

## **Treball final de grau**

**Estudi: Grau en Enginyeria Mecànica**

**Títol:**

**Disseny i fabricació d'un basculant de compòsit de fibra de carboni pel Smart Moto Challenge**

**Document:** Memòria i Annexos

**Alumne:**

Francesc Avellaneda Gabarrón

**Director/tutor:** Joan Andreu Mayugo Majó

**Departament:** Enginyeria mecànica i la construcció industrial

**Àrea:** Enginyeria mecànica

**Convocatòria (mes/any):** Setembre de 2015

# ÍNDEX

## MEMÒRIA

|                                                            |           |
|------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUCCIÓ .....</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>1.1 Antecedents.....</b>                                | <b>6</b>  |
| <b>1.2 Objecte del projecte .....</b>                      | <b>8</b>  |
| <b>1.3 Especificacions i Abast .....</b>                   | <b>8</b>  |
| <b>2. DISSENY CONCEPTUAL .....</b>                         | <b>9</b>  |
| <b>2.1 Motocicleta .....</b>                               | <b>9</b>  |
| <b>2.1.2 Xassís .....</b>                                  | <b>10</b> |
| <b>2.1.3 Sistema motriu .....</b>                          | <b>11</b> |
| <b>2.2 Basculant .....</b>                                 | <b>11</b> |
| <b>3. DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL BASCULANT .....</b>         | <b>13</b> |
| <b>3.1 Detalls .....</b>                                   | <b>14</b> |
| <b>3.2 Mètodes d'unió amb la resta de components .....</b> | <b>15</b> |
| <b>4. PROCÉS DE FABRICACIÓ .....</b>                       | <b>18</b> |
| <b>4.1 Alumini .....</b>                                   | <b>18</b> |
| <b>4.1.1 Unió amb xassís.....</b>                          | <b>18</b> |
| <b>4.1.2 Anclatge dret i esquerre motor .....</b>          | <b>19</b> |
| <b>4.2 Fibra de carboni .....</b>                          | <b>20</b> |
| <b>4.2.1 Perfil en C .....</b>                             | <b>20</b> |
| <b>5. RESUM DEL PRESSUPOST .....</b>                       | <b>21</b> |
| <b>6. CONCLUSIONS .....</b>                                | <b>21</b> |
| <b>7. RELACIÓ DE DOCUMENTS .....</b>                       | <b>22</b> |
| <b>8. BIBLIOGRAFIA/WEBGRAFIA .....</b>                     | <b>23</b> |
| <b>9. AGRAÏMENTS.....</b>                                  | <b>24</b> |

## ANNEXOS

|                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>ANNEX A. CONCEPTES DE BASCULANT .....</b>                                                      | <b>26</b> |
| <b>A.1 INTRODUCCIÓ .....</b>                                                                      | <b>27</b> |
| <b>A.2 RECERCA D'INFORMACIÓ .....</b>                                                             | <b>27</b> |
| <b>A.3 ESTUDIS DE MERCAT .....</b>                                                                | <b>29</b> |
| <b>A.4 CONCEPTE DE MOTOCICLETA I BASCULANT PER AL SMC 2015 .....</b>                              | <b>32</b> |
| <b>A.5 RESTRICCIONS DE PRODUCCIÓ D'UN BASCULANT EN MATERIAL COMPÒSIT<br/>PER AL SMC 2015.....</b> | <b>33</b> |
| <b>A.6 DISCUSSIÓ DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA .....</b>                                                 | <b>35</b> |
| <br><b>ANNEX B. CÀLCUL DEL CENTRE DE MASSES I REACCIONS A LA MOTOCICLETA...</b>                   | <b>36</b> |
| <b>B.1 CÀLCUL DEL CENTRE DE MASSES .....</b>                                                      | <b>37</b> |
| B.1.1 Introducció .....                                                                           | 37        |
| B.1.2 Elements considerats pel càlcul del centre de masses motocicleta.....                       | 37        |
| B.1.3 Càlcul centre de masses del pilot i passatger .....                                         | 39        |
| <b>B.2 CÀLCUL ESTÀTIC DE LES REACCIONS .....</b>                                                  | <b>40</b> |
| B.2.1 Càlcul estàtic de les reaccions de la roda per la motocicleta sola.....                     | 41        |
| B.2.2 Càlcul estàtic reaccions per el pilot sol i pel pilot i un passatger .....                  | 41        |
| <b>B.3 CÀLCUL DE LES REACCIONS DINÀMIQUES .....</b>                                               | <b>42</b> |
| B.3.1 Forces d'acceleració màxima amb un pilot i pilot i passatger .....                          | 42        |
| B.3.2 Forces de frenada a la roda davantera.....                                                  | 43        |
| B.3.3 Forces de frenada a la roda de darrere .....                                                | 44        |
| <b>B.4 PAS PER CORBA DE LA MOTOCICLETA AMB PILOT I PASSATGER.....</b>                             | <b>45</b> |
| <br><b>ANNEX C. REACCIONS A SOL·LICITACIONS BASCULANT .....</b>                                   | <b>49</b> |
| <b>C.1 INTRODUCCIÓ .....</b>                                                                      | <b>50</b> |
| <b>C.2 CASOS A ESTUDIAR.....</b>                                                                  | <b>50</b> |
| C.2.1 Reaccions estàtiques al basculant .....                                                     | 50        |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>C.2.2 Torsió degut al pas per corba .....</b>                              | <b>51</b> |
| <b>C.3 MOMENT MOTOR .....</b>                                                 | <b>52</b> |
| <b>C.4 ESTAT DE CÀRREGUES .....</b>                                           | <b>53</b> |
| <br><b>ANNEX D, SIMULACIÓ MEF I DIMENSIONAMENT ELEMENTS.....</b>              | <b>56</b> |
| <b>D.0 INTRODUCCIÓ .....</b>                                                  | <b>57</b> |
| <b>D.1 GEOMETRIA .....</b>                                                    | <b>57</b> |
| <b>D.2 ESTAT DE CÀRREGUES .....</b>                                           | <b>58</b> |
| <b>D.3 CONDICIONS DE CONTORN I SISTEMES DE COORDENADES .....</b>              | <b>59</b> |
| <b>D.4 CONTACTES, MALLA I CONNEXIONS .....</b>                                | <b>60</b> |
| <b>D.5 DEFINICIÓ DELS MATERIALS .....</b>                                     | <b>61</b> |
| <b>D.5.1 Característiques dels materials escollits .....</b>                  | <b>61</b> |
| <b>D.6 METODOLOGIA .....</b>                                                  | <b>63</b> |
| <b>D.7 RESULTATS OBTINGUTS DEL MEF .....</b>                                  | <b>68</b> |
| <b>D.7.1 Resultats de deformació i tensions principals .....</b>              | <b>71</b> |
| <b>D.7.2 Resultats de forces de contacte per l'adhesiu industrial.....</b>    | <b>73</b> |
| <b>D.7.3 Reaccions dels suports.....</b>                                      | <b>74</b> |
| <b>D.8 JUSTIFICACIÓ CÀLCUL PERN .....</b>                                     | <b>75</b> |
| <br><b>ANNEX E, SOLUCIÓ ALTERNATIVA EN ACER PER ABSÈNCIA DE FABRICACIÓ EN</b> |           |
| <b>COMPÒSIT .....</b>                                                         | <b>78</b> |
| <b>E.0 INTRODUCCIÓ .....</b>                                                  | <b>79</b> |
| <b>E.1 GEOMETRIA.....</b>                                                     | <b>80</b> |
| <b>E.2 ESTAT DE CÀRREGUES .....</b>                                           | <b>81</b> |
| <b>E.3 CONDICIONS DE CONTORN I SISTEMES DE COORDENADES .....</b>              | <b>82</b> |
| <b>E.4 CONTACTES, MALLA I CONNEXIONS .....</b>                                | <b>83</b> |
| <b>E.5 DEFINICIÓ DELS MATERIALS .....</b>                                     | <b>84</b> |
| <b>E.5.1 Característiques dels materials triats .....</b>                     | <b>84</b> |
| <b>E.6 RESULTATS OBTINGUTS DEL MEF.....</b>                                   | <b>85</b> |

|                                                                  |                |
|------------------------------------------------------------------|----------------|
| <b>E.6.1 Resultats de deformació i tensions principals .....</b> | <b>88</b>      |
| <b>E.6.2 Reaccions dels suports .....</b>                        | <b>88</b>      |
| <b>E.7 JUSTIFICACIÓ CÀLCUL PERN .....</b>                        | <b>89</b>      |
| <b>E.8 PROCÉS DE FABRICACIÓ DEL BASCULANT .....</b>              | <b>91</b>      |
| <b>E.9 PLÀNOLS .....</b>                                         | <b>96</b>      |
| <b>E.10 PRESSUPOST BASCULANT ACER .....</b>                      | <b>104</b>     |
| <b>E.10.1 Introducció .....</b>                                  | <b>104</b>     |
| <b>E.10.2 Pressupostos parcials .....</b>                        | <b>105</b>     |
| <b>E.10.3 Pressupost general .....</b>                           | <b>108</b>     |
| <br><b>ANNEX F. CATÀLEGS DE MATERIALS .....</b>                  | <br><b>109</b> |

# MEMÒRIA

## 1. INTRODUCCIÓ

### 1.1 Antecedents

La competició “Barcelona Smart Moto Challenge” va ser creada l’any 2013, amb l’objectiu de que diversos grups d’estudiants d’arreu del món dissenyessin i fabriquessin un prototip de motocicleta elèctrica. Enguany ha tingut acollida al Circuit de Barcelona, Catalunya, durant els dies 9, 10, 11 i 12 de juliol. L’associació del UdG Racing Team i l’equip del Smart Moto Challenge ha participat, quedant en cinquè lloc a la classificació general per davant d’equips com la Universitat Politècnica de Barcelona, la Universitat de Moscow o Monlau Escola Tècnica.

L’equip de la UdG està format per un coordinador, en Narcís Gascons Clario, com també per estudiants d’enginyeria mecànica, enginyeria en tecnologies industrials, enginyeria electrònica i enginyeria elèctrica. Tots ells s’han de coordinar conjuntament realitzant reunions setmanals per a discutir o debatre els diferents temes que van sorgint, com per exemple, motocicletes de referència per al disseny conceptual, elecció de la distància entre eixos, dimensions de les rodes, distribució de l’espai útil de la motocicleta, etc. A les reunions es troben els diferents departaments de l’equip:

- El departament d’elèctrica i electrònica encarregats de la instrumentació, el motor, el controlador, la bateria i tot el sistema elèctric, és a dir, el cablejat i les connexions.
- El departament de mecànica, encarregats del sistema de suspensions, direcció i sistema de frenada, com també del disseny estructural, dels suports necessaris pels diferents elements i, finalment, de les rodes, tant del muntatge, com de radiar.
- El departament de disseny, encarregats de l’ergonomia de la motocicleta i el pilot, el disseny i fabricació del cos/carenat i també de la recerca de mercat, per a triar quin tipus de motocicleta convé en funció de la temàtica de la competició.

En aquesta edició de la competició s’havia de crear un prototip pensat pel “delivering”, és a dir, missatgeria o repartiment de pizzes, qualsevol tipus de feina enfocada a la distribució de material, correspondència o menjar, tenint en compte que la motocicleta havia de tenir un espai reglamentari per a guardar els paquets. En aquest cas, l’equip de la universitat va decidir enfocar el disseny cap una motocicleta per a repartir pizzes a domicili, com també a millorar el sistema d’extracció de la bateria, idea de l’anterior edició, creant una nova caixa que incorporava la bateria i el propi carregador. Per altra banda, va optar per a fer una aplicació pel telèfon mòbil, la qual et donava la posició exacte de la motocicleta en tot moment, els quilòmetres que portava de recorregut i finalment, ho guardava en un històric dins de l’ordinador. A més, la normativa obligava a cada equip a adequar el prototip per a

complir la normativa europea de motocicletes elèctriques, en funció de la tipologia escollida s'havia de seguir la L1E o la L3E del Reglament Europeu N° 168/2013. Entre les diferents característiques que havia de complir és que la longitud màxima entre extrems de rodes no podia ésser superior a quatre metres, l'amplada havia d'ésser inferior al metre i l'alçada amb pilot no podia superar els dos metres i mig.

La competició consta de varies entregues, "Design Reports", on s'ha d'anar presentant la documentació del pla d'empresa, la recerca de mercat en que es troba enfocada la motocicleta i les seves especificacions. D'aquesta forma els responsables s'encarreguen de veure la feina que s'està duent a terme i donen consells per a millorar-la. Aquest document és revisat pels jutges i més endavant, durant la competició, valorat i qüestionat per aquests, adreçant-se de forma directa als membres del equip. Cada departament està encarregat de contestar les preguntes específiques que se li formulen.

Altrament, durant la competició els dos esdeveniments clau són els "Dynamic Events" i "Static Events", dividits en:

- **"Static Events":**
  - Avaluació del disseny del producte. Es mira el disseny com a tal, funcionalitat i especificacions extremes de la moto.
  - "Business Plan": es defensa un pla d'empresa inclòs al "Design Report", que serveix per a simular com seria la fabricació en sèrie d'un prototip d'aquestes característiques.
- **"Dynamic Events":**
  - Acceleració: es mesura l'acceleració del prototip.
  - Cons: es realitza una traçada amb moltes corbes, per a veure la maniobrabilitat de la motocicleta.
  - "Autotrack": es tracta en fer una volta al circuit i guanya l'equip que la realitza amb el mínim temps possible.
  - "Endurance": és una cursa de resistència de 20km de durada en un circuit tancat, per a mirar l'autonomia de la bateria i la fiabilitat del prototip.

Tots aquests esdeveniments amb una puntuació total de 1000 punts, serveixen i ajuden al jurat a valorar de forma equitativa la qualitat de la motocicleta tant a nivell d'usuari com a nivell d'enginyeria. Òbviament l'equip que reuneix més punts és el guanyador de la competició.

## 1.2 Objecte del projecte

L'objecte d'aquest projecte és dissenyar i fabricar el basculant en material compòsit, concretament amb resina epoxy reforçada amb fibra de carboni, que pugui treballar adequadament pel correcte maneig i estabilitat de la motocicleta elèctrica que l'equip del Smart Moto Challenge, SMC, està desenvolupant per la propera edició de la competició. El disseny d'aquest es troba sota els requisits del departament de disseny i les condicions del departament de mecànica, ja que s'ha de complir una distància mínima entre eixos i s'ha de poder muntar amb la resta de xassís, com també subjectar la roda posterior i la pinça de fre.



**Figura 1.** Vistes generals del disseny conceptual, render realitzat amb Solidworks

## 1.3 Especificacions i Abast

- Ha de ser capaç de suportar el pes de dues persones, aproximadament 75 kg cadascuna. (Requisit)
- El basculant de la motocicleta ha d'esser en material compòsit de fibra de carboni amb matriu epoxy, combinat amb elements mecanitzats d'alumini. (Requisit)
- Aquest ha de poder subjectar la roda posterior de mides 16x1.5". (Requisit)
- Ha de poder subjectar la pinça de fre. (Requisit)
- Ha de poder acoblar-se al xassís. (Requisit)
- Ha de poder acoblar-se a la suspensió posterior. (Requisit)
- El basculant ha de fabricar-se a l'empresa *Airborne Aerospace*. (Requisit)
- El cost de l'estructura no pot sobrepassar els 2000€ i ha de complir amb un pes inferior als 4 kg.

## 2. DISSENY CONCEPTUAL

En aquest apartat es descriu de forma conceptual la motocicleta de l'equip del Smart Moto Challenge d'aquesta darrera edició. El disseny ha estat realitzat per l'Adrià Corella en el seu projecte final de grau i supervisat pel professor Fernando Julián Pérez. Tot i així, la resta de membres de l'equip també varen poder donar l'opinió fins a escollir el disseny definitiu.

