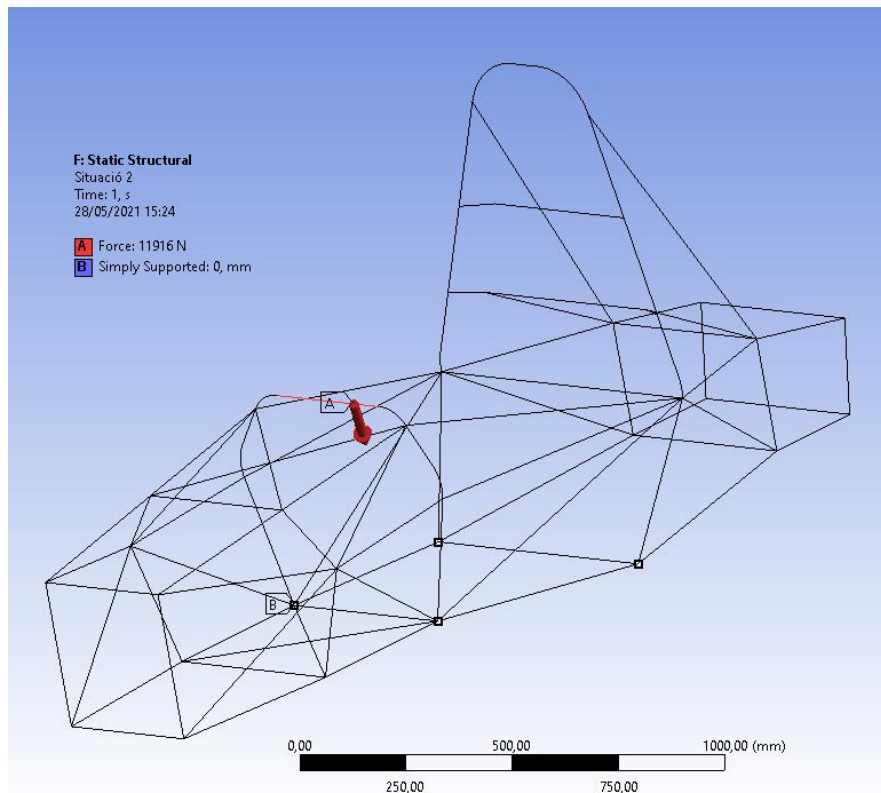


Figura 2.23. Càrregues i restriccions en la situació 2. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

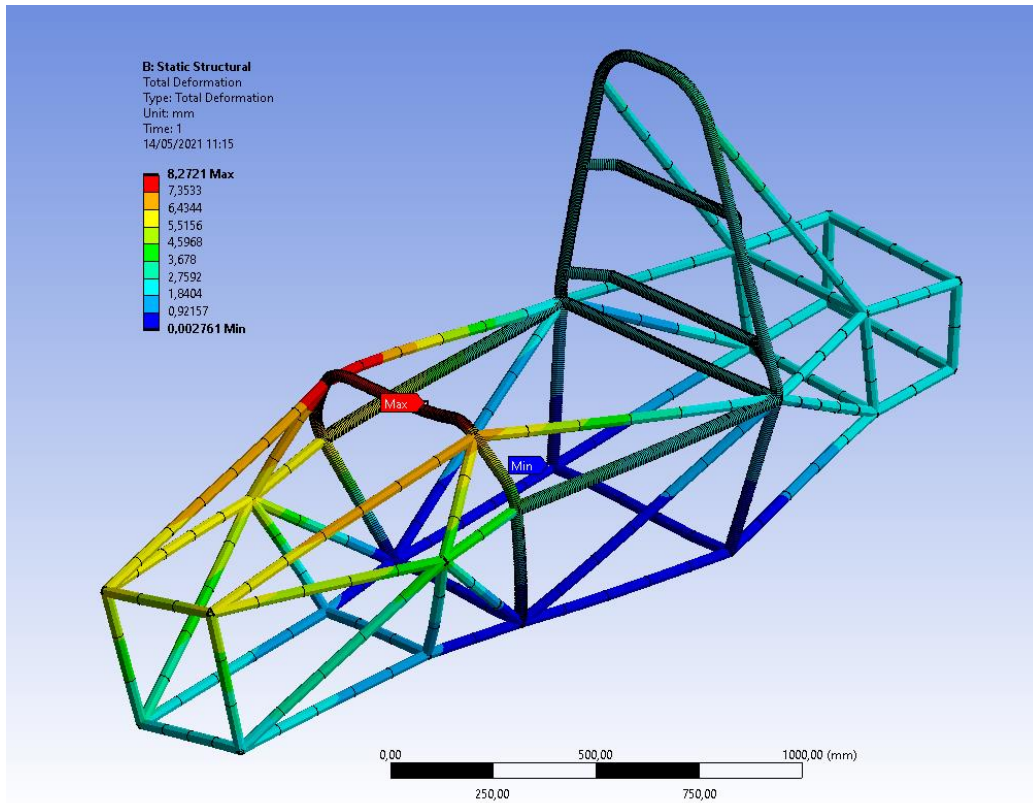


Figura 2.24. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 2. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

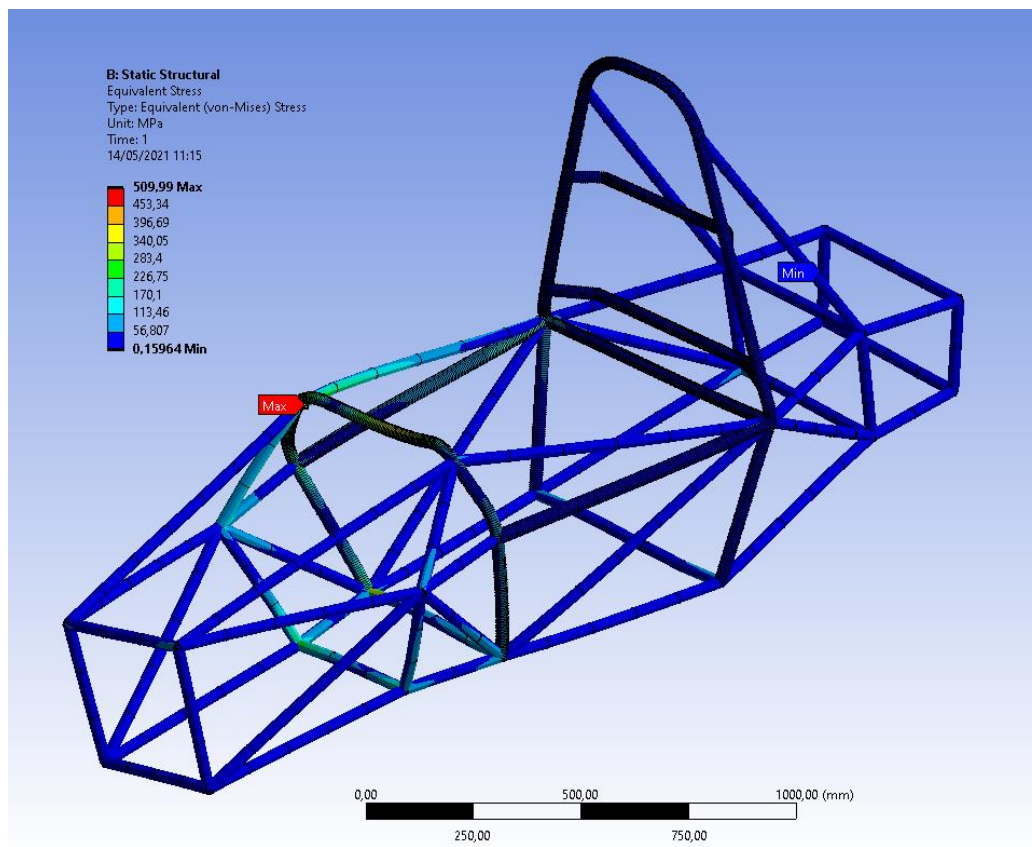


Figura 2.25. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 2. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Taula 2.27. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 2. Font pròpia.

	SITUACIÓ 2	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	8,272 mm
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	509,99 Mpa

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 8,3 mm i també compleix el de tensió amb 510 MPa.

### Situació 3

- Side Impact
- Càrrega aplicada:  $F_y=7$  KN.
- Punt d'aplicació: Zona més crítica de l'estructura d'impacte lateral.
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls. Rotació permesa.
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.



## Disseny d'un xassís tubular

- Tensió límit: 536,36 MPa

S'apliquen restriccions i càrregues (Figura 2.26):

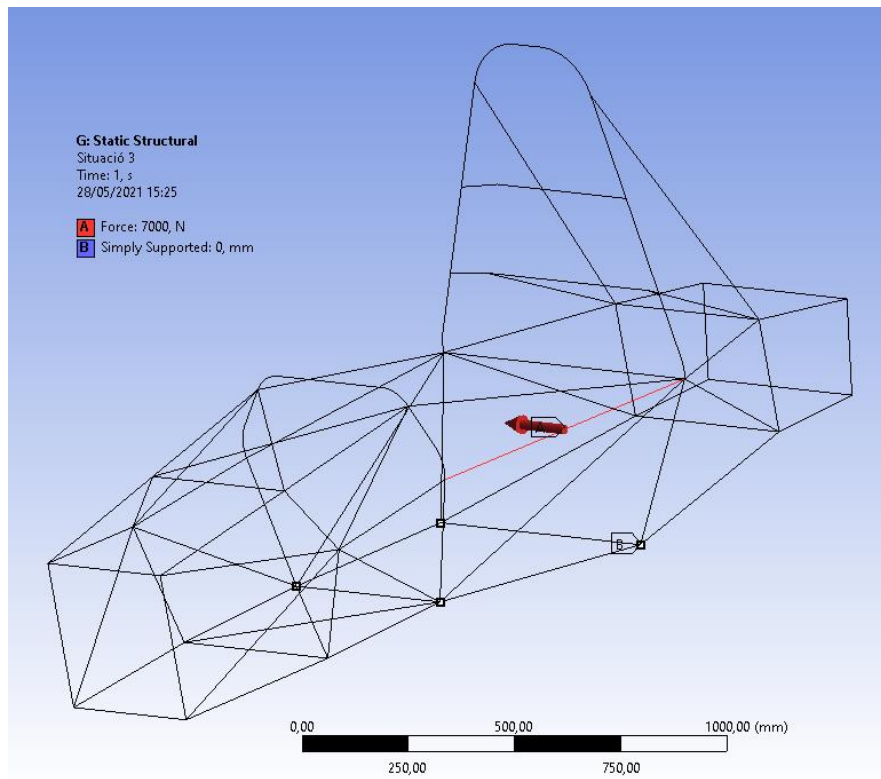


Figura 2.26. Càrregues i restriccions en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

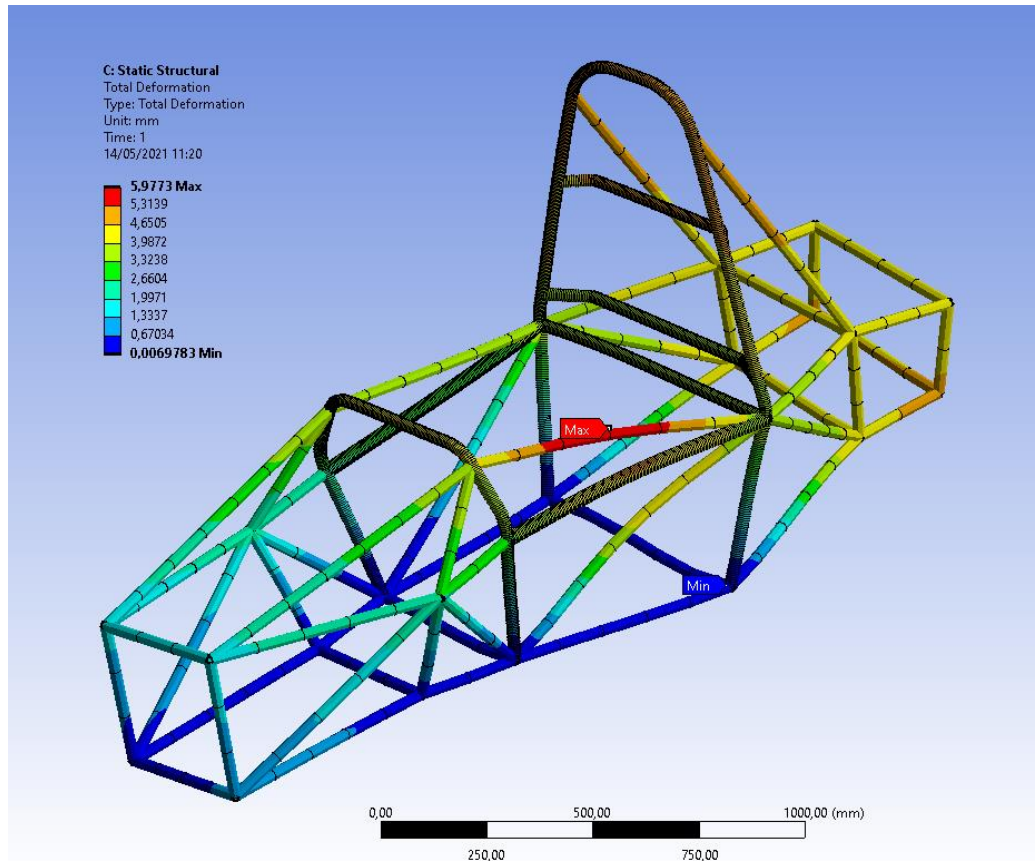


Figura 2.27. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

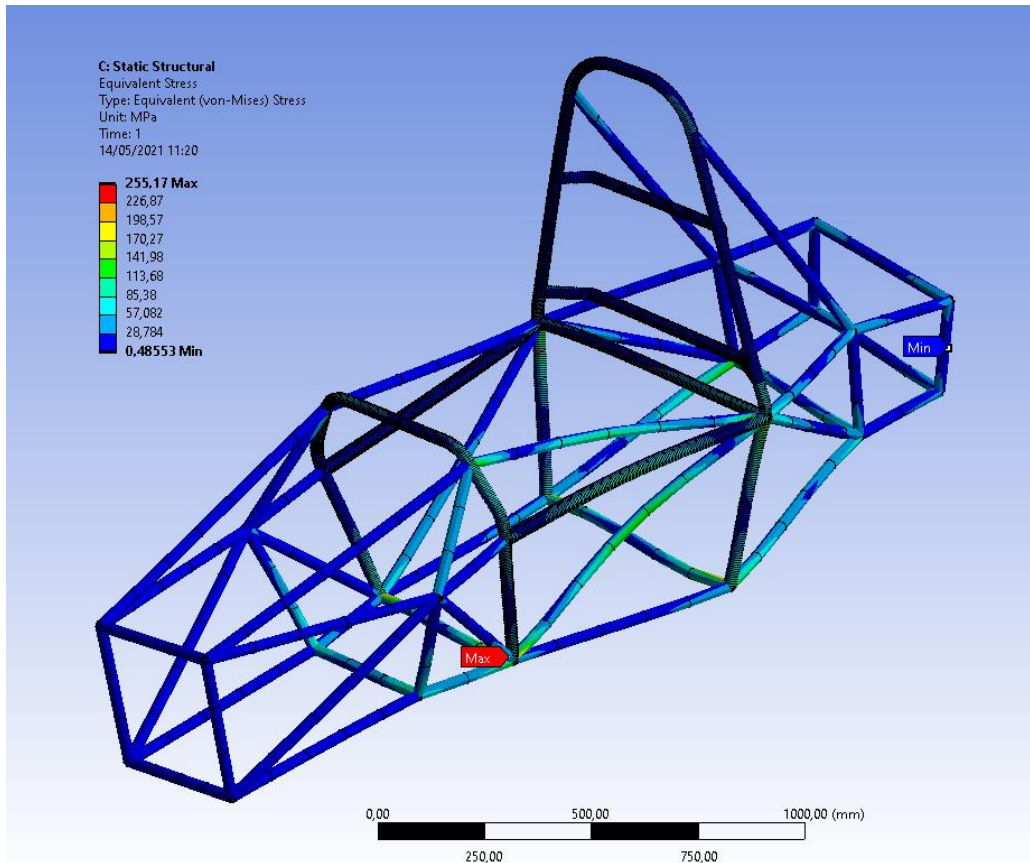


Figura 2.28. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Taula 2.28. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 3. Font pròpia.

	SITUACIÓ 3	
	Requisits FSAE	Resultats
Deflexió	25 mm	5,977 mm
Tensió	536,36 MPa	255,17 MPa

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 6 mm i també compleix el de tensió amb 255,2 MPa.

#### Situació 4

- Front Bulkhead and Bulkhead support.
- Càrrega aplicada:  $F_x=120$  KN.
- Punt d'aplicació: Vèrtexs de la mampara frontal (Front Bulkhead).
- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol principal (Main Hoop) nuls i de les unions entre el cercol principal (Main Hoop) i la barra de muntatge de l'arnés de seguretat (shoulder harness mounting bar).



## Disseny d'un xassís tubular

- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa

S'apliquen restriccions i càrregues (Figura 2.29):

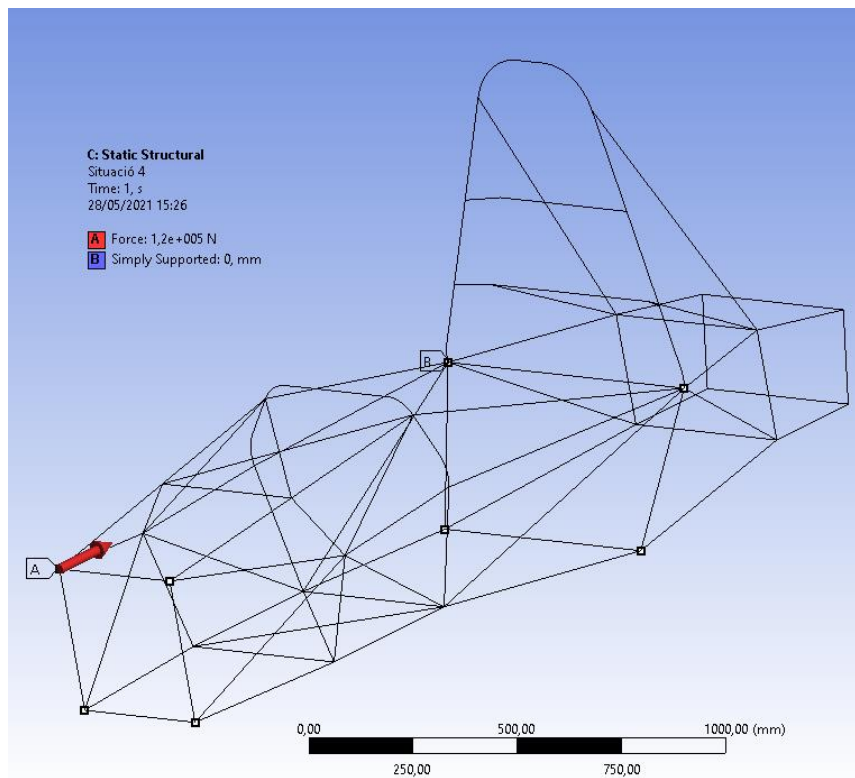


Figura 2.29. Càrregues i restriccions en la situació 4. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

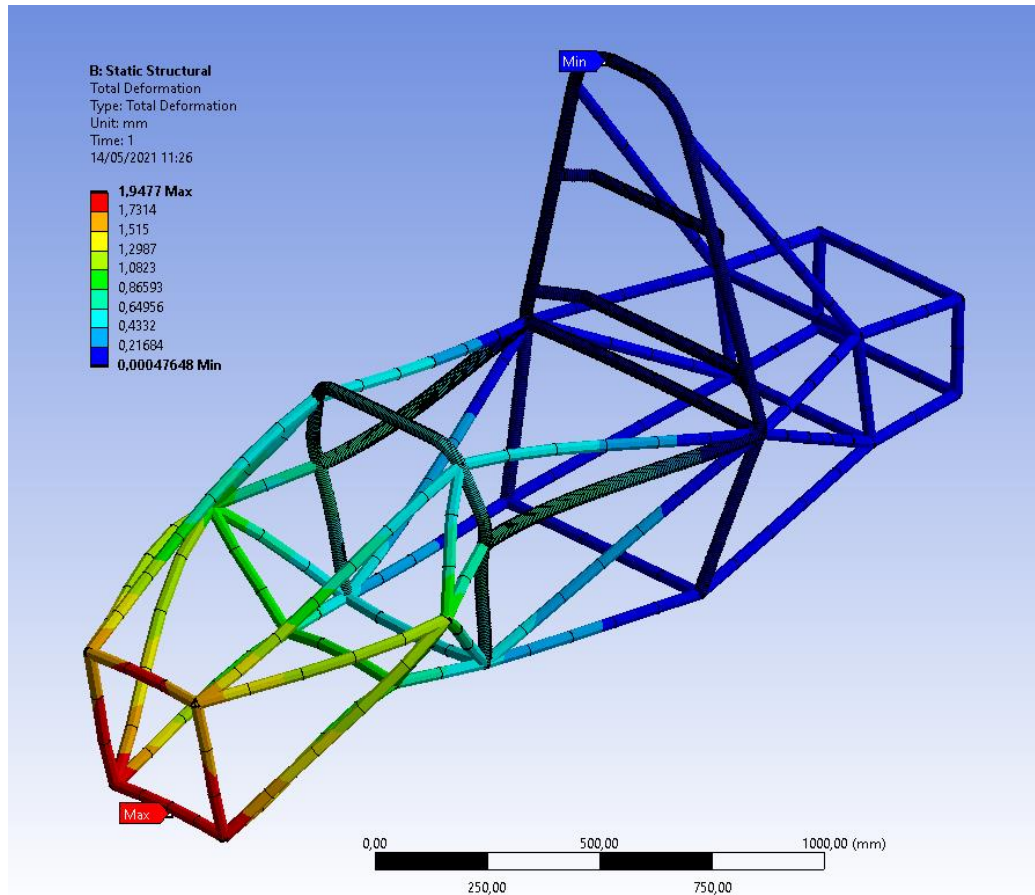


Figura 2.30. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 4. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



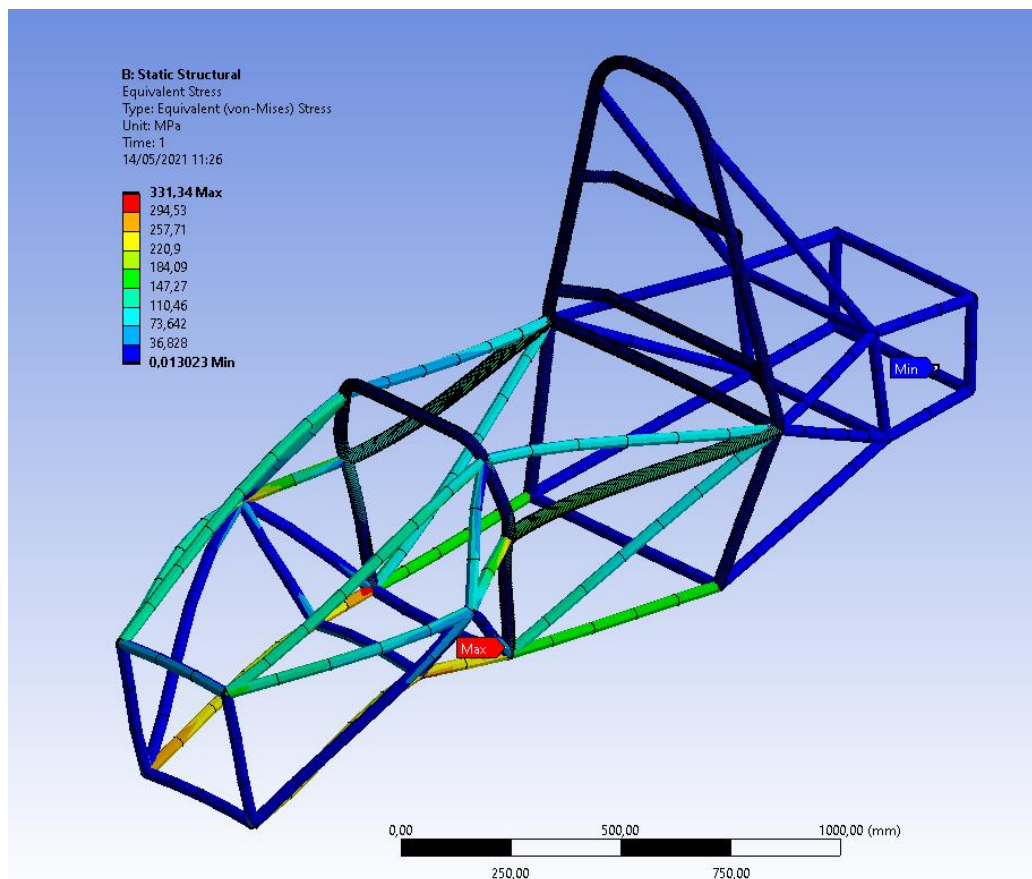


Figura 2.31. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 3. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Taula 2.29. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 4. Font pròpia.

	SITUACIÓ 4	
	Requisits FSAE	Resultats
<b>Deflexió</b>	25 mm	1,948 mm
<b>Tensió</b>	536,36 MPa	331,34 Mpa

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 1,9 mm i també compleix el de tensió amb 331,3 MPa.

### Situació 5

- Shoulder Harness Attachment
- Càrrega aplicada:  $F=7$  KN per node en direcció horitzontal.
- Punt d'aplicació: Anclatges dels cinturons a la barra de muntatge de l'arnés de seguretat (shoulder harness mounting bar).



## Disseny d'un xassís tubular

- Restriccions: Desplaçaments dels punts més baixos del cercol frontal (Front Hoop) i del cercol principal (Main Hoop) nuls.
- Màximà deflexió de l'estructura: 25 mm.
- Tensió límit: 536,36 MPa

S'apliquen restriccions i càrregues (Figura 2.32):

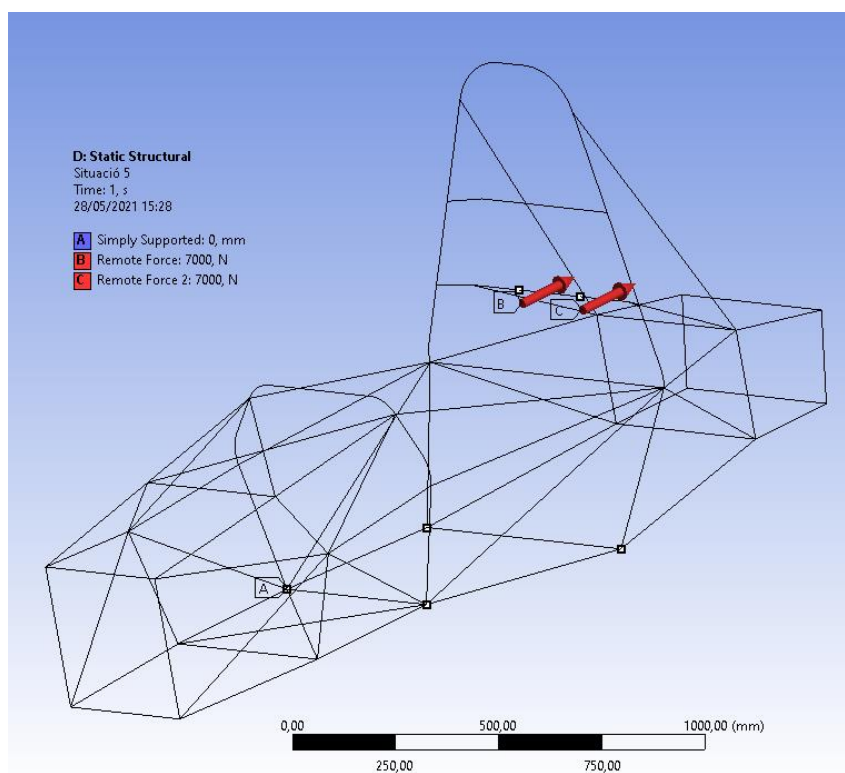
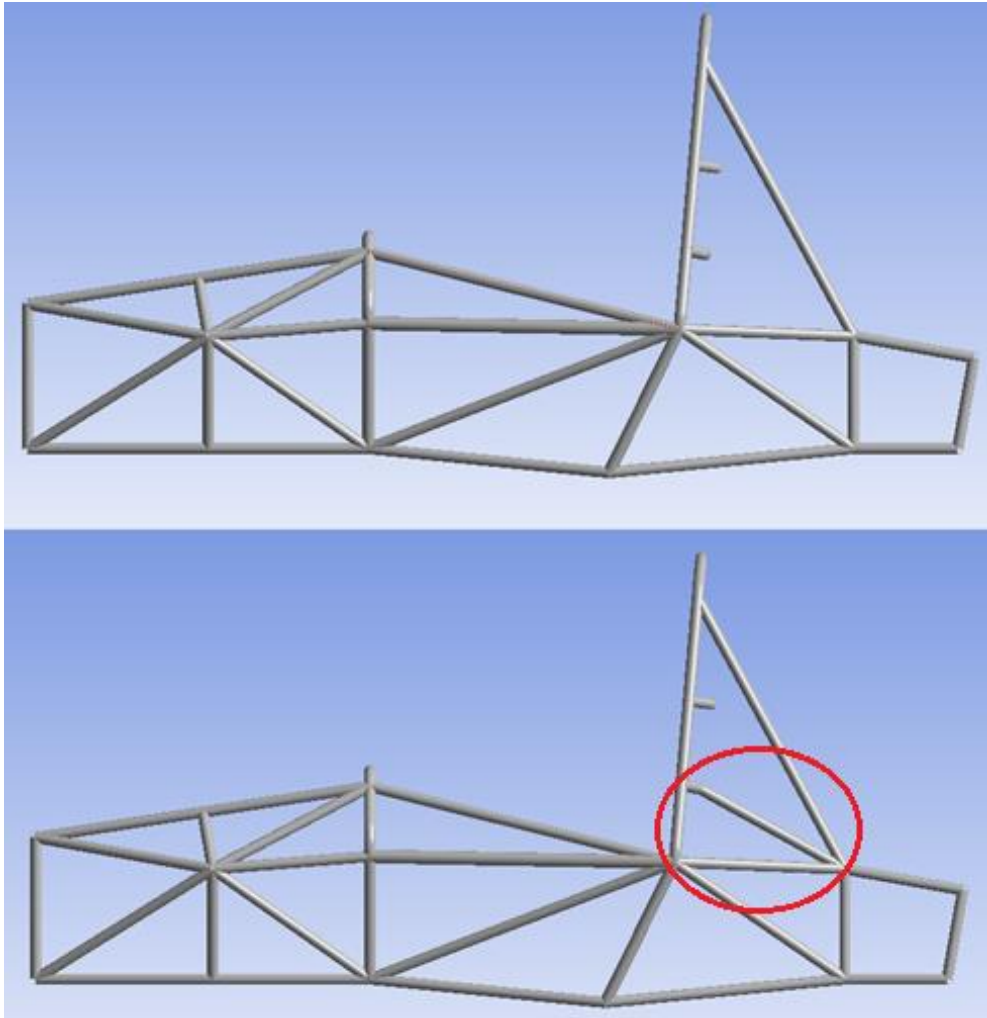


Figura 2.32. Càrregues i restriccions en la situació 5. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

S'han afegit 2 reforços per a la barra d'ancoratge de l'arnés de seguretat (Shoulder Harness mounting bar).

En conseqüència, s'ha modificat la posició de la barra d'ancoratge de l'arnés de seguretat (Shoulder Harness mounting bar). S'ha ubicat en una posició més elevada per tal que per sota dels reforços hi quedi espai per ubicar el controlador del motor (Figura 2.33).





*Figura 2.33. Incorporació dels reforços posteriors a la barra d'ancoratge de l'arnés.  
Font pròpia (ANSYS Mechanical).*

La direcció de la força és horitzontal, és a dir, a  $0^\circ$  respecte l'eix x. El motiu és perquè en aquesta direcció es produeixen els esforços majors a la barra d'ancoratge i és important analitzar les pitjors situacions possibles.

A partir d'aquestes modificacions, els resultats de les simulacions són els següents:

## Disseny d'un xassís tubular

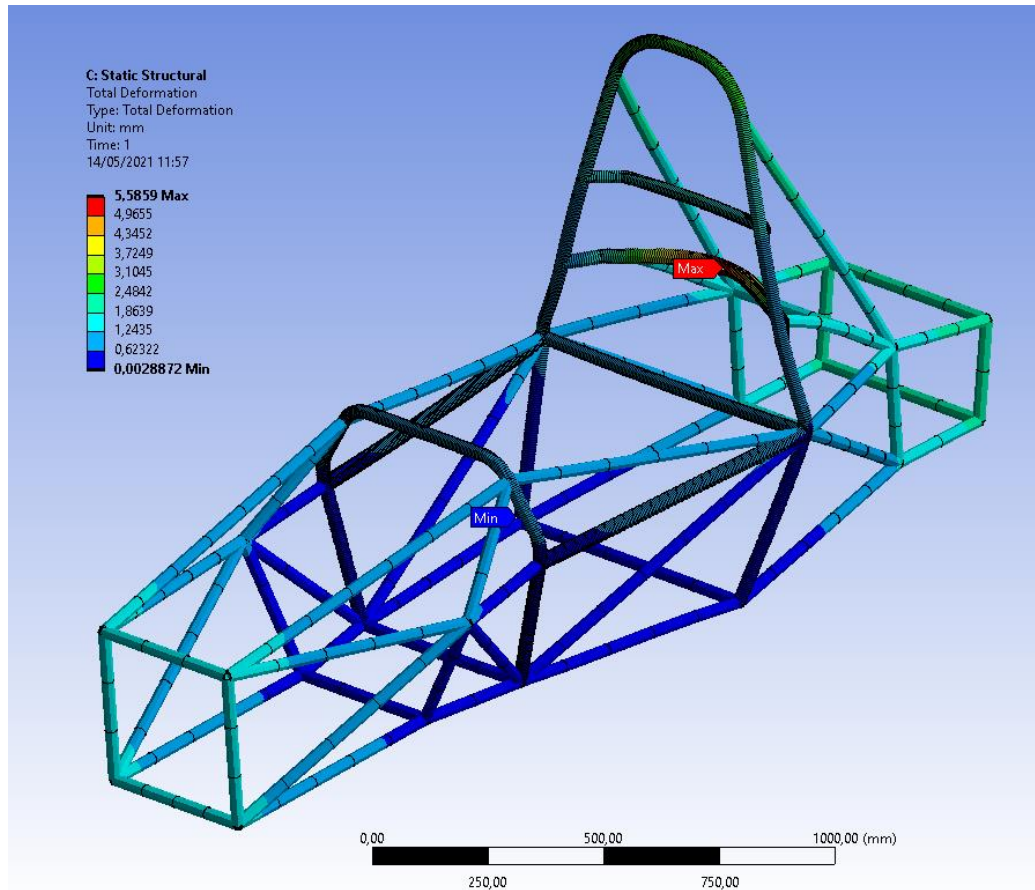


Figura 2.34. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en la situació 5. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

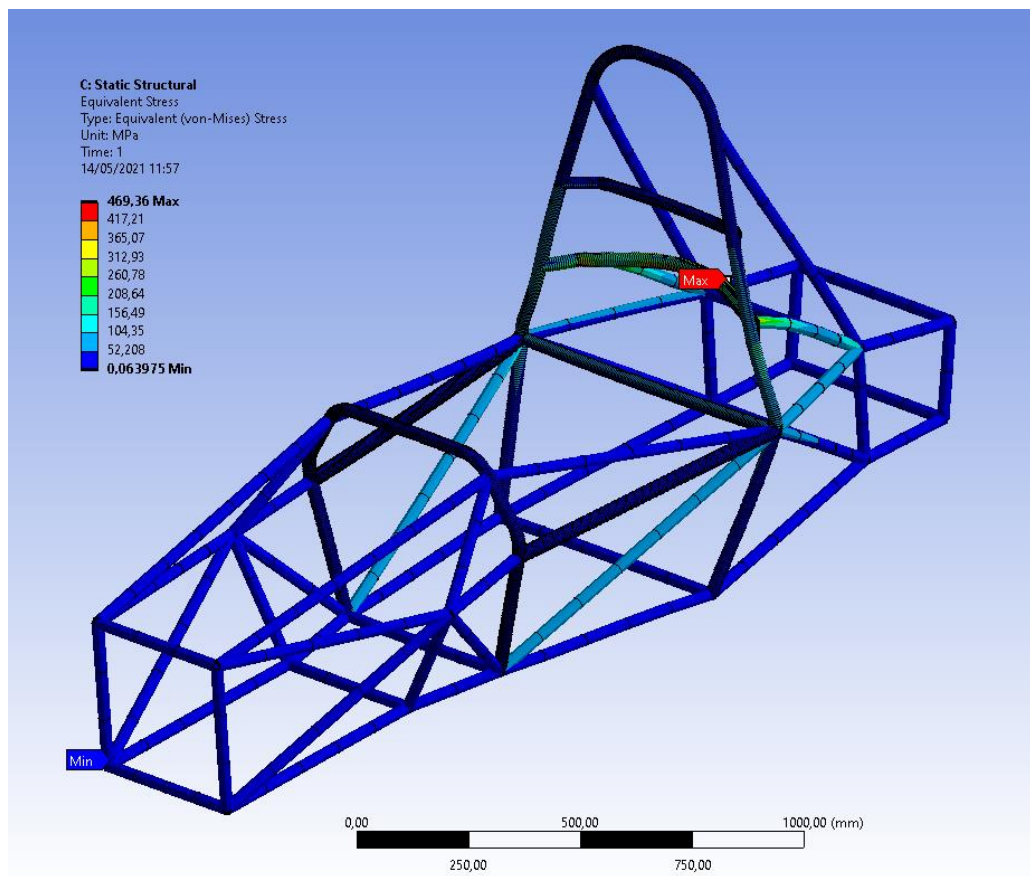


Figura 2.35. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en la situació 5. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Taula 2.30. Verificació dels requisits de deflexió i tensió en la situació 5. Font pròpia.

	SITUACIÓ 5	
	Requisits FSAE	Resultats
Deflexió	25 mm	5,586 mm
Tensió	536,36 MPa	469,36 Mpa

L'estructura compleix el criteri de deflexió amb 5,6 mm i també compleix el de tensió amb 469,4 MPa.

### 2.2.3 Rigidesa Torsional del xassís

En el següent apartat es comprovarà la rigidesa torsional del xassís. En el cas del projecte i seguint amb la premissa d'anàlisi d'elements tipus biga, es realitza l'estudi de la rigidesa torsional en elements tipus biga.

Tenint en compte la teoria, per calcular la rigidesa torsional del xassís a la pràctica s'haurà de dividir el moment torçor aplicat entre l'angle girat per xassís.

Per tant, l'expressió que determina la rigidesa torsional ( $K$ ) és la següent (Eq. 2.6):

$$K = \frac{M_T}{\theta} \quad [Nm/^\circ]$$

(Eq. 2.6)

On:

$M_T$ : Moment torsor aplicat [ $N \cdot m$ ]

$\theta$ : Gir per unitat de longitud [ $^\circ$ ]

Cada secció transversal girarà a un angle determinat segons la posició en  $x$  i, per tant, la rigidesa serà diferent per a cada secció. S'obté un valor infinit en l'encastament com una asymptota vertical quan  $x$  és 0, i un valor mínim en l'extrem lliure on s'aplica el moment torçor, és a dir, quan la  $x$  és màxima (Figura 2.36).

La funció que s'obindrà és del tipus (Eq. 2.7):

$$y = \frac{K}{x}$$

(Eq. 2.7)

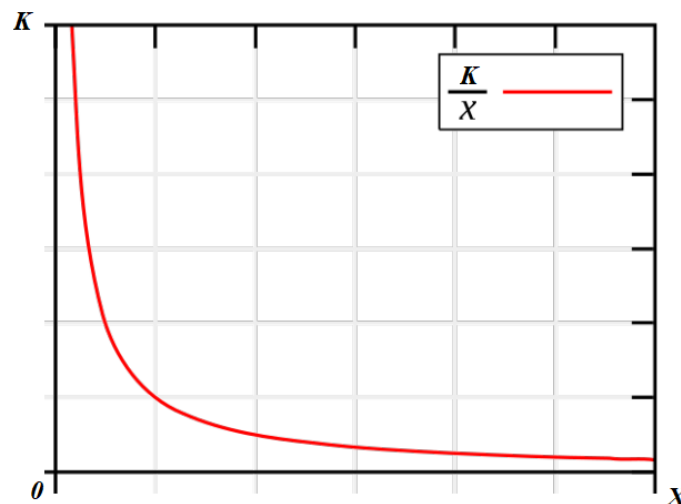


Figura 2.36. Gràfica de la funció entre la rigidesa i la distància  $x$ . Font pròpia.

A partir d'aquí s'estableix una analogia entre la biga encastada de secció circular i el xassís dissenyat el qual s'encastarà en quatre punts simulant un assaig a torsió com el de la Figura 2.37.

## Disseny d'un xassís tubular

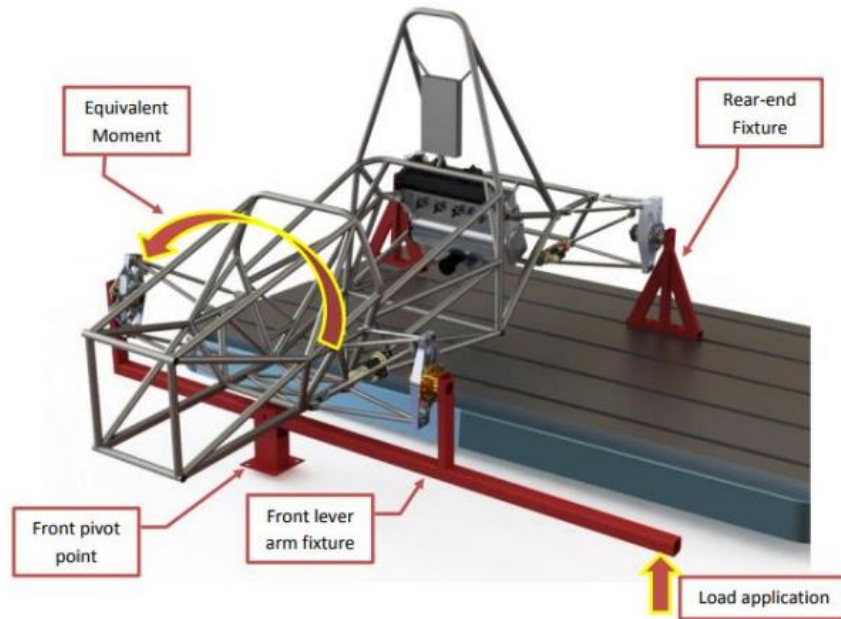


Figura 2.37. Assaig de torsió d'un xassís de la FSAE. Washington University [20].

En l'assaig experimental, es fixen les boixes posteriors a una estructura rígida hipotèticament no deformable. Les boixes davanteres es fixen a una barra de torsió a la qual se li aplica un moment torçor. Mitjançant una cèl·lula de càrrega es mesura en tot moment la força que s'aplica a la barra de torsió i alhora uns inclinòmetres mesuren l'angle girat de la secció on estan col·locats.

Per a l'assaig teòric d'aquest projecte s'ha representat el més semblant a un assaig experimental real de manera que s'ha fet la simulació al mateix software on s'han realitzat els càlculs de resistència, el ANSYS Mechanical.

El procés de simulació va consistir en fixar els quatre vèrtexs inferiors de la part posterior simulant un encastament, com en el cas de la biga. Seguidament es va aplicar un moment torçor de 1000 N·m en forma de parells de forces aplicats a cada node on van ancorats els braços de suspensió, de manera que si són 8 nodes, 4 per cada costat, cada node ha de rebre un moment torçor de 125 N·m (Taula 2.31).

Taula 2.31. Valors de moments torçors. Font pròpia.

<b>Moment torsor Total</b>	1000 N·m
<b>Moment torsor per node</b>	125 N·m

Per calcular la força que s'ha d'aplicar a cada node, sabem que:

## Disseny d'un xassís tubular

$$M_T = F \cdot d \quad [N \cdot m]$$

(Eq. 2.8)

$F$ : Força aplicada al node [N]

$d$ : Distància des del punt d'aplicació de la força a l'eix  $x$  del xassís [m]

Els resultats de les forces que s'hauran d'aplicar a cada node són els següents (Taula 2.32):

Taula 2.32. Forces aplicades a cada node. Font pròpia.

	Distància (m)	Força (N)
<b>Node 1 (D)</b>	0,33	-378,79
<b>Node 2 (C)</b>	0,32	-393,59
<b>Node 3 (A)</b>	0,23	-543,48
<b>Node 4 (B)</b>	0,23	-543,48
<b>Node 5 (F)</b>	0,33	378,79
<b>Node 6 (E)</b>	0,32	393,59
<b>Node 7 (G)</b>	0,23	543,48
<b>Node 8 (H)</b>	0,23	543,48

Una vegada conegudes les forces ja es poden aplicar al software tal i com es veu a la Figura 2.38.

## Disseny d'un xassís tubular

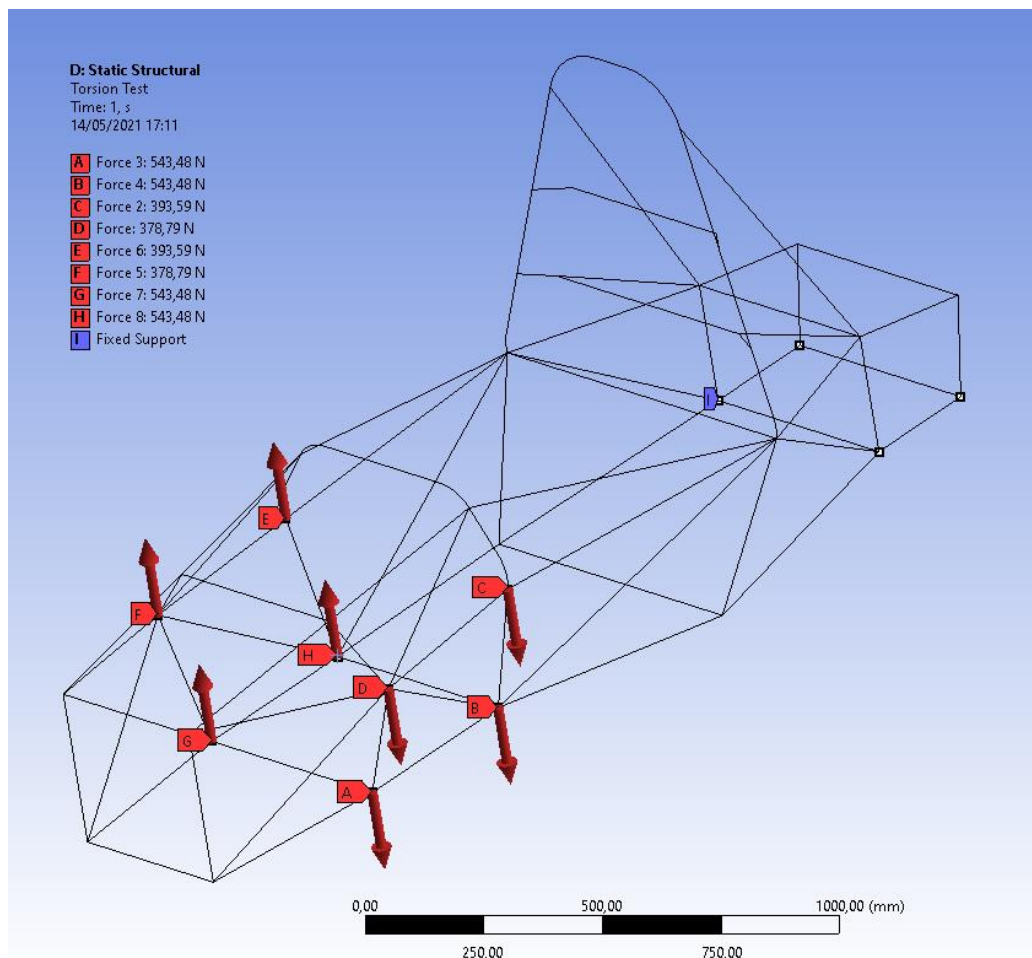


Figura 2.38. Restriccions i càrregues aplicades en un assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

A partir de les restriccions i càrregues proposades s'avaluarà la tensió màxima com en el cas de la verificació de resistència del xassís en què aquesta no podia superar el límit elàstic del material tenint en compte un coeficient de seguretat de 1,1. I també s'avaluarà la deformació màxima que patirà el xassís en l'eix z per tal de calcular així la rigidesa torsional.



## Disseny d'un xassís tubular

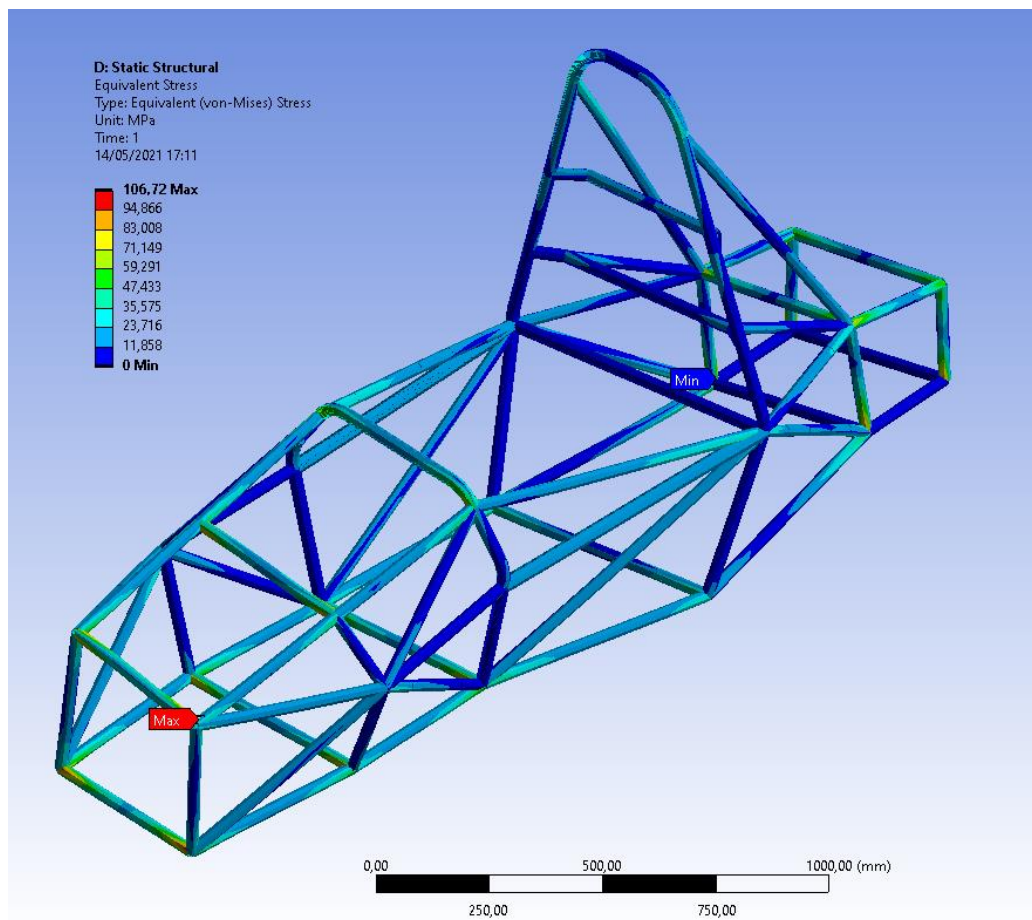


Figura 2.39. Resultats de la tensió (MPa) que es produeix en l'assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

L'estructura compleix el criteri de tensió amb 106,7 MPa inferiors als 536,4 MPa.



## Disseny d'un xassís tubular

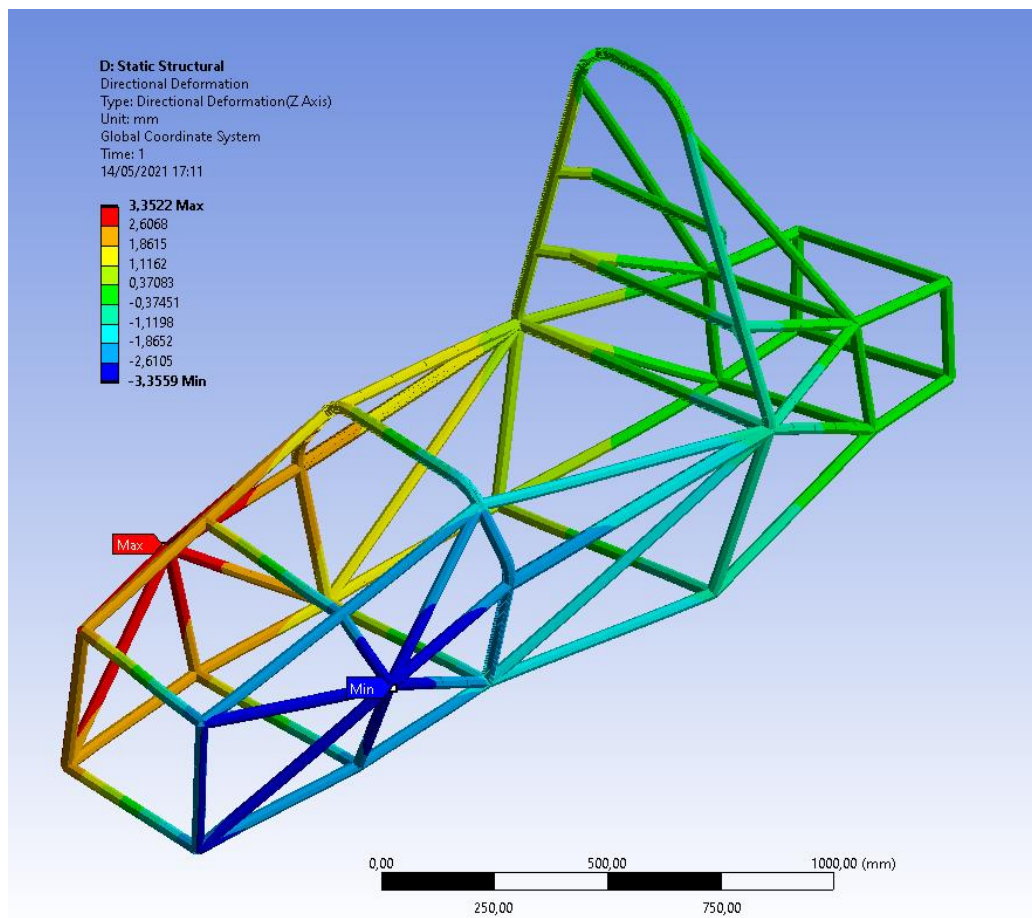


Figura 2.40. Resultats de la deflexió (mm) que es produeix en l'eix z en l'assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

La deformació màxima en l'eix z es produeix en els nodes D i F, és a dir, els nodes davanters superiors on anirien ancorats els braços de suspensió.

A partir del valor de deformació màxima de 3,36 mm en valor absolut es calcula la rigidesa a torsió del xassís.

Primer es divideix el valor de deformació en z entre la distància a l'eix x, d'aquesta manera s'obté el valor de l'angle de gir en radians. S'utilitza la hipòtesis de petites deformacions, per tant, la tangent de l'angle de gir és igual a l'angle de gir. Això es demostra a la Figura 2.41.



## Disseny d'un xassís tubular

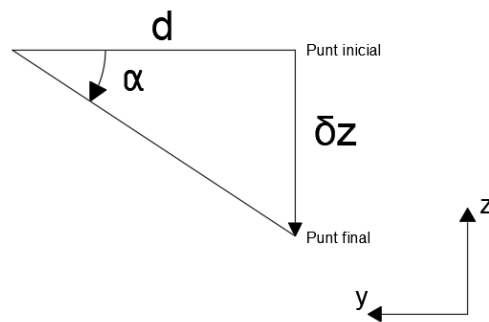


Figura 2.41. Càlcul de l'angle de gir amb la hipòtesis de petites deformacions. Font pròpia

Així doncs (Eq. 2.9),

$$tg(\alpha) = \frac{\delta z}{d}$$

$$\alpha \approx \frac{\delta z}{d} \text{ [radians]}$$

(Eq. 2.9)

Es passen els radians a graus (Eq. 2.10),

$$1 \text{ radian} = \frac{360}{2\pi}^\circ$$

(Eq. 2.10)

El resultat de la rigidesa torsional és el següent:

Taula 2.33. Càlcul de la rigidesa torsional del xassís. Font pròpia.

$\delta z$ (mm)	d (mm)	Angle (rad)	Angle ( $^\circ$ )	Rigidesa (Nm/ $^\circ$ )
3,3559	330	0,0102	0,5827	<b>1716,3</b>

La rigidesa té un valor de 1716,3 Nm/ $^\circ$ .

Si tenim en compte els valors estàndards de rigidesa torsional per a diferents grups de vehicles el resultat seria vàlid. A la següent taula (Taula 2.34) es mostra:

## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.34. Valors de rigidesa torsional del xassís per a diferents grups de vehicles. University of Surrey [21].

Vehicle	Roll stiffness [Nm/deg]	Chassis torsional stiffness [Nm/deg]	Chassis / roll stiffness ratio
Formula SAE car, [4]	500 - 1500	1000 - 5000	2 - 8
Passenger car, [5]	500 - 2500	5000 - 20000	4 - 10
Winston Cup racing car, [6]	1500 - 2500	15000 - 30000	6 - 12
Sports car, [1]	500 - 5000	15000 - 40000	3 - 8
Formula One car, [1]	1500 - 7500	10000 - 100000	6 - 12

Els valors d'aquesta taula han estat obtinguts per un estudi realitzat per alumnes de la Universitat de Surrey. Per altra banda, un altre estudi realitzat per un alumne de la Universitat Tècnica d'Eindhoven defineix els següents valors a la taula següent (Taula 2.35):

Taula 2.35. Valors de rigidesa torsional del xassís en un vehicle Formula SAE. Technische Universiteit Eindhoven [22].

	mass	stiffness	specific stiffness
Competition low	30 kg	50 kNm/rad	1.7 kNm/rad/kg
Competition average	25 kg	120 kNm/rad	4.8 kNm/rad/kg
Competition high	20 kg	300 kNm/rad	15 kNm/rad/kg
URE05 chassis	<25 kg	>200 kNm/rad	>8 kNm/rad/kg

Per tant, els dos estudis confirmen que el rang de valors ronda entre els 1000 i 5000 Nm/° de rigidesa torsional del xassís. Tenint en compte el valor obtingut de 1716,3 Nm/° s'ha cregut convenient augmentar aquesta rigidesa fins a un valor proper als 3000 Nm/° el qual es considera un valor mitjà de rigidesa el qual suposarà un increment de barres i per tant un increment de massa del vehicle però serà necessari per al bon comportament dinàmic del vehicle.

A partir del resultat de deflexions del xassís s'ha decidit reforçar la part del xassís on van acorats els braços col·locant barres en creu a la part superior i a la part inferior d'aquesta part. A més a més s'ha reforçat el pis del xassís per a subjectar elements com el paquet de bateries i la part on anirà ancorat el seient, i els resultats obtinguts han estat els següents (Figura 2.42):

## Disseny d'un xassís tubular

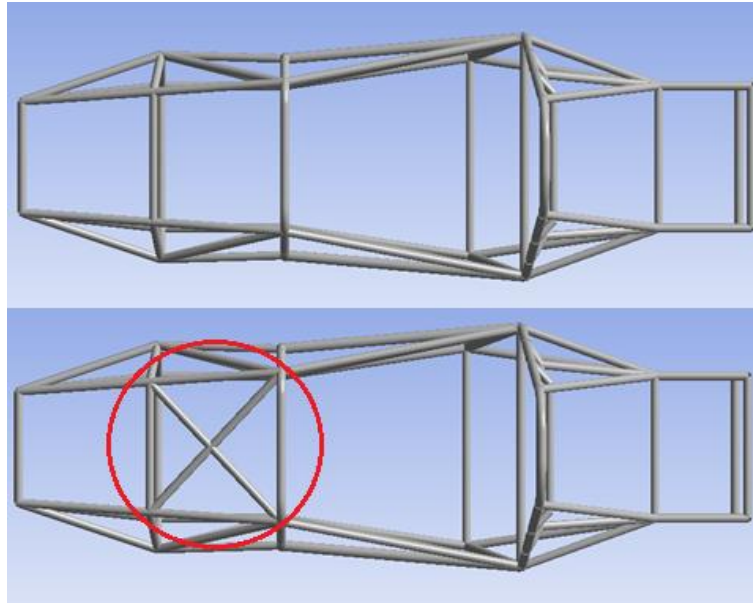


Figura 2.42. Modificació de l'estructura per augmentar la rigidesa torsional. Font pròpia.

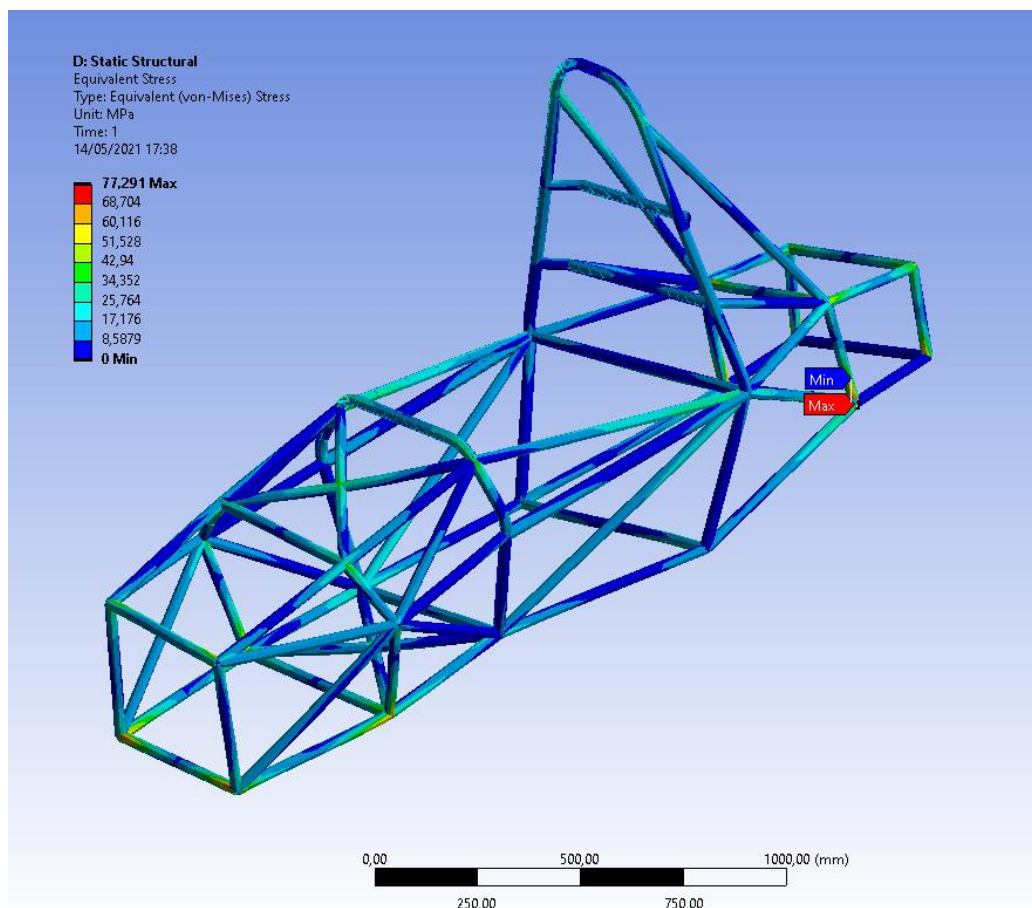


Figura 2.43. Resultats de la tensió (MPa) actualitzats que es produeixen en l'assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).



L'estructura segueix complint el criteri de tensió amb 77,3 MPa inferiors als 536,4 MPa.

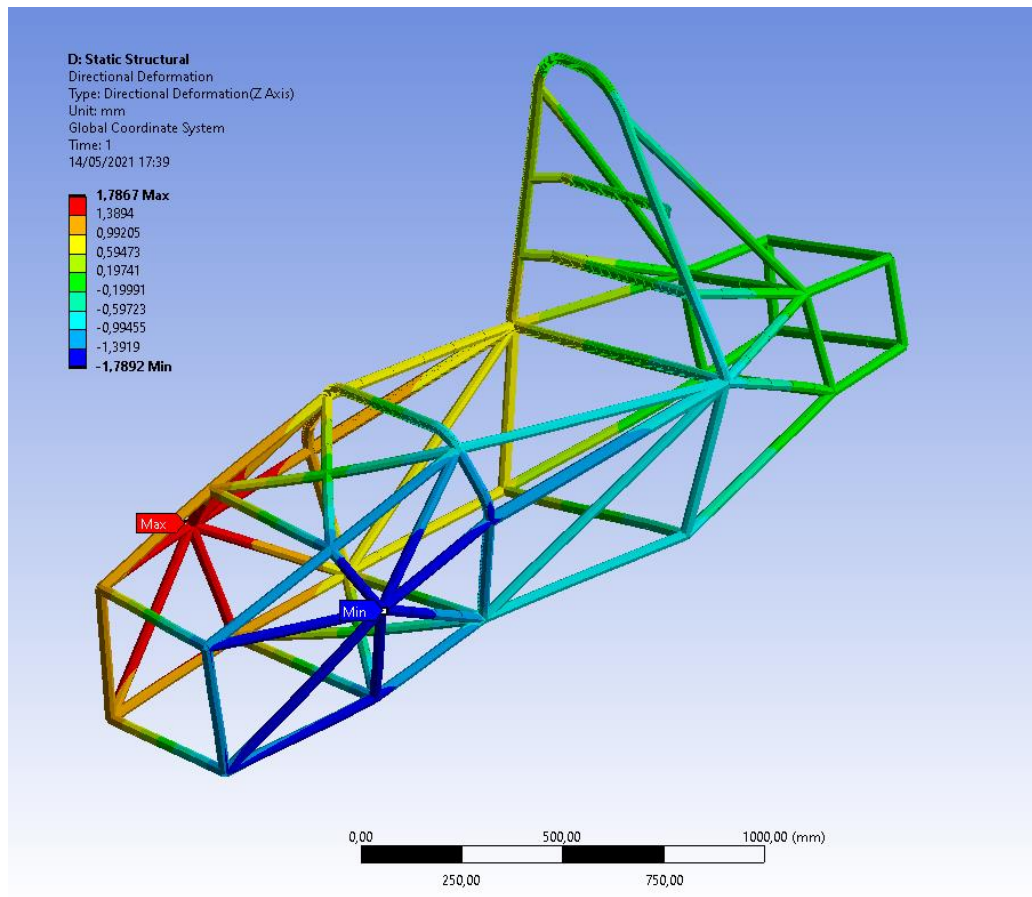


Figura 2.44. Resultats de la deflexió (mm) actualitzats que es produeixen en l'eix z en l'assaig a torsió. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

La deformació màxima en l'eix z es segueix produint en el nodes D i F, és a dir, els nodes davanters superiors on anirien ancorats els braços de suspensió.

A partir del valor de deformació màxima de 1,79 mm en valor absolut es calcula la rigidesa a torsió del xassís de nou i el resultat és el següent (Taula 2.36):

Taula 2.36. Càlcul actualitzat de la rigidesa torsional del xassís. Font pròpia.

$\delta z$ (mm)	d (mm)	Angle (rad)	Angle (°)	Rigidesa (Nm/°)
3,3559	330	0,0102	0,5827	1716,3
1,7892	330	0,0054	0,3106	3219,1

El resultat ara és de 3219,1 Nm/° de rigidesa torsional, un valor més adequat d'acord amb els estudis mencionats anteriorment.

Si comparem la massa del vehicle abans i després els resultats són els següents:



Taula 2.37. Comparació de masses del xassís. Font pròpia.

Massa xassís abans	Massa xassís després	$\Delta$ massa
38,464 Kg	40,882 Kg	2,418 Kg

El fet de reforçar l'estructura ha suposat un increment en la massa de 2,418 Kg.

#### 2.2.4 Anàlisi Modal del xassís

En el següent apartat es realitzarà un anàlisi modal del xassís de manera que s'estudiaran els diferents modes de freqüència del xassís i la freqüència natural que correspon a cada mode.

Per al càlcul de les freqüències naturals i les formes modals s'utilitzarà el mateix software que fins ara l'ANSYS Mechanical.