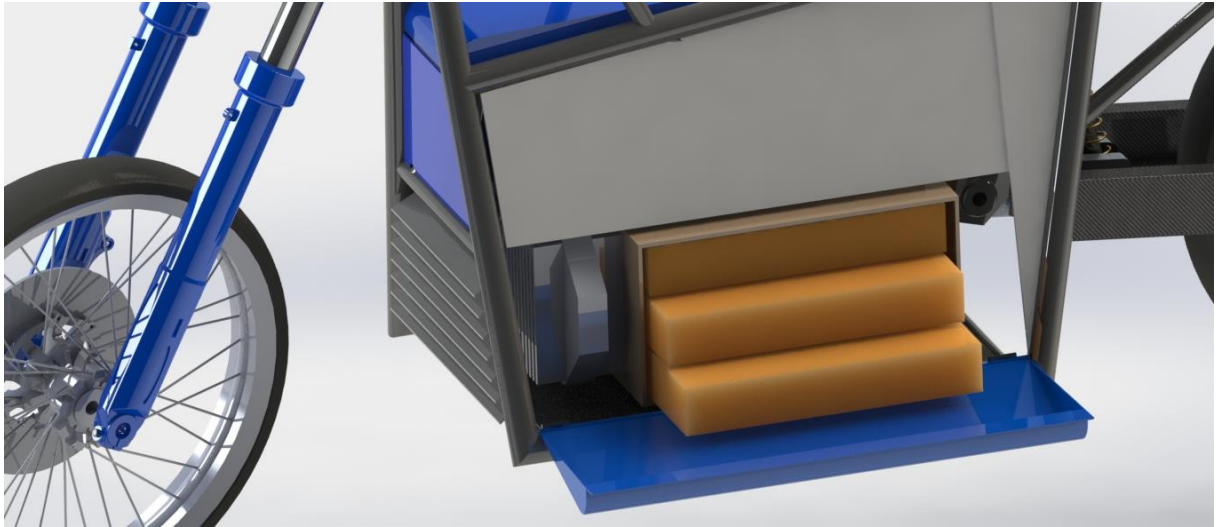
### 2.1 Motocicleta

A continuació es presenten una sèrie de figures on es pot veure el disseny realitzat per l'Adrià Corella en el seu projecte final de grau.



**Figura 2.** Vistes generals de la motocicleta (Font: Adrià Corella, Treball final de grau)

Com es pot apreciar a la *Figura 2*, la motocicleta està pensada per a ser utilitzada per la ciutat i està destinada a un públic mixt. Tan mateix, com es comentava a la introducció del projecte, ha estat destinada al repartiment de pizzes, per això acaba amb aquesta forma triangular a la part inferior, per el compartiment que té al interior. Aquest es pot apreciar molt bé a la *Figura 3*.



**Figura 3.** Compartiment de pizzes (Font: Adrià Corella, Treball final de grau)

### 2.1.2 Xassís

El xassís és una sola estructura autoportant, amb les característiques que ha estat dissenyat i fabricat a base de perfils tubulars d'acer S275 i també ST52, un acer al carboni amb alt contingut de magnesi. Aquest ha estat dissenyat i fabricat per el Igor Kopytov, membre del departament de mecànica del Smart Moto Challenge.



**Figura 4.** Xassís tubular d'acer dissenyat per la motocicleta elèctrica

### 2.1.3 Sistema motriu

La motocicleta és impulsada per un motor elèctric de la marca “ELMOTO”, integrat a la roda posterior dóna una potència màxima de 2CV i no requereix sistema de transmissió, ja que transmet directament la potència a la roda.



**Figura 5.** Motor ELMOTO radiat a la roda posterior

### 2.2 Basculant

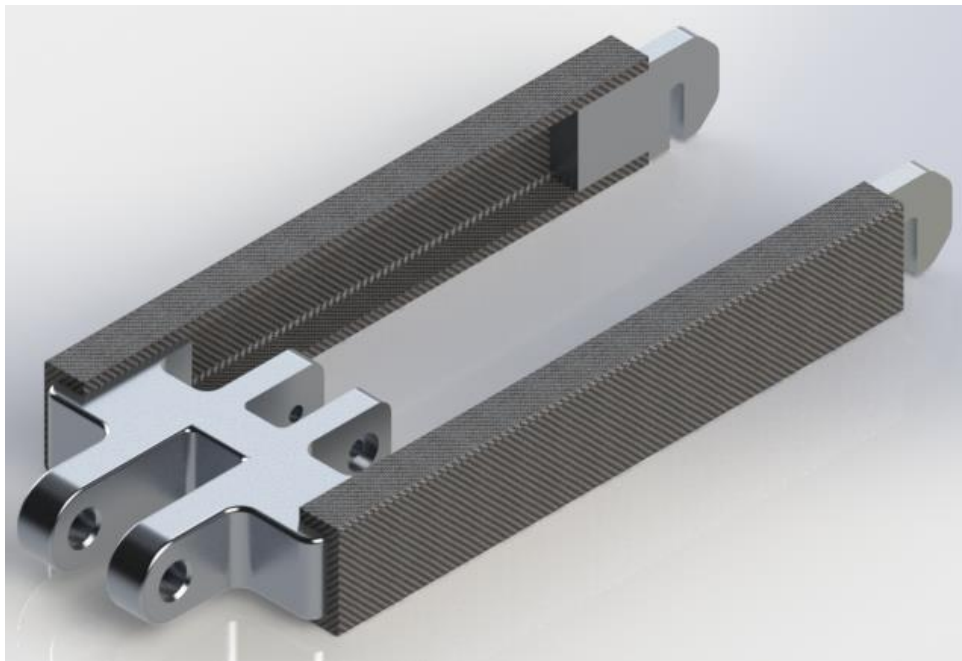
El sistema pensat per a la motocicleta elèctrica és molt semblant al que es pot trobar a qualsevol altra de característiques equivalents. És una estructura desenvolupada per un tipus de motocicleta relativament econòmica en qualitat preu i prestacions de velocitat i potència baixes. A més, incorpora el punt de recolzament per a la suspensió, pensat per un sistema monoshock, i el corresponent recolzament per a unir-se amb el xassís.



**Figura 6.** Motocicleta Rieju MIUS amb basculant i amortidor

El sistema pensat per a la motocicleta del Udg Racing Team incorporarà un sistema de suspensió posterior semblant al mostrat anteriorment, no serà mitjançant bieletes, ja que dificultava el disseny i també el cost final del prototip.

Altrament, el basculant tindrà els braços en material compòsit, ja que n'era un requisit per part de l'equip. Per a l'eix del motor i per l'eix del xassís, s'utilitzaran peces mecanitzades en alumini, unides entre elles per un adhesiu estructural bicomponent de les característiques suficients per a resistir els esforços. A la *Figura 7.* es presenta com serà definitivament el basculant dissenyat per al prototip d'aquesta última edició. Per a saber en més deteniment com s'ha anat evolucionant el disseny presentat a continuació, consultar *Annex A, Conceptes de basculant.*



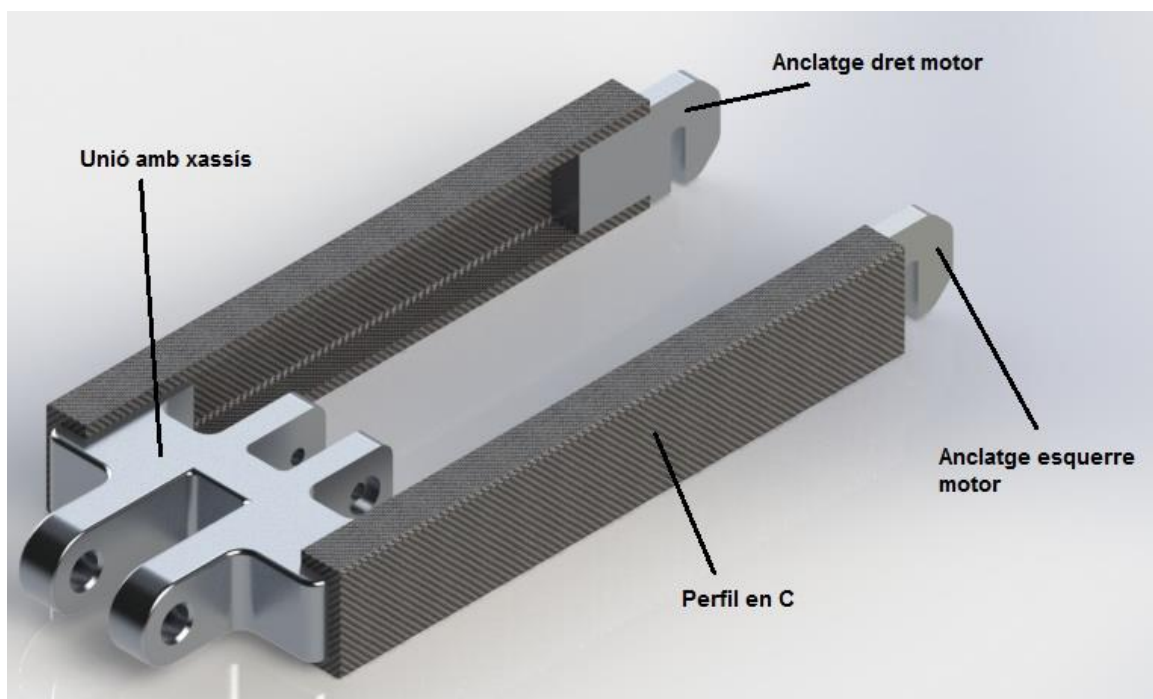
**Figura 7.** Basculant adoptat per a la solució final

En el següent apartat, 3. *DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL BASCULANT*, s'explicarà més detalladament la solució adoptada per al disseny del prototip del Smart Moto Challenge.

### 3. DESCRIPCIÓ DETALLADA DEL BASCULANT

En aquest apartat de la memòria s'exposa de forma detallada totes les parts del basculant que tenen un caràcter vinculant per a que el muntatge final sigui adequat per a ser adherit a la resta de la motocicleta elèctrica. És a dir, que totes aquelles peces dissenyades quedin alineades, paral·leles i perpendiculars en els respectius punts per a que el basculant sigui completament simètric respecte l'eix vertical. Com també que quedi alineat amb la pipeta de la motocicleta i les rodes.

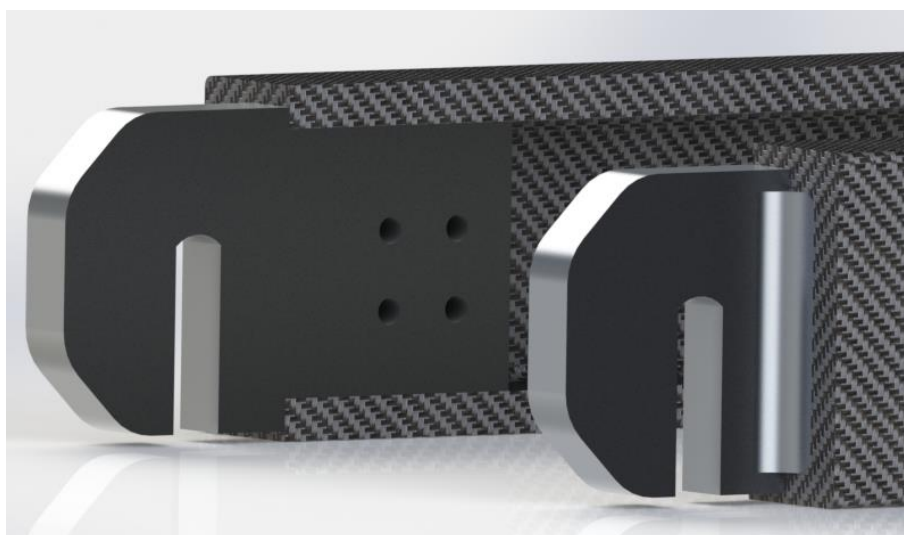
El present basculant està compost per les peces anomenades a la *Figura 8*.



**Figura 8.** Elements vinculants del basculant fabricats en alumini i en material compòsit

### 3.1 Detalls

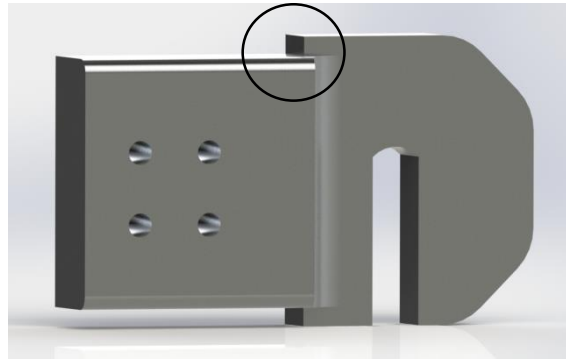
El sistema emprat per a subjectar les diferents peces es basa en utilitzar adhesiu estructural bicomponent i col·locar-lo entre les cares que són coincidents en el conjunt del basculant. Tal i com es pot apreciar a la *Figura 9*, entre el Perfil en C i els anclatges, aniran ajuntats mitjançant aquest sistema. Per això un dels factors importants ha estat fer coincidir les cares amb la màxima precisió possible. A més, les mides han estat vinculants, ja que els centres dels forats i certs plans han de ser coincidents per a poder mantenir un paral·lelisme entre els diferents elements, per exemple, l'eix del motor i la roda amb les cares interiors dels Perfils en C. Els quatre forats que es veuen a la *Figura 9* són mecanitzats amb el mascle de roscar i serveixen per a subjectar una platina en la qual hi anirà collada la pinça de fre per al disc posterior. S'ha utilitzat aquest mètode perquè era el més senzill, és a dir, hi havia factors a tenir en compte i un d'ells era perforar el carboni o soldar diferents elements d'alumini, es feia difícil tenint en compte la maquinària de la que es disposa al taller de mecànica.



**Figura 9.** Unió entre el perfil en C i els anclatges

A la *Figura 10*, es troba representat l'anclatge esquerre, al igual que el dret incorpora uns petits arrodoniments als laterals. Aquest mecanitzat s'ha portat a terme ja que el motlle emprat per a la producció del Perfil en C tenia aquest mateix arrodoniment, així doncs es crea una superfície coincident que es favorable per a la posterior unió.

Altrament, com es veu a la mateixa figura, hi ha un cercle, aquest ha estat ressaltat per a explicar que, el mecanitzat brusc de 90°, serveix per a fer que les cares entre el Perfil en C i els anclatges coincideixin perfectament, de tal forma, que també serveixin per centrar els forats guia acabats amb el arc per a l'eix del motor.