Per a l'anàlisi el primer que es fa és definir les restriccions de manera que es fixen els quatre nodes posteriors al seient del pilot (Figura 2.45) impedit el desplaçament i la rotació:

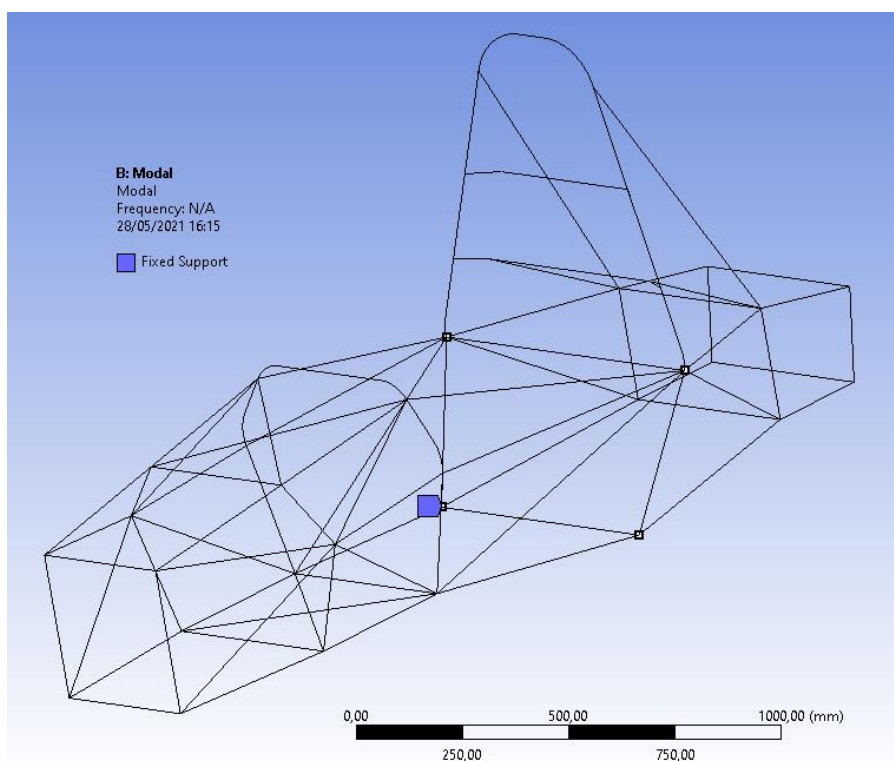


Figura 2.45. Restriccions per a l'anàlisi modal. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

En els paràmetres d'anàlisi es defineixen els 6 primers modes de freqüència d'acord amb el mètode de Block Lanczos Iteration tenint en compte el mateix mallat que en els

## Disseny d'un xassís tubular

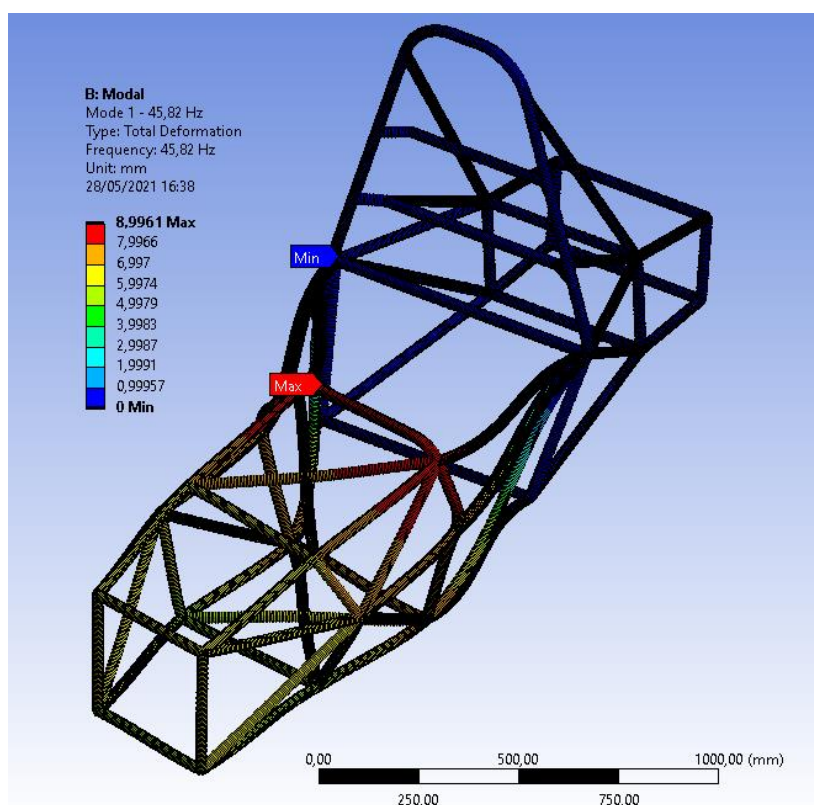
càlculs de resistència i torsió. El resultats de la freqüència natural de cada mode són els següents (Taula 2.38):

*Taula 2.38. Modes amb la corresponen freqüència natural. Font pròpia (ANSYS Mechanical).*

\*\*\* FREQUENCIES FROM BLOCK LANCZOS ITERATION \*\*\*

MODE	FREQUENCY (HERTZ)
1	45.81972235008
2	70.93578687670
3	77.15169094025
4	93.70257598208
5	101.5540625492
6	140.7259894172

Els diferents modes de freqüència són els següents:



*Figura 2.46. Resultats del primer mode de freqüència (45,82 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).*



## Disseny d'un xassís tubular

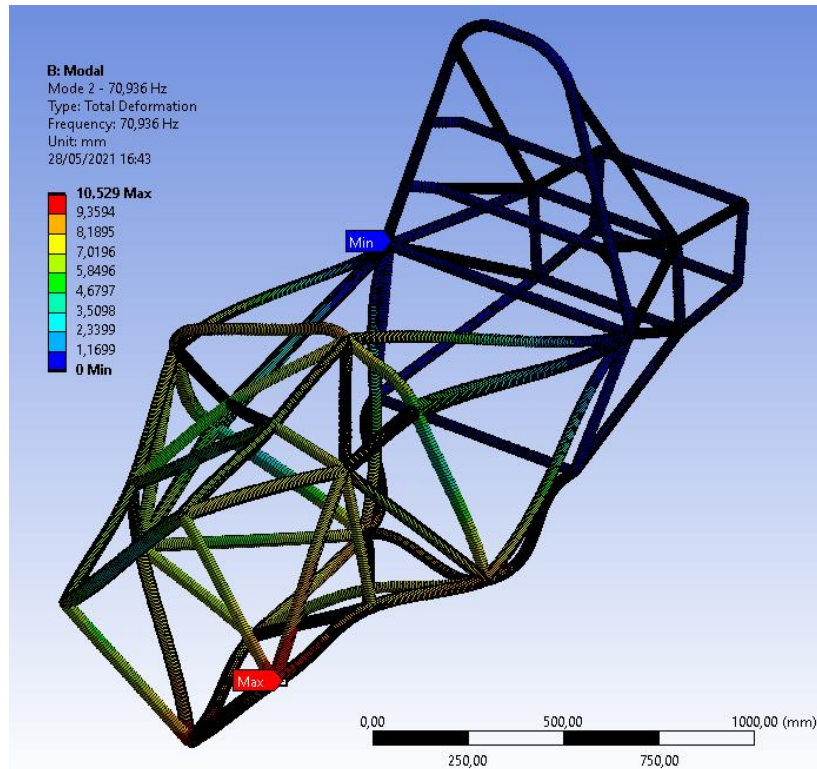


Figura 2.47. Resultats del segon mode de freqüència (70,94 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

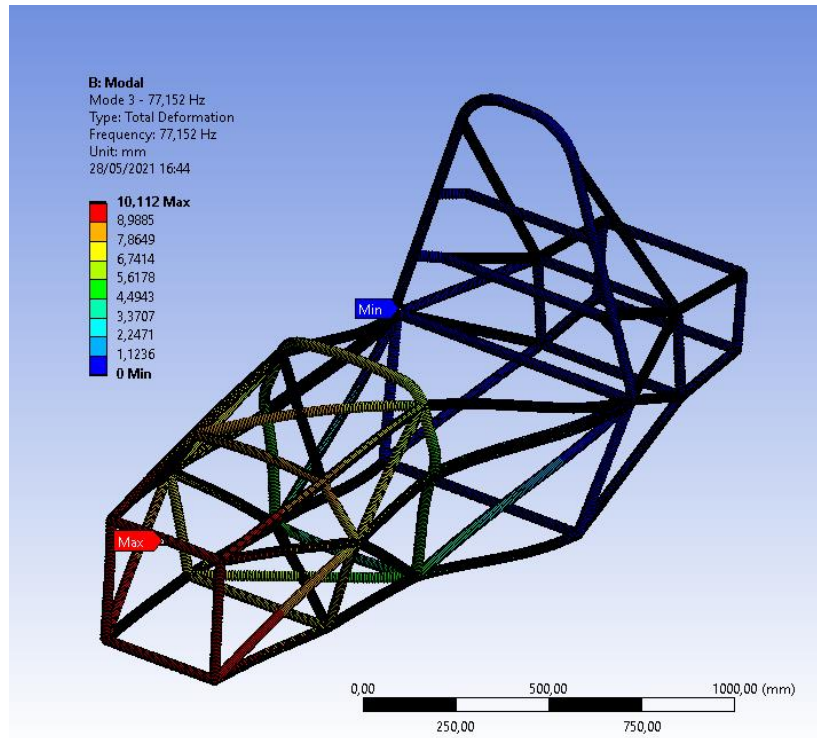


Figura 2.48. Resultats del tercer mode de freqüència (77,15 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).

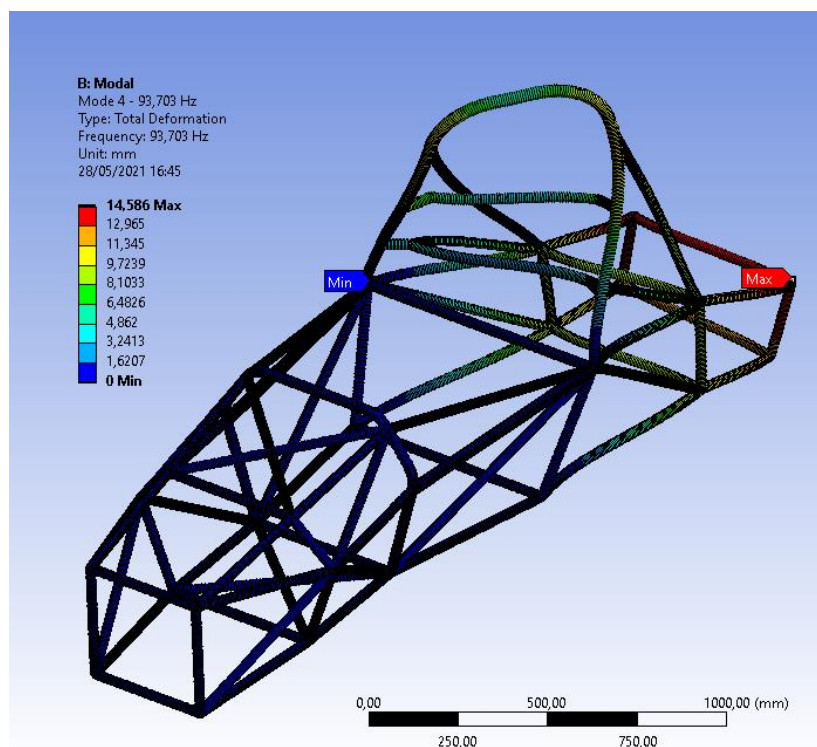


Figura 2.49. Resultats del quart mode de freqüència (93,70 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

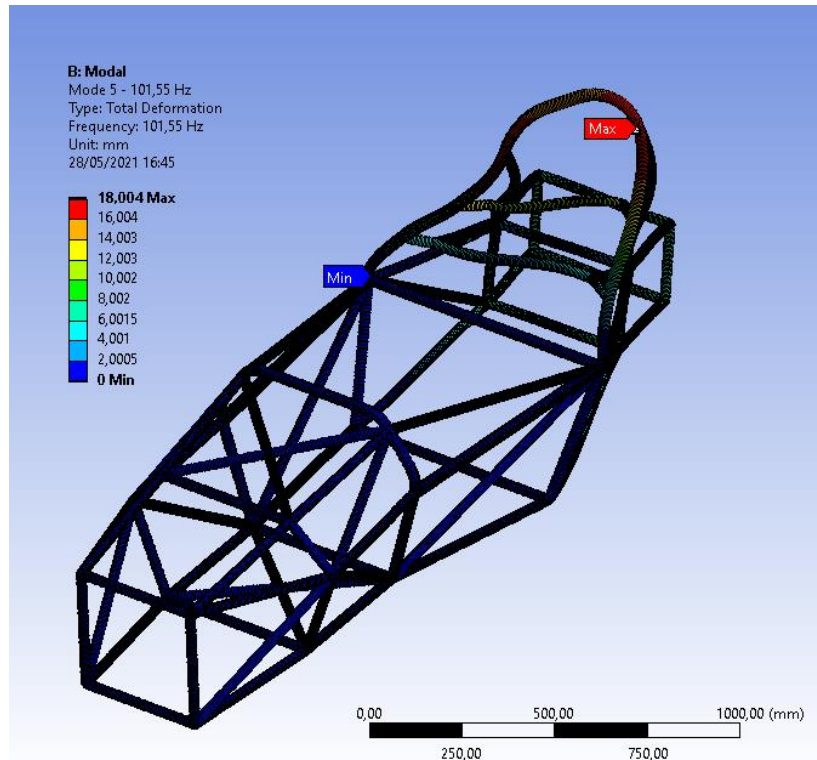


Figura 2.50. Resultats del cinquè mode de freqüència (101,55 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).



## Disseny d'un xassís tubular

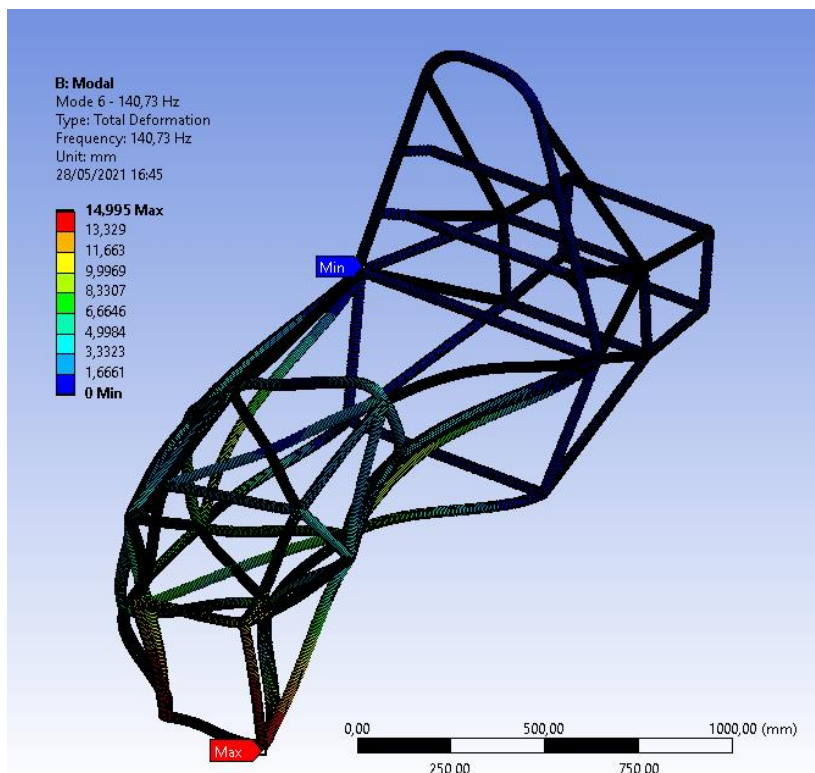


Figura 2.51. Resultats del sisè mode de freqüència (140,73 Hz). Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Aquests han estat els resultats de deformacions del xassís en cada mode de freqüència i els punts màxims i mínims d'aquestes. Els valors de freqüències es troben en un rang de 45 Hz a 140 Hz.

Per tal de comprovar si aquest anàlisi és satisfactori les freqüències naturals haurien d'estar fora del rang de possibles fonts d'excitació externes que ronden entre els 0 Hz i els 100 Hz ja que sinó es produirà l'efecte no desitjat de ressonància. Les possibles fonts d'excitació podrien venir d'irregularitats en l'asfalt, el motor desequilibrat o vibracions provinents de la transmissió.

Tenint en compte els resultats obtinguts el disseny no seria òptim, ara bé, l'anàlisi anterior no ha tingut en compte la massa dels components que conformen el vehicle com el pilot, seient, elements de la línia motriu, sistema de direcció, sistema de frens, entre d'altres.

Si s'afegeix la massa de tots els components les freqüències naturals dels modes de freqüència es veuran augmentades d'acord amb la dinàmica de sistemes de N graus de llibertat sense cap càrrega externa aplicada.

## Disseny d'un xassís tubular

La dinàmica del sistema ve descrita per l'equació següent on no hi ha amortidor (Eq. 2.11):

$$[m]\ddot{\vec{v}}(t) + [k]\vec{v}(t) = 0$$

(Eq. 2.11)

On:

$[m]$ : Matriu de masses del sistema

$$\begin{pmatrix} f_{I1} \\ f_{I2} \\ \cdot \\ f_{Ii} \\ \cdot \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & \cdots & m_{1i} & \cdots & m_{1N} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} & \cdots & m_{2i} & \cdots & m_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \\ m_{i1} & m_{i2} & m_{i3} & \cdots & m_{ii} & \cdots & m_{iN} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \ddot{v}_1 \\ \ddot{v}_2 \\ \cdot \\ \ddot{v}_i \\ \cdot \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{f}_I = \mathbf{m} \ddot{\mathbf{v}}$$

$[k]$ : Matriu de rigidesa del sistema

$$\begin{pmatrix} f_{S1} \\ f_{S2} \\ \cdot \\ f_{Si} \\ \cdot \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} & \cdots & k_{1i} & \cdots & k_{1N} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} & \cdots & k_{2i} & \cdots & k_{2N} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \\ k_{i1} & k_{i2} & k_{i3} & \cdots & k_{ii} & \cdots & k_{iN} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdots & \cdot & \cdots & \cdot \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} v_1 \\ v_2 \\ \cdot \\ v_i \\ \cdot \end{pmatrix}$$

$v$ : Desplaçament del sistema lineal (Eq. 2.12)

$$v = A \cdot \sin(\omega_i t)$$

(Eq. 2.12)

On:

$A$ : Amplitud del mode de freqüència [m]

$\omega_i$ : Freqüència natural de cada mode de freqüència [Hz]

Per tant, s'obté la següent equació (Eq. 2.13):

$$-\omega_i^2 [m] + [k] = 0$$

(Eq. 2.13)

## Disseny d'un xassís tubular

Així doncs, si tenim ara en compte les masses dels diferents components del vehicle tal i com es mostra a la Figura 2.52, els resultats de les freqüències naturals seran superiors i per tant l'estructura es trobarà fora del rang de possible ressonància.

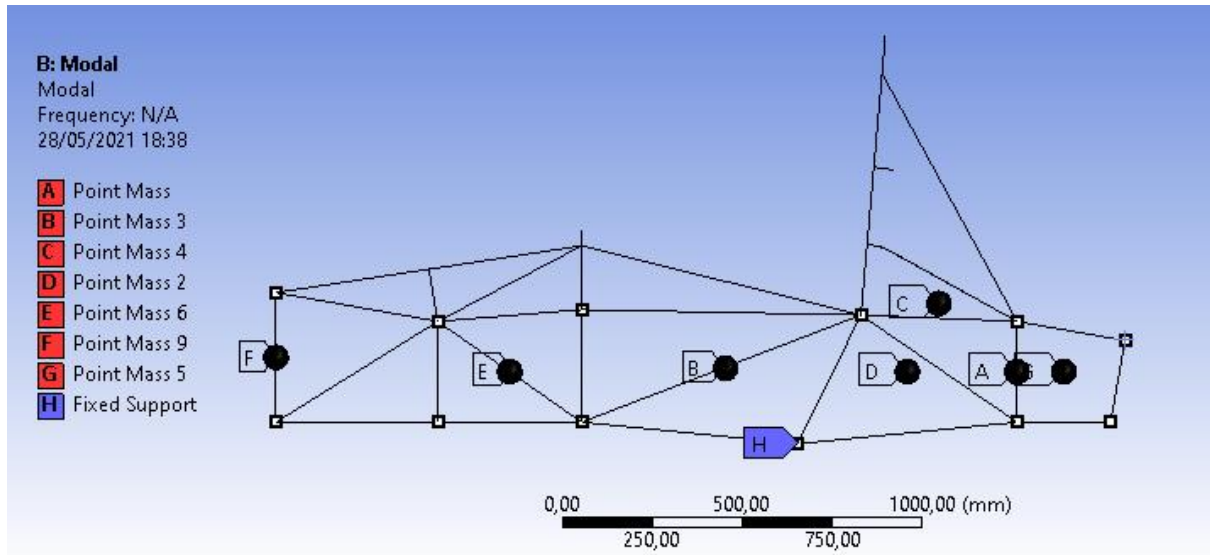


Figura 2.52. Aplicació de les masses dels diferents components del vehicle. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

Els resultats de les freqüències naturals són els següents (Taula 2.39):

Taula 2.39. Modes amb la corresponen freqüència natural actualitzats. Font pròpia (ANSYS Mechanical).

\*\*\* FREQUENCIES FROM BLOCK LANZOS ITERATION \*\*\*

MODE	FREQUENCY (HERTZ)
1	102.6756189655
2	138.2788881139
3	218.9139901567
4	224.6480457460
5	234.6721383923
6	234.8389594860

Ara els resultats si que es troben allunyats del rang de freqüències no desitjat, tret del primer mode de freqüència. Això indica que es podrien arribar a produir situacions de ressonància que provocarien la incomoditat del pilot. Però també es cert que un vehicle de competició no està dissenyat amb el paràmetre de la comoditat per davant sinó que

## Disseny d'un xassís tubular

el que es busca és que sigui el més ràpid possible. Per tant, els resultats de les freqüències naturals un cop aplicades les masses es donarien per òptims.



## 2.3 ANNEX 3: POSSIBLES CONFIGURACIONS DE LA LÍNIA MOTRIU

En aquest annex s'analitzen les possibles configuracions de la línia motriu en un vehicle elèctric de competició monoplaça. Aquest anàlisi és molt important per a definir correctament els components que formaran la línia motriu per a posteriorment definir el seu comportament envers el xassís.

Tenint en compte els aspectes tècnics, el xassís i l'estructura, les possibles configuracions de línia motriu que s'estudien són les següents:

- Configuració 1: Tracció posterior amb 1 motor (RWD).
- Configuració 2: 2 motors en roda posteriors.
- Configuració 3: Tracció posterior i 2 motors en roda davanters.
- Configuració 4: 4 motors en roda.

### 2.3.1 Configuració 1

La primera configuració possible de línia motriu és de Tracció posterior amb 1 motor (RWD).

Es tracta de la configuració més utilitzada en vehicles de competició per la seva facilitat d'ubicar tots els components de la línia motriu a la part posterior del vehicle que donen una major tracció en l'acceleració. Ara bé, els conductors han de ser experts ja que el control del vehicle és més complicat amb aquesta configuració.

Els elements que formen aquesta configuració són: un motor, un controlador de motor, un reductor i un diferencial (Figura 2.53).

## Disseny d'un xassís tubular

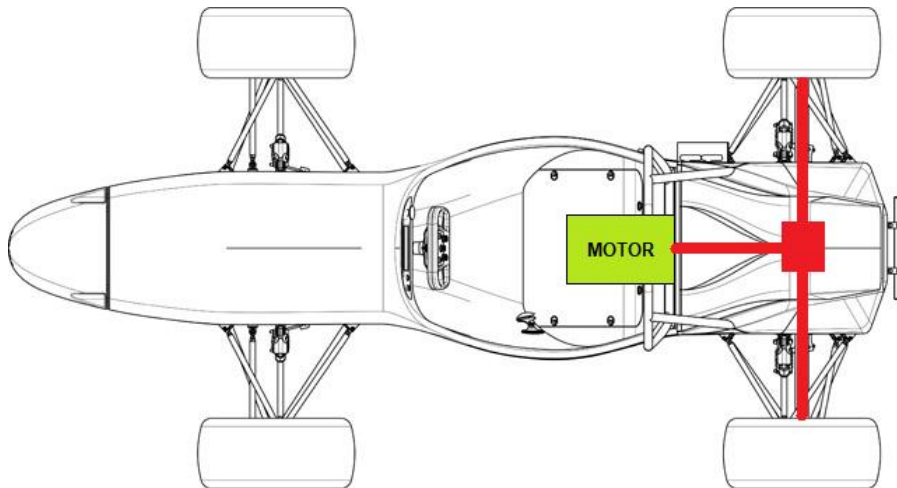


Figura 2.53. Representació esquemàtica de la configuració 1. Font pròpia.

### 2.3.2 Configuració 2

La segona configuració és la de dos motors en roda posteriors.

En aquesta configuració hi hauria un motor a cada roda posterior de manera que donarien el parell de forma independent a cada roda, tot això dirigit per un sistema de control.

Els elements que formen aquesta configuració són: dos motors, dos controladors de motor i dos reductors (Figura 2.54).

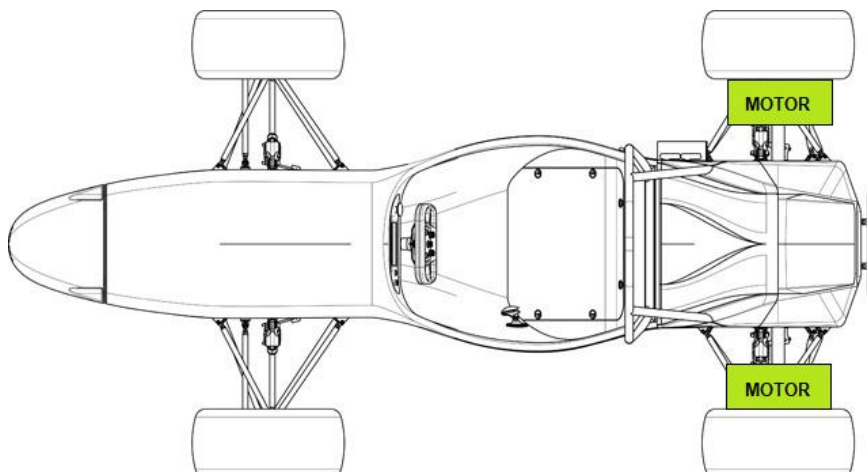


Figura 2.54. Representació esquemàtica de la configuració 2. Font pròpia.

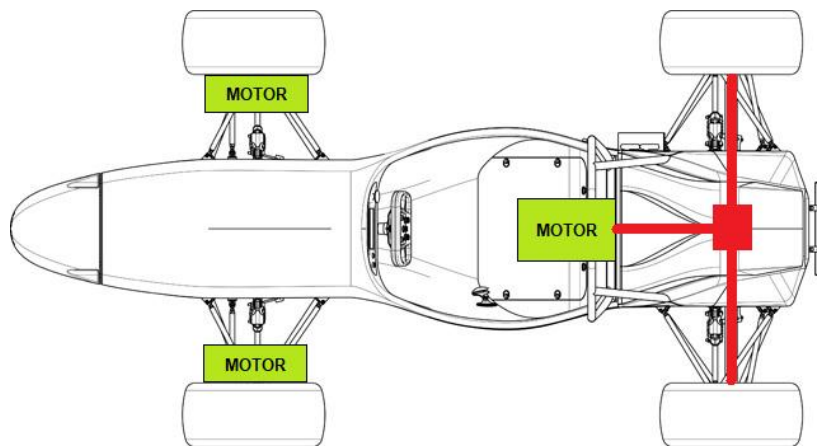


### 2.3.3 Configuració 3

La tercera configuració seria de Tracció posterior i dos motors en roda davanters.

Aquesta configuració és la combinació de les dues anteriors de manera que s'obté un major control del vehicle ja que permet tracció posterior i tracció davantera.

Els elements que formen aquesta configuració són: tres motors, tres controladors de motor, tres reductors i un diferencial (Figura 2.55).



*Figura 2.55. Representació esquemàtica de la configuració 3. Font pròpia.*

### 2.3.4 Configuració 4

La quarta configuració és la de quatre motors en roda.

Actualment és també una de les configuracions més utilitzades en el món de la competició dels monoplaça elèctrics. Tal i com s'ha definit anteriorment, es té un control total del vehicle de manera que cada motor dona un parell a la seva roda.

Els elements que formen aquesta configuració són: quatre motors, quatre controladors de motor i quatre reductors (Figura 2.56).

## Disseny d'un xassís tubular

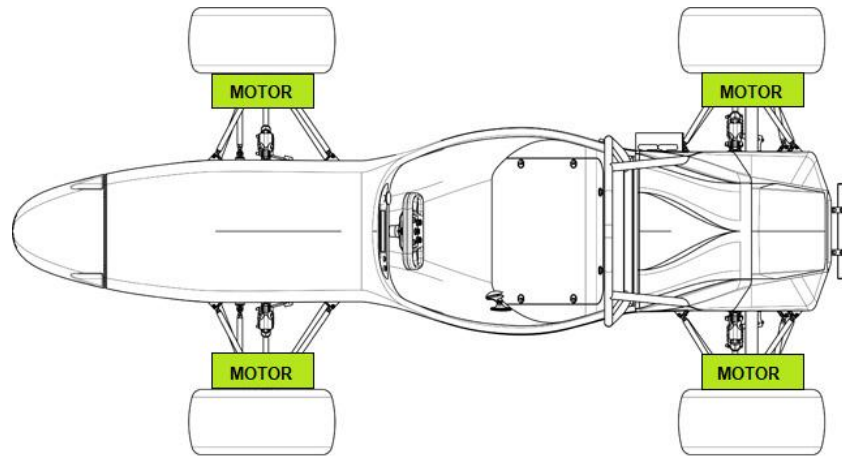


Figura 2.56. Representació esquemàtica de la configuració 4. Font pròpia.



## 2.4 ANNEX 4: POSSIBLES PROCESSOS DE SOLDADURA

En aquest apartat s'expliquen els diversos mètodes de soldadura principals que es podrien utilitzar per a soldar les unions dels tubs del xassís. Aquests mètodes són els següents:

### 2.4.1 Oxigas

Soldadura Oxigas: El calor entès com a font d'energia es genera per la reacció química entre un gas combustible (acetilè, propà, gas natural) i un gas comburent (oxigen). La reacció que es produeix és exotèrmica i forma una flama que es dirigeix, mitjançant un bufador, cap als extrems de les peces a unir provocant la seva fusió per soldadura. La protecció del bany de fusió la realitzen els mateixos gasos de la flama, encara que en algun cas és necessari recórrer a la utilització de desoxidants (Figura 2.57).

Presenta avantatges com que l'equip de soldadura necessari és de baix cost, normalment portàtil i molt versàtil, ja que es pot utilitzar per altres operacions relacionades amb la soldadura, com l'oxitall, pre i post escalfament, adreçat, doblegat i soldadura forta només canviant o afegint algun accessori.

Però també presenta limitacions com que es produeixen grans deformacions i grans tensions internes causades per l'elevada aportació tèrmica i la baixa velocitat de soldadura.

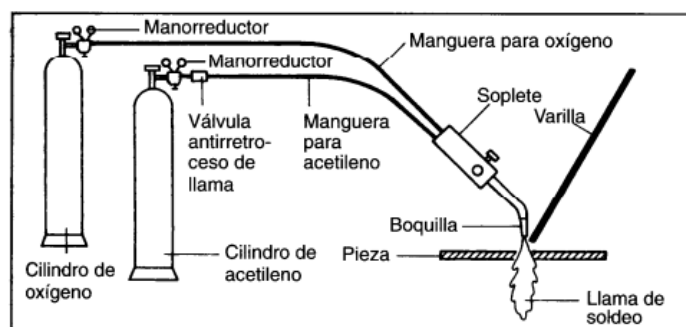


Figura 2.57. Equip de soldadura Oxiacetilènica. Apunts Tecnologia Mecànica.

### 2.4.2 Per arc amb elèctrode revestit

Soldadura per arc amb elèctrode revestit: La soldadura per arc amb elèctrode revestit és un procés en el que la fusió del metall es produeix gràcies a la calor generada per un arc elèctric establert entre l'extrem revestit i el metall base de una unió a soldar.

El metall d'aportació s'obté per la fusió de l'elèctrode en forma de petites gotes. La protecció s'obté per la descomposició del revestiment en forma de gasos i en forma d'escòria líquida que flota sobre el bany de fusió i, posteriorment, solidifica (Figura 2.58).

La soldadura per arc amb elèctrode revestit també es coneix per les següents denominacions:

- SMAW (Shielded Metal-Arc Welding)
- MMAW (Manual Metal-Arc Welding)

Aquest tipus de soldadura presenta avantatges com que el metall d'aportació i els mitjans de protecció d'aquest provenen del mateix elèctrode revestit, per tant no és necessària una protecció addicional mitjançant gasos auxiliars o fundents granulars.

Ara bé, la principal limitació per a aquest projecte és que no és aplicable a espessors inferiors a 1,5 – 2 mm i no resulta productiu per espessors superiors a 38 mm. A més a més és un procés lent, per la baixa taxa de deposició i per la necessitat de retirar l'escòria.

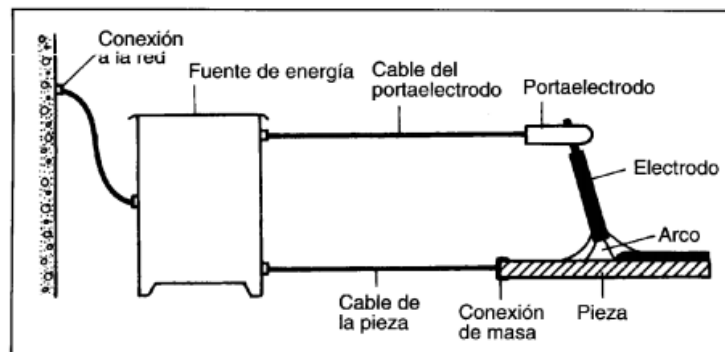


Figura 2.58. Equip de soldadura per arc amb elèctrode revestit. Apunts Tecnologia Mecànica.

### 2.4.3 Per arc protegida amb gas

Soldadura per arc protegida amb gas: La funció primordial dels gasos de protecció és evitar que el metall a altes temperatures, el bany de fusió i l'elèctrode s'oxidin o contaminin. Si l'aire entra en contacte amb el metall fos, l'oxigen de l'aire reaccionarà amb el material produint òxids, el nitrogen pot causar porositat i la humitat del aire també pot causar porositat i provocar esquerdes. Els gasos més comuns són l'Argó, l'Heli i el Diòxid de Carboni.

Dins d'aquest tipus de soldadura els processos més comuns són el TIG i el MIG/MAG:

### 2.4.3.1 TIG

La soldadura TIG (Tungsten Inert Gas), o també anomenada GTAW (Gas Tungsten Arc Welding) utilitza com a font d'energia l'arc elèctric que s'estableix entre un electrode no consumible i la peça a soldar, mentre un gas inert protegeix el bany de fusió. El material d'aportació quan s'utilitza s'aplica mitjançant varetes com en la soldadura oxiacetilènica (Figura 2.59).

Els principals avantatges d'aquest tipus de soldadura són:

- Arc estable i concentrat.
- No es produeix escòria.
- Produeix soldadures llises i regulars.
- Es poden aconseguir soldadures de gran qualitat.
- Permet el control independent de la font d'energia i del metall d'aportació

Ara bé, també té algunes limitacions com:

- La taxa de deposició és menor que la que és pot obtenir amb altres processos de soldadura per arc.
- L'aplicació manual exigeix una gran habilitat per part del soldador.
- En presència de corrents d'aire pot resultar difícil aconseguir una protecció adequada de la zona de soldadura.

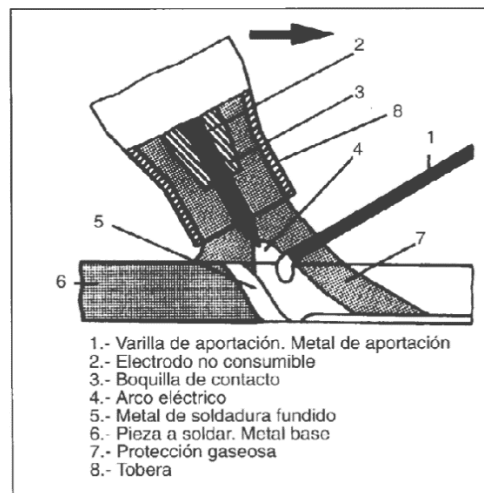


Figura 2.59. Esquema dels elements que intervenen en una soldadura TIG. Apunts Tecnologia Mecànica.

## Disseny d'un xassís tubular

## 2.4.3.2 MIG/MAG

En la soldadura MIG (Metal Inert Gas) / MAG (Metal Active Gas), també anomenada GMAW (Gas Metal Arc Welding) el calor necessari es generat per un arc que s'estableix entre un elèctrode consumible i el metall base. L'elèctrode és un filferro massís, nu, que s'alimenta de forma continua automàticament i es converteix en el metall dipositat segons es consumeix (Figura 2.60).

Els principals avantatges d'aquest tipus de soldadura són:

- L'elèctrode és continu, amb el que s'augmenta la productivitat per no haver de canviar d'elèctrode i la taxa de deposició és elevada.
- Es poden realitzar soldadures llargues sense que existeixin juntes entre cordons.
- No es produeix escòria i per tant no fa falta eliminar-la.

En canvi, presenta les següents limitacions:

- L'equip de soldadura és més car, complex i menys transportable que el SMAW.
- És sensible al vent i a les corrents d'aire, per el que l'aplicació a l'exterior és limitada.
- És difícil d'utilitzar en espais restringits, requereix conduccions de gas, aigua de refrigeració, tuberes i botelles de gas de protecció.

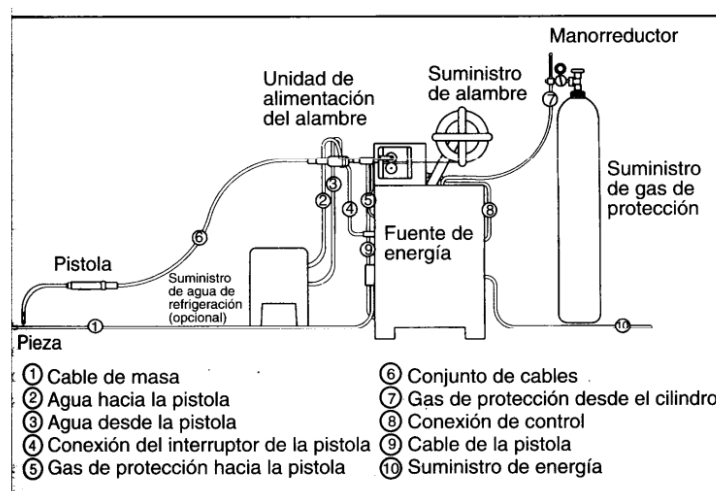


Figura 2.60. Equip de soldadura MIG/MAG. Apunts Tecnologia Mecànica.