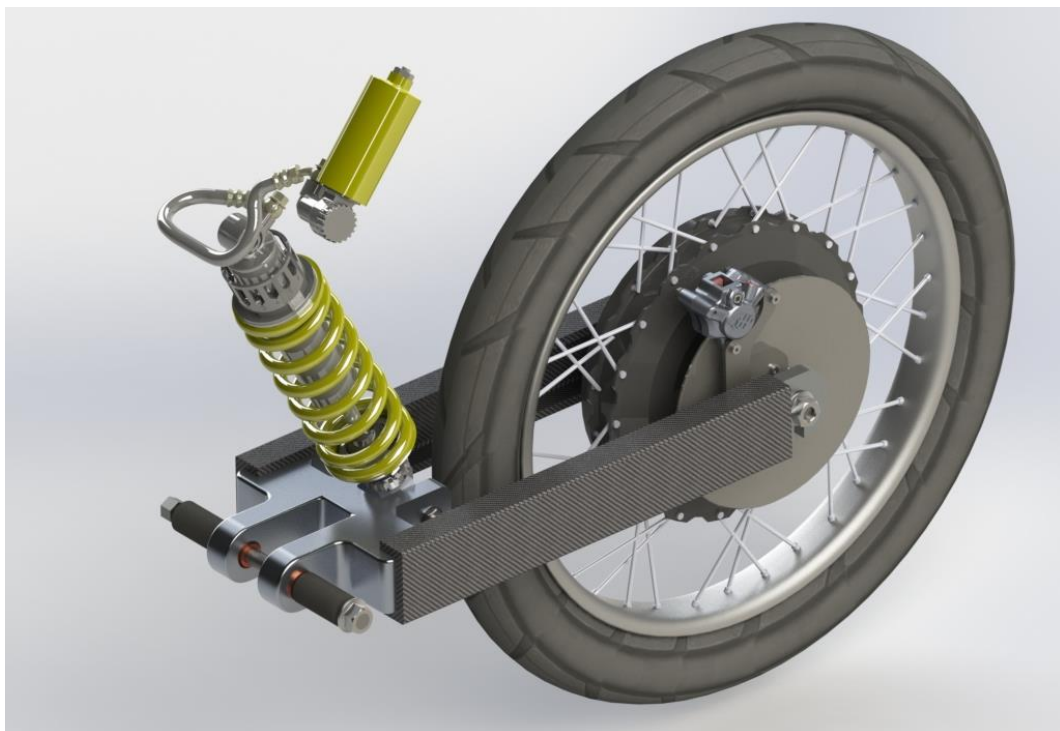


**Figura 10.** Detalls de l'anclatge dret

Per a unir la *Unió amb xassís* amb la resta de components s'haurà de menester un utilitatge fet a mida per a posicionar els Perfils en C prèviament units amb els anclatges. Per a tenir una idea de com fer-ho, consultar *Annex E, Solució alternativa en acer per absència de fabricació en compòsit*. En aquest capítol del treball s'explica com s'ha fabricat definitivament el basculant pel Smart Moto Challenge.

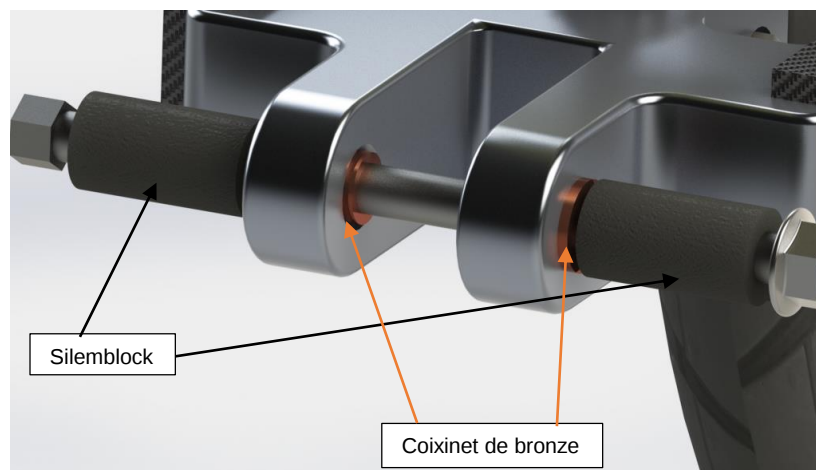
### 3.2 Mètodes d'unió amb la resta de components

A continuació es parla dels mètodes emprats per a unir els diferents elements, tant el xassís com la suspensió. Per a tal motiu es presenta la figura següent on, de forma general, es veu com quedaria assemblet tot en el muntatge final del prototip.



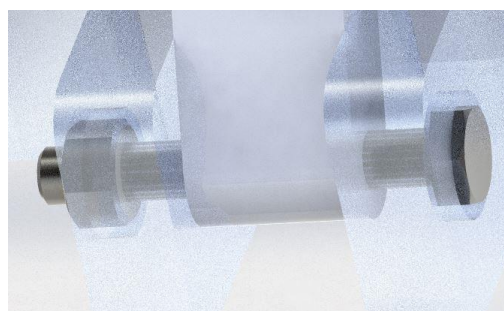
**Figura 11.** Vista general del conjunt final de la part posterior de la motocicleta

Per a unir el basculant amb el xassís, s'ha fet un cop d'ull al mercat, per a comprovar quins sistemes portaven incorporats la resta de motocicletes de característiques equivalents. El sistema que es mostra a la *Figura 12* ha estat el que semblava més adequat per a ser portat a la pràctica. Consta de 2 silemblocks elàstics, de dos coixinets de bronze i finalment d'un eix d'acer S275 que anirà lubricat amb grassa per a que treballi correctament. Els silemblocks triats aguanten un pes de 250 kg cadascun, aquests han estat escollits per a reduir vibracions, com també per a minorar l'efecte de desviació que patia el xassís en el punt on es recolza amb el basculant. Aquesta decisió, ha estat portada a terme entre els diferents components del departament de mecànica de l'equip del Smart Moto Challenge, és a dir, ha estat un problema que ha causat diferents debats i finalment, s'ha usat aquest sistema perquè era el més adient.



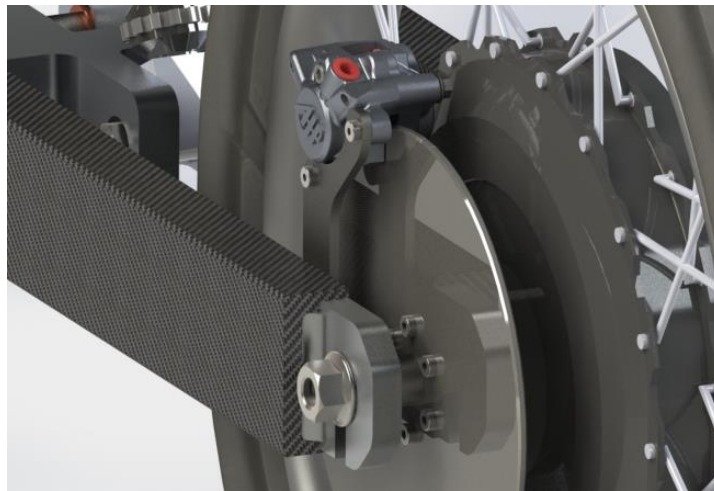
**Figura 12.** Mètode d'unió entre el basculant i el xassís

El muntatge utilitzat per a subjectar la suspensió al basculant, ha estat el mostrat a la *Figura 13*. Aquest incorpora un pern M10x65 de qualitat 6.8 que serà suficient per a suportar la força a tallant que rebrà de la suspensió. Cal esmentar que anirà fixat amb femella de seguretat i també incorporarà una volandera. Per a més informació sobre les consideracions preses consultar *Annex D, Simulació MEF i dimensionament elements*.



**Figura 13.** Mètode d'unió entre el basculant i la suspensió

Fent referència a la *Figura 14*, es pot apreciar el mètode emprat per a unir la pinça de fre amb el basculant de compòsit. Es farà ús d'una platina d'acer de 4 mm de gruix, aquesta serà collada al *Anclatge esquerre* mitjançant quatre perns de M6x25. Per consegüent també subjectarà la pinça de fre de la marca JJuan, mitjançant dos perns de M5x12. Cal esmentar que s'ha fet ús d'aquesta pinça de fre ja que JJuan aportava els sistemes de frenada a tots els equips de la competició.



**Figura 14.** Mètode de subjecció de la pinça de fre mitjançant una platina d'acer mecanitzada

A la *Figura 15* es presenta com quedaria el conjunt final de la pinça de fre des de la vista lateral del muntatge. Tots els elements han d'estar ben posicionats per a minorar l'efecte de la fricció, és a dir, evitar que la roda es fregui per si sola. Un cop muntat, s'agafaran les mides entre l'*Anclatge esquerre* i l'eix del motor i es mecanitzarà un casquet de les dimensions preses per a mantenir les distàncies.



**Figura 15.** Paral·lelisme entre els diferents components per ajustar la posició del disc de fre i la roda posterior

## 4. PROCÉS DE FABRICACIÓ

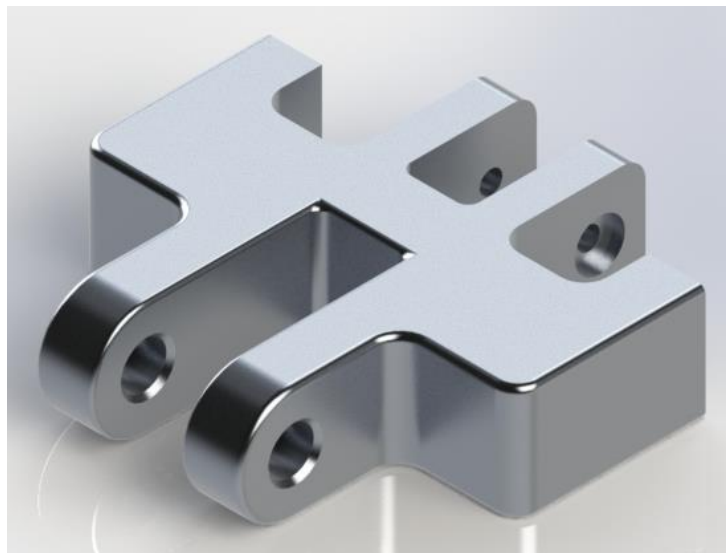
En el present capítol es parlarà de com s'ha fabricat cada peça del basculant per a tenir una idea aproximada de la maquinària que es requereix a l'hora de desenvolupar una estructura de les característiques exposades anteriorment.

Per a conèixer amb detalls el processos de fabricació de cadascuna de les peces, com també les seves mides, consultar *Document N°3 Plec de condicions* i *Document N°2 Plànols*, respectivament.

### 4.1 Alumini

#### 4.1.1 Unió amb xassís

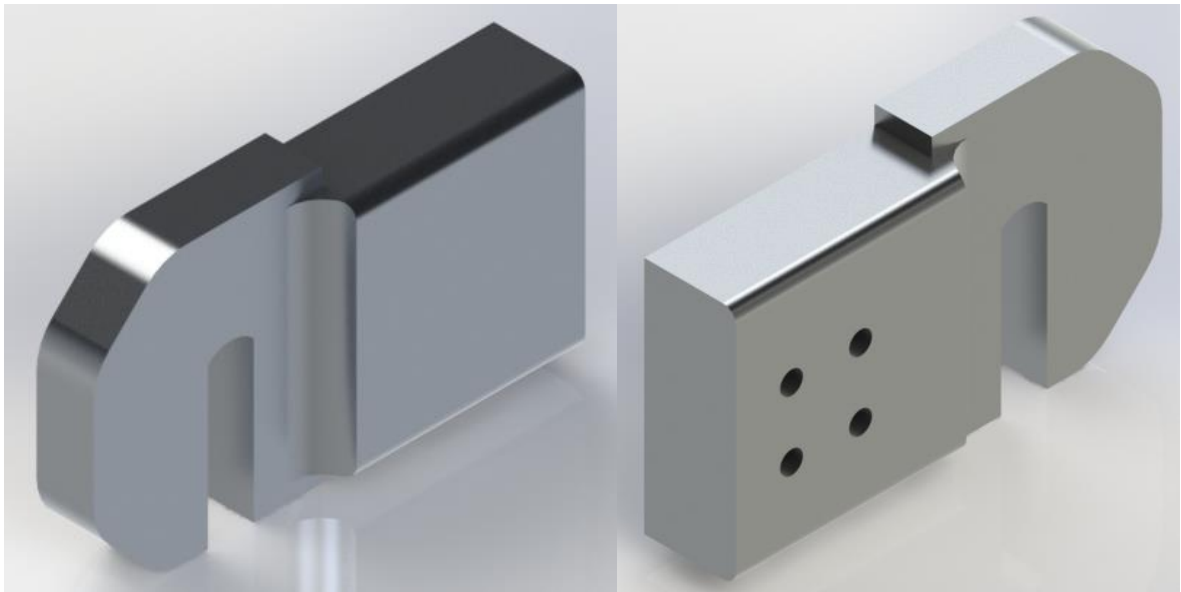
La primera operació a realitzar és crear el programa CAM per a que la màquina pugui tallar la peça sense problemes ni errors de codi. Un cop acabat haurà de ser supervisat pel responsable de taller i, a continuació, es podrà procedir a tallar el bloc d'alumini amb les mides principals i fixar-lo al banc de la fresadora de 3 eixos. Un cop finalitzada la mecanització respecte el pla, caldrà canviar aquest per a mecanitzar els arrodoniments i, després, s'haurà d'extreure de la fresadora per fer una comprovació de metrologia. Finalment, caldrà matar els cantells vius amb la mola manual.



**Figura 16.** Renderitzat en vista isomètrica de la *Unió amb xassís* mecanitzada

#### 4.1.2 Anclatge dret i esquerre motor

La primera operació a realitzar és crear el programa CAM per a que la màquina pugui tallar la peça sense problemes ni errors de codi. Un cop acabat haurà de ser supervisat per el responsable de taller i, a continuació, es podrà procedir a tallar el bloc d'alumini amb les mides principals i fixar-lo al banc de la fresadora de 3 eixos. Un cop finalitzada la mecanització, s'haurà d'extreure de la fresadora per fer una comprovació de metrologia. Finalment, caldrà matar els cantells vius amb la mola manual. Tan mateix, per l'anclatge esquerre caldrà mecanitzar els forats amb el mascle de roscar.



**Figura 17.** Vista isomètrica dels anclatges, dret i esquerre respectivament

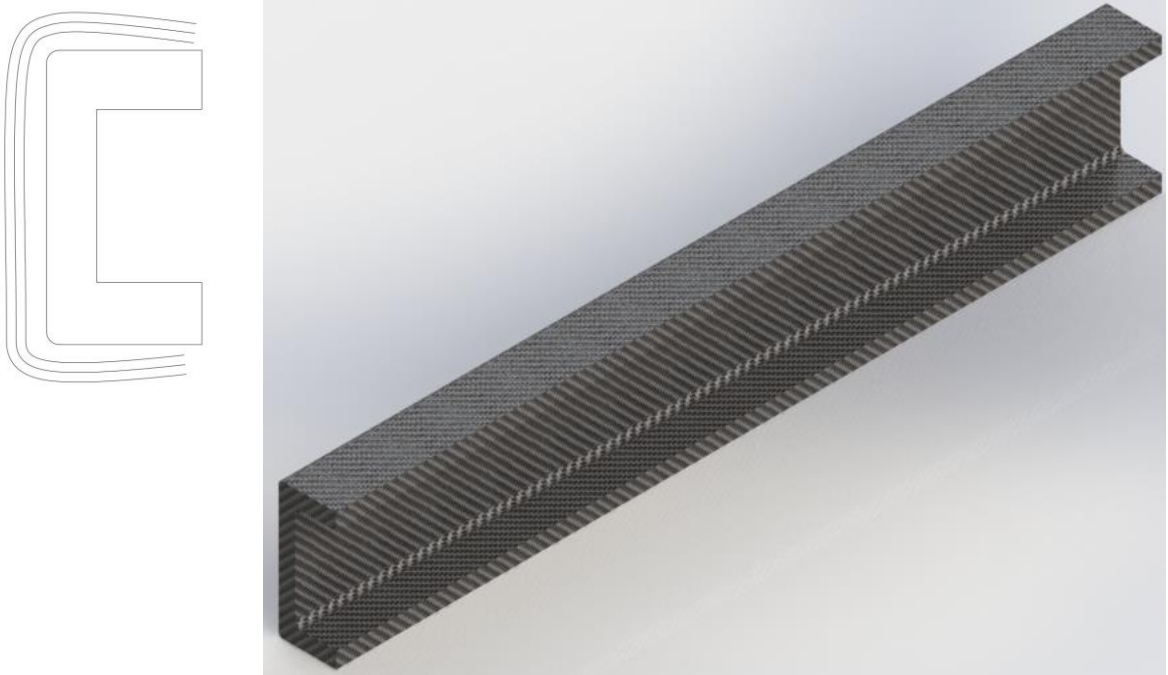
## 4.2 Fibra de carboni

### 4.2.1 Perfil en C

La primera operació a realitzar és tallar els teixits a mida i fer un recompte de totes les làmines necessàries per a produir l'element.