#### 2.4.4 Per plasma

Soldadura per plasma: Aquest tipus de soldadura és una modificació de la soldadura TIG. La principal diferència amb la soldadura TIG és que en la soldadura per plasma s'afegeix un gas que es fa passar a través d'un orifici estret i proporciona una columna de plasma estreta. Normalment es treballa amb corrent continua i polaritat directa i elèctrodes de tungstè o tungstè-tori (Figura 2.61).

Es pot treballar en dues modalitats:

- Mode de fusió: Respon al fonament dels processos d'arc elèctric tradicionals.
- Mode keyhole: Respon al fonament del mètodes d'alta densitat d'energia com la soldadura làser.

Utilitza dos gasos en el procés de soldadura:

- Gas de plasma: S'acostuma a utilitzar Argó amb un 5% d'hidrogen. El cabal es funció del material i l'espessor d'aquest però no sol passar els 5 l/min.
- Gas de protecció: Es pot utilitzar el mateix que el gas de plasma. El cabal és funció el diàmetre del broquet i no acostuma a ser superior a 30 l/min.

Té uns avantatges i limitacions molt semblants als de la soldadura TIG, ara bé la soldadura per plasma s'utilitzarà més en acers inoxidables austenítics i aliatges de titani.

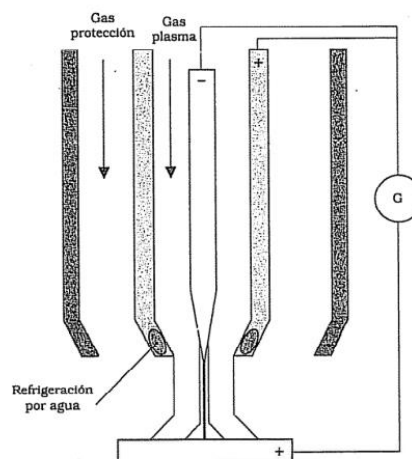
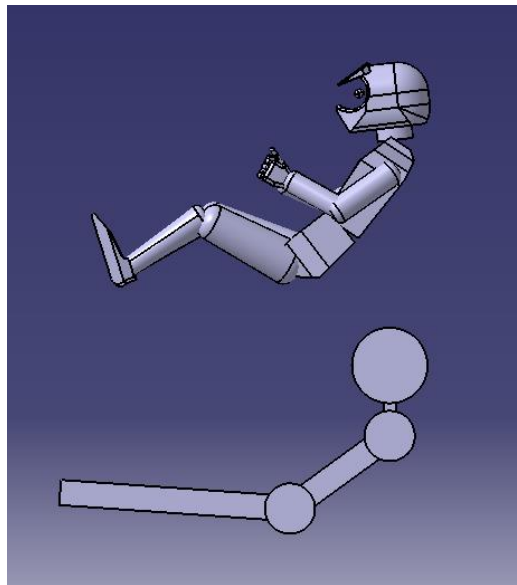


Figura 2.61. Esquema d'una torxa de plasma d'arc transferit. Apunts Tecnologia Mecànica.

## 2.5 ANNEX 5: DISSENY CAD AMB CATIA V5

Per a elaborar els primers dissenys del xassís de competició és important definir quines seran les característiques del vehicle les quals han estat explicades anteriorment i a partir d'aquest moment s'han de definir per tal d'obtenir unes condicions de partida. Aquestes característiques són les següents:

- Distància entre eixos (wheelbase):  
S'ha definit una distància de 1530 mm. Aquesta distància és superior als 1525 mm mínims exigits per la normativa.
- Pilot:  
Per al pilot s'han definit les seves dimensions a partir del percentil 95 masculí també com s'especifica a la normativa. S'ha realitzat un disseny propi sense detalls d'aquest pilot amb les dimensions corresponents. Seguidament, s'ha descarregat una plantilla del pilot corresponent també a aquest percentil a la pàgina GRABCAD i s'han comparat els dos per comprovar si aquest últim complia amb els requisits de la competició (Figura 2.62).



*Figura 2.62. Comparació dels pilots. Pilot descarregat (part superior) i pilot disseny propi (part inferior). Font pròpia.*

Tal i com s'observa en l'anterior figura el pilot descarregat és de les mateixes dimensions que la plantilla, per tant, s'utilitzarà aquest per al disseny del xassís degut a la major quantitat de detalls i acabats i la incorporació de totes les parts

del cos interessants per al disseny com els braços, les mans, les cames i els peus, a més a més del casc que augmenta notablement el volum del cap de la persona.

Per al pilot també s'ha tingut en compte la distància màxima de 25 mm respecte el recolzament del cap.

- Requeriments estructurals i aspectes tècnics:

S'han tingut en compte tots els requeriments estructurals definits anteriorment en l'apartat de normativa de la FSAE. Aquests requisits fan referència a les dimensions i disposició de les parts de l'estructura principal, als processos de doblec dels tubs, als sistemes de seguretat, entre d'altres.

El més important dels aspectes tècnics que s'ha tingut en compte són les dimensions del Cockpit del pilot, és a dir, l'espai de la cabina on es situarà el pilot en posició de conducció. Aquestes dimensions són les referents a l'obertura de la cabina i la secció transversal interna.

### 2.5.1 Procediment seguit per al disseny

Per a realitzar un disseny que compleixi amb tota la normativa imposada per la FSAE s'ha seguit un procés que ha consistit en anar pas a pas i comprovant en tot moment que s'estaven complint tots els requeriments.

El primer s'ha fet es dibuixar en planta la forma del xassís col·locant en la part central al pilot, d'aquesta manera es poden obtenir unes primeres dimensions aproximades de les que tindrà finalment el disseny acabat. Durant aquest moment també és molt important posicionar els eixos de les rodes i a la distància a la que es troben un de l'altre. Tal i com s'ha definit anteriorment aquesta distància entre eixos és de 1530 mm. A la següent figura (Figura 2.63) s'observa un primer esbós de la planta del xassís:

## Disseny d'un xassís tubular

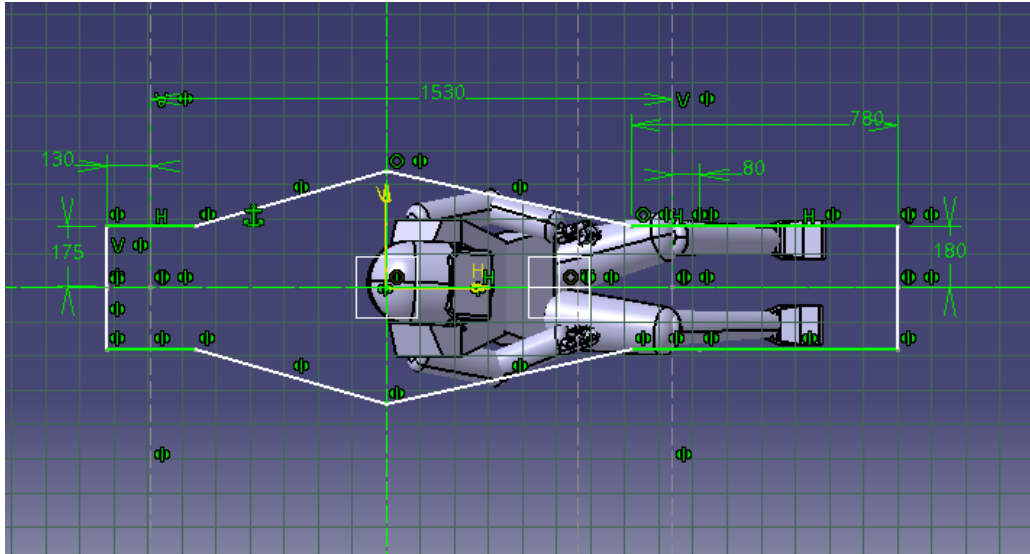


Figura 2.63. Vista en planta del xassís amb el pilot situat en la posició central. Font pròpia.

Seguidament el següent pas realitzat ha estat la comprovació de l'obertura de la cabina mitjançant la plantilla també mencionada en anteriorment. Si bé les barres superiors no tenen perquè ser de les mateixes dimensions que la base, aquesta s'ha ajustat a la plantilla deixant uns mm de seguretat per posteriorment modificar si es necessari per al correcte disseny del xassís. A la següent figura (Figura 2.64) s'observen les relacions de posició entre la base i la plantilla mantenint una equidistància:

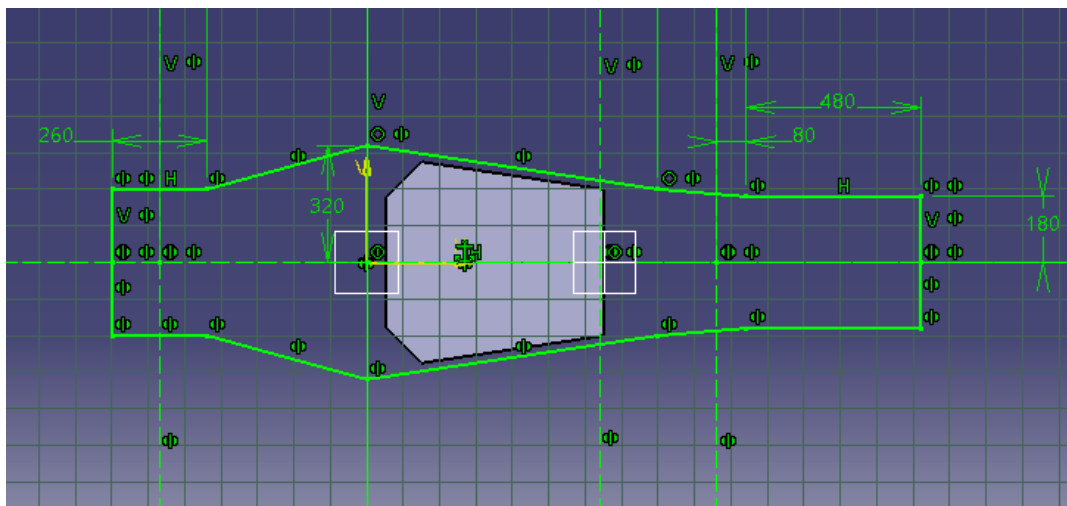
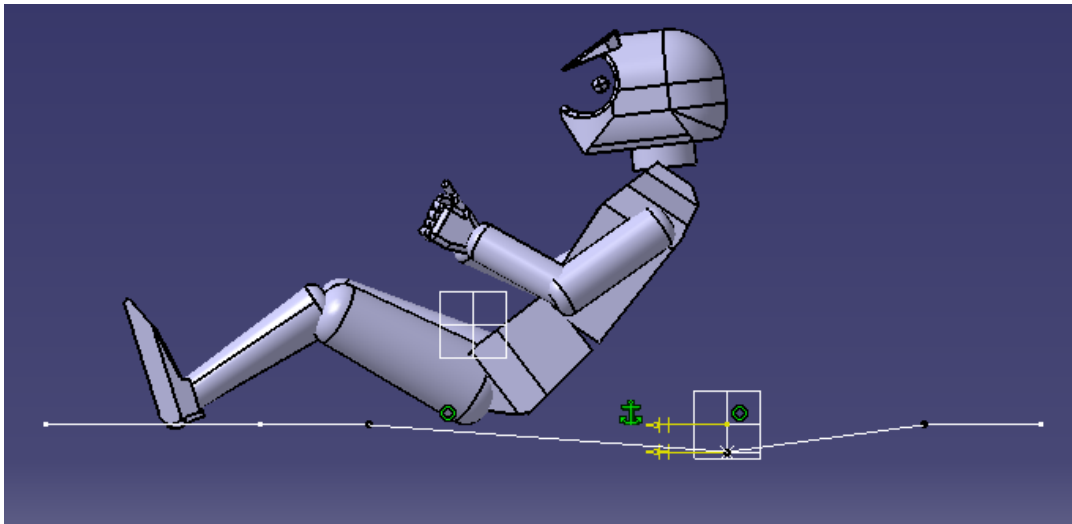


Figura 2.64. Col·locació de la plantilla de l'obertura de la cabina sobre la base del xassís. Font pròpia.

A continuació, s'han definit les alçades des del terra (ground clearance) de la base anteriorment comentada. Aquesta disposarà de dues alçades la major reservada per a

la part frontal i la part posterior del vehicle, mentre que la part central d'aquest es trobarà a una alçada des del terra menor. El motiu d'aquesta diferència és perquè en la part central del vehicle serà necessari guanyar un espai extra per al posterior ancoratge del seient i el posicionament del paquet de bateries, el qual ha de disposar del major espai possible ja que les seves magnituds influiran en un major rendiment del vehicle. A la Figura 2.65 s'observa aquesta diferència d'alçades des de la vista lateral dreta:



*Figura 2.65. Vista lateral dreta que mostra la diferència d'alçades des del terra. Font pròpia.*

A partir d'aquest moment es procedeix amb el disseny de la mampara frontal (front bulkhead) i del cercol frontal (front hoop) amb els seus corresponents suports. Per al disseny d'aquests elements és important tenir en compte la posició de les cames del pilot, dels pedals d'acceleració i frenada i, finalment, la posició del volant de direcció. Aquest últim ha d'estar cobert pel cercol frontal tal i com s'estableix a la normativa.

La mampara frontal té una forma rectangular mentre que el cercol frontal té una forma hexagonal. A més a més, tots aquests elements han d'anar units amb una correcta triangulació. El resultat s'observa a la Figura 2.66 i la Figura 2.67:

## Disseny d'un xassís tubular

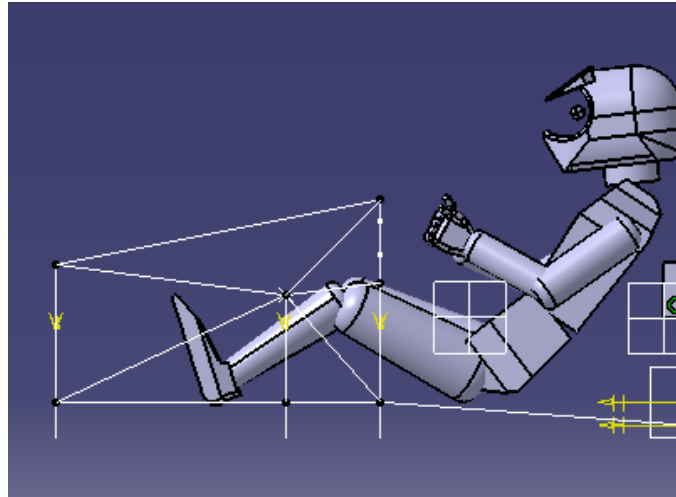


Figura 2.66. Vista lateral dreta que mostra el disseny de la mampara frontal i del cercol frontal. Font pròpia.

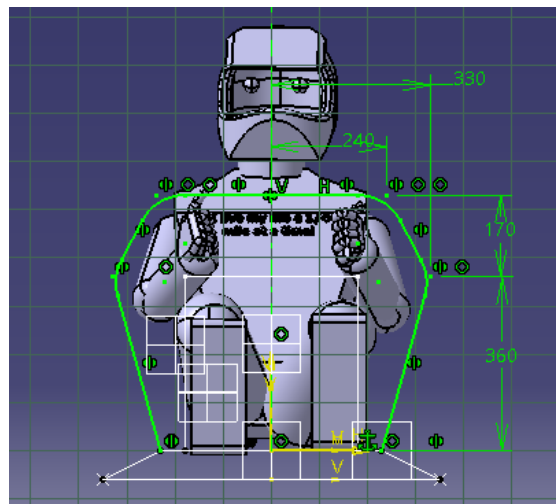


Figura 2.67. Vista frontal que mostra les formes rectangular i hexagonal de la mampara frontal i del cercol frontal respectivament. Font pròpia.

Després de realitzar el disseny de la mampara frontal i del cercol frontal, s'ha procedit a dissenyar el cercol principal (main hoop) en primer lloc i l'estructura d'impacte lateral en segon lloc. En aquest cas, els requeriments més importants que s'han tingut en compte són la distància entre la línia que uneix les dues parts superior dels cercols (hoops) i la línia paral·lela a aquesta que està en contacte amb el cap del pilot. Aquesta distància ha de ser d'un mínim de 50 mm.

El cercol principal té una alçada de 1150 mm respecte la part més propera al terra de la base del xassís, mesura obtinguda amb una inclinació de 5° respecte la vertical i respectant en tot moment els 50 mm requerits anteriorment.

## Disseny d'un xassís tubular

La inclinació del cercol principal de  $5^\circ$  respecte la vertical, menors als  $10^\circ$  que com a màxim permet la normativa. Aquesta inclinació s'ha estimat oportuna per a que el pilot tingui una millor posició de conducció permetent un recolzament més endarrerit.

Un altre dels requeriments indispensables és la posició de l'element superior de l'estructura d'impacte lateral el qual ha d'estar comprès entre una distància de 240 i 320 mm. Aquesta estructura d'impacte lateral està formada per 4 barres a cada costat, la quarta per a una major seguretat per al pilot.

El disseny d'aquesta estructura i del cercol principal s'aprecia a la Figura 2.68, la Figura 2.69 i la Figura 2.70:

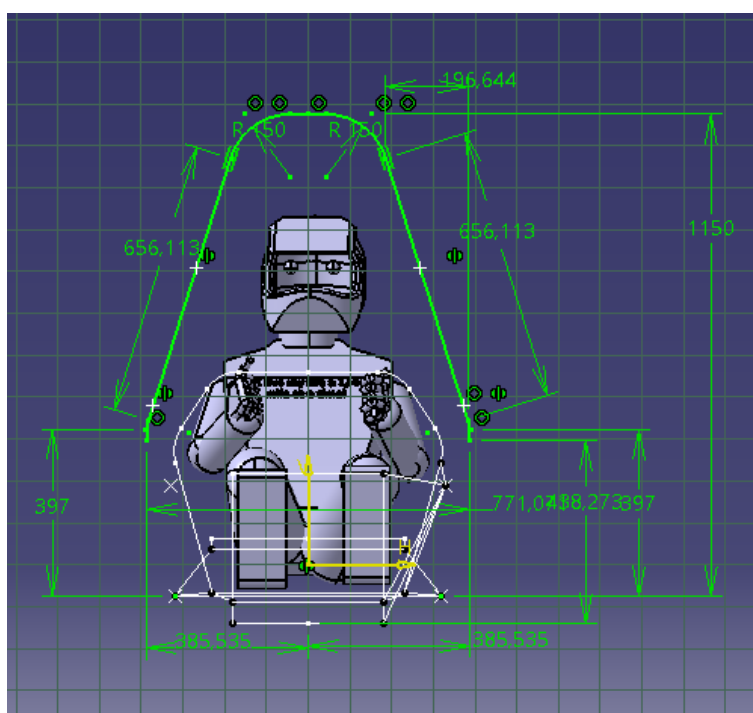


Figura 2.68. Vista frontal que mostra la forma del cercol principal. Font pròpia.

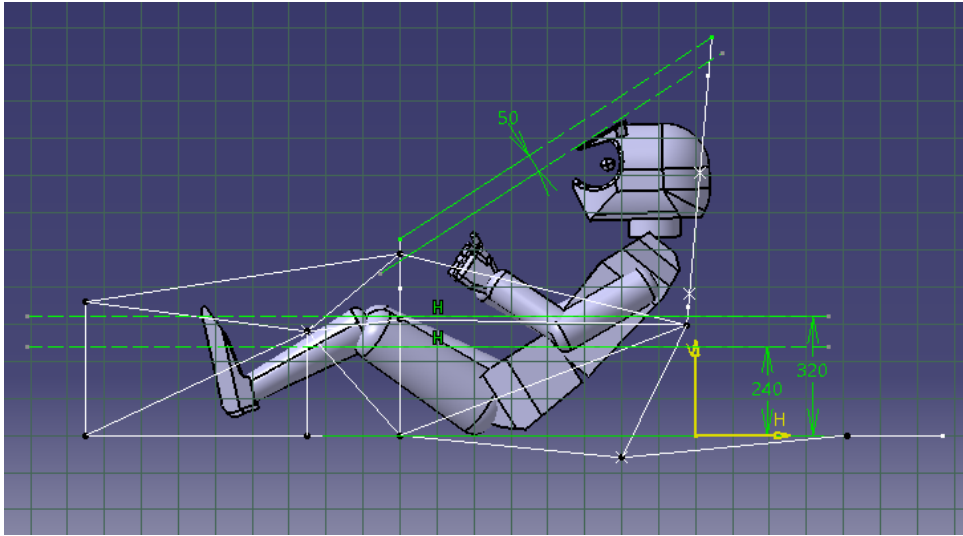


Figura 2.69. Vista lateral dreta que mostra els requeriments de posició del cercol principal i de l'estructura d'impacte lateral. Font pròpia.

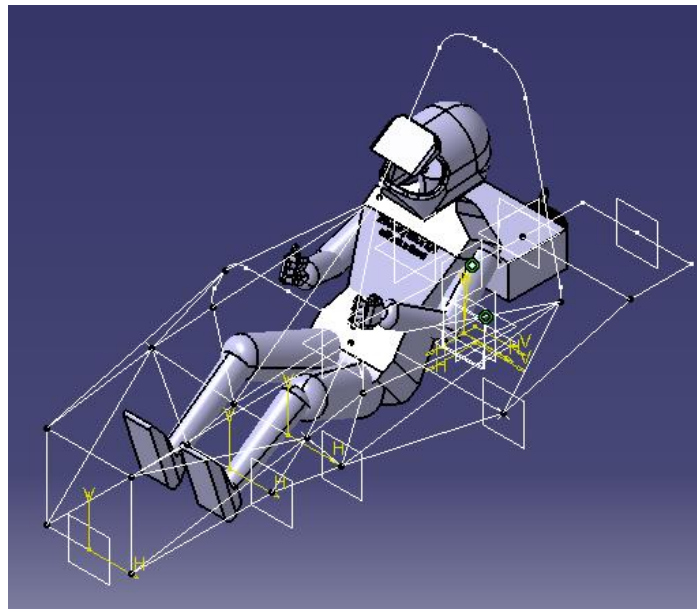
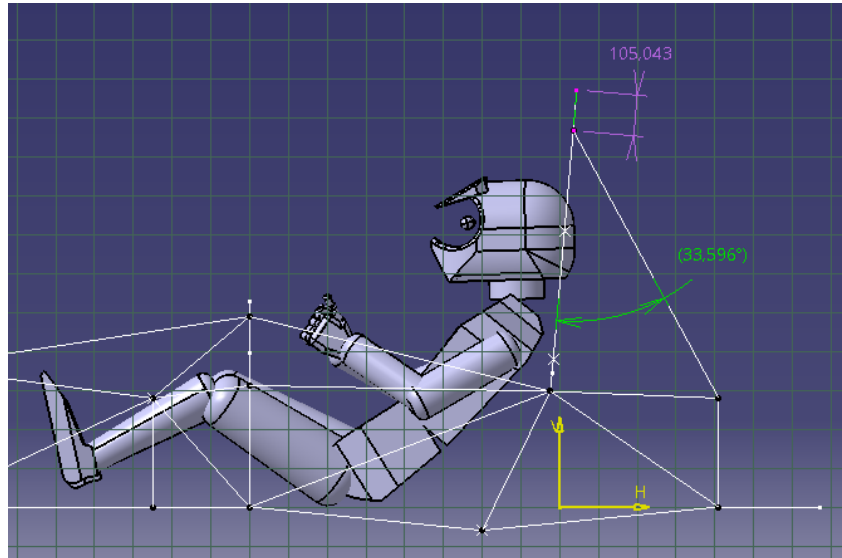


Figura 2.70. Vista isomètrica on s'observen tots els elements anteriors. Font pròpia.

El cercol principal disposa de dos tirants que s'uneixen amb la part inferior de l'estructura de xassís. Aquests tirants també tenen uns requeriments concretats a la normativa els quals han d'estar a una distància de com a màxim 160 mm verticals respecte el punt més al del cercol principal. Un altre dels requeriments és que l'angle que formen els tirants amb el cercol principal ha de ser de com a mínim  $30^\circ$ . En aquest disseny la primera distància nombrada és d'uns 105 mm inferiors als 160 mm de la normativa i l'angle és d'uns  $33.6^\circ$  superiors als  $30^\circ$  anteriors. Per tant, en els dos casos s'està

complint amb els requeriments imposats. La resta d'elements que completen l'estructura inferior estan correctament triangulats. A les següent figura (Figura 2.71) s'observen aquestes dimensions:

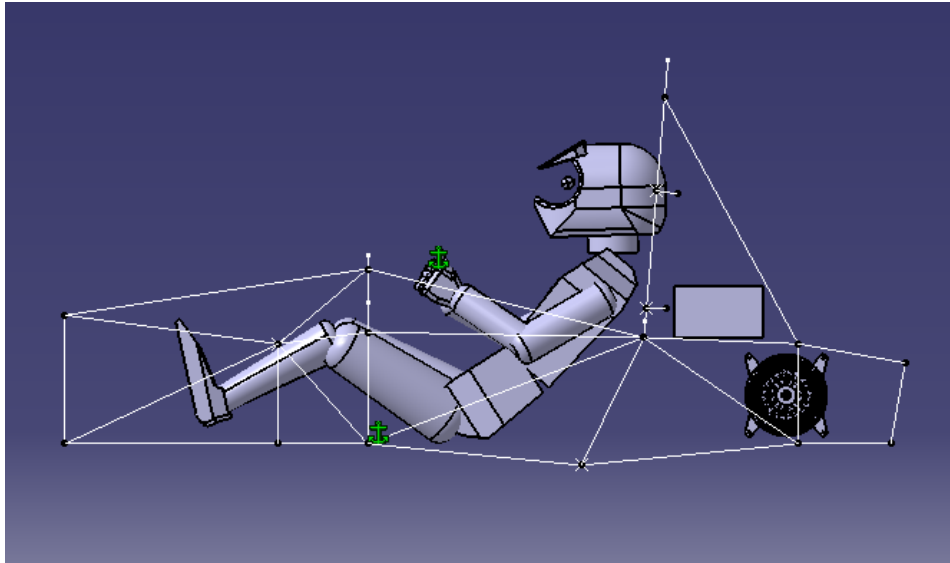


*Figura 2.71. Vista lateral dreta on es mostren les dimensions requerides en els tirants de suport del cercol principal. Font pròpia.*

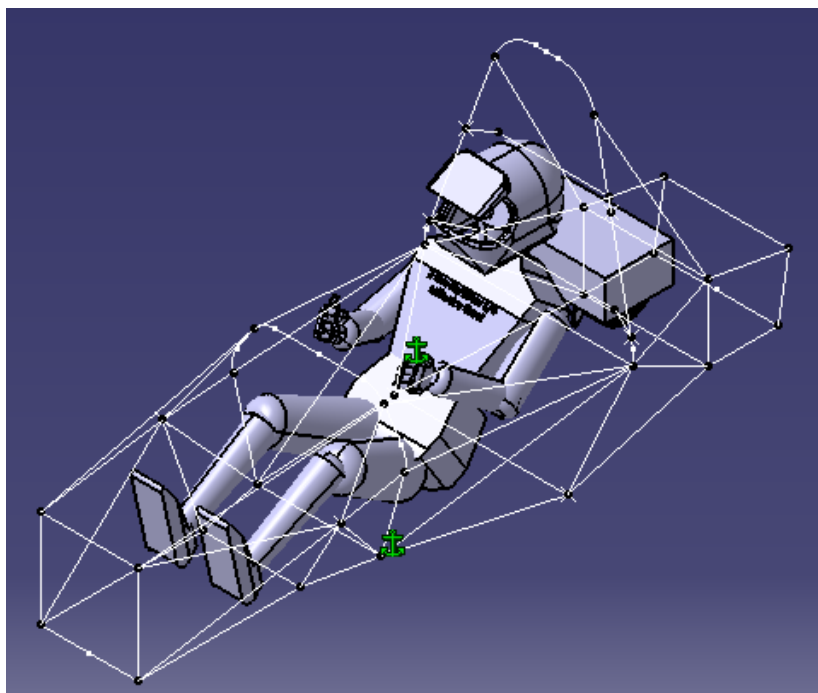
En la part final del disseny amb el programa CATIA V5 s'han posicionat el motor i el controlador motor en les seves possibles localitzacions finals per comprovar si aquests tenen l'espai suficient. El controlador es situa entre els tirants de suport del cercol principal i la part inferior de l'estructura tal i com es veu a la Figura 2.72. El motor per la seva banda es situa a la part inferior de l'estructura del xassís ja que el seu eix ha d'estar a la mateixa alçada que l'eix de les rodes anteriors. La part final del xassís té una alçada de com a mínim 228 mm que és la que correspon al diàmetre del motor EMRAX 228 per tal que aquest es pugui posicionar a l'interior del xassís correctament. A més a més, aquesta última part no disposa de triangulació lateral ja que serà necessari aquest espai per a que els paliers s'uneixin amb les rodes.

Un altre dels elements que s'han incorporat en aquest moment són els recolzaments del seient i del cap amb el cercol principal els quals estan disposats en forma de lletra U.

A la Figura 2.72 i la Figura 2.73 s'observen la disposició d'aquests elements:



*Figura 2.72. Vista lateral dreta on es mostra el motor, el controlador motor i la part final de l'estructura del xassís. Font pròpia.*

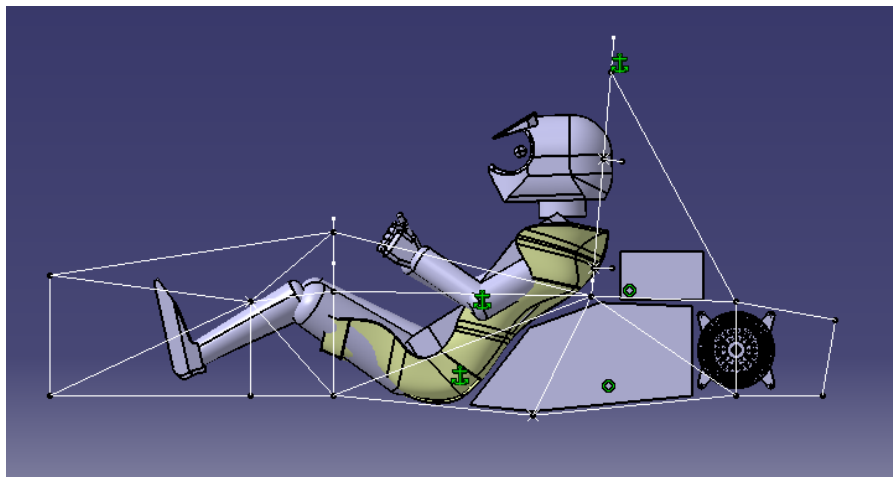


*Figura 2.73. Vista isomètrica on s'observen tots els elements anteriors. Font pròpia.*

Per acabar, es col·loca el seient del pilot en la seva posició i només queda definir l'espai que queda per a l'allotjament del paquet de bateries. Tal i com s'ha explicat en apartats anteriors aquests paquets de bateries normalment són personalitzats per a cada equip de la competició FSAE, és a dir, el fabricant s'adapta als requeriments dels equips i dissenya un paquet òptim.

## Disseny d'un xassís tubular

En aquest cas es disposa de tot l'espai que es mostra a la figura x. En aquest espai s'adaptaria un paquet de bateries adequat per l'emmagatzemat d'energia tenint en compte les característiques de la resta de components. Per a l'abast d'aquest projecte no es dissenyarà aquest paquet de bateries sinó que es delimitarà l'espai que podria ocupar i els seus punts d'ancoratge a l'estructura del xassís. A la Figura 2.74 s'observa la disposició dels elements motor, controlador motor i seient, juntament amb l'espai cedit per al paquet de bateries.



*Figura 2.74. Disposició dels elements de la part posterior del vehicle juntament amb l'espai cedit per al paquet de bateries. Font pròpia.*

Aquest seria el resultat del procediment seguit fins a obtenir el disseny del xassís tot respectant els requeriments imposats per la normativa de la FSAE. Aquests requeriments serien comprovats per un jurat durant la competició i és important no cometre errors de cap tipus.

## 2.6 ANNEX 6:ANNEX DE JUSTIFICACIÓ DE PREUS

### 2.6.1 Quadres de preus bàsics

Taula 2.40. Quadre de preus bàsics de Materials.

Materials			
Codi	Unitat	Concepte	Preu
TFG01	kg	Tub d'acer de secció A - Secció circular Ø30x2mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	2 €/kg
TFG02	kg	Tub d'acer de secció BC - Secció circular Ø28x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	2 €/kg
TFG03	kg	Tub d'acer de secció D - Secció circular Ø35x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	2 €/kg

Taula 2.41. Quadre de preus bàsics de Mà d'obra.

Mà d'Obra			
Codi	Unitat	Concepte	Preu
		ENGINYERIA:	
TFG04	h	Estudi preliminar	30 €/h
TFG05	h	Disseny CAD	30 €/h
TFG06	h	Selecció de materials i components	30 €/h
TFG07	h	Simulacions MEF	30 €/h
TFG08	h	Anàlisis de solucions i resultats	30 €/h
TFG09	h	Plànols	30 €/h
TFG10	h	Pressupost	30 €/h
TFG11	h	Documentació requerida	30 €/h



Taula 2.42. Quadre de preus bàsics de Maquinària.

<b>Maquinària</b>			
<b>Codi</b>	<b>Unitat</b>	<b>Concepte</b>	<b>Preu</b>
TFG12	h	Tallat de perfils tubulars amb serra de cinta	35 €/h
TFG13	h	Doblegat dels tubs amb rodets	20 €/h
TFG14	h	Preparació de les unions i la soldadura	10 €/h
TFG15	h	Soldadura de les unions amb TIG	40 €/h
TFG16	h	Tractament superficial en forn de polimeritzat	30 €/h

## 2.6.2 Partides d'Obra

Taula 2.43. Partides d'obra del capítol I.

<b>CAPÍTOL I: DISSENY</b>						
<b>Codi</b>	<b>Unitat</b>	<b>Concepte</b>	<b>Preu</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Subtotal</b>	<b>Import</b>
<b>TFG1</b>	<b>h</b>	<b>Estudis i disseny CAD</b>				
TFG04	h	Estudi preliminar	30 €/h	-	-	
TFG05	h	Disseny CAD	30 €/h	-	-	
TFG06	h	Selecció de materials i components	30 €/h	-	-	
				<b>TOTAL PARTIDA:</b>		<b>30 €/h</b>
<b>TFG2</b>	<b>h</b>	<b>Simulacions i resultats</b>				
TFG07	h	Simulacions MEF	30 €/h	-	-	
TFG08	h	Anàlisi de solucions i resultats	30 €/h	-	-	
TFG09	h	Plànols	30 €/h	-	-	
TFG10	h	Pressupost	30 €/h	-	-	
TFG11	h	Documentació requerida	30 €/h	-	-	
				<b>TOTAL PARTIDA:</b>		<b>30 €/h</b>



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 2.44. Partides d'obra del capítol II.

CAPÍTOL II: MATERIALS PER A LA FABRICACIÓ						
Codi	Unitat	Concepte	Preu	Quantitat	Subtotal	Import
<b>TFG3</b>	<b>Kg</b>	<b>Tubs d'acer secció A</b>				
TFG01	kg	Tub d'acer de secció A - Secció circular Ø30x2mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	2 €/Kg	-	-	
					<b>TOTAL PARTIDA:</b>	<b>2 €/Kg</b>
<b>TFG4</b>	<b>Kg</b>	<b>Tubs d'acer secció B-C</b>				
TFG02	kg	Tub d'acer de secció BC - Secció circular Ø28x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	2 €/Kg	-	-	
					<b>TOTAL PARTIDA:</b>	<b>2 €/Kg</b>
<b>TFG5</b>	<b>Kg</b>	<b>Tubs d'acer secció D</b>				
TFG03	kg	Tub d'acer de secció D - Secció circular Ø35x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	2 €/Kg	-	-	
					<b>TOTAL PARTIDA:</b>	<b>2 €/Kg</b>

Taula 2.45. Partides d'obra del capítol III.

CAPÍTOL III: PROCÉS DE FABRICACIÓ						
Codi	Unitat	Concepte	Preu	Quantitat	Subtotal	Import
<b>TFG6</b>	<b>h</b>	<b>Processos inicials</b>				
TFG12	h	Tallat de perfils tubulars amb serra de cinta	35 €/h	-	-	
TFG13	h	Doblegat dels tubs amb rodets	20 €/h	-	-	
					<b>TOTAL PARTIDA:</b>	<b>30 €/h</b>
<b>TFG7</b>	<b>h</b>	<b>Processos finals</b>				
TFG14	h	Preparació de les unions i la soldadura	10 €/h	-	-	
TFG15	h	Soldadura de les unions amb TIG	40 €/h	-	-	
TFG16	h	Tractament superficial en forn de polimeritzat	30 €/h	-	-	
					<b>TOTAL PARTIDA:</b>	<b>40 €/h</b>



## **2.7 ANNEX 7:CATÀLEGS**

**2.7.1 Catàleg de tubs SSAB**

**2.7.2 Catàleg de tubs 25CrMo4**

**2.7.3 Fitxa tècnica motor EMRAX 228**

**2.7.4 Fitxa tècnica controlador motor BAMOCAR D3**

**2.7.5 Atenuador d'impactes (Impact Attenuator).**



## SSAB Form Tube 320

### General Product Description

Form Tube 320 is formable precision tube. It has 20% higher elongation values and very narrow tolerances compare to competing products. Available in circular, rectangular, square and special shapes, it comes with different coating and surface options including cold rolled, galvanized, galvanized and galfan. Customized shapes and other tailoring options are available upon request. Typically uses include light engineering, where formability, uniform quality, different surface options and usability are important.

### Dimension Range

SSAB Form Tube 320 is available at circular, square, rectangular, flat oval and oval (elliptic) shapes.

Circular	16 - 88.9 mm
Square	19x19 - 70x70 mm
Rectangular	20x15 - 100x40 mm
Flat oval	25x15 - 78x38 mm
Oval (elliptic)	22x16.5 - 31x17.5 mm
Wall thickness	0.9 - 3.0 mm
Mill length	6000 mm

Other shapes, sizes and lengths are available upon request.

## Dimensions

### Circular

Diameter	0.9 mm (kg/m)	1.0 mm (kg/m)	1.25 mm (kg/m)	1.5 mm (kg/m)	2.0 mm (kg/m)	2.5 mm (kg/m)	3.0 mm (kg/m)
16 mm	0.335	0.370	0.455	0.536	0.691*		
18 mm	0.380	0.419	0.516	0.610	0.789		
19 mm	0.402	0.444	0.547	0.647	0.838	1.02*	
20 mm	0.424	0.469	0.578	0.684	0.888	1.08	
22 mm	0.468	0.518	0.640	0.758	0.986	1.20	1.41*
25 mm	0.535	0.592	0.732	0.869	1.13	1.39	1.63*
25.4 mm	0.544	0.602	0.744	0.884	1.15	1.41	1.66*
28 mm	0.601	0.666	0.825	0.980	1.28	1.57	1.85
30 mm	0.646	0.715	0.886	1.05	1.38	1.70	2.00
32 mm		0.765	0.948	1.13	1.48	1.82	2.15
34 mm		0.814	1.01	1.20	1.58	1.94	2.29
35 mm		0.838	1.04	1.24	1.63	2.00	2.37
38 mm		0.912	1.13	1.35	1.78	2.19	2.59
40 mm		0.962	1.20	1.42	1.87	2.31	2.74
41 mm		0.990	1.22	1.46	1.92	2.37	2.81
41.5 mm		0.999	1.24	1.48	1.95	2.40	2.85
44.5 mm		1.07	1.33	1.59	2.10	2.59	3.07
48 mm			1.44	1.72	2.27	2.81	3.33
50 mm			1.50	1.79	2.37	2.93	3.48
50.8 mm			1.53	1.82	2.41	2.98	3.54
55 mm			1.66	1.98	2.61	3.24	3.85
57 mm			1.72	2.05	2.71	3.36	4.00
60 mm			1.81	2.16	2.86	3.55	4.22
63.5 mm			1.92	2.29	3.03	3.76	4.48
70 mm				2.53	3.35	4.16	4.96
76.1 mm				2.76	3.65	4.54	5.41
88.9 mm					4.29	5.33	6.36

\* elongation A-value according to +CR2, 19%

### Square

Height x Width	1.0 mm (kg/m)	1.25 mm (kg/m)	1.5 mm (kg/m)	2.0 mm (kg/m)	2.5 mm (kg/m)	3.0 mm (kg/m)
19 x 19 mm	0.564	0.694	0.820	1.06*		
20 x 20 mm	0.595	0.733	0.868	1.12*		
22 x 22 mm	0.658	0.812	0.962	1.25	1.52	
25 x 25 mm	0.752	0.930	1.10	1.44	1.76	
25.4 x 25.4 mm	0.764	0.945	1.12	1.46	1.79	
30 x 30 mm	0.909	1.13	1.34	1.75	2.15	2.39
32 x 32 mm	0.972	1.20	1.43	1.88	2.31	2.58
35 x 35 mm	1.07	1.32	1.57	2.07	2.54	2.86
40 x 40 mm		1.52	1.81	2.38	2.93	3.33
50 x 50 mm		1.91	2.28	3.01	3.72	4.28
55 x 55 mm			2.52	3.32	4.11	4.47
60 x 60 mm			2.75	3.64	4.50	5.22
70 x 70 mm				4.26	5.29	6.16

\* elongation A-value according to +CR2, 19%

**Oval**

Height x Width	0.9 mm (kg/m)	1.0 mm (kg/m)	1.25 mm (kg/m)	1.5 mm (kg/m)	2.0 mm (kg/m)
22 x 16.5 mm	0.407	0.450	0.555	0.657	0.851*
25 x 17 mm	0.446	0.493	0.609	0.721	0.927*
31 x 17.5 mm		0.573	0.709	0.842	1.097

\* elongation A-value according to +CR2, 19%

**Mechanical Properties**

Yield Strength $R_{p0.2}$ (min MPa)	Tensile Strength $R_m$ (min MPa)	Elongation A (min %)
320	410	23

Mechanical properties meet or exceed the requirements of EN 10305 (+CR2)

**Chemical Composition**

C (max %)	Si <sup>1) 2)</sup> (max %)	Mn (max %)	P <sup>1) 2) 3)</sup> (max %)	S <sup>3)</sup> (max %)	Al <sub>tot</sub> <sup>4)</sup> (min %)
0.10	0.35	1.40	0.020	0.020	0.020

Chemical composition meets or exceeds the requirements of EN 10305.

If other chemical elements such as Ti, Nb or V are used, the content of these elements are reported in the inspection document.

1) SSAB Form Tube C grade is suitable for high quality hot-dip galvanizing (Si &lt; 0.03%, Si+2.5P &lt; 0.06%)

2) SSAB Form Tube H grade is suitable for high quality hot-dip galvanizing (Si &lt; 0.03%, Si+2.5 P &lt; 0.06%)

3) Low level of impurities ensure excellent formability and weldability

4) This requirement is not applicable provided the steel contains a sufficient amount of other nitrogen binding elements, such as Ti, Nb or V.

**Tolerances**

Characteristic	Circular precision tubes Tolerances meet or exceed the requirements of EN 10305-3
Outside diameter (D) <sup>1)</sup>	
D < 20	±0.12 mm
20 ≤ D < 32	±0.15 mm
32 ≤ D < 44	±0.20 mm
44 ≤ D < 55	±0.25 mm
55 ≤ D < 70	±0.30 mm
70 ≤ D < 80	±0.35 mm
80 ≤ D < 100	±0.40 mm
Out-of-roundness	The diameter tolerances include the out-of-roundness
Thickness (T)	T ≤ 1.5 mm: ±0.15 mm T > 1.5 mm: ±10% of nominal thickness or ±0.35 mm whichever is the smaller
Straightness	Maximum 0.15% of measured length
Height of internal weld bead, g;	
Bead removed Bead not removed	g ≤ 0.3 mm g < 0.6 mm, when T ≤ 1.5 mm g < 0.4 x T, when 1.5 mm < T ≤ 3.0 mm
Mill length	0/+50 mm, standard length 6000 mm
Exact length, single cutting	Agreed at the time of enquiry and order
Exact length, bundle cutting	Agreed at the time of enquiry and order

1) For a maximum distance of 100 mm, the ends may, due to the cutting method, have diameters outside the tolerances



[Home](#) |

[Products](#) |

[Roll cage tube](#) |

[Tube Re-profiling](#) |

[Industry Sectors](#) |

[Latest News](#) |

[Downloads](#) |

[Quality](#) |

[Ebay Store](#) |

[Customer Reviews](#)

## CONTACT US

# 25CRMO4

25CRMO4 (25CD4)

25CRMO4 is a high tensile grade of steel that contains chromium and molybdenum, and as a result, this grade is often referred to as Chromoly steel, chrome-moly, CrMo, CRMO, CR-MOLY.

It is similar to the American grade 4130 in terms of chemical and mechanical properties and is mainly used in the European industry sectors.

The material is not as easily weldable compared to other materials such as BS4 T45 to BS5 T100 or 15CDV6 (1.7734) as it requires pre and post-weld heat treatment to avoid cold cracking. It is also inadvisable to weld Chromoly to other carbon steel grades due to the differences in chemical construction. It can be achieved, but particular attention to vital stress areas and heat-affected zones must be made.

Translate » ons for 25CRMO4 include

- Aerospace and defence structures,
- Go Kart Chassis
- Bicycle and motorcycle frames,
- Tubes for safe transportation of pressurised gases,
- Clutch and flywheel components for the automotive industry,
- Roll cage and chassis construction used in racing, rallying and road vehicles.

25CRMO4 is available in the following forms:

- Sheet
- Plate
- Bar
- Tube – Round, Oval, Square, Rectangle, Streamline / Aerofoil.

Properties	Typical Minimum Value (Stress relieved)	Typical Minimum Value (Normalised)	Typical Minimum Value (Heat Treated)
Tensile	740 Mpa	N/A	1100 Mpa
Yield	590 Mpa	500 Mpa	N/A
Elongation	15%	25%	N/A

## Standard Round Tube Sizes

Outside Diameter	Wall Thickness
10mm	1.0mm
12mm	1.0mm
	2.0mm
13mm	1.5mm
14mm	1.0mm
	2.0mm
16mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
	2.5mm
18mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
20mm	0.5mm
	0.8mm
	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm
22mm	1.0mm
	1.5mm
	2.0mm

Translate »

25mm	1.0mm 1.5mm 2.0mm 2.5mm
28mm	1.0mm 1.5mm 2.0mm
30mm	1.0mm 1.5mm 2.0mm 2.5mm 3.0mm
32mm	1.0mm 1.5mm 2.0mm 2.5mm
35mm	1.0mm 1.5mm 2.0mm
40mm	1.0mm 1.5mm 2.0mm
45mm	1.5mm 2.0mm
50mm	2.0mm

## 25CRMO4 / 25CD4S Square and Rectangle sizes

We can offer from stock, 25CRMO4 / 25CD4S Square and rectangle section.

Stock list accurate as of 18/11/2019

A Axis (mm)	B Axis (mm)	Wall Thickness (mm)
15.0	15.0	0.9 1.5
20.0	20.0	1.0 1.5
30.0	20.0	0.8

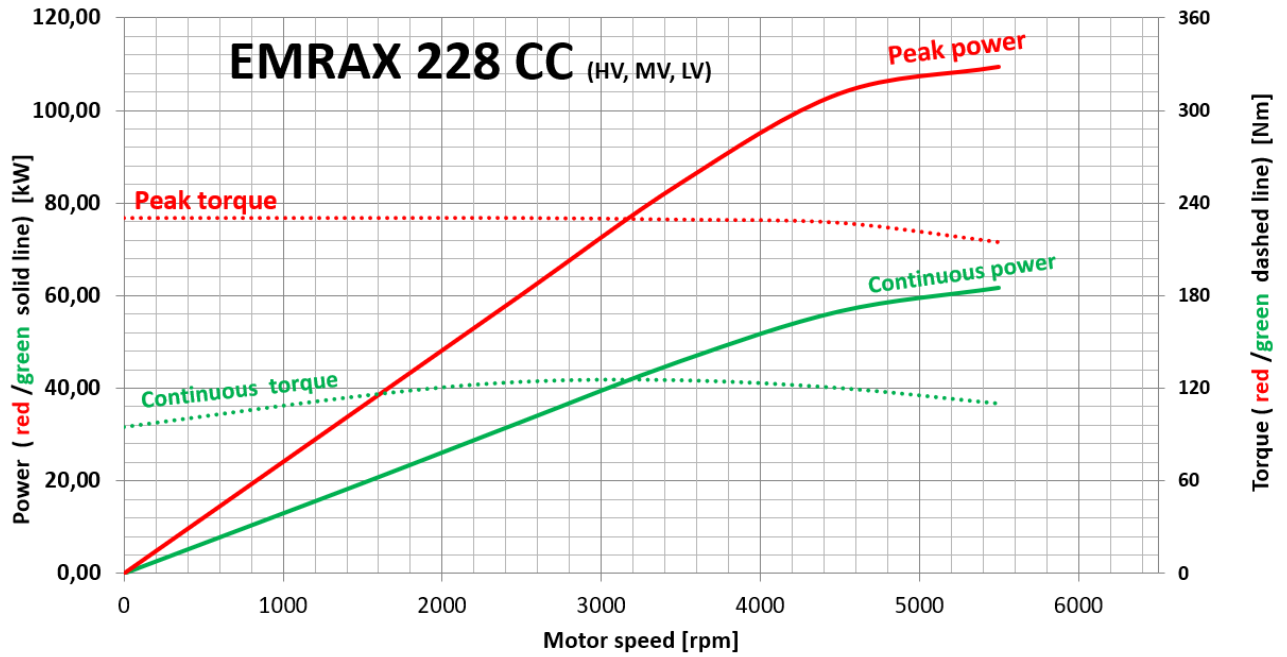
[Click to view 25CRMO4 Rectangle & Square sizes](#)

[Translate »](#)

## EMRAX 228 Technical Data Table (dynamometer test data)

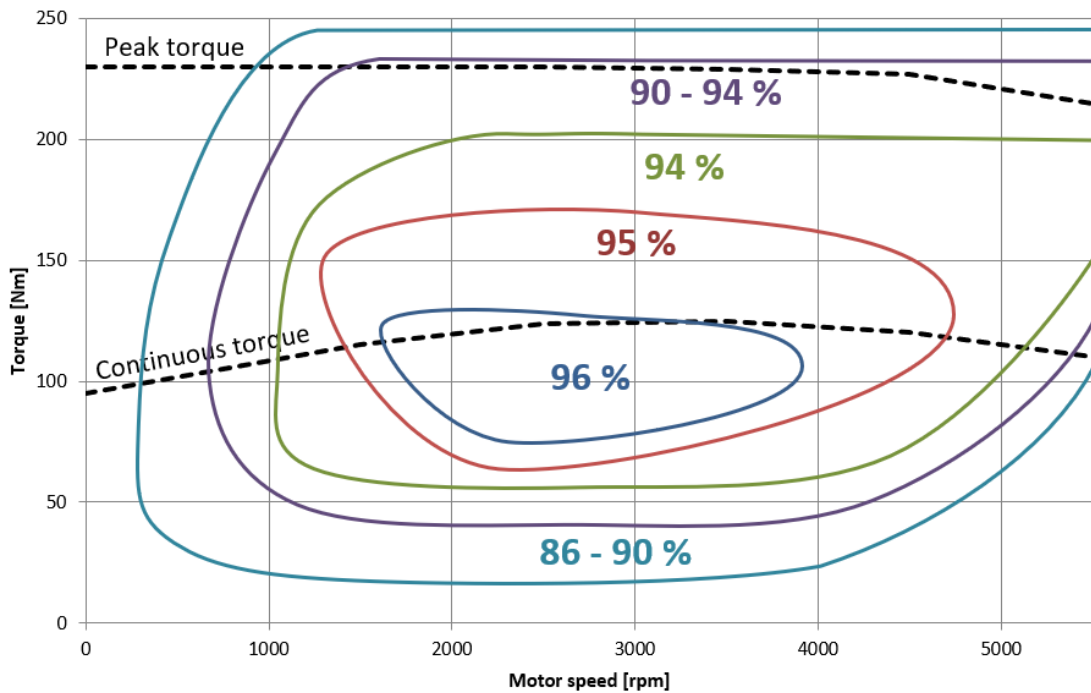
Type Technical data	EMRAX 228 High Voltage			EMRAX 228 Medium Voltage			EMRAX 228 Low Voltage		
	AC	LC	CC	AC	LC	CC	AC	LC	CC
Air cooled = AC Liquid cooled = LC Combined cooled = Air + Liquid cooled = CC									
Ingress protection	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21	IP21	IP65	IP21
Cooling medium specification (Air Flow = AF; Inlet Water/glycol Flow = WF; Ambient Air = AA) If inlet WF temperature and/or AA temperature are lower, then continuous power is higher.	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	AF=20m/s AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C	WF=8l/min at 50°C; AA=25°C
Weight [kg]	12,0	12,4	12,3	12,0	12,4	12,3	12,0	12,4	12,3
Diameter $\phi$ / width [mm]	228 / 86								
Maximal battery voltage [Vdc] and max load RPM	680 Vdc (5500 RPM)			500 Vdc (5500 RPM)			160 Vdc (5500 RPM)		
Peak motor power at max load RPM (few min at cold start / few seconds at hot start) [kW]	109								
Continuous motor power (at 5500 RPM)	50	53	62	50	53	62	50	53	62
Maximal rotation speed [RPM]	5500 (6500 for a few seconds with magnetic field weakening)								
Maximal motor current (for 2 min if cooled as described in Manual) [Arms]	240			340			900		
Continuous motor current [Arms]	115			160			450		
Maximal motor torque (for a few seconds) [Nm]	230								
Continuous motor torque [Nm]	96	102	120	96	102	120	96	102	120
Torque / motor current [Nm/1Aph rms]	1,1			0,75			0,27		
Maximal temperature of the copper windings in the stator and max. temperature of the magnets [°C]	120								
Motor efficiency [%]	92-98%								
Internal phase resistance at 25 °C [m $\Omega$ ]	16,7			7,0			1,1		
Input phase wire cross-section [mm <sup>2</sup> ]	11,4			17,0			42,5		
Wire connection	star								
Induction in Ld/Lq [ $\mu$ H] of 1 phase	177/183			76/79			10,3/10,6		
Controller / motor signal	sine wave								
AC voltage between two phases [Vrms/1RPM]	0,0730			0,0478			0,0176		
Specific idle speed (no load) [RPM/1Vdc]	9,8			14			40		
Specific load speed (max load) [RPM/1Vdc]	8			11			34		
Magnetic field weakening (for higher RPM at the same power and lower torque) [%]	up to 100								
Magnetic flux – axial [Vs]	0,0542			0,0355			0,0131		
Temperature sensor on the stator windings	kty 81/210								
Number of pole pairs	10								
Rotor inertia LC motor [kg*m <sup>2</sup> ]	0,0383								
Bearings (front:back) - FAG	6206:3206 (for axial-radial forces; for pull-push mode, $\alpha=25^\circ$ )								

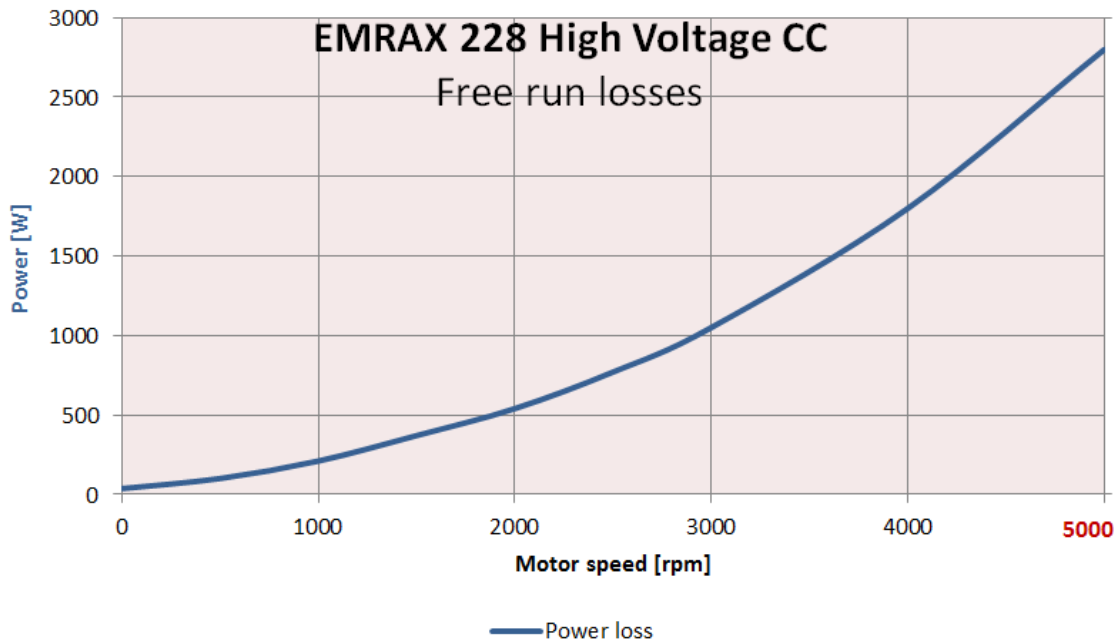
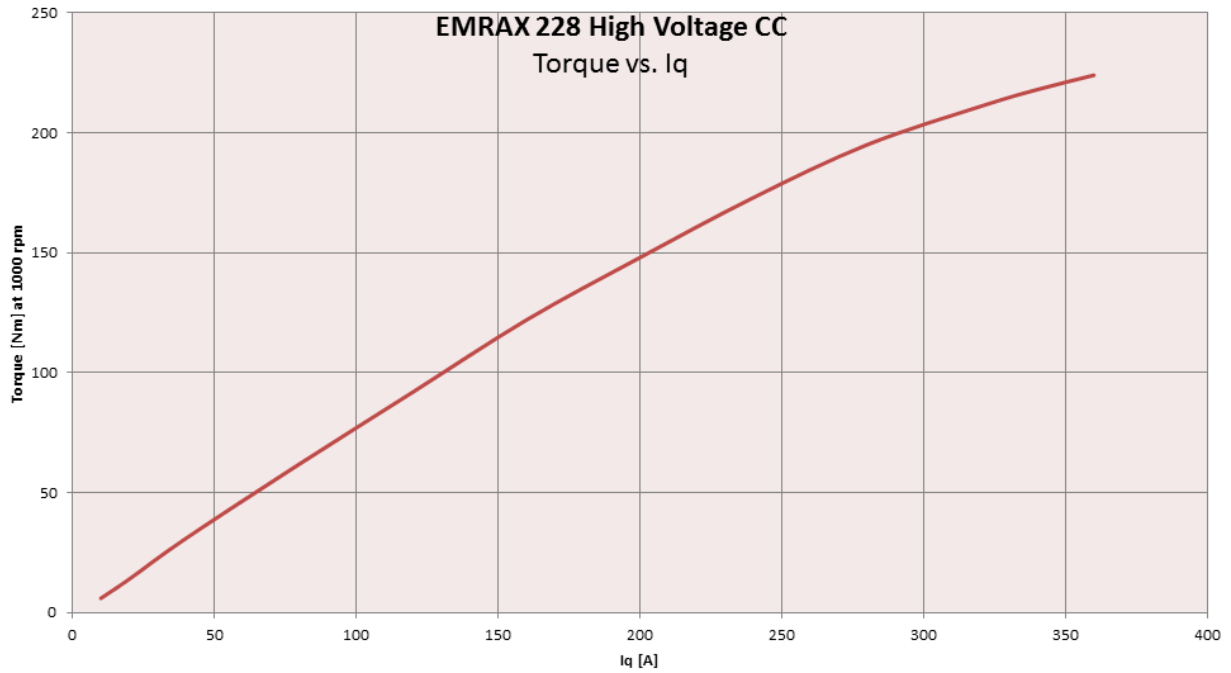
Graphs valid for EMRAX 228:



Note 1: for determining peak or continuous power (kW) you should choose motor speed and then read power from chosen power curve (in the left graph side)  
 Note 2: for determining peak or continuous torque (Nm) you should choose motor speed and then read torque from chosen torque curve (in the right graph side)

**EMRAX 228 CC**  
Efficiency map





**Graphs of EMRAX air cooled and liquid cooled type:**

The continuous power and continuous torque for air cooled motor is 20% lower and for liquid cooled motor is 15% lower.

**Graphs of the EMRAX 228 medium and low voltage motor type:**

Graphs of EMRAX 228 low voltage and EMRAX 228 medium voltage are similar to graphs of EMRAX 228 high voltage. The only differences are the DC voltage and motor current. These two parameters can be read from the Technical data table for the EMRAX 228 low and medium voltage motor.

Low voltage motor needs 4 x higher current and 4 x lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to EMRAX 228 high voltage motor.

Medium voltage motor needs 1.52 x higher motor current and 1/3 lower DC voltage for the same power/torque and RPM, compared to EMRAX 228 high voltage motor.



# MANUAL

## Digital Battery-Motor-Controller BAMOCAR-D3 for EC Servo Motors AC Induction Motors DC-Servo Motors



**UNITEK** | Industrie Elektronik  
G m b H

Hans-Paul-Kayser-Strasse 1  
D-71397 Leutenbach 3 - Nellmersbach

Tel.: 07195/9283-0  
Fax 07195/928329  
email info@unitek-online.de  
Http// www.unitek-online.de

Issue 0212 V7

### Construction :

Compact equipment  
Acc. to VDE-DIN-EG- standards.  
IP 65 protection against accidental contact with power connections.

Power electronics for ( S1 operation ) 125 A, 200 A,(peak 250A, 400A)  
Input power range nom. 12 to 700 V =  
Liquid cooling ( special construction air cooling)  
Unified digital controller electronics)  
Independent 12/ 24V DC chopper power unit for auxiliary power.

### Galvanic isolation

- Galvanic isolation between power connector, motor connector and all other control connectors
- Galvanic isolation between auxiliary voltage and all other voltages.
- Housing and radiator assembly are galvanically isolated from all electric parts.
- The air and creepage distances comply with VDE.
- No internal insulation monitor. Y2 capacitors to housing.

### The following are used:

- IGBT – power semi conductor
- Generously dimensioned.
- Only commercially available parts in industry standard.
- SMD –mounting
- 7 segment led indicators ( option)

### Features

- \* Battery connection 12 v = to 700 volts = ( dc supply, observe limitations)
- \* Independent auxiliary supply 24 v = or 12 v =
- \* Digital interfaces RS 232, can- bus ( additional option)
- \* 2 analog inputs, programmable differential inputs
- \* 4 digital in- out puts, programmable, optically isolated
- \* Reference value ramps linear, non linear ( s – function)
- \* Release and limit -switch logic.
- \* BTB – operation ready, solid state relay contact.
- \* Position , rpm and torque control
- \* Resolver or encoder – incremental encoder TTL , SINCOS 1Vss,
- \* Rotor position + bl tachometer.
- \* Encoder output or 2. encoder input.
- \* Static and dynamic current limit
- \* Unified full digital regulator unit
- \* Safety shutdown in case of over voltage, under voltage and over temperature from motor.
- \* Self protected short circuit proof power part. processor independent hardware -shut down in case of short circuit, earth fault , over voltage and over temperature of amplifier.

## Technical Data

### Device for EC/AC-motors

Power supply voltage	12V= to 700V=
Auxiliary supply	12V= or (24V=) $\pm 10\%$ / 4a (2a) Ripple voltage <10%, self-restable fuse

Data BAMOCAR-D3-400- (700)-	dim.		125/250	200/400	125/250	200/400
Rated supply voltage	V=		24 bis max .400		24 bis max .700	
Rated output voltage	V~eff		to 3x260		to 3x450	
Continue current rms	A <sub>eff</sub>		125	200	125	200
Peak current	A <sub>io</sub>		250	400	250	400
Dissipation max.	kW		2	3	2.6	4
Clock frequency	kHz		8-24		8-16	
Level Over voltage	V=		440		800	
External fusing	A		160	250	160	250
Weight	kg		5.8	6,8	5.8	6.8
Dimension HxWxD	mm		403x250x145			
Size			2	2	2	2

### Device for DC-Motors

Power supply voltage	12V= to 400V=
Auxiliary supply	12V= or (24V=) $\pm 10\%$ / 4a (2a) Ripple voltage <10%, self-restable fuse

Data BAMOCAR-D2-	dim.		125/250	200/400		
Rated supply voltage	V=		24 bis max. 400			
Rated output voltage	V=		20 to 360			
Continue current rms	A=		125	200		
Peak current	A <sub>io</sub>		250	400		
Dissipation max.	kW		2	3		
Clock frequency	kHz		8-16			
Level Over voltage	V=		programable to max 440v			
External fusing	A		160	250		
Weight	kg		5.8	6,8		
Dimension HxWxD	mm		403x250x145			
Size			2	2		

Input / Output	v	A	Funktion	Connector
Analog Input	± 10	0.005	Differential input	x1
Digital input	10-30 <6	0.010 0	Logic io (opto)	x1
Digital output	+24	1	Transistor-output open emitter (opto)	x1
Resolver input			Differential input	x7
Encoder input	>3.6v		Opto	x7
Encoder output	>4.7v		Opto	x8
CAN-interface			Logik io (opto)	x9
RS232-interface			Logik io	x10

Ambient conditions	
Enclosure protection	IP65
Norms	EN 60204, ISO 16750
Ambient temperature	-10 to +45°C
Maximum ambient temperature	-30 to +65 ab +45°C to +65°C with power derating 2%/°C
Storage temperature	-30°C to +80°C
Humidity in operation	Klasse F rel. humidity <85% , <b>no condensation !</b>
Site altitude	≤ 1000m ü.nn 100%, >1000m with power derating 2%/100m
Cooling	liquid cooler max 65°C , 12 l/min , precher max 1,3 bar
Mounting position	equal

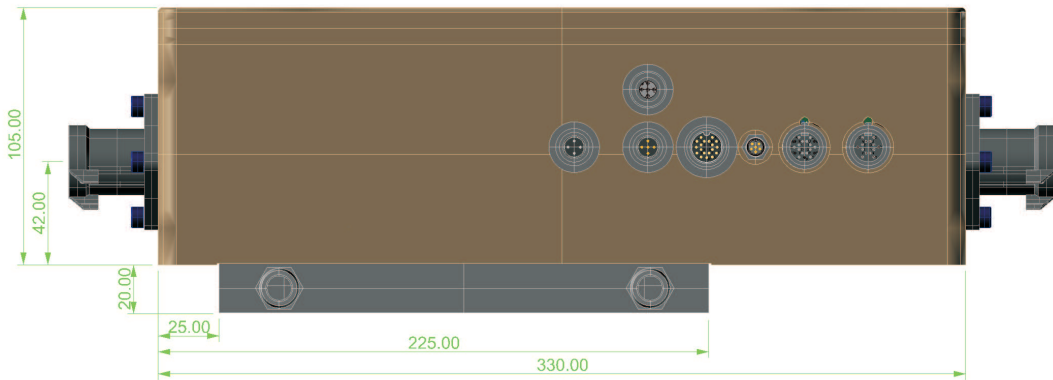
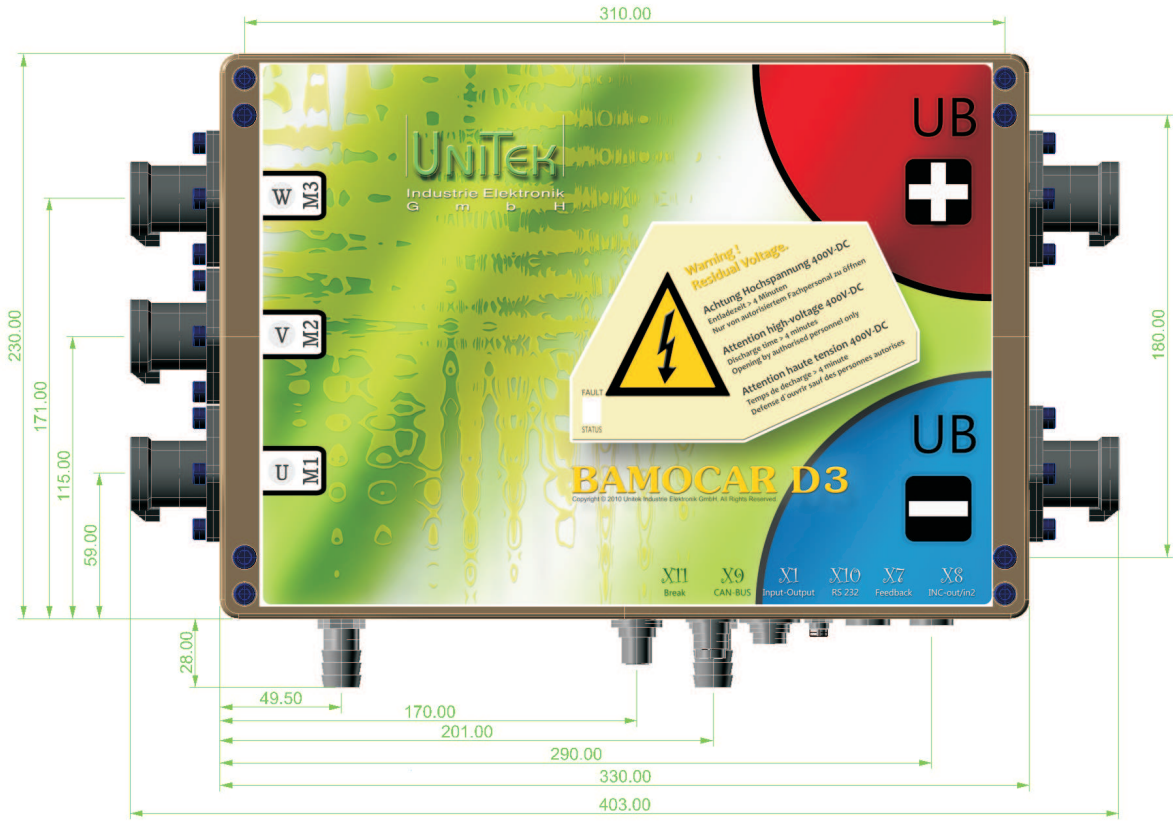
Program	Type	Software-version
BAMOCAR-D3(D2)-xx-rs	resolver	
BAMOCAR-D3-(D2)xx-in	encoder-ttl	
BAMOCAR-D3-(D2)xx-sc	encoder-sincos 1vss	
BAMOCAR-D3-(D2)xx-bl	rotorlage+bl-tacho	
BAMOCAR xx-DC	dc-tacho, armature voltage	

**Note:**

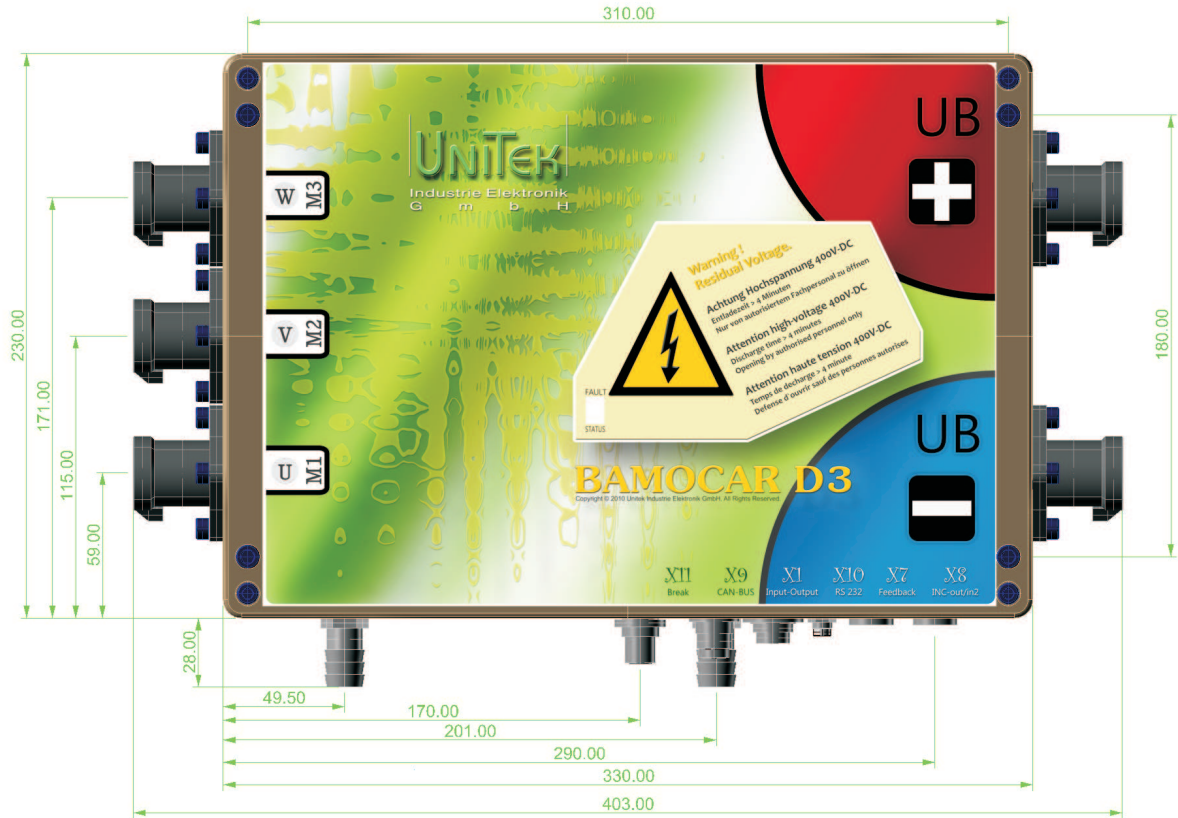
Power supply cables between the BAMOCAR and the battery must be as short as possible. Long cables cause dynamic voltage drops due to the line impedance and as a consequence the service life of the installed ELKOs would be reduced.