A continuació s'ha de preparar l'entorn de treball i col·locar el motlle interior en la posició idònia. Després s'ha d'anar aplicant els teixits amb la orientació estipulada als plànols. Es tensen i compacten al mateix temps cada 3 capes. Un cop finalitzada aquesta part, s'aplica la bossa de buit i es crea el buit, consecutivament, s'envia tot el conjunt al autoclau on s'hi aplicarà el buit, pressió i finalment, temperatura. Tots els paràmetres de temperatura, pressió i buit es troben a l'*Annex F, Catàlegs de materials*.

Més endavant, passat el temps de cura estipulat pel subministrador, es traurà de l'autoclau i es passarà a fer un refrentat amb la fresadora manual per assegurar la mesura final del perfil.



**Figura 18.** Vista isomètrica del perfil en c de material compòsit acabat amb una longitud total de 400 mm i la prèvia disposició de les capes sobre el motlle interior

## 5. RESUM DEL PRESSUPOST

| TAULA RESUM PRESSUPOSTOS PARCIAIS          |                   |
|--------------------------------------------|-------------------|
| Descripció                                 | Import            |
| 1. Mecanitzat unió amb xassís              | 262,26 €          |
| 2. Mecanitzat anclatge esquerre            | 189,06 €          |
| 3. Mecanitzat anclatge dret                | 181,56 €          |
| 4. Fabricació perfil de material compòsit  | 660,55 €          |
| 5. Muntatge basculant en material compòsit | 38,54 €           |
| <b>TOTAL</b>                               | <b>1.331,96 €</b> |

**Taula 1.** Resum del pressupost per partides

S'adjunta una taula resum dels costos associats al projecte i al seu desenvolupament, és a dir, fabricació i muntatge final segons les especificacions que s'han donat en el respectiu moment. El cost estimat del sistema descrit en el present pressupost és de **1.331,96 €**.

Per a conèixer en detall el pressupost, consultar *Document N°5 Pressupost*.

## 6. CONCLUSIONS

Pel que fa al basculant en material compòsit ha complert parcialment els objectius del projecte, ja que s'ha pogut dissenyar per a complir les especificacions tant de la motocicleta, com de l'estat de càrregues. Cal dir que el dimensionat d'aquest serà suficient, ja que està pensat per una motocicleta que mai superarà els 45 km/h i, per tant, no es veurà sotmesa a afrontar grans irregularitats en el terreny. El seu pes ha estat de **3,505 kg** i el preu final de **1.331,96 €**. Tot i així, no s'ha pogut fabricar degut a que *Airborne Aerospace*, com a patrocinador de l'equip, tenia el taller saturat de feina un cop es varen enviar els plànols per a fabricar-lo.

Finalment, un cop fent la comparació amb el basculant d'acer, es podria arribar a dir que aquest últim, és més rígid, més resistent i barat, però també és més pesat, cosa que des d'un principi l'equip volia reduir, el pes total de la motocicleta. Però fabricar-lo en material compòsit hauria estat beneficiós en la maniobrabilitat, per ser un material resistent, flexible i també més lleuger.

## 7. RELACIÓ DE DOCUMENTS

### **Document N°1:** Memòria i annexos

ANNEX A, Conceptes de basculant

ANNEX B, Càlcul del centre de masses i reaccions a la motocicleta

ANNEX C, Reaccions sol·licitants al basculant

ANNEX D, Simulació MEF i dimensionament elements

ANNEX E, Solució alternativa en acer per absència de fabricació en compòsit

ANNEX F, Catàlegs de materials

### **Document N°2:** Plànols

### **Document N°3:** Plec de condicions

### **Document N°4:** Estat d'amidaments

### **Document N°5:** Pressupost

## 8. BIBLIOGRAFIA/WEBGRAFIA

CORELLA, ADRIÀ, Disseny conceptual d'una motocicleta per a la Smart Moto Challenge 2015, Treball final de grau, Juny 2015.

FOALE, TONY, Motorcycle handling and chassis design, the art and science, Technical Cycle World, March 2002.

Lloc web: HEXCEL, Carbon fiber and composites for aerospace, [ <http://www.hexcel.com> , 10 de juliol de 2015 ]

Lloc web: EXEL COMPOSITES, Advanced pultrusion and pullwinding, [ <http://www.exelcomposites.com> , 2 de juny de 2015 ]

Lloc web: CYTEC USA, [ <http://www.cyttec.com> , 15 de maig de 2015 ]

Lloc web: AXSON, [ <http://www.axson-technologies.com> , 13 de juliol de 2015 ]

Lloc web: AENOR Associació Espanyola de Normalització i Certificació, [ <http://www.aenor.es> , 9 de juliol de 2015 ]

Lloc web: Banc BEDEC – ITEC, [ <http://itec.cat/nouBedec.c/bedec.aspx> , 16 de juliol de 2015]

Lloc web: Aluminio – Broncesval, S.L., [ <http://www.broncesval.com> , 9 de juliol de 2015 ]

## 9. AGRAÏMENTS

En primer lloc m'agradaria expressar el meu agraïment al tutor del treball, en Joan Andreu Mayugo Majo, per ajudar-me i guiar-me en el desenvolupament d'aquest projecte, ja que ha estat de gran ajuda i m'ha obert la ment per encaminar el meu futur cap els materials compòsits. Gràcies.

Gràcies a en Sergi Saus i en Jordi Vicens del taller de mecànica per la seva ajuda en la fabricació de petites peces i les soldadures per a la motocicleta elèctrica, sense ells no s'hauria arribat a temps a la competició.

Agraeixo l'ajuda a en Martí Comamala Laguna, gràcies a ell i el banc inercial, els membres del departament de mecànica del Smart Moto Challenge han pogut millorar els càlculs dinàmics de la motocicleta per al posterior càlcul estructural.

Finalment, m'agradaria fer menció a l'ajuda d'en Marc Gascons i d'*Airborne Aerospace*, per la seva paciència i ajuda quan els hi feia preguntes i comentava certs problemes que anaven succeint al llarg del projecte.

# ANNEXOS

## **ANNEX A. CONCEPTES DE BASCULANT**

## A.1 INTRODUCCIÓ

En aquest capítol es presenta com s'ha elaborat el concepte de basculant per l'equip del Smart Moto Challenge tenint en compte tots els paràmetres vinculants que el caracteritzen. És a dir, es dóna a conèixer la metodologia que s'ha fet servir, la recerca de mercat i la informació necessària, com també es mostren els conceptes pels quals s'ha decantat el dissenyador amb la comparativa i, finalment, les conclusions que n'ha extret.

Els basculants que es presentaran a continuació van del més econòmic format en acer, com també l'alumini que té un cost més significatiu i es usat com a material principal en motocicletes de competició. Per altra banda, en destaquem la resina "epoxy" combinada amb fibra de carboni, un component poc usat en motocicletes però que cada dia s'està desenvolupant més. Aquest últim component serà l'usat per a la producció del basculant ja que es parteix de l'especificació que l'equip del Smart Moto Challenge va imposar en el seu moment al departament de mecànica.

Des de l'equip del Smart Moto Challenge es va decidir a principi de curs seguir amb la busca i tria de patrocinadors, és per això, que degut als resultats obtinguts l'any passat, un dels que ha volgut repetir com a tal ha estat *Airborne Aerospace*. L'empresa, especialista en el disseny i fabricació de material compòsit, ha tingut un caràcter vinculant a l'hora de participar en l'elecció del disseny final i també en el què es pot arribar a produir o fabricar tenint en compte sempre, els restrictius de costs i processos de fabricació.

## A.2 RECERCA D'INFORMACIÓ

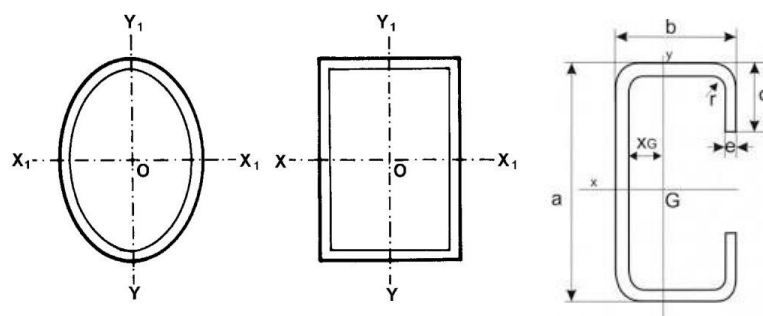
El primer que s'ha realitzat és una recerca d'informació per arribar a obtenir tot allò remarcable en quant a materials, perfils estructurals i tipologies de basculants que es veuran presentades en el punt següent. Tal i com es presenta a la *Taula A.1*, els materials més usats per al disseny de xassís o part d'aquest, serien l'acer, l'alumini i la resina "epoxy" amb fibra de carboni.

**Typical properties of some common materials**

| Material                                                                                      | UTS<br>Kgf/mm <sup>2</sup> | Specific<br>gravity | Young's Modulus<br>x 10 <sup>4</sup> Kgf/mm <sup>2</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------------------------------------|
| Grey cast iron                                                                                | 16 - 22                    | 7.3                 | 1.27                                                     |
| Structural/Stainless steel                                                                    | 47 - 63                    | 7.8                 | 2.1                                                      |
| Reynolds 531/4130 tube                                                                        | 78                         | 7.8                 | 2.1                                                      |
| Aluminium alloys                                                                              | 17 - 63                    | 2.7                 | 0.7                                                      |
| Magnesium alloys                                                                              | 19 - 32                    | 1.7                 | 0.44                                                     |
| Titanium alloys                                                                               | 47 - 126                   | 4.4                 | 1.2                                                      |
| Nylon                                                                                         | 8                          | 1.1                 | 0.14 - 0.28                                              |
| PVC                                                                                           | 6                          | 1.4                 | 0.025 - 0.042                                            |
| PTFE (Teflon)                                                                                 | 1.3                        | 2.2                 | 0.035 - 0.042                                            |
| GRP (Glass Reinforced Plastic)                                                                | 16 - 35                    | 1.7                 | 0.07 - 0.2                                               |
| Carbon fibre (In direction of fibres.<br>Fibres only, properties reduced in<br>resin matrix.) | 140                        | 1.6                 | 2.2                                                      |

**Taula A.1** Materials i característiques (Font: Motorcycle handling and chassis design, Tony Foale)

Els anomenats anteriorment són els que destaquen per un bon límit elàstic o per la seva densitat, com també pel mòdul de Young que tenen. A més, les seves propietats específiques (per unitat de pes) són també molt bones, sobretot en el cas dels compòsits de fibra de carboni. A la *Figura A.1* es presenten les seccions típiques per al disseny de basculants de motocicletes, ja es veurà més endavant que per diferents raons, no són les més idònies depenent del material amb el que es treballi. Així mateix, es presenta el capítol d'estudis de mercat on es veurà en detall la tipologia de basculants i els materials anomenats amb anterioritat.



**Figura A.1** Seccions típiques de basculant

### A.3 ESTUDIS DE MERCAT

En el capítol que es presenta, estudis de mercat, s'ha volgut realitzar una comparativa dels basculants tipus que hi ha a nivell comercial i no comercial, anant de les motocicletes més econòmiques com serien les Scooters, de combustió o elèctriques, fins a les més cares de competició, tan d'Enduro com d'alta velocitat en circuit. Cal esmentar que totes elles, com es veurà a continuació, incorporen diferents tipologies de basculants en funció de les forces sol·licitants. Per aquest motiu, s'ha volgut diferenciar amb exactitud quin material és el més utilitzat en cada tipologia de motocicleta i en funció del seu ús. Tot això és veu explicat i desenvolupat a continuació, entre les *Taules B.2 – B.4*.

| Imatge                                                                              | Material | Tipologia motocicleta                                                                | Marca i model          | Ús         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|------------|
|   | Acer     |   | Derbi Variant          | Competició |
|  | Acer     |  | Rieju Mius (Elèctrica) | Quotidià   |

**Taula B.2** Comparativa basculants d'acer

| Imatge                                                                              | Material | Tipologia motocicleta                                                                | Marca i model           | Ús                   |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|----------------------|
|    | Alumini  |    | IMR                     | Supermotard          |
|    | Alumini  |    | Aprilia<br>Tuono<br>VR4 | Alta velocitat       |
|    | Alumini  |   | KTM<br>EXC 450          | Enduro<br>competició |
|  | Alumini  |  | Honda<br>CB 1100        | Quotidià<br>Custom   |

**Taula B.3** Comparativa basculants d'alumini

| Imatge                                                                              | Material                   | Tipologia motocicleta                                                                | Marca i model                                                   | Ús         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------|
|  | Fibra de carboni i alumini |  | Desconegut,<br>és un<br>component<br>que es ven<br>per separat. | Competició |

**Taula B.4** Basculant en fibra de carboni

Amb la diferència de conceptes que es troben resumits a les taules anteriors, es distingeix clarament que el material amb el que se solen fabricar més basculants a l'actualitat és l'alumini. És un material lleuger, prou resistent a flexió i té un bon acabat superficial, tot i així un dels inconvenients que té és la forma de ser soldat, ja que requereix un alt nivell en soldadura que no tothom té. Per contrapartida l'acer com a tal, és molt resistent però també pesat i moltes vegades no surt a compte fabricar amb aquest. A més, se li ha d'aplicar un tractament superficial més exhaustiu ja que s'oxida amb facilitat. Tot i així, aquest últim és la solució típica per a les motocicletes i ciclomotors de baix cost, tal i com s'ha vist a la *Taula A.1 Comparativa basculants d'acer*. La Derbi Variant o la Rieju Mius, respectivament conegudes per a la gran majoria, una per a ser la motocicleta per excel·lència de Derbi de fa 20 anys enrere i la següent, per a formar part dels nous ciclomotors elèctrics de baix cost.

Finalment hi ha la resina "epoxi" amb fibra de carboni, aquest material és molt usat en el món de la competició i per aquest motiu no hi ha tantes imatges o conceptes desenvolupats per a parlar-ne amb deteniment. Tan mateix, és un material compòsit lleuger amb una gran capacitat a flexió degut a la disposició de les fibres de carboni. Així doncs podria esser un material adequat per el desenvolupament del basculant. S'haurà d'estudiar amb deteniment ja que per qüestions de pressupost en el món quotidià no és molt usat. Més aviat els fanàtics del motociclisme són els que incorporen posteriorment elements d'aquest estil a les seves motocicletes d'alta velocitat, enduro o cross.

#### A.4 CONCEPTE DE MOTOCICLETA I BASCULANT PER AL SMC 2015

Conseqüentment, com que l'equip del Smart Moto Challenge ha decidit fer una scooter elèctrica, ja que la normativa de la competició d'aquest any ho exigeix, els dissenys que han seguit per a obtenir el concepte, tant de motocicleta com de basculant, han estat els que es presenten a la *Figura A.2 Conceptes de partida*.



**Figura A.2** Conceptes de partida

Per la figura anterior, cal destacar que moltes scooters, els seus basculants formen el cos del motor. És a dir, aquests transmeten el parell a la roda posterior gràcies a l'acció del variador que gira solidari al mateix eix del cigonyal i la corretja que en transmet el moviment entre ells. Tot i així, per les limitacions que l'equip té amb el motor elèctric no s'ha pogut mirar de crear cap concepte similar per al disseny final de la motocicleta.

Primer de tot, s'ha de dir que el motor del que disposa la motocicleta és un motor Brushless i aquest ve conjuntament amb la corresponent bateria, la ECU i la unitat de control electrònica. Tot això, és cedit per la competició i el principal patrocinador *El Moto*. A tot aquest fet, és que *El Moto* distribueix un motor amb eix fixe, és a dir, el que gira és l'estator, la part que incorpora l'imant i per tant, transmet el moviment a la roda mitjançant la fixació amb els raids entre el motor i la llanta. Tan mateix, no es disposarà de transmissió ni per cadena ni corretja tal i com es veu a la figura anterior.

Per altra banda, tal i com s'ha anat introduint amb anterioritat, el material amb que serà desenvolupat el basculant serà en material compòsit. Això és degut a que l'equip del Smart Moto Challenge, vol aprofitar el patrocini que *Airborne Aerospace* ha aportat i així establir-

ho com a factor vinculant de cares al desenvolupament final de motocicleta que s'està desenvolupant aquest curs.

## **A.5 RESTRICCIONS DE PRODUCCIÓ D'UN BASCULANT EN MATERIAL COMPÒSIT PER AL SMC 2015**

En termes generals, per al correcte desenvolupament d'un basculant en material compòsit, es necessita un grau de professionalitat, maquinària i precisió bastant important, és a dir, és laboriós i complex. A tot això, cal sumar que s'ha de desenvolupar uns motlles especials i molts cops es necessiten equips addicionals, per exemple un fornejat en autoclau. En funció de la resistència final que es vulgui obtenir del material termostable i per conseqüent de tot el conjunt del material compòsit, s'ha de seguir uns paràmetres molt exigents.

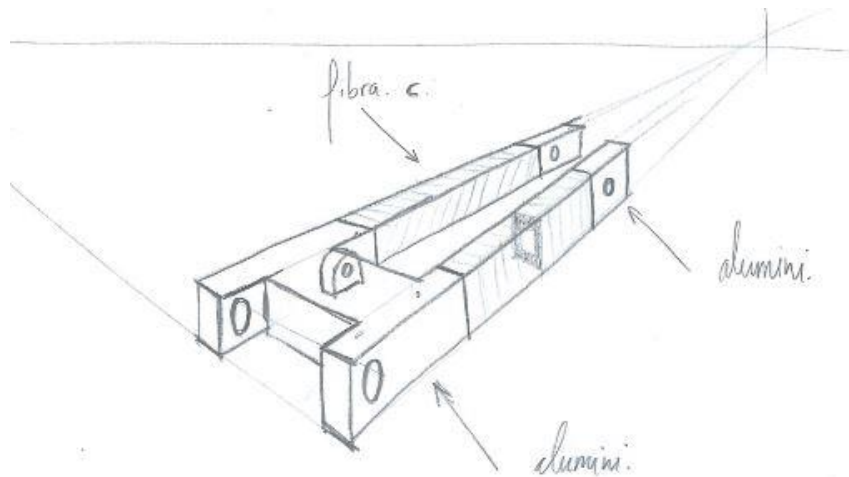
Amb més profunditat buscant per internet, s'ha trobat una problemàtica, i es que els motlles per obtenir el material compòsit poden arribar a ser molt complexes per a la seva fabricació. Per aquest motiu s'ha pensat que una de les solucions podria ser fabricar, els braços en fibra de carboni i les unions amb la resta de xassís podrien esser mecanitzades en alumini.

Per conseqüent es planteja un altre problema, que és la unió del material compòsit i l'alumini, aquest podria esser tractat amb una resina/adhesiu industrial que tenint en compte una àrea d'adhesió suficientment gran esdevindria una de les possibles solucions.

S'ha d'esmentar que *Airborne Aerospace* patrocinador de l'equip, ha intervingut en el disseny final del concepte i ha comentat que aquesta resolució amb ús d'adhesiu a la problemàtica plantejada seria la millor opció. *Airborne Aerospace* ha descartat treballar amb juntes mecàniques (elements roscats, reblons, etc.) per a les diferents unions entre les parts d'alumini i de compòsit.

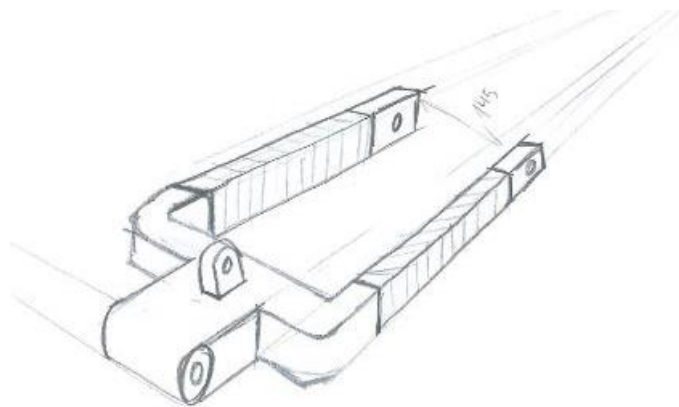
Amb les especificacions o restriccions que s'ha mencionat amb anterioritat, es presenten els conceptes per al disseny i la fabricació del basculant.

Principalment el disseny conceptual s'ha basat en les imatges referents als fabricats en alumini i fibra de carboni cercats en el capítol anterior *A.3 Estudis de mercat*. Tots els dissenys han estat pensats per a fabricar-se amb un perfil rectangular buit i de material compòsit, combinats amb alumini en aquells punts que requereixen unió amb la roda, punt d'unió amb la suspensió i articulació amb el xassís. Com a conseqüència d'això s'exposen els conceptes proposats a les *Figures A.3 i A.4*.



**Figura A.3** Concepte 1, compost d'alumini i material compòsit

El *concepte 1* és el referent a la *Figura A.3*, tal i com es pot apreciar una de les principals diferències entre les dues opcions és la unió que vincularà el xassís amb el basculant. En aquest cas es requereix d'un eix i un casquet exterior per a evitar que la pols entri al seu interior i per consegüent pugui malmetre l'estat dels rodaments. També cal considerar que aquesta part, haurà d'esser mecanitzada en CNC i per tant, fer les formes rectes podria esser un factor que encareixi la peça.

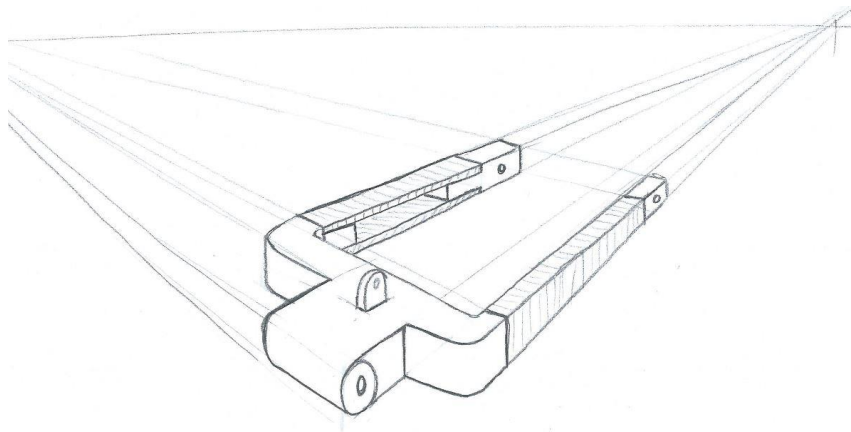


**Figura A.4** Concepte 2

El *concepte 2* referent a la *Figura A.4* parteix de la mateixa casuística que el primer concepte, però per contrapartida, la part d'unió amb el xassís té aquesta forma arrodonida que és més fàcil de fabricar amb el CNC i també resol el problema de l'eix, ja que està cobert en tot moment. A més, és més fàcil de centrar amb el xassís.

## A.6 DISCUSSIÓ DE LA SOLUCIÓ ADOPTADA

Tenint en compte tots els apartats que s'han esmentat amb anterioritat i veient el que surt més factible per el disseny i fabricació del basculant, aquest serà desenvolupat per una combinació d'alumini en les unions i, els braços seran formats en fibra de carboni, com es pot apreciar en els conceptes desenvolupats en el punt anterior. L'experiència que aporta *Airborne Aerospace* amb materials compòsits ha estat de caràcter vinculant per a la millor resolució del concepte. A continuació es presenta la resolució final que es vol desenvolupar tenint en compte les restriccions i els consells tant del patrocinador com de l'equip del Smart Moto Challenge.



**Figura A.5** Concepte final escollit

Finalment aquest concepte serà l'escollit. Cal destacar que per a produir les parts d'alumini és molt millor treballar en formes arrodonides ja que la maquinària de la que es disposa al taller permet fabricar-ho amb més comoditat. A més, es vol desenvolupar i seguir treballant amb el concepte de la *Figura A.5* pel fet que l'eix que vincula el xassís i el basculant anirà més ben guiat per l'interior sense dependre d'un casquet que centri aquest entre els dos recolzaments del xassís.

Per contra partida, tal i com es pot apreciar a la *Figura A.5*, el concepte final parteix d'una secció en perfil obert tipus C, s'ha de dir que aquesta té una debilitat i és la rigidesa a torsió. Tot i així s'anirà treballant amb una anàlisi per elements finits amb el programari Ansys Workbench, per a mirar de solucionar aquesta problemàtica que de primeres es planteja per a mirar de dimensionar-ho i estimar unes forces el més exactes possible. Consultar *Annex D, Simulació MEF i dimensionament elements* per a més informació específica.

## **ANNEX B. CÀLCUL DEL CENTRE DE MASSES I REACCIONS A LA MOTOCICLETA**

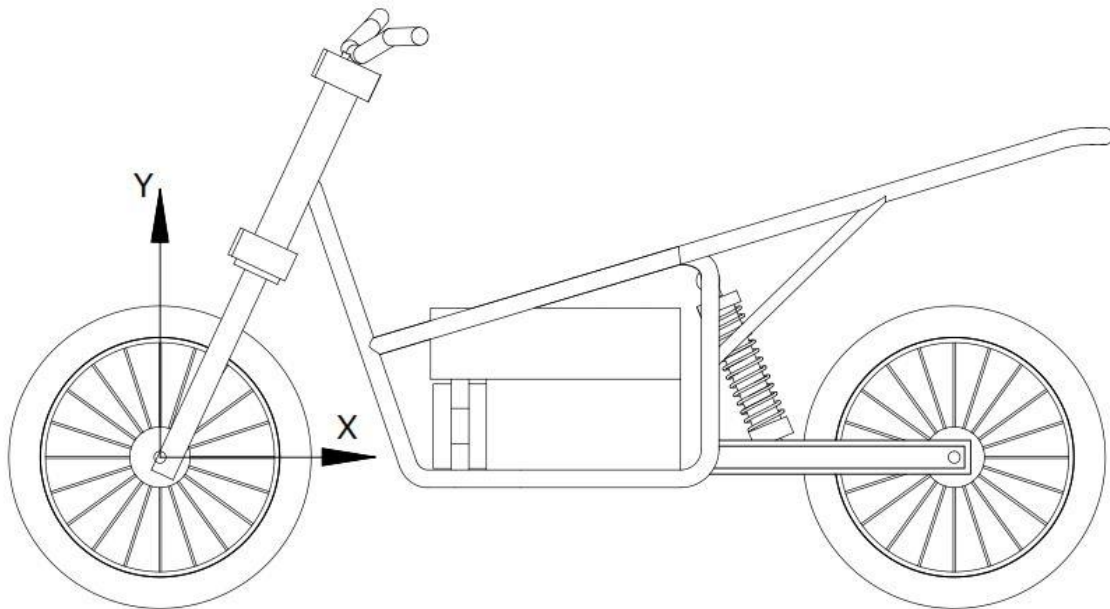
## B.1 CÀLCUL DEL CENTRE DE MASSES

### B.1.1 Introducció

En aquest capítol es presenten els diferents casos i paràmetres vinculants que s'ha tingut en compte a l'hora de determinar els centres de masses i també les reaccions que recauen sobre de cada roda per a obtenir una aproximació el més acurada possible del que està succeint en el concepte de motocicleta de l'equip del Smart Moto Challenge.

### B.1.2 Elements considerats pel càlcul del centre de masses motocicleta

Per a obtenir el càlcul exacte del centre de masses es tindran en compte els següents elements: la bateria, el motor, el xassís, la caixa amb les pizzes, el basculant i les rodes de davant i darrera.



**Figura B.1** Croquis de la motocicleta

A continuació es presenta una taula amb la massa de cada element i les coordenades del seu centre de masses. Aquestes han estat posicionades respecte l'eix de la roda davantera que s'ha emprat com a origen.

| Element        | Massa (kg)  | X <sub>CdG</sub> (mm) | Y <sub>CdG</sub> (mm) |
|----------------|-------------|-----------------------|-----------------------|
| Bateria        | 12,5        | 672                   | 193                   |
| Motor          | 8,5         | 1350                  | 0                     |
| Xassís         | 15,0        | 636                   | 133                   |
| Pizzes + caixa | 1,5         | 720                   | 56                    |
| Basculant      | 3,5         | 1227                  | 415                   |
| Roda davant    | 6,5         | 0                     | 0                     |
| Roda darrera   | 4,5         | 1350                  | 0                     |
| <b>Total</b>   | <b>52,0</b> |                       |                       |

**Taula B.1** Resum dels components

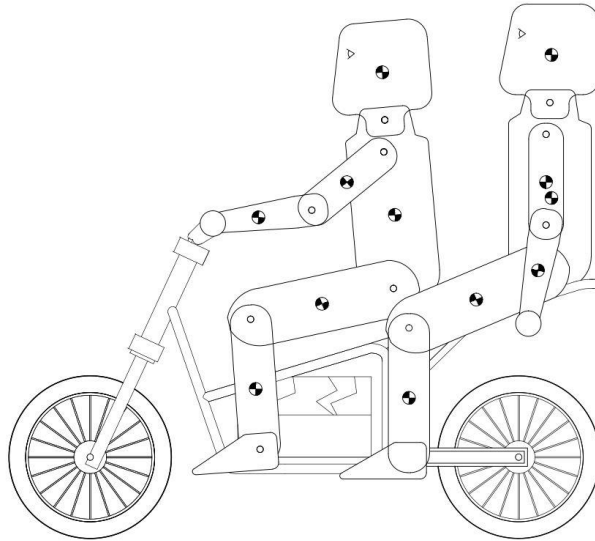
Aplicant les fórmules que es troben expressades a continuació trobem els valors de coordenades per a cada component en X i Y del centre de masses:

$$X_{CdG} = \frac{m_1 \cdot X_1 + \dots + m_n \cdot X_n}{m_1 + \dots + m_n}; Y_{CdG} = \frac{m_1 \cdot Y_1 + \dots + m_n \cdot Y_n}{m_1 + \dots + m_n} \quad (\text{Eq. 1})$$

Així doncs els resultats són els presentats: **X<sub>CdG</sub>= 786 mm** i **Y<sub>CdG</sub>= 114 mm**, amb una massa estimada de 52 kg.

### B.1.3 Càlcul centre de masses del pilot i passatger

Pel càlcul del centre de masses del pilot i del passatger, s'ha considerat que els dos usuaris resten immòbils sobre la motocicleta i s'ha seguit les indicacions de l'annex "A7 CoG and mass distribution" del llibre "Motorcycle handling and chassis design".