# BAMOCAR D3

## Dimensions



Screw for hex key BAMOCAR



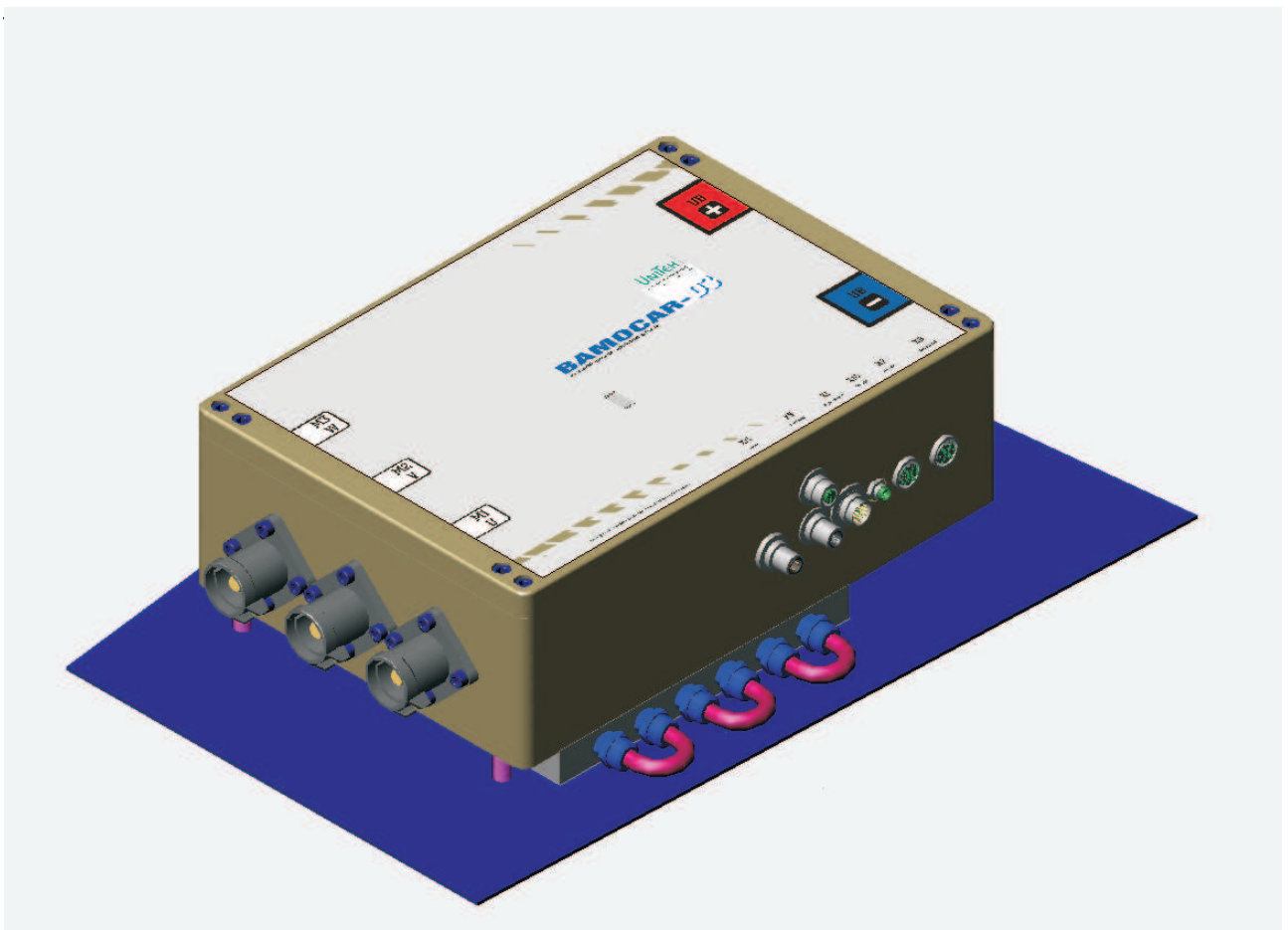
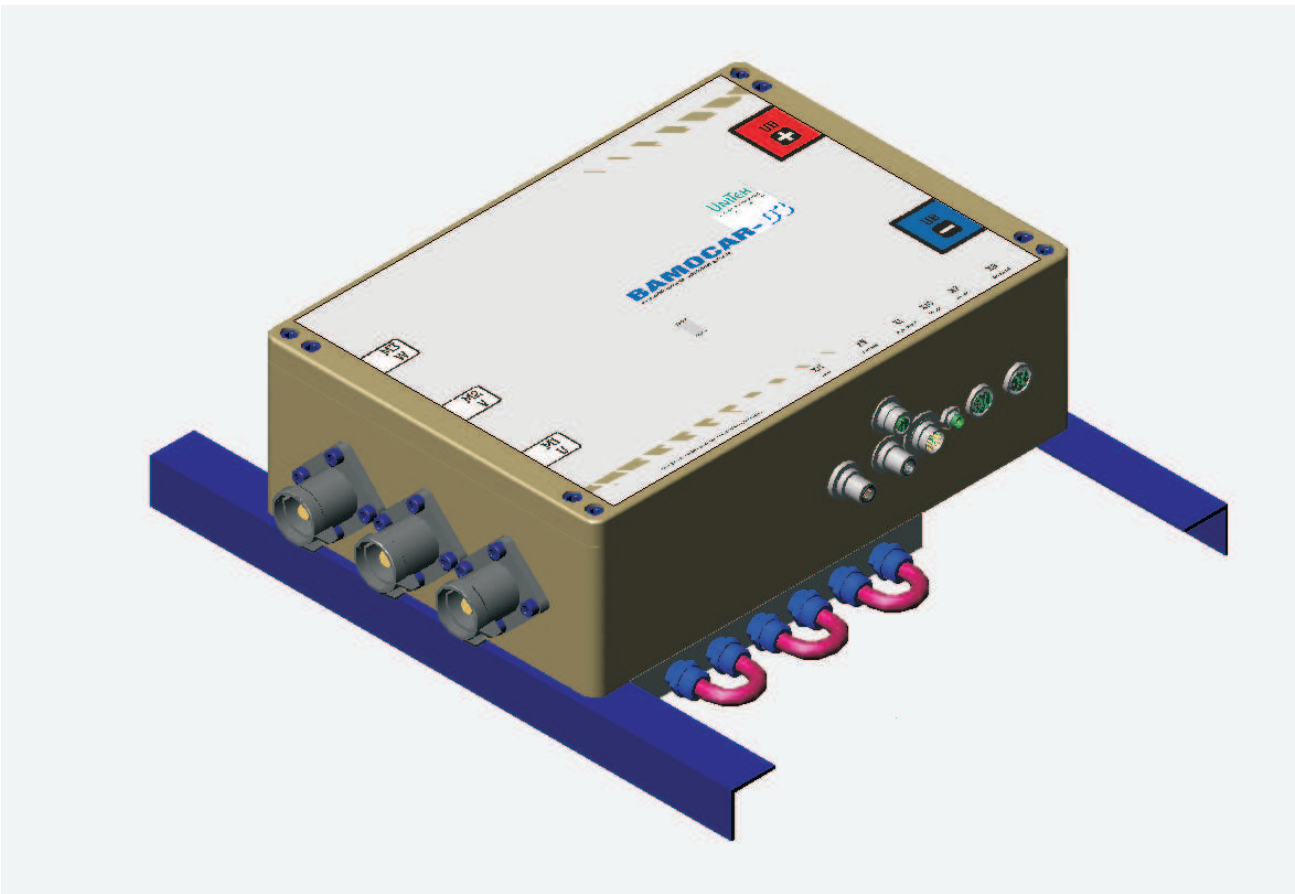
## Liquid cooler

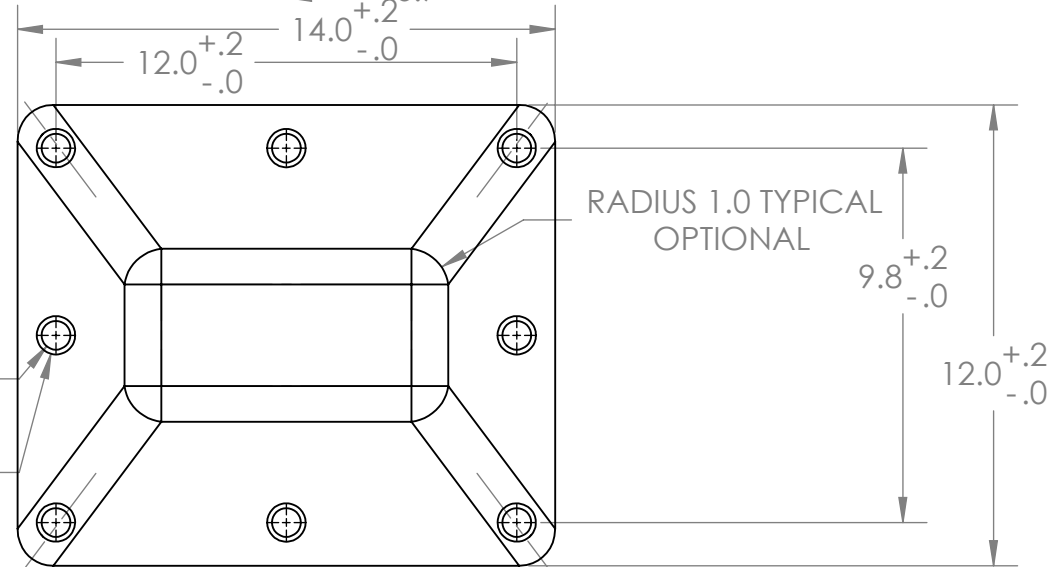
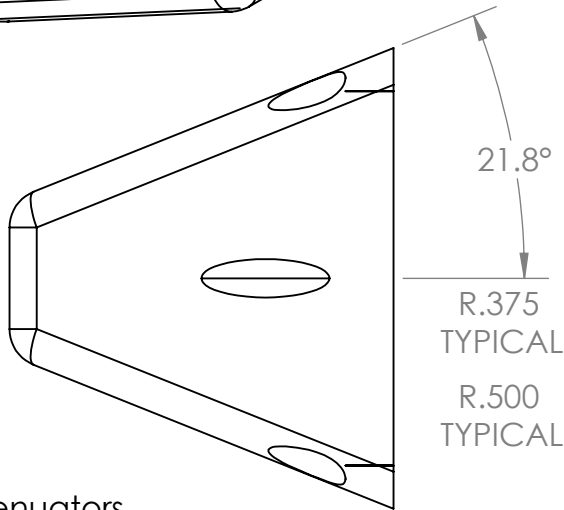
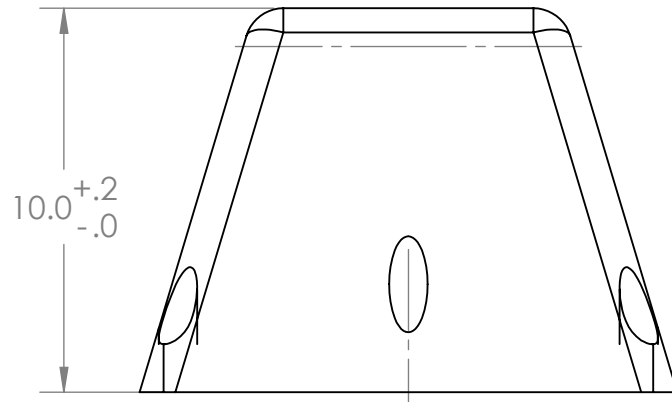
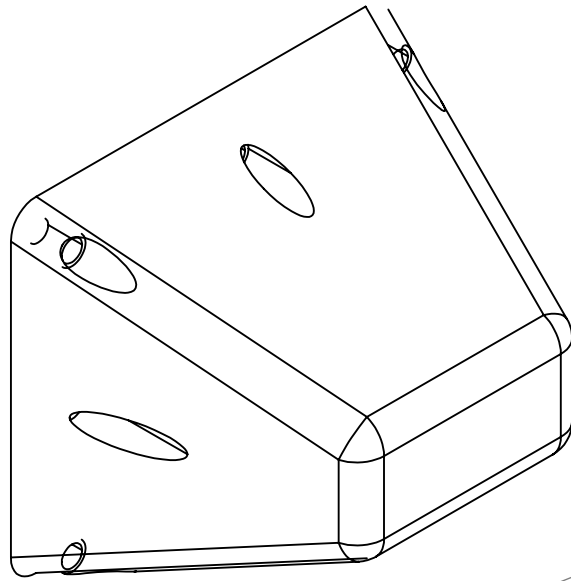
### Connection

hose connection                      metall 13mm

inlet temperature                      50° grad c

flow max                                      12l/min  
 pressure max                                1,3 bar





For 2012 the standard attenuator may require the addition of a diagonal tube in the plane of the front bulkhead that connects two nodes. An optional configuration is an "X" brace that connects all four corners of the front bulkhead.

For more information see the following pages.

Note: Attenuators purchased from BSCI will not include optional radii on edges or mounting holes. Mounting holes shown are for reference only - attachment is up to the team to determine.

**PROPRIETARY AND CONFIDENTIAL**  
THE INFORMATION CONTAINED IN THIS DRAWING IS COPYRIGHT 2011 BY SAE INTERNATIONAL.

Updated	11/19/11	UNLESS OTHERWISE SPECIFIED:	NAME	DATE	TITLE: <b>FSAE Impact Attenuator Type 11</b>
		DIMENSIONS ARE IN INCHES TOLERANCES: FRACTIONAL ±0.015 ANGULAR: MACH ± 0.3 TWO PLACE DECIMAL ± 0.010 THREE PLACE DECIMAL ± 0.003	DRAWN	WBR 3/14/11	
		INTERPRET GEOMETRIC TOLERANCING PER:	CHECKED		
		MATERIAL <b>Impax 700 Foam</b>	ENG APPR.		
NEXT ASSY	USED ON	FINISH	MFG APPR.	Q.A.	SIZE DWG. NO. REV <b>A FSAE-IA-12 1</b>
APPLICATION		DO NOT SCALE DRAWING	The Type 12 attenuator is unchanged from the 11 but for 2012 the additional front bulkhead diagonal tube is required, see note.		
			SCALE: 1:8	WEIGHT:	SHEET 1 OF 1

Treball de Fi de Grau  
**Enginyeria Mecànica**



**Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle  
elèctric de competició monoplaça**

**Document 3: Plànols**

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



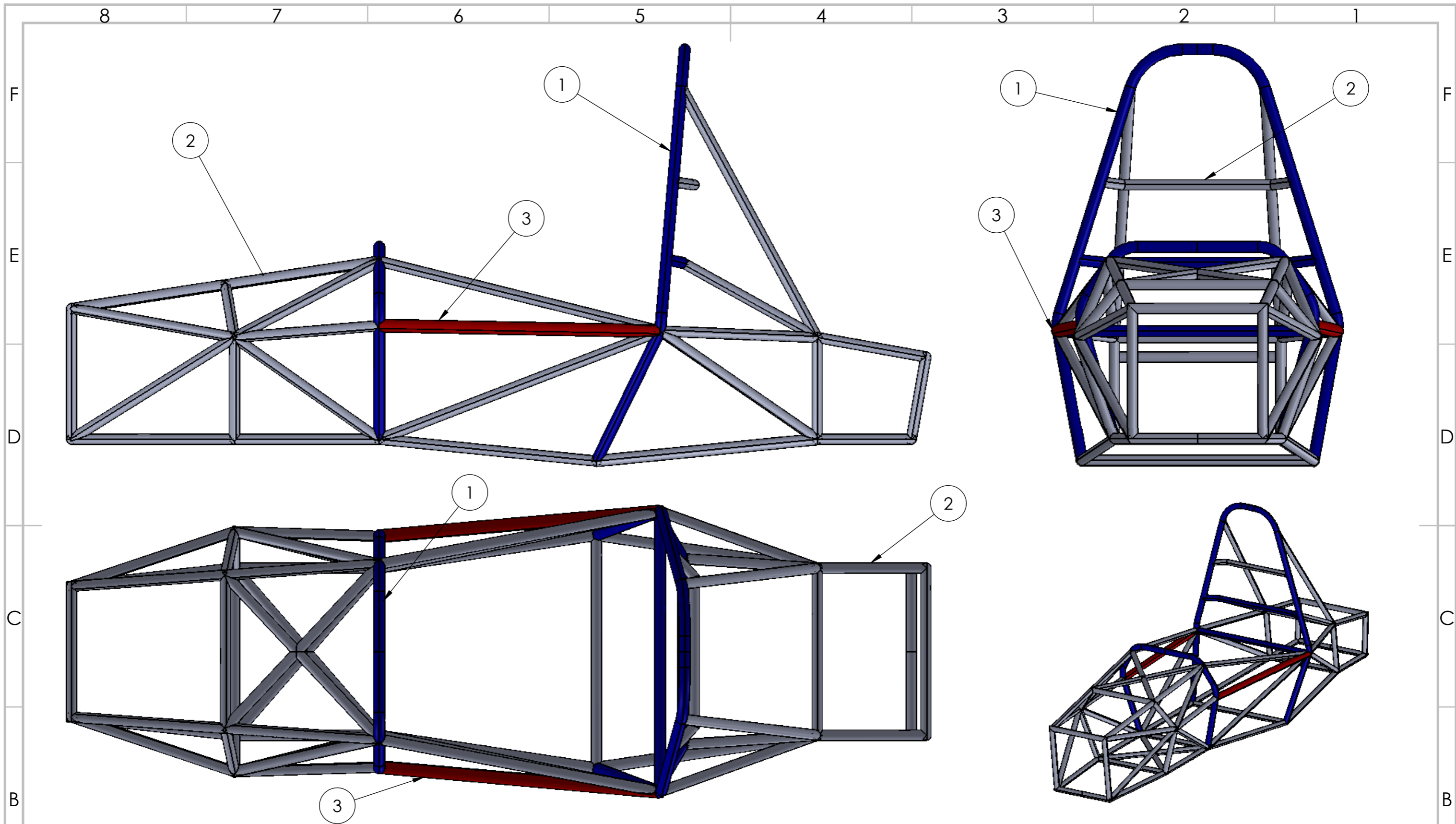
ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

### 3 PLÀNOLS

- 3.1 Plànol de conjunt
- 3.2 Plànol general
- 3.3 Part posterior xassís
- 3.4 Part davantera xassís
- 3.5 Part central xassís
- 3.6 Cèrcol principal (Main Hoop)
- 3.7 Cèrcol frontal (Front Hoop)
- 3.8 Detalls unions soldades
- 3.9 Plataforma inferior





Nº	Descripció	D ext. (mm)	Espessor (mm)	Longitud (mm)	Massa (Kg)	Material
1	<b>SECCIÓ TUB A</b>	30	2,5	5710,10	9,68	25CrMo4 / EN 10305-1
2	SECCIÓ TUB B-C	28	1,5	29859,83	29,27	25CrMo4 / EN 10305-1
3	<b>SECCIÓ TUB D</b>	35	1,5	1558,31	1,93	25CrMo4 / EN 10305-1
TOTAL:				37128,24	40,88	

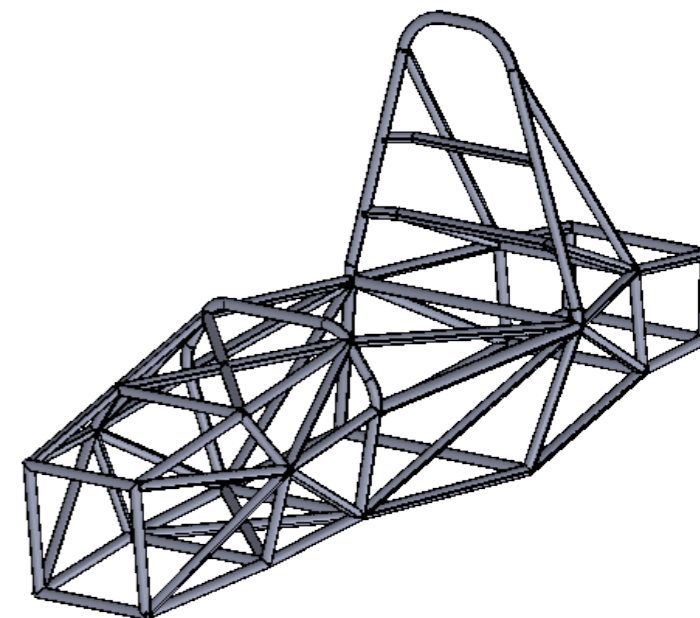
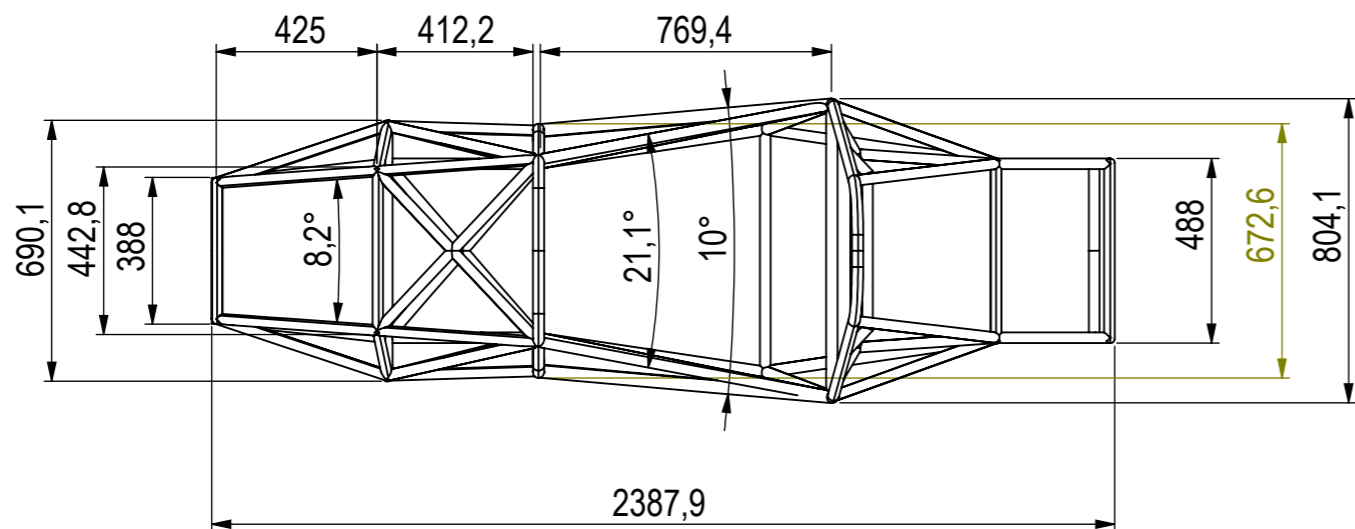
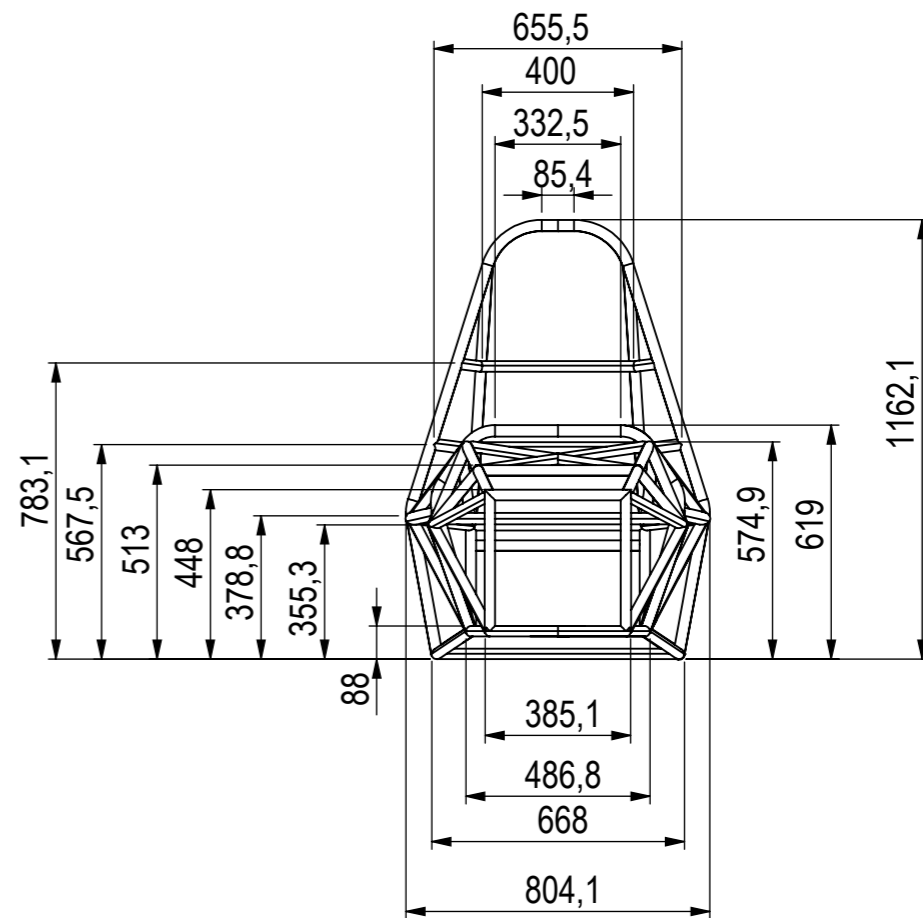
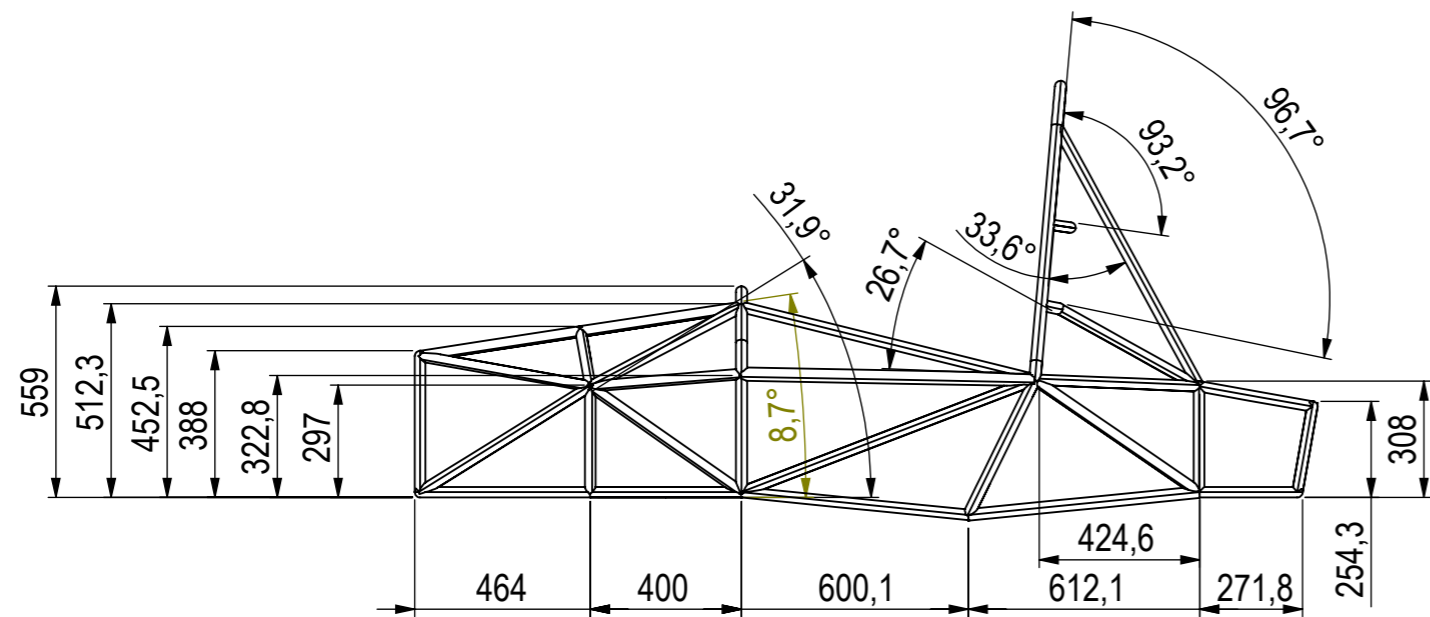
	DATA	NOM
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F
Aprovat		


Designació:  
**PLÀNOL DE CONJUNT**

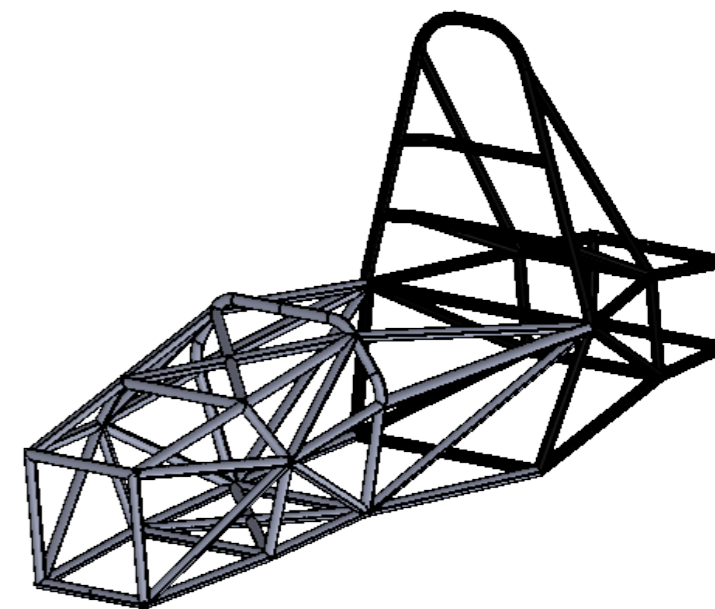
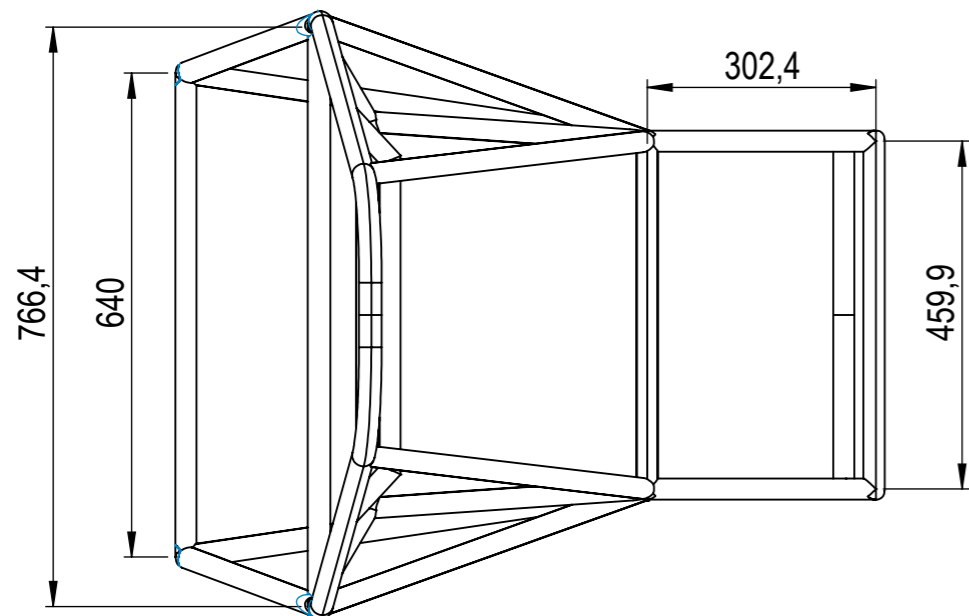
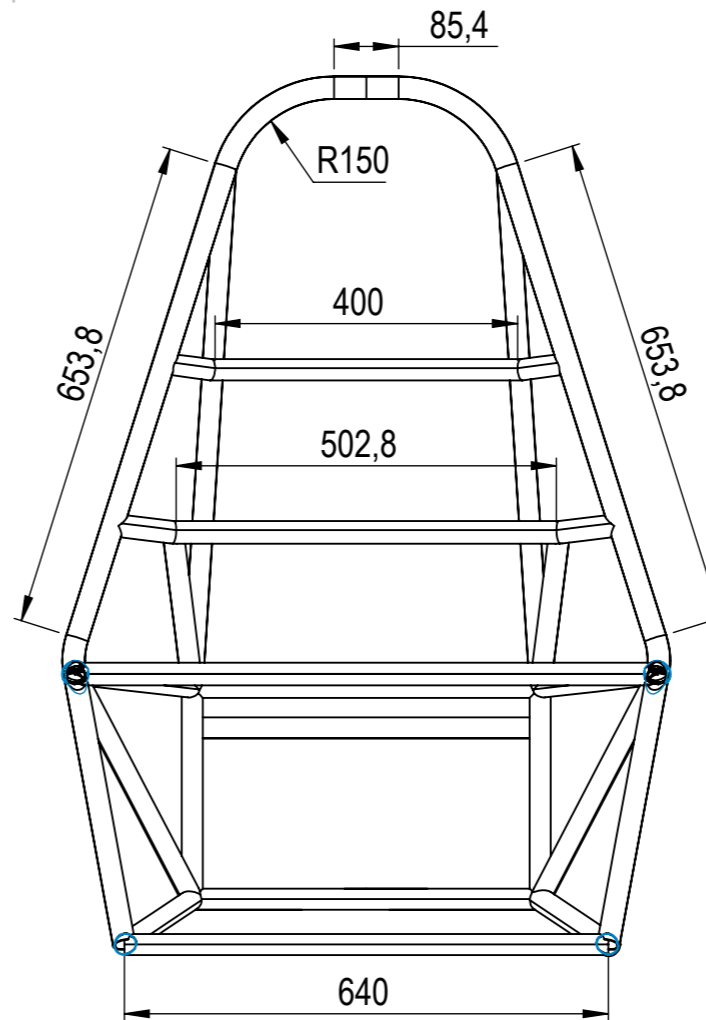
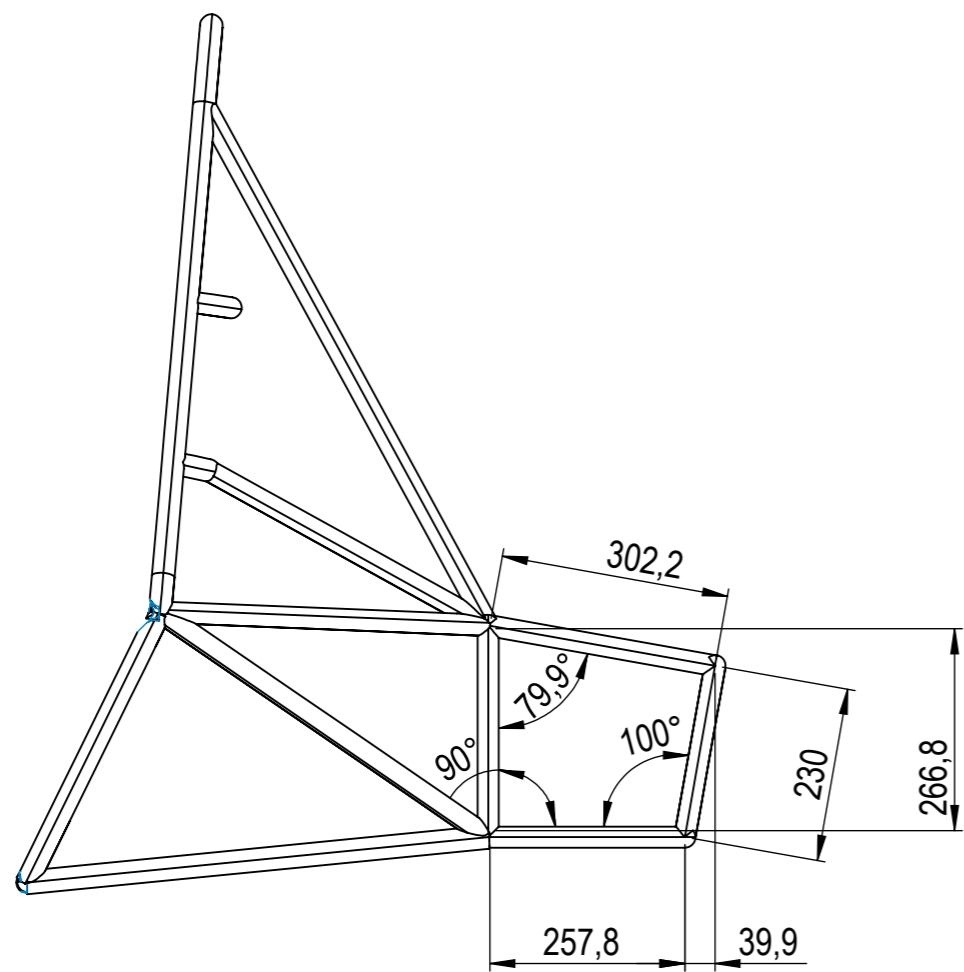