**Figura B.2** Pilot i passatger amb la distribució dels diferents centres de masses sobre la motocicleta

Resumint, el que proposa el llibre és distribuir aquest pes en funció d'un percentatge que s'ha estudiat amb anterioritat per a cada part del cos. Així doncs es parteix d'un pes base de 75 Kg. Les Taules B.2 i B.3 mostren els pesos de cada part del cos i les seves coordenades.

| Pilot        | m<br>(kg) | X <sub>CdG</sub><br>(mm) | Y <sub>CdG</sub><br>(mm) |
|--------------|-----------|--------------------------|--------------------------|
| Cap          | 5,3       | 920                      | 1210                     |
| Cos          | 39,4      | 956                      | 762                      |
| Braç         | 4,5       | 809                      | 865                      |
| Avantbraç    | 2,6       | 580                      | 754                      |
| Cuixa        | 15,8      | 730                      | 530                      |
| Cama         | 7,5       | 522                      | 214                      |
| <b>Total</b> | 75,0      |                          |                          |

**Taula B.2** Repartiment de pesos i coordenades pel pilot

| Passatger    | m (kg) | X <sub>CdG</sub><br>(mm) | Y <sub>CdG</sub><br>(mm) |
|--------------|--------|--------------------------|--------------------------|
| Cap          | 5,3    | 1454                     | 1265                     |
| Cos          | 39,4   | 1453                     | 815                      |
| Braç         | 4,5    | 1436                     | 865                      |
| Avantbraç    | 2,6    | 1411                     | 587                      |
| Cuixa        | 15,8   | 1216                     | 496                      |
| Cama         | 7,5    | 1004                     | 187                      |
| <b>Total</b> | 75,0   |                          |                          |

**Taula B.3** Repartiment de pesos i coordenades pel passatger

Així doncs, aplicant un altre cop les fórmules per a determinar el centre de masses trobem els valors següents:

Pel pilot sol i motocicleta: **X<sub>CdG</sub> = 819 mm** i **Y<sub>CdG</sub> = 458 mm**, amb una massa estimada de 127 kg.

Per la motocicleta, pilot i el passatger: **X<sub>CdG</sub> = 1019 mm** i **Y<sub>CdG</sub> = 552 mm**, amb una massa estimada de 202 kg.

## B.2 CÀLCUL ESTÀTIC DE LES REACCIONS

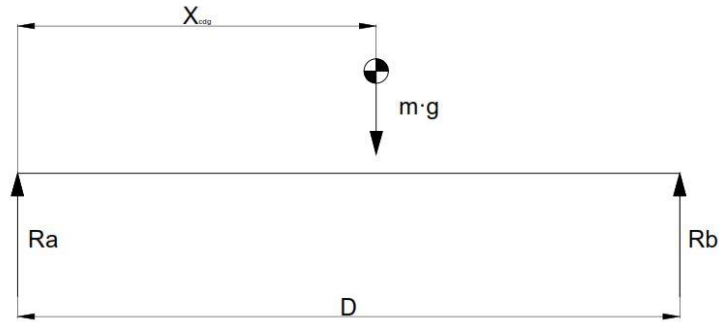
Per a la correcta resolució de l'apartat que es presenta a continuació, s'adjunta una taula comparativa de les coordenades respecte el seu origen, eix roda davantera, per a recordar els valors calculats amb anterioritat.

| Combinació                      | Pes (kg) | X <sub>CdG</sub> (mm) | Y <sub>CdG</sub> (mm) |
|---------------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| <b>Moto Sola</b>                | 52,0     | 786                   | 114                   |
| <b>Moto + Pilot</b>             | 127,0    | 819                   | 458                   |
| <b>Moto + Pilot + Passatger</b> | 202,0    | 1019                  | 552                   |

**Taula B.4** Resum combinacions

**B.2.1 Càlcul estàtic de les reaccions de la roda per la motocicleta sola**

Per trobar les reaccions que recauen sobre cada roda, podem avaluar el sumatori de forces en l'eix Y del sistema i el sumatori de moments respecte l'origen de coordenades del sistema. Així doncs queden les equacions següents:

**Figura B.3** DCL general

$$\sum M_a = 0; -m_{moto} \cdot \vec{g} \cdot X_{cdg} + R_b \cdot D = 0 \quad (\text{Eq. 2})$$

$$\sum F_y = 0; R_a + R_b - m_{moto} \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq. 3})$$

On D és la distància entre eixos amb un valor de 1350 mm. També sabem els valors de la  $m_{moto}$  i el  $X_{cdg}$ , així doncs es crea un sistema de dues equacions i dues incògnites. On  $R_a$  és la reacció a la roda davantera i  $R_b$  és la reacció a la roda posterior.

Els resultats són:  **$R_a = 213,1 \text{ N}$  i  $R_b = 296,9 \text{ N}$ .**

**B.2.2 Càlcul estàtic reaccions per el pilot sol i pel pilot i un passatger**

Seguint el mateix procediment que a l'apartat anterior, es troben les reaccions per aquests casos:

$$\sum M_a = 0; -(m_{moto+pilot}) \cdot \vec{g} \cdot X_{cdg} + R_b \cdot D = 0 \quad (\text{Eq. 4})$$

$$\sum F_y = 0; R_a + R_b - (m_{moto+pilot}) \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq. 5})$$

Les reaccions comptant la motocicleta i el pilot són:  **$R_a = 489,6 \text{ N}$  i  $R_b = 756,2 \text{ N}$ .**

Pel sistema motocicleta més pilot i passatger hi ha:

$$\sum M_a = 0; -(m_{moto+pilot+passatger}) \cdot \vec{g} \cdot X_{cdg} + R_b \cdot D = 0 \quad (\text{Eq. 6})$$

$$\sum F_y = 0; R_a + R_b - (m_{moto+pilot+passatger}) \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq.7})$$

Les reaccions són: **R<sub>a</sub>= 486,3 N i R<sub>b</sub>= 1495,3 N.**

| Combinació                      | Acceleració (m/s <sup>2</sup> ) | Pes (kg) | Ra (N) | Rb (N) |
|---------------------------------|---------------------------------|----------|--------|--------|
| <b>Moto Sola</b>                | -                               | 52,0     | 213,1  | 296,9  |
| <b>Moto + Pilot</b>             | -                               | 127,0    | 486,6  | 756,2  |
| <b>Moto + Pilot + Passatger</b> | -                               | 202,0    | 486,3  | 1495,3 |

**Taula B.5** Resum combinacions

### B.3 CÀLCUL DE LES REACCIONS DINÀMIQUES

#### B.3.1 Forces d'acceleració màxima amb un pilot i pilot i passatger

Per aquest cas s'haurà de tenir en compte el parell del motor, per tal de trobar la força de tracció de la roda del darrere. Així doncs per a calcular el parell màxim, es suposa que la motocicleta es mou a velocitat màxima, per llei 45 km/h, tan mateix:

$$Pot_{motor} = T_{motor} \cdot \omega \rightarrow T_{motor} = \frac{Pot_{motor} \cdot r}{v_{lineal}} \quad (\text{Eq. 8})$$

On els valors són de 1,7kW estimats de potència del motor, un radi de roda de 0.27 m i una velocitat lineal màxima de 45km/h.

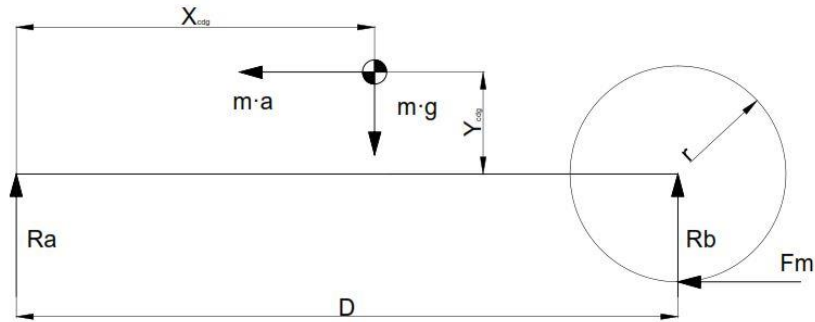
Així doncs el valor estimat de parell motor,  $T_{motor}$ , és de **37.8 Nm**.

Llavors per altra banda, la força de tracció màxima es calcula com:

$$F_m = \frac{T_{max}}{r} \quad (\text{Eq. 9})$$

Aquest valor estimat de força màxima de tracció,  $F_m$ , és de 140 N.

Un cop trobada aquesta força, es pot trobar les reaccions aplicant els sumatoris de forces horitzontals, verticals i de moments. Així doncs, queda el següent:



**Figura B.4** DCL amb força de tracció

$$\sum F_X = 0; F_m = m \cdot \vec{a} \quad (\text{Eq. 10})$$

$$\sum F_Y = 0; R_a + R_b - m \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq. 11})$$

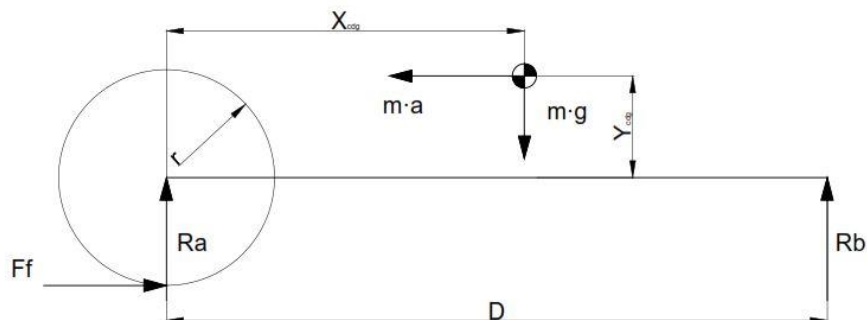
$$\sum M_a = 0; R_b \cdot D - F_m \cdot r - m \cdot \vec{g} \cdot X_{cdG} - m \cdot \vec{a} \cdot Y_{cdG} = 0 \quad (\text{Eq. 12})$$

Pel pilot sol a una acceleració,  $\mathbf{a=1,1 \, m/s^2 \rightarrow R_a= 414,3 \, N \, i \, R_b= 831,5 \, N.}$

Pel pilot més un passatger a una acceleració,  $\mathbf{a=0,69 \, m/s^2 \rightarrow R_a= 401,4 \, N \, i \, R_b= 1580,2 \, N.}$

### B.3.2 Forces de frenada a la roda davantera

Per aquest apartat, s'ha considerat la condició més crítica, quan la força de fricció amb la roda és límit. Per aquest motiu s'ha suposat un coeficient de fricció  $\mu=0,9$ , aquest surt de suposar que tenim un asfalt en bones condicions.



**Figura B.5** DCL amb força de frenada davantera

Aplicant el sumatori de forces i moments:

$$\sum F_X = 0; F_F = \mu \cdot R_a = m \cdot \vec{a} \quad (\text{Eq. 13})$$

$$\sum F_Y = 0; R_a + R_b - m \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq. 14})$$

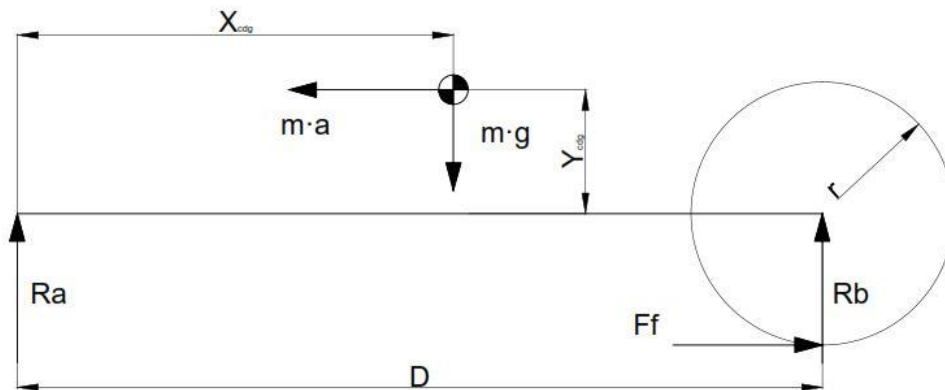
$$\sum M_a = 0; R_b \cdot D + F_F \cdot r - m \cdot \vec{g} \cdot X_{CdG} + m \cdot \vec{a} \cdot Y_{CdG} = 0 \quad (\text{Eq. 15})$$

Pel pilot sol a una desacceleració de  $\mathbf{a= 6,74 \text{ m/s}^2}$  ->  $\mathbf{R_a= 951,1 \text{ N}}$  i  $\mathbf{R_b= 278,78 \text{ N}}$ .

Pel pilot més un passatger a una desacceleració de  $\mathbf{a= 4,79 \text{ m/s}^2}$  ->  $\mathbf{R_a= 1075,1 \text{ N}}$  i  $\mathbf{R_b= 906,5 \text{ N}}$ .

### B.3.3 Forces de frenada a la roda de darrere

Es fan les mateixes consideracions que a l'apartat anterior però aquest cop per la roda posterior.



**Figura B.6** DCL amb força de frenada al darrere

Aplicant el sumatori de forces i moments:

$$\sum F_X = 0; F_F = \mu \cdot R_b = m \cdot \vec{a} \quad (\text{Eq.16})$$

$$\sum F_Y = 0; R_a + R_b - m \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq.17})$$

$$\sum M_a = 0; R_b \cdot D + F_F \cdot r - m \cdot \vec{g} \cdot X_{CdG} + m \cdot \vec{a} \cdot Y_{CdG} = 0 \quad (\text{Eq.18})$$

Pel pilot sol a una desacceleració de  $a = 3,6 \text{ m/s}^2 \rightarrow R_a = 737,8 \text{ N}$  i  $R_b = 508 \text{ N}$ .

Pel pilot més un passatger a una desacceleració de  $a = 4,3 \text{ m/s}^2 \rightarrow R_a = 1016,5 \text{ N}$  i  $R_b = 965,1 \text{ N}$ .

Així doncs, a la *Taula B.6* que es presenta a continuació, es fa un resum de totes les combinacions que estan vinculades a l'apartat 3 d'aquest annex, tenint en compte condicions d'acceleració i també de desacceleració o frenada.

| Combinació                                      | Acceleració ( $\text{m/s}^2$ ) | Pes (kg) | $R_a$ (N) | $R_b$ (N) |
|-------------------------------------------------|--------------------------------|----------|-----------|-----------|
| <b>Moto + Pilot</b>                             | 1,1                            | 127,0    | 414,3     | 831,5     |
| <b>Moto + Pilot + Passatger</b>                 | 0,69                           | 202,0    | 401,4     | 1580,2    |
| <b>Frenada roda davantera amb pilot</b>         | 6,74                           | 127,0    | 951,1     | 278,8     |
| <b>Frenada roda davantera pilot + passatger</b> | 4,79                           | 202,0    | 1075,1    | 906,5     |
| <b>Frenada roda davantera amb pilot</b>         | 3,6                            | 127,0    | 737,8     | 508,0     |
| <b>Frenada roda davantera pilot + passatger</b> | 4,3                            | 202,0    | 1016,5    | 965,1     |

**Taula B.6** Resum combinacions dinàmiques

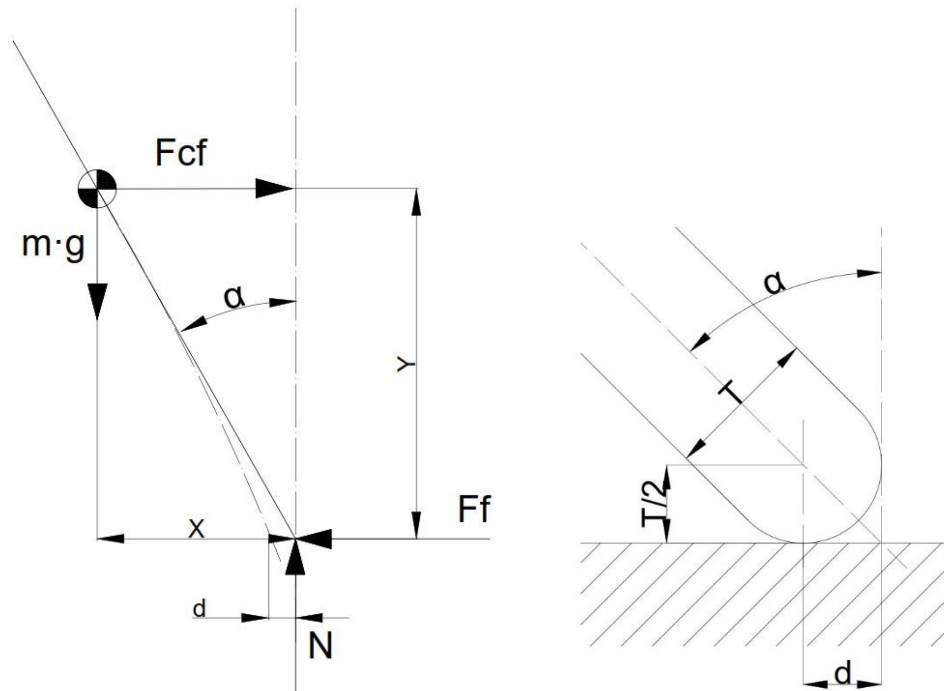
Per a trobar el valor de les acceleracions en cada cas, s'ha tingut en compte el sumatori de forces horitzontals, d'on igualant amb la força de tracció o amb la força de fricció, depenent del cas estudiat, s'ha extret el seu valor. Aquest es veu resumit en la taula anterior.

#### **B.4 PAS PER CORBA DE LA MOTOCICLETA AMB PILOT I PASSATGER**

Per últim s'ha realitzat un estudi per a valorar les forces que intervenen quan aquesta està passat per una corba i, per tant, està inclinada. Per a valorar la torsió màxima que pateix el xassís es tindrà en compte la velocitat màxima en pas per corba suposant una velocitat constant.

Tenint en compte que es realitza el càlcul sobre un pla bidimensional, suposarem que el pes de la motocicleta, pilot i passatger es reparteixen amb la mateixa proporció que el cas "Moto + Pilot + Passatger" de l'apartat 2.2. d'aquest mateix annex de càlcul. També es valorarà la

força centrífuga que quedarà contrarestada per la força lateral que exerceixen els pneumàtics tal i com s'aprecia a la *Figura B.7*.



**Figura B.7** A l'esquerra el DCL pas per corba i a la dreta definició de la distància de descentrament  $d$  que equival al radi del pneumàtic ( $T/2$ )

Així doncs, aplicant el sumatori de forces horitzontals i verticals, es troben les equacions que es presenten a continuació.

$$\sum F_X = 0; F_F - F_{cf} = 0 \quad ; \text{ on } F_f = \mu \cdot N \quad (\text{Eq.19})$$

$$\sum F_Y = 0; N - m \cdot \vec{g} = 0 \quad (\text{Eq. 20})$$

Així doncs, els valors emprats per al càlcul són una massa de 202 kg, corresponent al pes de la motocicleta, el pilot i el passatger, i un coeficient de fricció,  $\mu$ , de 0,9 tenint en compte que es passa per un asfalt de bona qualitat i unes rodes de característiques comercials i no de competició.

Així mateix, es calcula el valor de la força normal,  $N$ , que tindrà un valor de **1982 N** i, conseqüentment, es valorarà la  $F_f$  per un valor de **1784 N**.

Amb els resultats que s'ha obtingut fent ús de la suposició emprada, es busca la reacció que hi ha amb el terra i obtenim el valor de  $F_t$  i l'angle que suposadament es troba inclinada la motocicleta.

$$\alpha = \arctan\left(\frac{F_f}{N}\right) \equiv \arctan(\mu) \quad (\text{Eq.21})$$

$$F_t = \sqrt{N^2 + F_f^2} \quad (\text{Eq.22})$$

El valor que s'obté com a  $F_t$ , força resultant, és de **2667 N**, aquest valor serà el que recau sobre les dues rodes, tenint en compte el pla bidimensional.

Aquest valor d'inclinació de **42°** es dona per a bo, ja que es suposa que a una velocitat constant i fent ús d'una motocicleta de característiques semblants a les d'un ciclomotor mai podrà sobrepassar aquest i, per això, es pren com a valor límit.

Com que a la força resultant idealment no produeix cap tipus de moment torsor, s'hi ha vinculat un descentrament respecte l'eix vertical de la motocicleta. Aquest fet és degut a la forma toroïdal del pneumàtic. El punt de contacte de la roda amb el terra mai serà el punt mig d'aquesta. Conseqüentment, la distància  $d$  entre el pla mig de la roda i el punt de contacte (veure *Figura B.7*) bé determinat pel radi del perfil del pneumàtic. Suposant l'ús d'un pneumàtic 16"x1,5" es prendrà un valor de descentrament,  $d = 30 \text{ mm}$ .

Partint de la valoració anterior i tenint en compte la distribució de pesos que hi ha a la motocicleta en el cas més desfavorable, apartat 2.2., és suposa que el valor estimat de moment torsor,  $T$ , que recaurà sobre el basculant serà de,  $\varphi = 0,79$ , en una escala de 0 a 1.

Per tant,

$$T = \varphi \cdot F_t \cdot d \quad (\text{Eq.23})$$

El valor estimat de moment torsor que recau sobre la roda de darrere i, conseqüentment sobre el basculant, és de **63,21 Nm**.

Recapitulant a la introducció de l'apartat que s'està desenvolupant, s'ha comentat que es considerava una velocitat constant en pas per corba, per aquest motiu es vol fer una valoració del que succeeix quan es varia el radi de curvatura d'aquesta. Així doncs prenent el valor de  $F_{cf}$  de 1784 N, vinculada a la força normal, com a constant, s'obtenen els resultats que hi ha a continuació presentats en forma de taula.

| Radi<br>(m) | Massa<br>(kg) | Fcf<br>(N) | Velocitat<br>(m/s) | Velocitat<br>(km/h) |
|-------------|---------------|------------|--------------------|---------------------|
| 10          | 202,0         | 1784       | 9,40               | 33,8                |
| 15          | 202,0         | 1784       | 11,51              | 41,4                |
| 20          | 202,0         | 1784       | 13,29              | 47,8                |
| 25          | 202,0         | 1784       | 14,86              | 53,5                |
| 30          | 202,0         | 1784       | 16,28              | 58,6                |

**Taula B.7** Valoració de velocitats constants màximes en pas per corba

El fet per el qual la força centrífuga fictícia és constant, és degut a que la motocicleta per una inclinació màxima de  $42^\circ$ , un coeficient de fricció de 0,9 i un pes de 202 kg, s'ha de veure contrarestat per la força de fricció amb el terra, com es veu expressat en la *Figura B.7*.

No es podrà superar mai el valor de força centrífuga ja que la motocicleta patinaria. Tan mateix, si es volgués superar s'hauria de considerar muntar uns pneumàtics més bons, possiblement de competició, per a majorar el valor de força de fricció i per conseqüent, augmentar l'angle d'inclinació de la motocicleta.

Com es veu a la *Taula B.7 Valoració de les velocitats*, els valors obtinguts són completament realistes. Les prestacions que ha d'incorporar una motocicleta elèctrica de les característiques que l'equip del SMC requereix i que també són establertes per la competició, mai podran superar les velocitats presentades. Primerament perquè són corbes d'un radi bastant tancat, per altra banda, perquè les motocicletes no poden ser dissenyades per velocitats superiors a 50km/h i, finalment, perquè són pensades per a circular per la ciutat, on no es requereixen altes velocitats ni pneumàtics de competició per a poder assolir velocitats majors en pas per corba. És a dir, es busca una conducció responsable i pacífica per a minorar el risc a patir un accident o a poder-lo provocar.

Cal esmentar que des del punt de vista personal, com a motociclista aficionat, aquests valors de velocitat s'han estimat per una inclinació màxima de  $42^\circ$ . Tot i així, a velocitats inferiors d'entre 5 – 20 km/h és impossible assolir aquest valor, ja que és casi segur que el pilot i passatger caurien de la motocicleta.

## **ANNEX C. REACCIONS A SOL·LICITACIONS BASCULANT**

## C.1 INTRODUCCIÓ

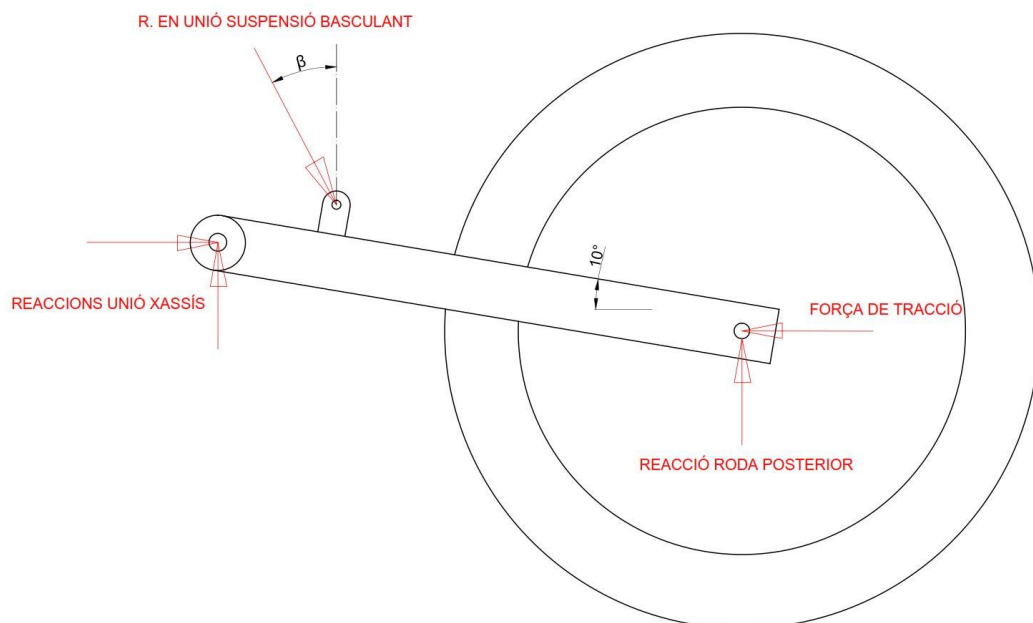
En el capítol present es planteja crear les diferents hipòtesis que tindran un caràcter vinculant en el correcte desenvolupament i dimensionat de les seccions del basculant. S'inclouran les reaccions més desfavorables corresponents a l'Annex B i tots aquells paràmetres necessaris per a definir les càrregues externes que provenen de la resta d'estructura. És a dir, tot allò desenvolupat a continuació serà un previ estudi al que finalment vindrà corregit i optimitzat mitjançant un anàlisi per elements finits amb el programari Ansys Workbench.

## C.2 CASOS A ESTUDIAR

### C.2.1 Reaccions estàtiques al basculant

Les reaccions estàtiques que intervindran en el càlcul, seran les vinculades a la unió entre el xassís i el basculant, la reacció que resultarà per conseqüència de la unió entre el basculant i la suspensió, i finalment, la pròpia reacció de la roda posterior que ja ha estat calculada amb anterioritat. Per a obtenir un càlcul més exacte es farà ús del cas "Motocicleta + Pilot + Passatger en acceleració", en el que la combinació de càrregues és la més desfavorable.

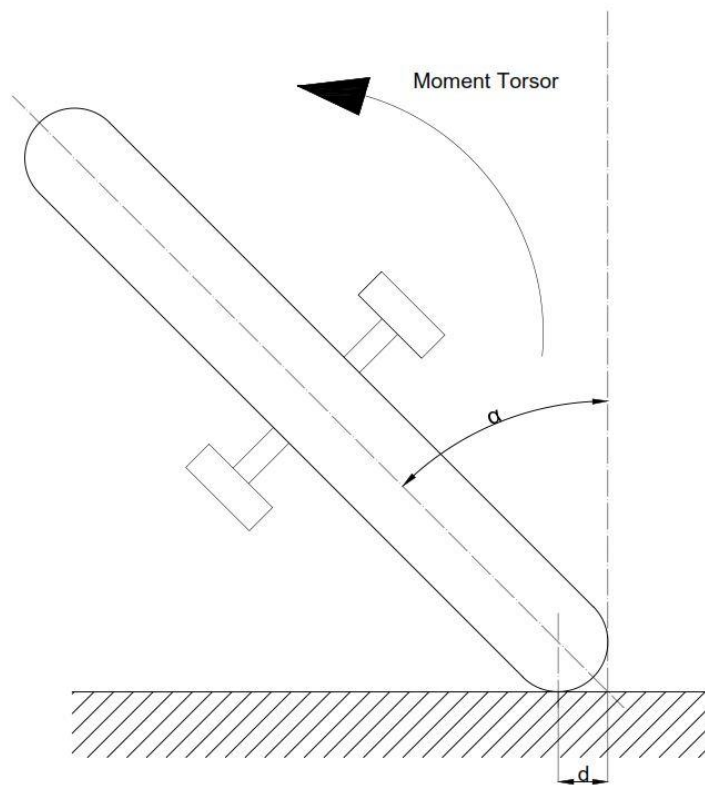
A la *Figura C.1* que es presenta a continuació, es mostren totes aquestes reaccions que apareixen per al correcte càlcul del basculant.



**Figura C.1** Reaccions externes prèvies al càlcul del basculant

### C.2.2 Torsió degut al pas per corba

Per el càlcul de la torsió que pateix el basculant es farà ús del moment torsor estimat amb anterioritat tenint en compte la força total i el descentrament provocat per la roda posterior.

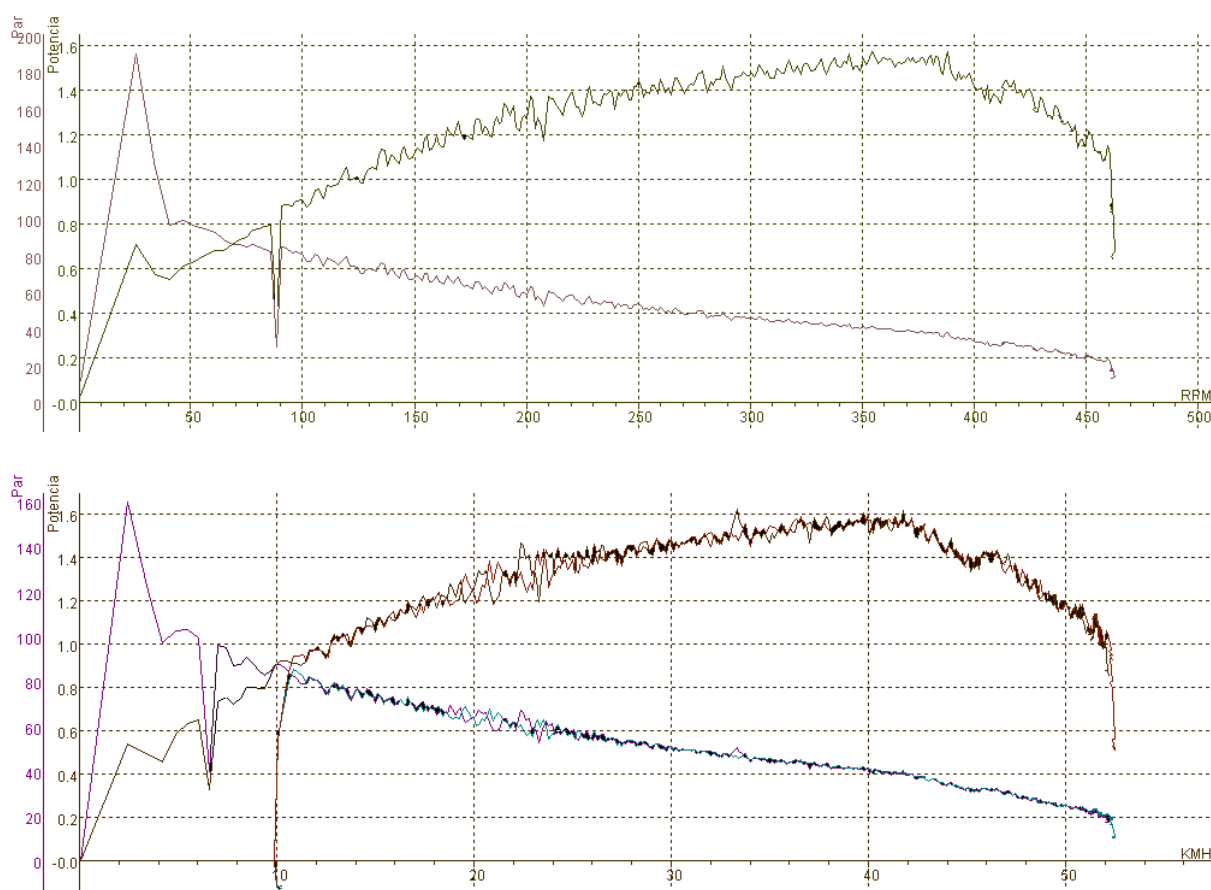


**Figura C.2** Reaccions per al càlcul a torsió del basculant degut al descentrament

### C.3 MOMENT MOTOR

Cal recordar que el motor utilitzat en la competició del Smart Moto Challenge, és entregat per la mateixa organització i el principal patrocinador, ELMOTO. Aquest és un motor "Brushless", és a dir, breument el seu principi de funcionament parteix d'esser capaç d'invertir la freqüència angular, velocitat de gir, sense requerir la variació del nombre de pols. Per aquest mateix motiu, es vol valorar de forma acurada com treballa aquest mecanisme elèctric i veure si el moment motor té un caràcter vinculant per el desenvolupament final de l'estat de càrregues.