**TREBALL DE FI DE GRAU**  
 Disseny d'un xassís tubular  
 Juny 2021

Nº Plànol: 1	Unitats: mm
Codi: TF001	Estat del document: FINALITZAT
Escala: 1/10	
Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000



	DATA	NOM	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	TREBALL DE FI DE GRAU	
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B		Disseny d'un xassís tubular	
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F		Juny 2021	
Aprovat					
Designació:			Nº Plànol: 2	Unitats: mm	
PLÀNOL GENERAL			Codi: TF002	Estat del document:	
			Escala: 1/20	FINALITZAT	
			Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000	



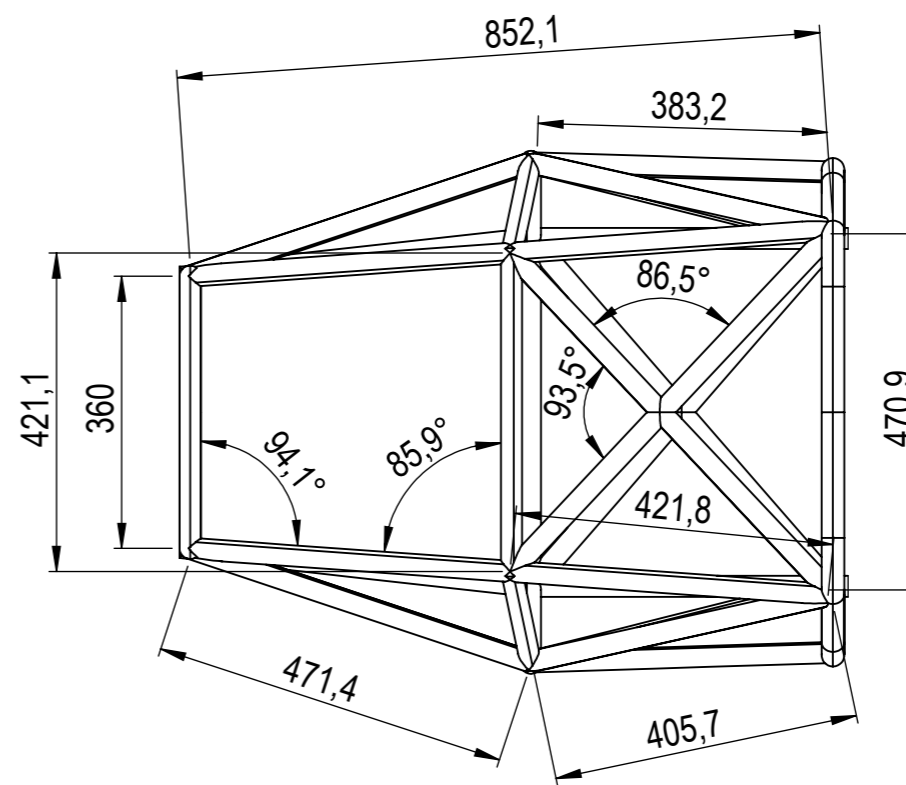
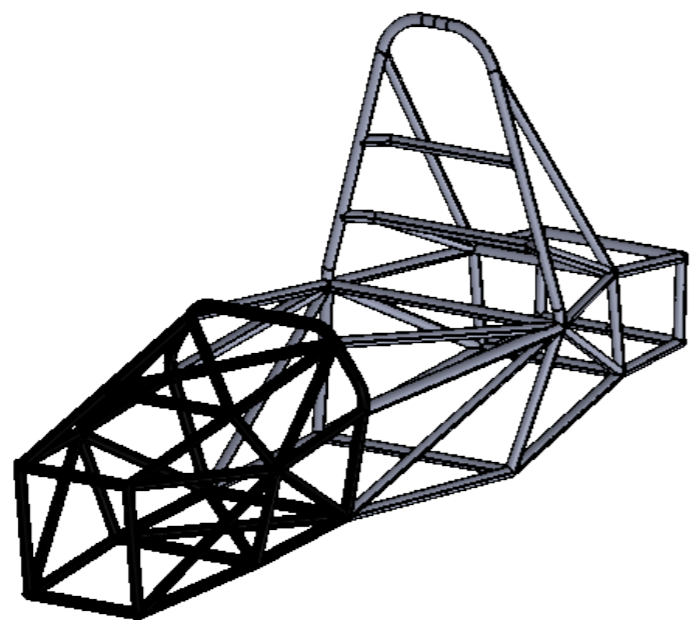
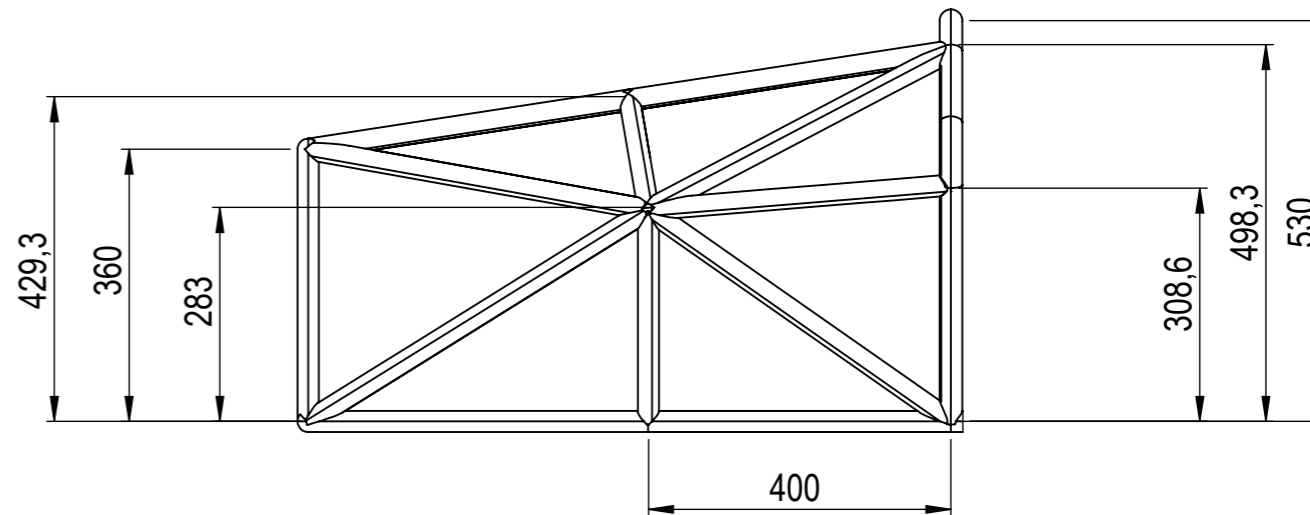
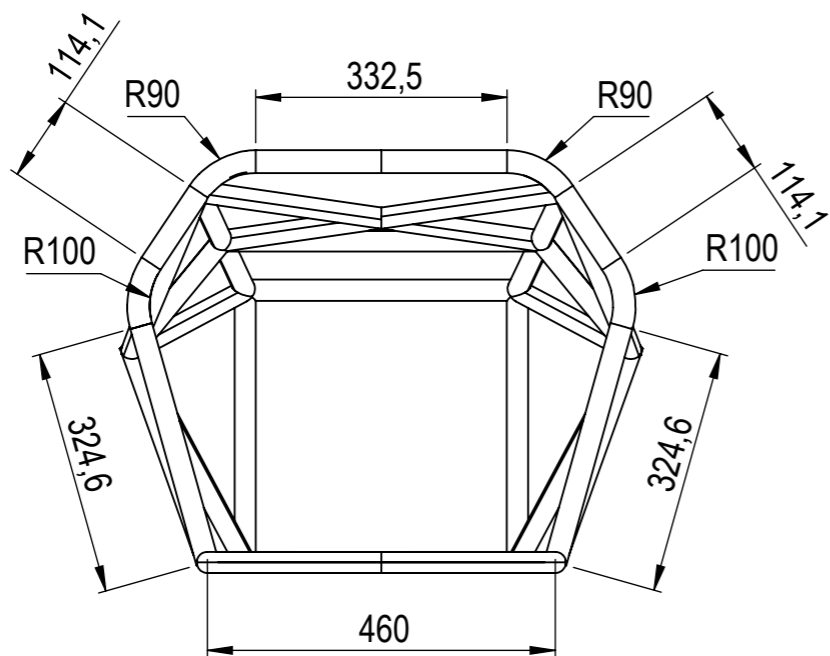
	DATA	NOM
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F
Aprovat		




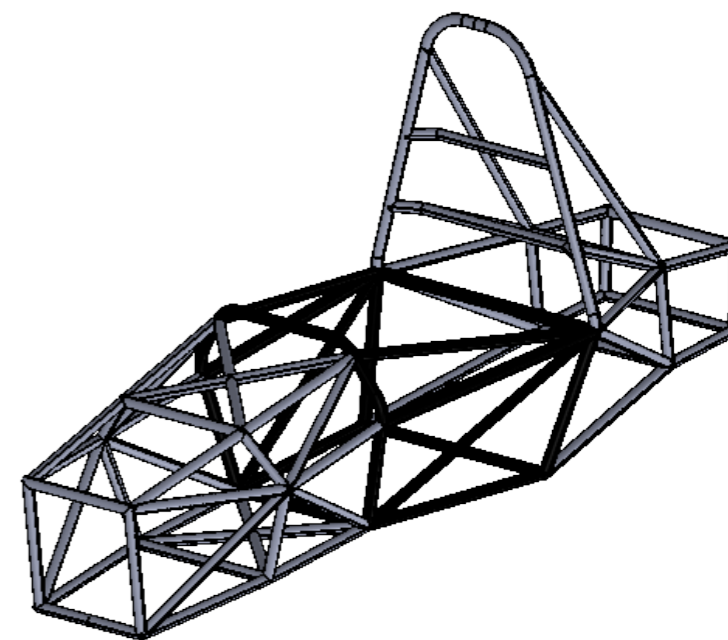
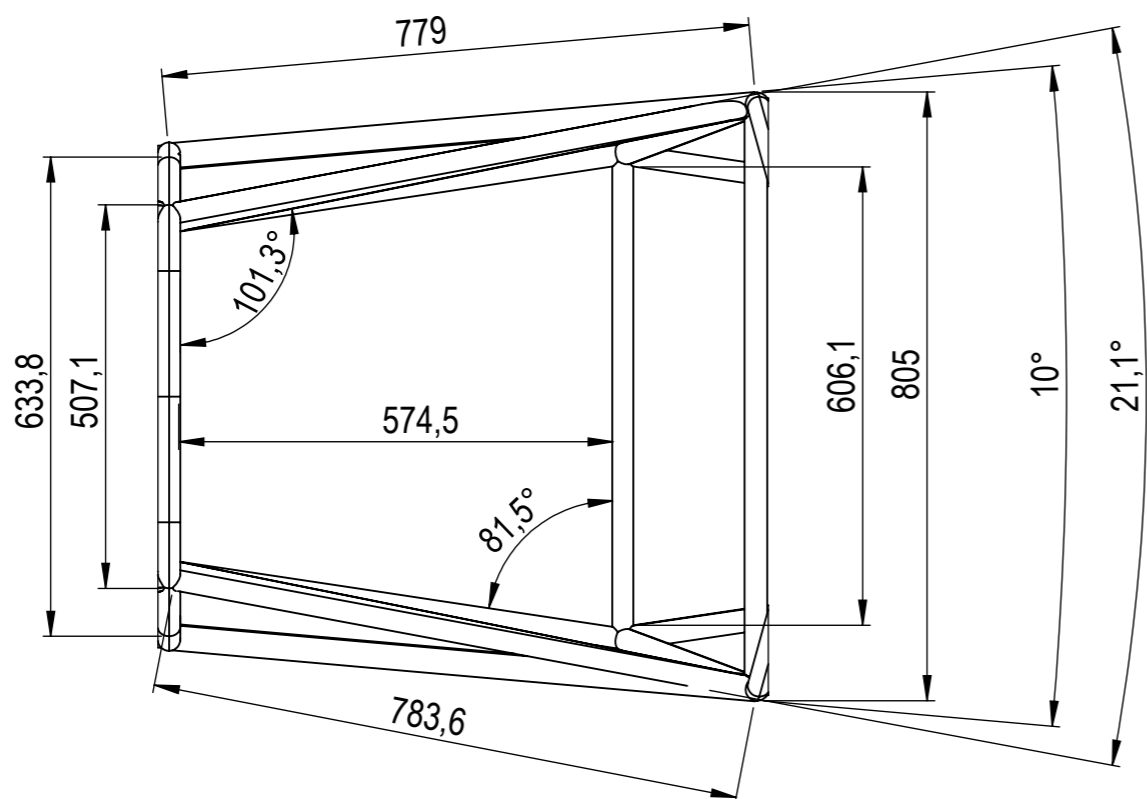
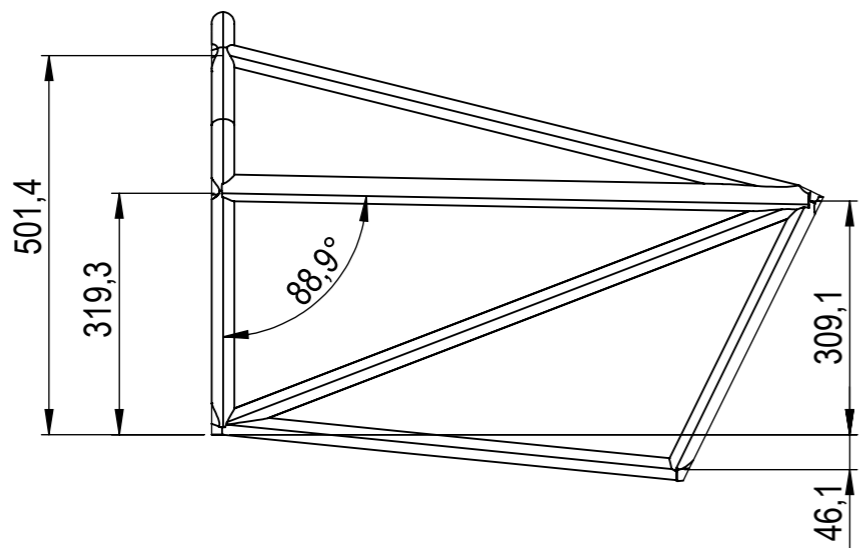
**TREBALL DE FI DE GRAU**  
 Disseny d'un xassís tubular  
 Juny 2021


Designació:  
**PART POSTERIOR XASSÍS**

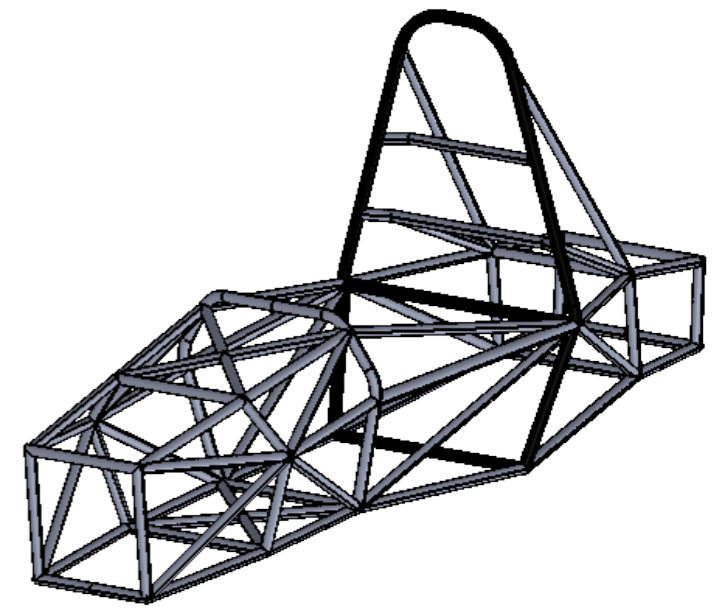
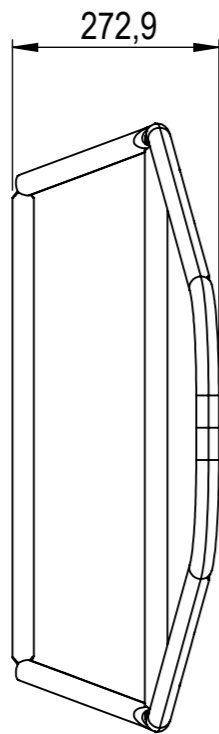
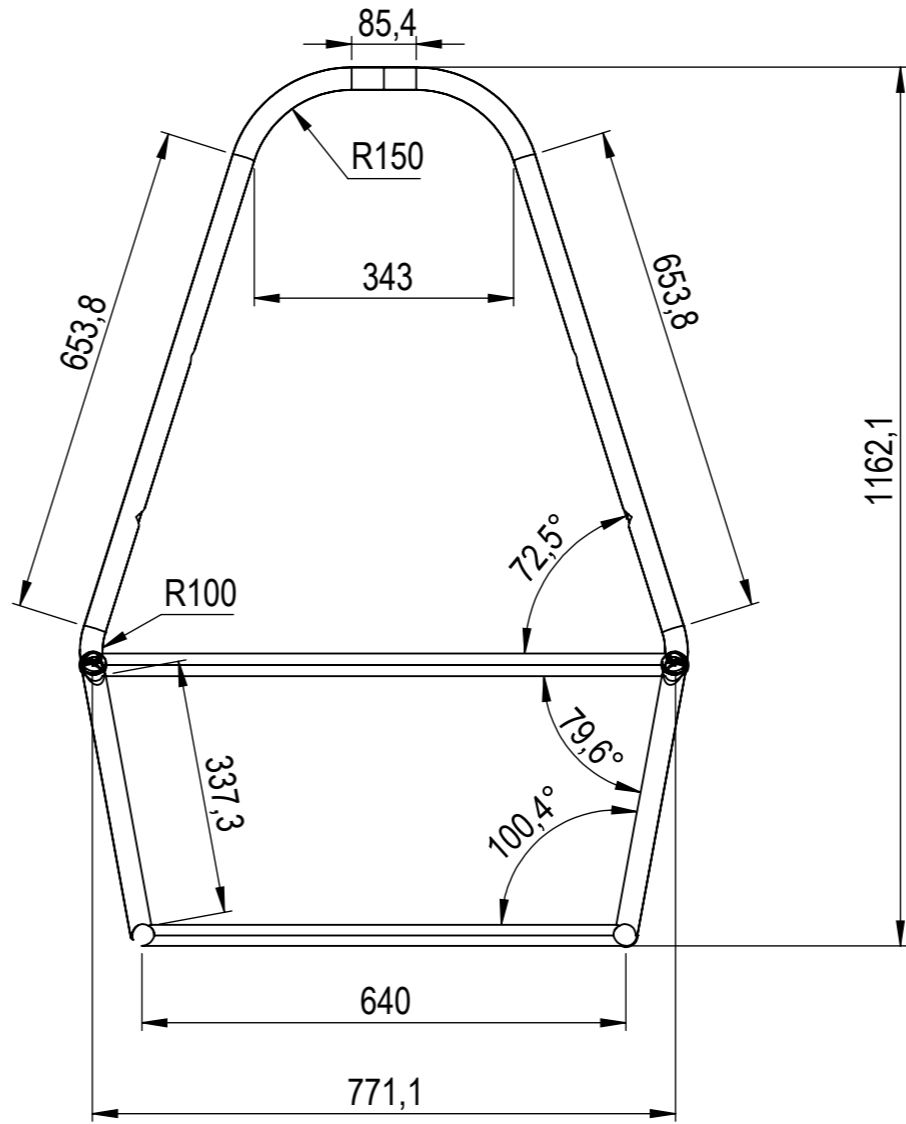
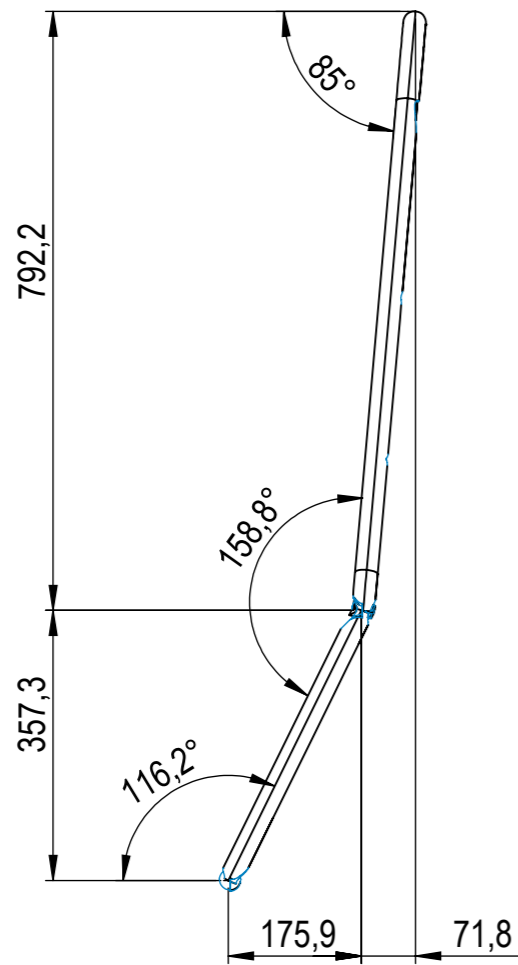
Nº Plànol: 3	Unitats: mm
Codi: TF003	Estat del document: FINALITZAT
Escala: 1/10	
Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000



	DATA	NOM	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	TREBALL DE FI DE GRAU	
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B		Disseny d'un xassís tubular	
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F		Juny 2021	
Aprovat					
Designació:			Nº Plànol: 4	Unitats: mm	
PART DAVANTERA XASSÍS			Codi: TF004	Estat del document:	
			Escales: 1/10	FINALITZAT	
			Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000	



	DATA	NOM	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	TREBALL DE FI DE GRAU		
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B		Disseny d'un xassís tubular		
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F		Juny 2021		
Aprovat						
Designació:			Nº Plànol: 5	Unitats: mm		
PART CENTRAL XASSÍS			Codi: TF005	Estat del document:		
			Escales: 1/10	FINALITZAT		
			Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000		



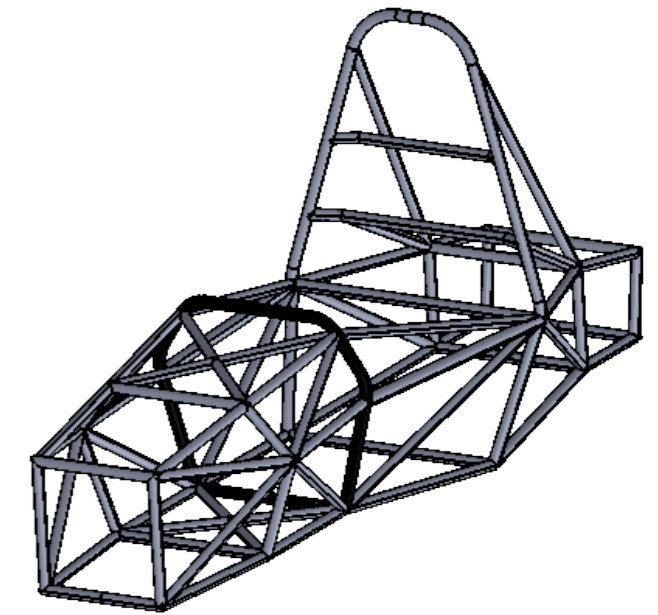
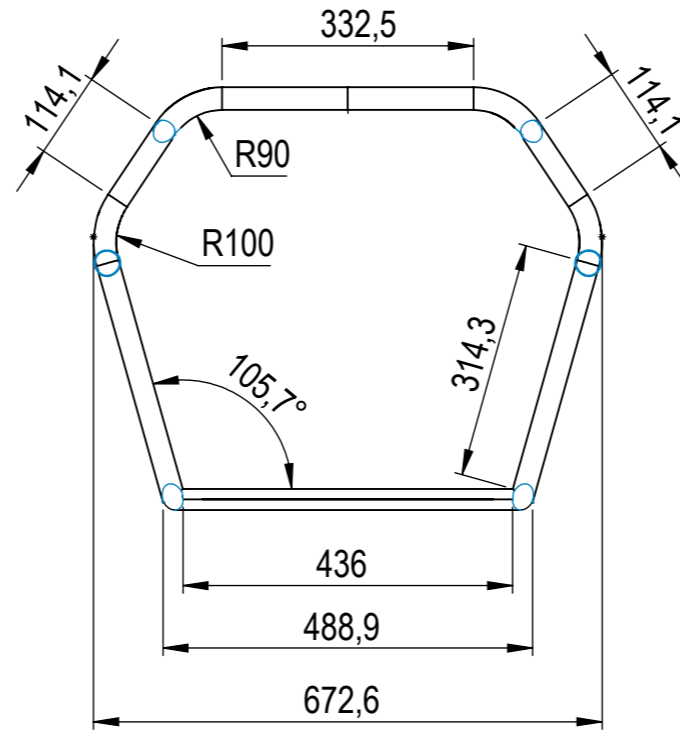
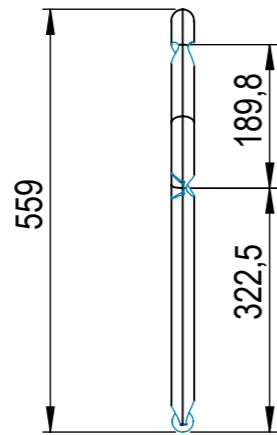
	DATA	NOM
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F
Aprovat		




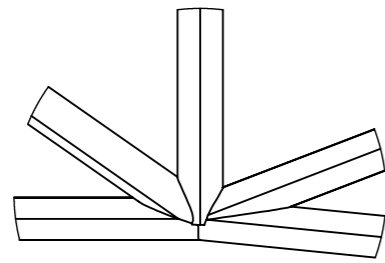
**TREBALL DE FI DE GRAU**  
 Disseny d'un xassís tubular  
 Juny 2021

Designació:  
**CÈRCOL PRINCIPAL (MAIN HOOP)**

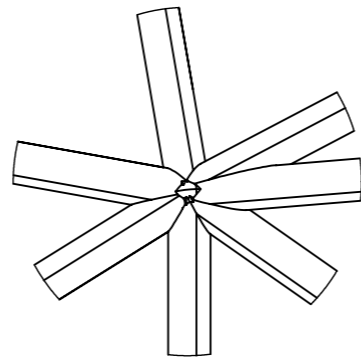
Nº Plànol: 6	Unitats: mm
Codi: TF006	Estat del document: FINALITZAT
Escala: 1/10	
Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000



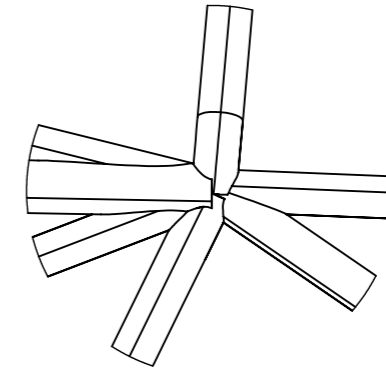
	DATA	NOM	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	<b>TREBALL DE FI DE GRAU</b> Disseny d'un xassís tubular Juny 2021	
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B			
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F			
Aprovat					
Designació:				Nº Plànol: 7	Unitats: mm
<b>CÈRCOL FRONTAL</b> <b>(FRONT HOOP)</b>				Codi: TF007	Estat del document:
				Escales: 1/10	FINALITZAT
				Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000



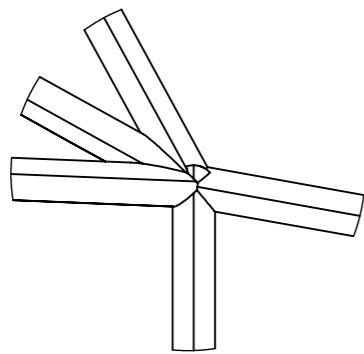
DETALLE A  
ESCALA 1 : 5



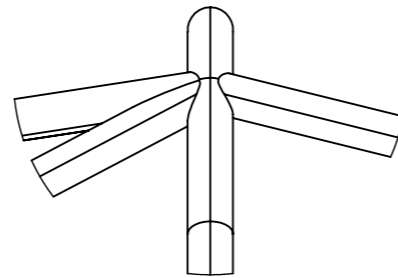
DETALLE B  
ESCALA 1 : 5



DETALLE C  
ESCALA 1 : 5

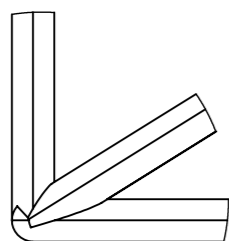
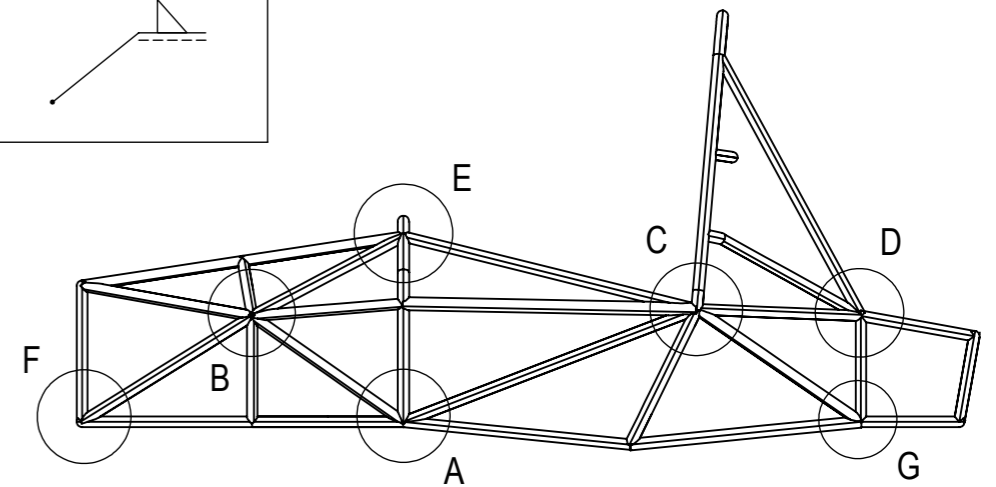
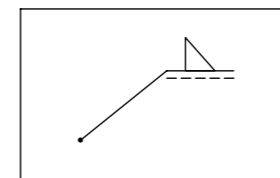


DETALLE D  
ESCALA 1 : 5

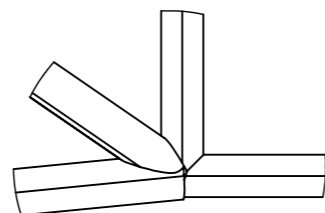


DETALLE E  
ESCALA 1 : 5


Totes les unions són soldades per soldadura per arc protegida amb gas TIG (Tungsten Inert Gas). La majoria d'unions són de soldadura en angle. Si no és així es deixa a criteri del soldador.



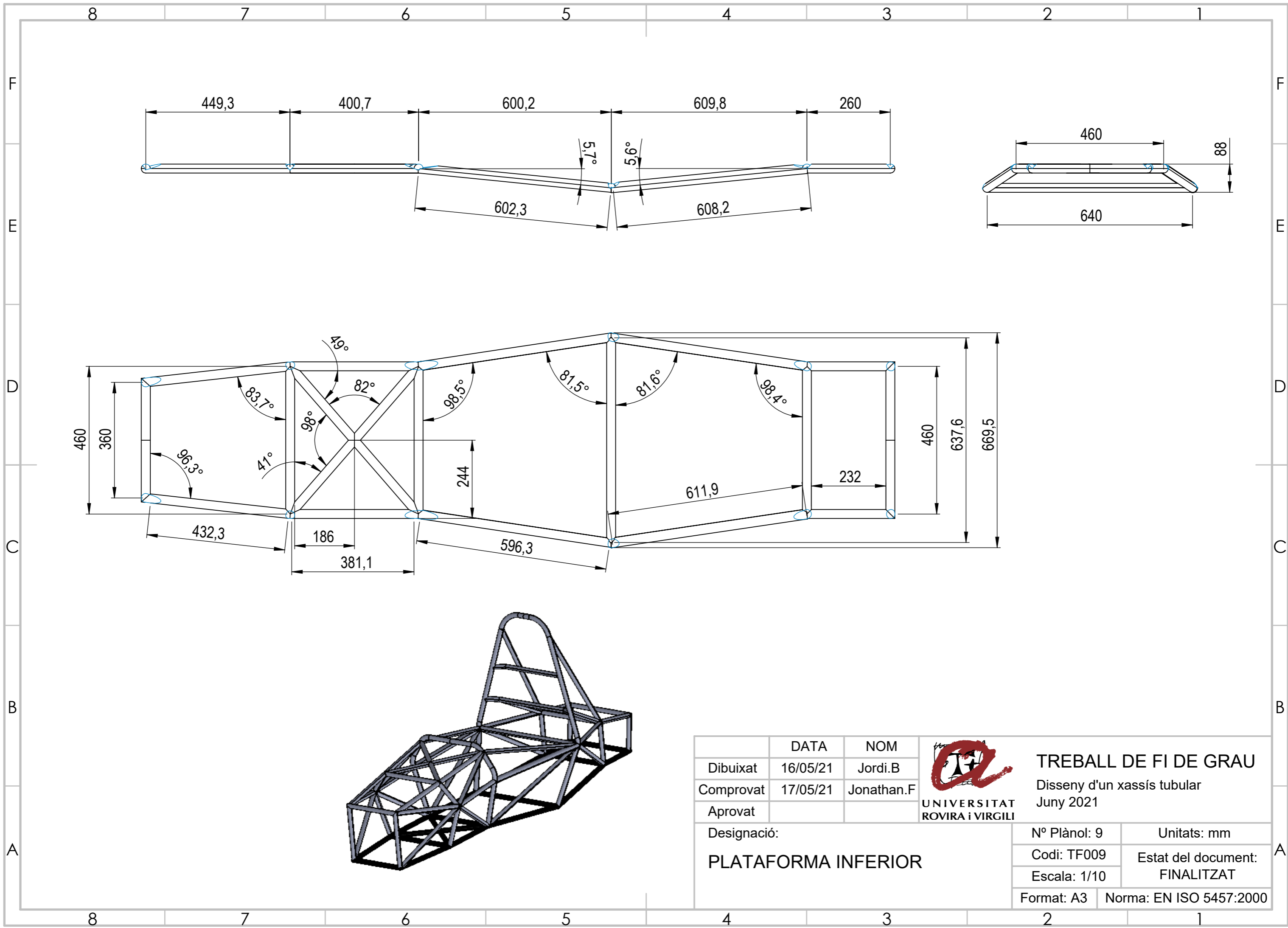
DETALLE F  
ESCALA 1 : 5



DETALLE G  
ESCALA 1 : 5

	DATA	NOM	 UNIVERSITAT ROVIRA I VIRGILI	<b>TREBALL DE FI DE GRAU</b> Disseny d'un xassís tubular Juny 2021	
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B			
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F			
Aprovat					
Designació:				Nº Plànol: 8	Unitats: mm
<b>DETALLS UNIONS SOLDADES</b>				Codi: TF008	Estat del document: FINALITZAT
				Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000

100



	DATA	NOM
Dibuixat	16/05/21	Jordi.B
Comprovat	17/05/21	Jonathan.F
Aprovat		



**TREBALL DE FI DE GRAU**  
 Disseny d'un xassís tubular  
 Juny 2021

Designació:  
**PLATAFORMA INFERIOR**

Nº Plànol: 9	Unitats: mm
Codi: TF009	Estat del document: FINALITZAT
Escala: 1/10	
Format: A3	Norma: EN ISO 5457:2000

Treball de Fi de Grau

# Enginyeria Mecànica



## Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle elèctric de competició monoplaça

### Document 4: Plec de condicions

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

4	PLEC DE CONDICIONS.....	2
4.1	PLEC DE CONDICIONS GENERAL.....	2
4.1.1	Objecte del plec.....	2
4.1.2	Documents del projecte.....	2
4.1.3	Normativa aplicable.....	2
4.2	PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES PARTICULARS.....	4
4.2.1	Materials.....	4
4.3	PLEC DE CONDICIONS FACULTATIVES.....	6
4.3.1	Obligacions i drets del contractista.....	6
4.3.2	Treballs, materials i medis auxiliars.....	6
4.3.3	Recepcions i liquidació.....	7
4.4	PLEC DE CLÀUSULES ADMINISTRATIVES PARTICULARS.....	9
4.4.1	Base fonamental.....	9
4.4.2	Garantia de compliment i fiances.....	9
4.4.3	Preus i revisions.....	10
4.4.4	Valoració i abonament dels treballs.....	10
4.5	PLEC DE CONDICIONS LEGALS.....	13
4.5.1	Arbitratge i jurisdicció.....	13
4.5.2	Accidents laborals.....	13
4.5.3	Rescissió del contracte.....	13
4.6	PLEC DE CONDICIONS DE FABRICACIÓ I MUNTATGE.....	15
4.6.1	Introducció.....	15
4.6.2	Tipus de perills que intervenen en el procés de fabricació i muntatge ...	16



## 4 PLEC DE CONDICIONS

### 4.1 PLEC DE CONDICIONS GENERAL

#### 4.1.1 Objecte del plec

L'objecte d'aquest document és definir les condicions tècniques, legals i econòmiques que han de complir-se per a la correcta execució del projecte, evitant les possibles interpretacions errònies.

El recollit en aquest document preval sobre altres documents del projecte i el seu compliment és obligat per part de tots els agents que intervinguin en la fabricació i muntatge del xassís. Qualsevol canvi no autoritzat significa la possible pèrdua de garantia de funcionament adequat.

#### 4.1.2 Documents del projecte

Documents que integren el projecte:

- Document 1: Índex general.
- Document 2: Memòria.
- Document 3: Annexes a la Memòria.
- Document 4: Plànols.
- Document 5: Plec de condicions.
- Document 6: Mesuraments.
- Document 7: Pressupost.

Dels documents llistats anteriorment, els plànols, plec de condicions i pressupost tenen caràcter contractual. La resta de documents són informatius.

En cas de contradiccions, l'ordre de prioritat entre els diferents documents és:

- Plànols.
- Plec de condicions.
- Pressupost.
- Memòria.

#### 4.1.3 Normativa aplicable

Normativa referent a l'elaboració de documents (Taula 4.1):



Taula 4.1. Normativa referent a l'elaboració de documents. Font pròpia.

UNE 157001:2014	Criterios generales para la elaboración formal de los documentos que constituyen un proyecto técnico
UNE 1027	Dibujos técnicos. Plegado de planos
UNE 1032	Dibujos técnicos. Principios generales de representación
UNE 1035	Dibujos técnicos. Cuadro de rotulación
UNE 1035	Dibujos técnicos. Lista de elementos
UNE 1037	Dibujos técnicos. Indicaciones en los dibujos de los estados superficiales
UNE 1039	Dibujos técnicos. Acotación
ISO 2768	Tolerancias generales
UNE-EN ISO 3098-0	Dibujos técnicos. Escritura
UNE-EN ISO 5455	Dibujos técnicos. Escalas
UNE-EN ISO 5456	Dibujos técnicos. Métodos de proyección
UNE-EN ISO 5457	Documentación técnica de productos. Formatos y presentación de los elementos gráficos de las hojas de dibujo
UNE-EN ISO 6433	Dibujos técnicos. Referencia de los elementos
UNE-EN 10305-1:2016	Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1: Tubos sin soldadura estirados en frío



## 4.2 PLEC DE CONDICIONS TÈCNIQUES PARTICULARS

### 4.2.1 Materials

#### 4.2.1.1 Acer

L'acer utilitzat en l'estructura del xassís ha de disposar d'unes determinades propietats per a garantir la qualitat del producte final i la vida útil d'aquest.

Per a la construcció s'utilitzaran tubs del mateix material tots, un acer aliat en Crom i Molibdè el 25CrMo4 segons la normativa UNE-EN 10305-1:2016 de tubs d'acer per a aplicacions de precisió. A continuació s'exposa un breu resum del material.

#### 25CrMo4

El material 25CrMo4 és un acer bonificat, aliat amb crom-molibdè amb bones propietats de soldadura. A causa de la seva composició química, és adequat per bonificar i porta una molt bona tenacitat amb resistències a la tracció apropiades, per això que és útil sobretot per a components on això és d'alt valor en l'aplicació.

Les característiques i propietats d'aquest material són ideals per al sector de l'automoció fent èmfasis en la durabilitat, la conformabilitat i la soldabilitat.

Pel que fa a les propietats mecàniques, els valors del límit elàstic i de la tensió de ruptura es mostren a la Taula 4.2:

*Taula 4.2. Taula de propietats mecàniques del tub de 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.*

Properties	Typical Minimum Value ( Stress relieved)	Typical Minimum Value (Normalised)	Typical Minimum Value (Heat Treated)
Tensile	740 Mpa	N/A	1100 Mpa
Yield	590 Mpa	500 Mpa	N/A
Elongation	15%	25%	N/A

En relació amb la composició química, aquest model està compost per Carboni (C), Silici (Si), Manganès (Mn), Fòsfor (P), Sofre (S), Crom (Cr) i Molibdè (Mo) en les proporcions que es mostren a la Taula 4.3:



Taula 4.3. Taula de composició química del 25CrMo4. Catàleg de tubs de Proformance metals.

1.7218 25CrMo4	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V
min.	0,22		0,6			0,9	0,15		
max.	0,29	0,4	0,9	0,035	0,04	1,2	0,30		

Aplicació: es tracta d'un material molt versàtil per a diversos components, per exemple, en automoció i construcció d'avions. Per a peces que requereixen una alta tenacitat, l'acer bonificat s'utilitza sovint per a peces de turbines, eixos i artells de direcció.



## 4.3 PLEC DE CONDICIONS FACULTATIVES

### 4.3.1 Obligacions i drets del contractista

#### 4.3.1.1 Definició

El contractista és aquella persona o empresa que és contractada per a la fabricació del present projecte. Aquest es responsabilitza de tots els elements necessaris per a realitzar el projecte d'acord amb la documentació recollida en aquest projecte i en el termini estipulat.

#### 4.3.1.2 Reclamacions contra les ordres del director

Les possibles reclamacions del contractista enfront a les ordres de l'Enginyer Director només podran realitzar-se si són d'ordre econòmic i d'acord amb l'estipulat en el plec de condicions corresponent. Contra disposicions d'ordre tècnic o facultatiu de l'Enginyer Director, no s'admetrà cap reclamació, podent el contractista salvar la seva responsabilitat mitjançant l'exposició raonada dirigida a l'Enginyer Director.

#### 4.3.1.3 Acomiadament per insubordinació, incapacitat i mala fe

Per falta de compliment de les instruccions de l'Enginyer Director, per manifesta incapacitat o per actes que comprometin i pertorbin la marxa dels treballs, el Contractista tindrà l'obligació de substituir els seus dependents i operaris, quan l'Enginyer Director ho reclami.

#### 4.3.1.4 Còpia de documents

El Contractista té dret a treure còpies de tots els elements de la contracta. L'Enginyer Director ha d'autoritzar aquestes còpies després de ser contractada l'obra.

### 4.3.2 Treballs, materials i medis auxiliars

#### 4.3.2.1 Començament dels treballs i termini d'execució

El Contractista ha de donar compte per escrit a l'Enginyer Director del començament dels treballs en les primeres 24 hores després del seu inici. Les obres han de quedar acabades dins el termini acordat en el contracte corresponent.

#### 4.3.2.2 *Condicions generals d'execució dels treballs*

El contractista ha d'emprar els materials i mà d'obra complint les exigències del plec de condicions i realitzar tots els treballs contractats d'acord amb el que recull l'esmentat document.

Fins a la recepció definitiva de l'obra, és el Contractista l'únic responsable de l'execució dels treballs i de les possibles faltes i defectes que puguin existir. No li eximeix d'aquesta responsabilitat la circumstància que l'Enginyer Director no li hagi cridat l'atenció sobre la fallada en particular.

#### 4.3.2.3 *Treballs defectuosos*

Com a conseqüència del que recull el punt anterior, si l'Enginyer Director adverteix defectes en els treballs executats, els materials emprats o els elements col·locats, ja sigui durant l'execució dels treballs o una vegada finalitzats (abans de verificar la recepció definitiva de l'obra), podrà disposar que les parts defectuoses siguin retirades i reconstruïdes d'acord amb el contractat quedant els costos a càrrec de la contracta.

### **4.3.3 Recepcions i liquidació**

#### 4.3.3.1 *Recepció provisional*

Per procedir a la recepció provisional de l'obra serà necessària l'assistència del Propietari, de l'Enginyer Director i del Contractista o el seu representant degudament autoritzat.

Si l'obra es troba en bon estat i ha estat executada d'acord amb les condicions establertes, es donarà per percebuda provisionalment, començant a córrer en aquesta data el termini de garantia.

Quan l'obra no es trobi en estat de ser rebuda, es farà constar en l'acta i s'especificaran les instruccions per resoldre els defectes observats, fixant-se un termini per esmenar-los, expirat el qual, s'efectuarà un nou reconeixement a idèntiques condicions, a fi de procedir a la recepció provisional de l'obra.

Després de realitzar un escrupolós reconeixement i si l'obra estigués d'acord amb les condicions d'aquest Plec, s'aixecarà una acta per duplicat, a la qual acompanyaran els documents justificants de la liquidació final. Una de les actes quedarà en poder del Propietari i l'altra s'entregarà a el Contractista.



#### 4.3.3.2 *Termini de garantia*

Des de la data en què s'efectua la recepció provisional, comença el termini de garantia, que durarà un any. Durant aquest període el Contractista es farà càrrec de totes les reparacions de desperfectes imputables a defectes.

#### 4.3.3.3 *Recepció definitiva*

Acabat el termini de garantia, es verificarà la recepció definitiva amb les mateixes condicions que la provisional, i si les obres estan ben conservades i en perfectes condicions, el Contractista quedarà rellevat de tota responsabilitat econòmica. En cas contrari es retardarà la recepció definitiva fins que, segons el parer de l'Enginyer Director, i dins el termini que es marqui, quedi l'obra de la manera i forma que es determina en aquest Plec.

Si el nou reconeixement resultés que el Contractista no hagués complert, es declararà rescindida la contracta amb pèrdua de la fiança, llevat que el Propietari cregui convenient concedir un nou termini.

#### 4.3.3.4 *Liquidació final*

Acabada l'obra, es procedirà a la liquidació fixada, que inclourà l'import de les unitats pressupostades i les que constitueixen modificacions del Projecte, sempre i quan hagin estat prèviament aprovades per la Direcció Tècnica amb els seus preus.

De cap manera tindrà dret el Contractista a formular reclamacions per augment de preus que no estiguessin autoritzats per escrit amb el vistiplau de l'Enginyer Director.

#### 4.3.3.5 *Liquidació en cas de rescissió*

En aquest cas, la liquidació es farà mitjançant un contracte liquidatari, que es redactarà d'acord per ambdues parts. S'hi inclourà l'import de les unitats pressupostades fins a la data de rescissió.



## 4.4 PLEC DE CLÀUSULES ADMINISTRATIVES PARTICULARS

### 4.4.1 Base fonamental

S'estableix el principi que el Contractista ha d'estar en coneixement de l'import de tots els treballs realitzats, sempre que aquests s'hagin executat amb acord amb el descrit en la documentació del projecte que defineixen la construcció del motlle d'injecció contractat.

### 4.4.2 Garantia de compliment i fiances

#### 4.4.2.1 *Garantia*

L'Enginyer Director podrà exigir el Contractista referències bancàries o d'altres entitats per tal d'assegurar-se de la solvència requerida per al compliment exacte del contracte. En aquest cas, aquestes referències s'han de presentar abans de la signatura del contracte.

#### 4.4.2.2 *Fiança*

Per tal de garantir el compromís del contracte, el Contractista podrà ser cridat al pagament d'una fiança convinguda entre les dues parts.

#### 4.4.2.3 *Execució dels treballs amb càrrec a la fiança*

Si el Contractista es negués a fer pel seu compte els treballs en les condicions contractades, l'Enginyer Director, en nom i representació del Propietari, els ordenarà executar a un tercer, abonant el seu import amb la fiança dipositada. Aquest fet, es realitzarà sense perjudici de les accions legals a que tingui dret el propietari en el cas que l'import de la fiança no sigui suficient per abonar l'import de les despeses efectuades en les unitats d'obra que no fossin de recepció.

#### 4.4.2.4 *Devolució de la fiança*

La fiança dipositada serà retornada al Contractista en un termini que no excedirà de 8 dies, una vegada signada l'acta de recepció definitiva de l'obra, sempre que el Contractista hagi acreditat que no hi ha cap reclamació contra ell pels danys i perjudicis que siguin del seu compte o per deutes dels jornals o materials, ni per indemnitzacions derivades d'accidents ocorreguts en el treball.



### 4.4.3 Preus i revisions

#### 4.4.3.1 Preus contradictoris

Si es donés el cas que fos necessari fixar un nou preu, es convindrà contradictòriament de la següent manera:

- L'adjudicatari formularà per escrit el preu que, al seu parer, hagi d'aplicar a la nova unitat.
- La Direcció Tècnica obrarà d'igual manera.

En cas de coincidir o existir qualsevol petita diferència esmenable per exposició i convicció d'una de les parts, es formularà una acta formalitzant el preu.

Si això no fos possible, es proposarà a la propietat que adopti la resolució que estimi convenient, que podrà ser aprovatòria del preu exigint per l'adjudicatari, o en un altre cas, la segregació de l'obra o instal·lació nova, per a ser executada per un altre adjudicatari diferent.

#### 4.4.3.2 Reclamacions i augment de preus

Si el Contractista, abans de la signatura del contracte, no hagués fet la reclamació o observació oportuna, no podrà sota cap pretext d'error i omissió, reclamar augment dels preus fixats en el quadre de preus del pressupost que serveix de base per a l'execució de les obres.

#### 4.4.3.3 Revisió de preus

Donada la variabilitat contínua dels preus dels jornals i les seves càrregues socials, així com la dels materials i transports, que és característica de determinades èpoques anormals, s'admet, durant aquestes, la revisió dels preus contractats, bé en alça o en baixa i en anomalia amb les oscil·lacions dels preus en el mercat.

### 4.4.4 Valoració i abonament dels treballs

#### 4.4.4.1 Valoració de l'obra

La valoració s'ha d'obtenir aplicant a les diverses unitats d'obra, el preu que tingués assignat en el Pressupost, afegint a aquest import el dels tants per cent que corresponguin a el benefici industrial.



#### 4.4.4.2 *Mesuraments parcials i finals*

Els mesuraments parcials es verificaran en presència del Contractista, aixecant acta per duplicat. El mesurament final es farà després d'acabades les obres amb precisa assistència del Contractista.

En l'acta ha d'aparèixer la conformitat del Contractista o representant legal. En cas de no conformitat, ho exposarà sumàriament i a reserva d'ampliar les raons que a això obliga.

#### 4.4.4.3 *Errors en el pressupost*

Se suposa que el Contractista ha fet detingut estudi dels documents que componen el Projecte, i per tant al no haver fet cap observació sobre possibles errors en el mateix, s'entén que no hi ha lloc a cap disposició en tant que afecta a mesures o preus de tal manera que, si l'obra executada d'acord amb el Projecte conté major nombre d'unitats de les previstes, no té dret a reclamació alguna. Si per contra, el nombre d'unitats fos inferior, es descomptarà del pressupost.

#### 4.4.4.4 *Valoració d'obres incompletes*

Quan per conseqüència de rescissió o altres causes fos necessari valorar les obres incompletes, s'aplicaran els preus del pressupost, sense que pugui pretendre fer la valoració de la unitat d'obra fraccionant en forma diferent a l'establerta en els quadres de descomposició de preus.

#### 4.4.4.5 *Pagaments*

Els pagaments s'efectuaran pel Propietari en els terminis convinguts i el seu import correspondrà, precisament, al de les Certificacions d'obra expedides per l'Enginyer Director, en virtut de les quals es verifiquen aquells.

#### 4.4.4.6 *Suspensió per retràs de pagaments*

En cap cas podrà el Contractista, al·legant retard en els pagaments, suspendre treballs ni executar-los a menor ritme de què els correspongui, d'acord amb el termini en que han de acabar-se.



#### 4.4.4.7 *Indemnització per retràs dels treballs*

L'import de la indemnització que ha d'abonar el Contractista per causes de retard no justificat, en el termini d'acabament de les obres contractades, serà l'import de la suma de perjudicis materials degudament justificats.



## 4.5 PLEC DE CONDICIONS LEGALS

### 4.5.1 Arbitratge i jurisdicció

El Contractista és responsable de l'execució de les obres en les condicions establertes en el contracte i en els documents que componen el projecte. El Contractista s'obliga al que estableix la llei de Contractes de Treball i més al disposat per la d'Accidents de Treball, Subsidi Familiar i Assegurances Socials.

En cas de desavinença entre les dues empreses, serà l'agent responsable del contracte qui arbitrarà en la disputa per intentar arribar a un acord.

Si no fos possible arribar a cap tipus d'acord, es designarà un responsable per part de cadascuna de les parts per intentar solucionar la desavinença. Finalment, si encara no fos possible aconseguir un acord, s'ha de portar a judici el litigi.

### 4.5.2 Accidents laborals

En cas d'accidents ocorreguts amb motiu i en l'exercici dels treballs per l'execució de les obres, el Contractista s'atindrà al que disposa a aquests aspectes, a la legislació vigent, i sent, en tot cas, únic responsable del seu compliment i sense que, per cap concepte, pugui quedar afectada la propietat per responsabilitats en qualsevol aspecte.

El Contractista està obligat a adoptar totes les mesures de seguretat que les disposicions vigents preceptuen per evitar, en el possible, accidents al sobrer.

El Contractista serà responsable de tots els accidents que, per inexperiència o negligència, sobrevinguessin. Serà per tant del seu compte l'abonament de les indemnitzacions a qui correspongui i quan a això hagués lloc, de tots els danys i perjudicis que puguin causar-se en les operacions d'execució de les obres.

El Contractista complirà els requisits que prescriuen les disposicions vigents sobre la matèria, havent d'exhibir, quan a això fos requerit, el justificant de tal compliment.

### 4.5.3 Rescissió del contracte

Es consideraran causes suficients de rescissió les que a continuació s'assenyalen:

1. La mort o incapacitat del Contractista.
2. La fallida del Contractista.



En els casos anteriors, si els hereus o síndics oferissin dur a terme les obres, sota les mateixes condicions estipulades en el Contracte, el Propietari pot admetre o rebutjar l'ofertament, sense que en aquest últim cas tinguin aquells dret a indemnització.

3. Les alteracions del Contracte per les causes següents:
  - a) La modificació de el Projecte en forma tal que presenti alteracions fonamentals de la mateixa, segons el parer de l'Enginyer Director i, en qualsevol cas sempre que la variació del pressupost d'execució, com conseqüència d'aquestes modificacions, representi en més o menys del 40 per 100, com a mínim, d'algunes unitats de el Projecte modificades.
  - b) La modificació d'unitats d'obra, sempre que aquestes modificacions representin variacions en més o menys del 40 per 100, com a mínim, de les unitats de el Projecte modificades.
4. La suspensió de l'obra començada, sempre que, per causes alienes a la Contracta, no es doni començament a l'obra adjudicada dins el termini de tres mesos a partir de l'adjudicació. En aquest cas, la devolució de la fiança serà automàtica.
5. La suspensió d'obra començada, sempre que el termini de suspensió hagi excedit un any.
6. El no donar començament la Contracta als treballs dins el termini assenyalat en les condicions particulars del Projecte.
7. L'incompliment de les condicions del Contracte, quan impliqui negligència o mala fe, amb perjudici dels interessos de l'obra.
8. La terminació del termini d'execució de l'obra, sense haver-se arribat a aquesta.
9. El abandono de la obra sense causa justificada.
10. La mala fe en l'execució dels treballs.



## 4.6 PLEC DE CONDICIONS DE FABRICACIÓ I MUNTATGE

### 4.6.1 Introducció

La Constitució Espanyola encomana als poders públics vetllar per la seguretat i higiene en el treball. Sota aquest mandat constitucional i com transposició de la Directiva Europea 89/391 / CEE, apareix la Llei 31/1995 de Prevenció de Riscos Laborals (LPRL), modificada per la Llei 54/2003, de 12 de desembre, de reforma del marc normatiu de la prevenció de riscos laborals. La Llei de Prevenció de Riscos Laborals es pot classificar en:

- Dret a la Protecció davant els riscos laborals.
- Pla de Prevenció de Riscos Laborals.
- Avaluació de Riscos.
- Planificació de l'activitat preventiva.
- Modalitats dels serveis de prevenció.
- Risc greu i imminent per a la Salut.

No tots els riscos produeixen els mateixos danys i, quan es desencadenen, poden produir:

- Accidents de treball.
- Malalties professionals.
- Malestar i malaltia en la persona com ara fatiga, estrès, estats depressius, etc.

La prevenció de riscos laborals s'ha d'integrar al sistema general de gestió de l'empresa. Es realitzarà a través de la implantació i aplicació d'un pla de prevenció de riscos laborals. Aquest pla de prevenció de riscos laborals ha d'incloure:

- La determinació i / o constitució de la modalitat organitzativa preventiva.
- Els nomenaments de persones amb responsabilitats en matèria de prevenció de riscos laborals (que inclourà la definició de funcions i recursos, així com les necessitats de capacitació formativa).
- Les pràctiques, procediments i processos.
- Els recursos necessaris per a realitzar aquesta acció.
- L'articulació dels mecanismes de participació i consulta.



Els instruments essencials per a la gestió i aplicació de el pla de prevenció de riscos són:

- L'avaluació de riscos laborals.
- La planificació de l'activitat preventiva.

Qualsevol projecte de disseny i fabricació de maquinària ha de contemplar un estudi de seguretat sobre la base de:

- Establir un nivell de riscos raonable i prou significatiu per a les persones.
- Adopció de normes de seguretat senzilles que facilitin en la mesura del possible la tasca de l'operari.

Si aquests paràmetres que s'han establert són complerts, podem afirmar que la màquina dissenyada és de gran fiabilitat.

Per poder afirmar que s'ha dit anteriorment s'han d'analitzar:

- Possibles situacions de perill durant la fabricació de la màquina. Delimitació de les parts més perilloses de la màquina.

#### **4.6.2 Tipus de perills que intervenen en el procés de fabricació i muntatge**

##### *4.6.2.1 Perill mecànic*

És el conjunt de factors que poden donar lloc a una lesió per l'acció de les màquines emprades en la fabricació, peces a treballar o materials en qüestió.

Es refereix a tots els possibles riscos de perill per aixafament, cisallament, tall, impacte, entre d'altres.

Existeixen encara, més possibilitats de perill mecànic originat per les diferents formes dels elements de la màquina com poden ser elements tallants, parts agudes, entre d'altres.

##### *4.6.2.2 Perill elèctric*

Aquest perill pot causar lesions o la mort per xoc elèctric o cremades que poden resultar del contacte de persones amb:

- Parts actives, és a dir, parts que normalment estan en tensió.



- Parts que s'han fet actives, accidentalment, per un error de aïllament. Això s'evitarà realitzant inspeccions periòdiques.

Aquests tipus de perills es poden originar en el procés de soldadura dels tubs.

#### 4.6.2.3 Perill tèrmic

Pot originar cremades o efectes nocius per a la salut a causa de l'ambient de treball. En la fabricació del xassís es treballa en condicions normals, ja que no es produeixen temperatures extremadament elevades ni baixes, de manera que no hi haurà perill tèrmic considerable.

#### 4.6.2.4 Perill per soroll i vibracions

Es deu al soroll i de les vibracions molestes que produeixen les màquines en funcionament emprades en els diferents processos de fabricació i muntatge del xassís.

Els seus efectes poden ser els següents:

- Efecte sobre l'audició.
- Es poden produir trastorns neurològics i vasculars per efecte de les vibracions.

#### 4.6.2.5 Perills produïts per materials i substàncies

Els materials i substàncies processats, utilitzats o despresos per les diferents màquines utilitzades per a la fabricació del xassís, poden donar lloc a:

- Perill de contacte amb, fluids, gasos, boires, fums i pols de efecte nociu, tòxic corrosiu i/o irritant.
- Perill d'inhalació de fluids, gasos, boires, fums i pols de efecte nociu, tòxic, corrosiu i/o irritant.
- Perill d'incendi.
- Perill d'explosió.

#### 4.6.2.6 Altres perills

A les instal·lacions on es va a realitzar la fabricació i muntatge del xassís es poden donar un altre tipus de perills no menys importants que els citats anteriorment. Aquests també s'hauran de tenir en compte.



Treball de Fi de Grau  
**Enginyeria Mecànica**



**Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle  
elèctric de competició monoplaça**

**Document 5: Estat de amidaments**

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

5	ESTAT DE AMIDAMENTS .....	2
5.1	Capítol II: Materials per a la fabricació .....	2



## 5 ESTAT DE AMIDAMENTS

### 5.1 Capítol II: Materials per a la fabricació

Taula 5.1. Estat de amidaments de la longitud dels tubs. Font pròpia.

Nº	Unitat	Concepte	Unitats	Longitud (mm)	Quantitat parcial (mm)	Quantitat
1	mm	Tub d'acer de secció A	2	779,54	1559,08	5710,10 mm
			2	404,01	808,03	
			2	936,68	1873,35	
			1	698,57	698,57	
			1	771,07	771,07	
2	mm	Tub d'acer de secció BC	1	13975,08	13975,08	29859,83 mm
			1	4535,49	4535,49	
			1	640,00	640,00	
			1	460,00	460,00	
			1	10249,26	10249,26	
3	mm	Tub d'acer de secció D	2	779,16	1558,31	1558,31 mm

Taula 5.2. Resum de l'estat de amidaments de la longitud dels tubs. Font pròpia.

Nº	Unitat	Concepte	Longitud	TOTAL
1	mm	Tub d'acer de secció A - Secció circular Ø30x2mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	5710,10 mm	37128,24 mm
2	mm	Tub d'acer de secció BC - Secció circular Ø28x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	29859,83 mm	
3	mm	Tub d'acer de secció D - Secció circular Ø35x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	1558,31 mm	



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 5.3. Estat de amidaments de la massa dels tubs. Font pròpia.

Nº	Unitat	Concepte	Unitats	Massa (Kg)	Quantitat parcial (Kg)	Quantitat
1	Kg	Tub d'acer de secció A	1	2,64	2,64	9,68 Kg
			1	7,04	7,04	
2	Kg	Tub d'acer de secció BC	1	0,57	0,57	29,27 Kg
			1	1,22	1,22	
			1	25,45	25,45	
			1	1,20	1,20	
			1	0,42	0,42	
			1	0,42	0,42	
3	Kg	Tub d'acer de secció D	1	0,97	0,97	1,93 Kg
			1	0,97	0,97	

Taula 5.4. Resum de l'estat de amidaments de la massa dels tubs. Font pròpia.

Nº	Unitat	Concepte	Massa	TOTAL
1	Kg	Tub d'acer de secció A - Secció circular Ø30x2mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	9,68 Kg	40,88 Kg
2	Kg	Tub d'acer de secció BC - Secció circular Ø28x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	29,27 Kg	
3	Kg	Tub d'acer de secció D - Secció circular Ø35x1,5mm 25CrMo4, segons EN-1305-1	1,93 Kg	



Treball de Fi de Grau  
**Enginyeria Mecànica**



**Disseny d'un xassís tubular per a un vehicle  
elèctric de competició monoplaça**

**Document 6: Pressupost**

**Autor:** Jordi Baiget Papió  
**Director:** Jonathan Fernández  
**Data:** Juny 2021



ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR  
D'ENGINYERIA QUÍMICA  
Universitat Rovira i Virgili

**etsEQ**

6	PRESSUPOST .....	2
6.1	Quadre de preus N°1 .....	2
6.2	Quadre de preus N°2 .....	2
6.3	Pressupost General .....	4
6.4	Resum del pressupost .....	5



## 6 PRESSUPOST

### 6.1 Quadre de preus N°1

Taula 6.1. Quadre de preus N°1. Font pròpia.

CAPÍTOL I: DISSENY				
Codi	Unitat	Concepte	Preu en lletres	Preu
TFG1	h	Estudis i disseny CAD	TRENTA EUROS	30 €/h
TFG2	h	Simulacions i resultats	TRENTA EUROS	30 €/h
CAPÍTOL II: MATERIALS PER A LA FABRICACIÓ				
Codi	Unitat	Concepte	Preu en lletres	Preu
TFG3	kg	Tubs d'acer secció A	DOS EUROS	2 €/Kg
TFG4	kg	Tubs d'acer secció B-C	DOS EUROS	2 €/Kg
TFG5	kg	Tubs d'acer secció D	DOS EUROS	2 €/Kg
CAPÍTOL I: DISSENY				
Codi	Unitat	Concepte	Preu en lletres	Preu
TFG6	h	Processos inicials	TRENTA EUROS	30 €/h
TFG7	h	Processos finals	QUARANTA EUROS	40 €/h

### 6.2 Quadre de preus N°2

Taula 6.2. Quadre de preus N°2 capítol I. Font pròpia.

CAPÍTOL I: DISSENY				
Codi	Unitat	Concepte	Import	
TFG1	h	Estudis i disseny CAD	Mà d'obra	30,00 €
			Materials	-
			Maquinària	-
			<b>TOTAL:</b>	<b>30,00 €</b>
TFG2	h	Simulacions i resultats	Mà d'obra	30,00 €
			Materials	-
			Maquinària	-
			<b>TOTAL:</b>	<b>30,00 €</b>



## Disseny d'un xassís tubular

Taula 6.3. Quadre de preus N°2 capítol II. Font pròpia.

CAPÍTOL II: MATERIALS PER A LA FABRICACIÓ				
Codi	Unitat	Concepte	Import	
TFG3	kg	Tubs d'acer secció A	Mà d'obra	-
			Materials	2,00 €
			Maquinària	-
			<b>TOTAL:</b>	<b>2,00 €</b>
TFG4	kg	Tubs d'acer secció B-C	Mà d'obra	-
			Materials	2,00 €
			Maquinària	-
			<b>TOTAL:</b>	<b>2,00 €</b>
TFG5	kg	Tubs d'acer secció D	Mà d'obra	-
			Materials	2,00 €
			Maquinària	-
			<b>TOTAL:</b>	<b>2,00 €</b>

Taula 6.4. Quadre de preus N°2 capítol III. Font pròpia.

CAPÍTOL III: PROCÉS DE FABRICACIÓ				
Codi	Unitat	Concepte	Import	
TFG6	h	Processos inicials	Mà d'obra	-
			Materials	-
			Maquinària	30,00 €
			<b>TOTAL:</b>	<b>30,00 €</b>
TFG7	h	Processos finals	Mà d'obra	-
			Materials	-
			Maquinària	40,00 €
			<b>TOTAL:</b>	<b>40,00 €</b>



### 6.3 Pressupost General

Taula 6.5. Pressupost General. Font pròpia.

<b>CAPÍTOL I: DISSENY</b>						
<b>Codi</b>	<b>Unitat</b>	<b>Concepte</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Preu unitat</b>	<b>Import parcial</b>	<b>Import total</b>
TFG1	h	Estudis i disseny CAD	175 h	30 €/h	5.250,00 €	
TFG2	h	Simulacions i resultats	175 h	30 €/h	5.250,00 €	
			<b>TOTAL CAPÍTOL I:</b>			<b>10.500,00 €</b>
<b>CAPÍTOL II: MATERIALS PER A LA FABRICACIÓ</b>						
<b>Codi</b>	<b>Unitat</b>	<b>Concepte</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Preu unitat</b>	<b>Import parcial</b>	<b>Import total</b>
TFG3	kg	Tubs d'acer secció A	9,68 kg	2 €/kg	19,36 €	
TFG4	kg	Tubs d'acer secció B-C	29,27 kg	2 €/kg	58,54 €	
TFG5	kg	Tubs d'acer secció D	1,93 kg	2 €/kg	3,86 €	
			<b>TOTAL CAPÍTOL II:</b>			<b>81,76 €</b>
<b>CAPÍTOL III: PROCÉS DE FABRICACIÓ</b>						
<b>Codi</b>	<b>Unitat</b>	<b>Concepte</b>	<b>Quantitat</b>	<b>Preu unitat</b>	<b>Import parcial</b>	<b>Import total</b>
TFG6	h	Processos inicials	25 h	30 €/h	750,00 €	
TFG7	h	Processos finals	30 h	40 €/h	1.200,00 €	
			<b>TOTAL CAPÍTOL III:</b>			<b>1.950,00 €</b>
			<b>TOTAL:</b>			<b>12.531,76 €</b>



## 6.4 Resum del pressupost

Taula 6.6. Resum del pressupost. Font pròpia.

<b>RESUM DEL PRESSUPOST</b>			
<b>Capítol</b>	<b>Resum</b>	<b>Import</b>	<b>%</b>
1	Disseny	10.500,00 €	83,79
2	Materials per a la fabricació	81,76 €	0,65
3	Procés de fabricació	1.950,00 €	15,56
	<b>TOTAL EXECUCIÓ MATERIAL (PEM)</b>	12.531,76 €	
	13% Despeses generals	1.629,13 €	
	6% Benefici Industrial	751,91 €	
	SUMA DE D.G. i B.I.	2.381,03 €	
	21% I.V.A.	3.131,69 €	
	<b>TOTAL PRESSUPOST CONTRACTA</b>	18.044,48 €	
	<b>TOTAL PRESSUPOST GENERAL</b>	<b>18.044,48 €</b>	

Ascendeix el pressupost general a l'expressada quantitat de DIVUIT MIL QUARANTA-QUATRE EUROS amb QUARANTA-VUIT CÈNTIMS.

,a 19 de Març de 2021