Gràcies al concepte que es va desenvolupar a l'anterior edició i a l'ajuda del professor Martí Comamala, es va col·locar la motocicleta elèctrica al banc de proves inercial. Al cap de quatre proves consecutives d'acceleració es va extreure una corba de potència – parell bastant lògica. Així doncs, es va poder estimar de forma gràfica com es comporta el motor elèctric. Els resultats que es van obtenir es presenten a la *Figura C.3*.



**Figura C.3** Corba parell – potència motor ELMOTO en vers els rpm i km/h

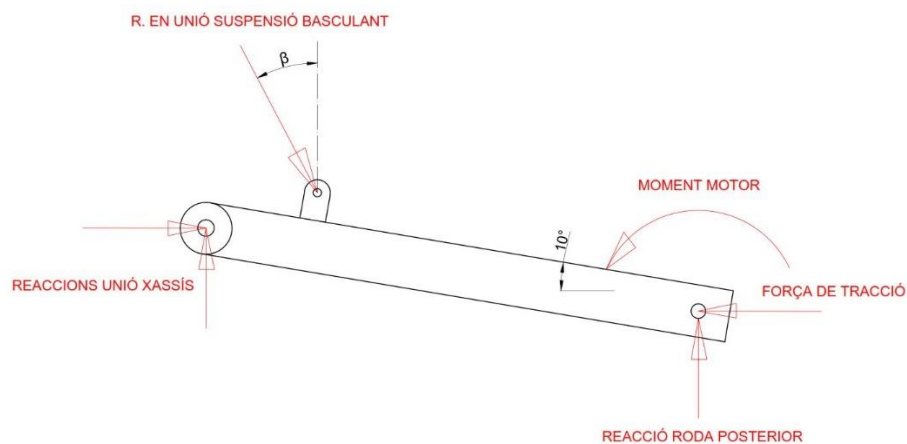
Es pot apreciar que el motor elèctric dóna un pic, un parell d'arrencada, molt elevat però que només és per un petit instant de temps. Per contra partida, és que a mesura que va

augmentant la velocitat angular d'aquest, el motor perd parell motor però n'augmenta la potència total, fins a un valor aproximat de 1,6 kW a una velocitat lineal de 42 km/h.

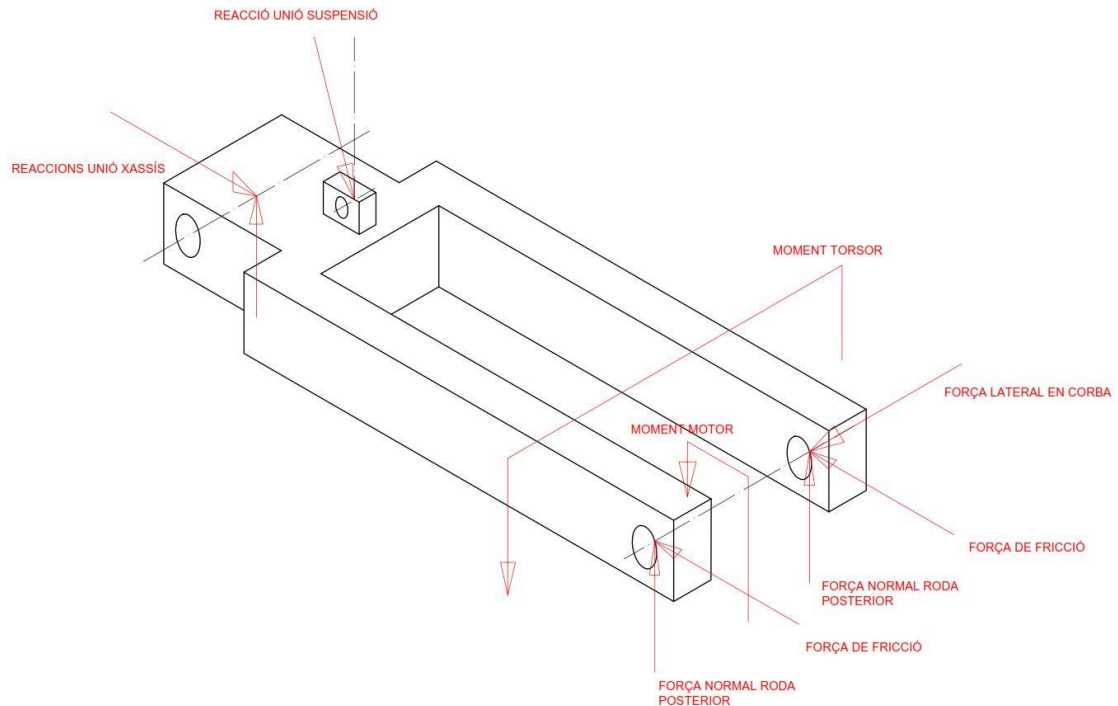
En definitiva, per a l'estat de càrregues es farà ús d'aquest moment d'arrencada amb valor de **180 Nm**, ja que n'és el més desfavorable encara que només duri uns petits instants.

#### C.4 ESTAT DE CÀRREGUES

En l'apartat que es desenvolupa a continuació, es presenta de forma ordenada el procés que es seguirà per a obtenir els resultats d'esforços i deformacions mitjançant el mètode dels elements finits. Per aquest mateix motiu es necessitaran les forces vinculants que es troben representades en els apartats anteriors. Entre aquestes es troben la reacció vertical que hi ha a la roda posterior en contacte amb el terra, la força de fricció que apareix al pneumàtic per acció-reacció en empènyer la motocicleta endavant i finalment, el moment torsor degut al pas per corba. Tots ells es troben exposats a les figures que es mostren posteriorment.



**Figura C.4** DCL corresponent al basculant en 2D



**Figura C.5** DCL corresponent al basculant en 3D

A la *Figura C.5*, es mostra de forma detallada totes les forces aplicades en els punts en que es troben vinculades i aquestes seran les introduïdes al programa. Per a saber numèricament tots els valors es troben exposats a la *Taula C.1*, exposada més endavant.

El fet de no calcular totes les reaccions de forma empírica és degut a que el programa ja dóna un informe tècnic final. En aquest es resumeixen totes les càrregues entrades, els resultats tant de deformació de l'estructura, com de concentració de tensions en els punts més sol·licitants i finalment, el valor del coeficient de seguretat que s'atribueix al punt més desfavorable.

| Càrregues                                      | Símbol                         | Valors | Unitats |
|------------------------------------------------|--------------------------------|--------|---------|
| <b><i>Força normal a la roda posterior</i></b> | <b><i><math>R_b</math></i></b> | 1600   | N       |
| <b><i>Força de tracció/fricció</i></b>         | <b><i><math>F_m</math></i></b> | 140    | N       |
| <b><i>Força lateral en pas per corba</i></b>   | <b><i><math>F_L</math></i></b> | 1784   | N       |
| <b><i>Moment torsor en pas per corba</i></b>   | <b><i><math>T</math></i></b>   | 63,21  | Nm      |
| <b><i>Moment motor arrencada</i></b>           | <b><i><math>M_m</math></i></b> | 180    | Nm      |

**Taula C.1** Taula resum amb els valors emprats per al càlcul estructural

Finalment, els valors utilitzats per l'anàlisi seran els exposats anteriorment. Aquests han estat extrets dels càlculs realitzats en els annexes anteriors i s'ha buscat utilitzar els més desfavorables. Per aquest motiu tenim la  $R_b$ , deguda al cas dinàmic de "Moto + Pilot + Passatger en acceleració", també hi ha la  $F_m$ , tenint un compte un radi de roda i una coeficient de fricció amb el terra. Per altra banda, analitzant els casos dinàmics, s'ha inclòs la  $F_L$ , deguda a una força centrífuga fictícia i finalment,  $T$ , el valor de torsió que pateix el basculant en velocitat constant en pas per corba. En quant al moment motor d'arrencada,  $M_m$ , s'usarà el valor estimat al punt anterior en el que es veu clarament que n'és el més desfavorable dins del funcionament propi d'aquest.

Totes elles seran incloses en el mateix càlcul estructural, per conseqüent, hi haurà una combinació de tots els casos estudiats amb anterioritat. A més, s'ha d'esmentar que es sobredimensionarà el valor de les càrregues amb un factor  $n$  ja que són valors estimats de càlcul, per a després, anar amb peus de plom i que el basculant sigui completament resistent un cop fabricat.

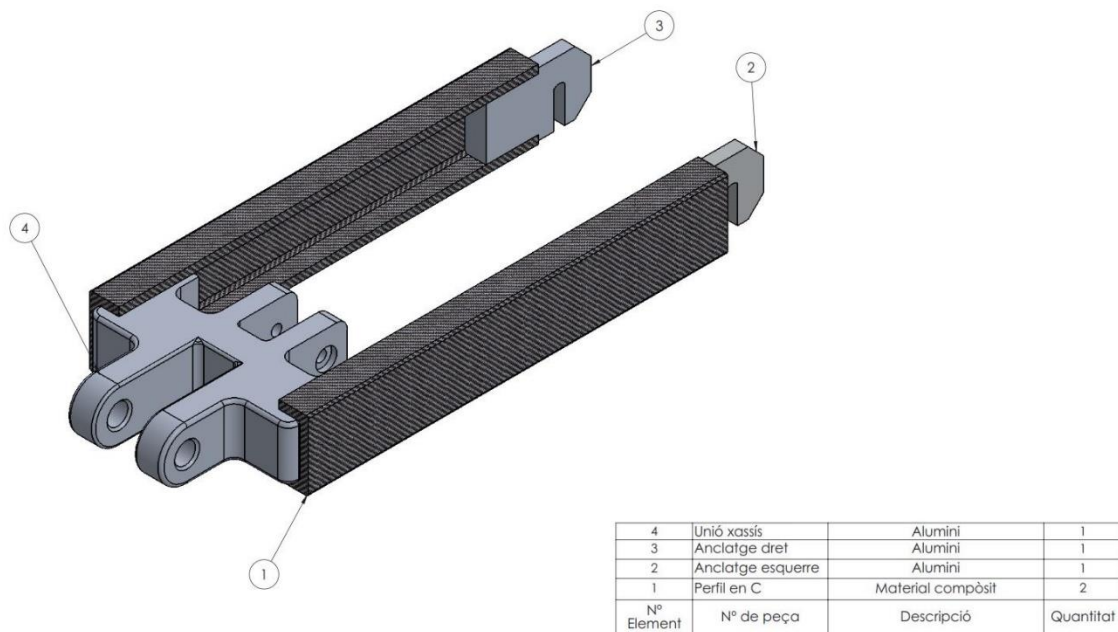
## **ANNEX D, SIMULACIÓ MEF I DIMENSIONAMENT ELEMENTS**

## D.0 INTRODUCCIÓ

En aquest present document s'exposa en resum el que s'ha anat avaluant amb l'Ansys Workbench, com també el procés que s'ha seguit per a obtenir els resultats finals i en definitiu, coherents. Es fa referència a la geometria utilitzada, l'estat de càrregues, les consideracions preses pel correcte MEF, Model d'Elements Finitis, i la valoració dels resultats.

## D.1 GEOMETRIA

El disseny final del basculant ha estat el s'aprecia a continuació. Format per 3 peces en alumini i els dos braços en material compòsit. Aquesta ha estat la geometria que s'ha introduït al programa en format *.STEP*.



**Figura D.1** Basculant definitiu

El basculant compte amb el nombre d'elements mostrats a la *Figura D.1* i té un pes total de 3,5 Kg.

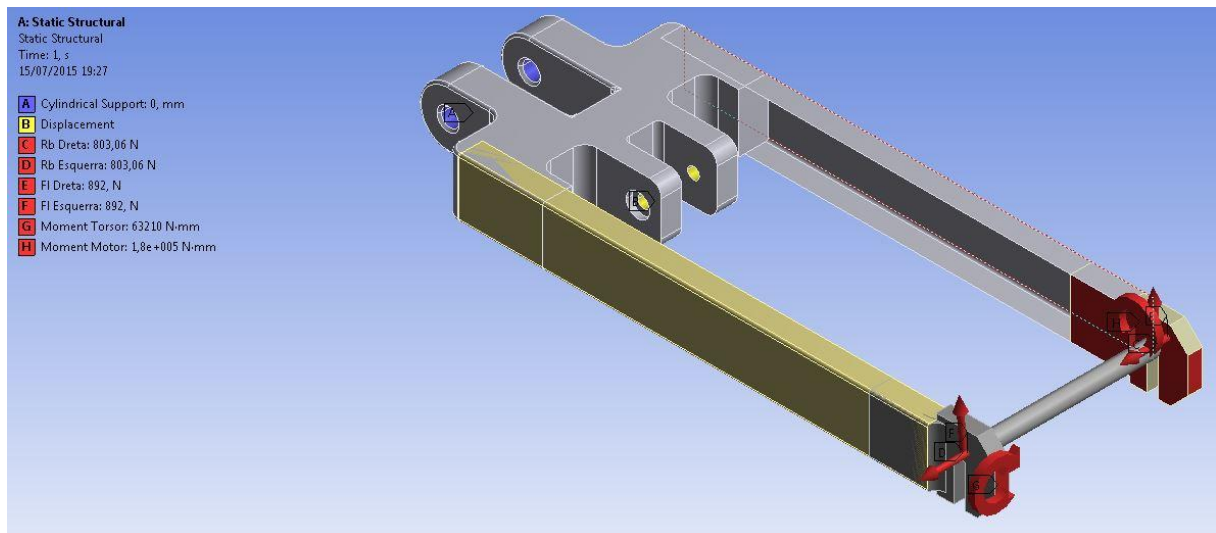
## D.2 ESTAT DE CÀRREGUES

Les càrregues emprades per al càlcul de les deformades i les tensions internes en el global del basculant, són les mostrades a la *Taula D.1*.

| Càrregues                               | Símbol | Direcció | Valors | Unitats |
|-----------------------------------------|--------|----------|--------|---------|
| <b>Força normal a la roda posterior</b> | $R_b$  | Y        | 1600   | N       |
| <b>Força de tracció/fricció</b>         | $F_m$  | X        | 140    | N       |
| <b>Força lateral en pas per corba</b>   | $F_L$  | Z        | 1784   | N       |
| <b>Moment torsor en pas per corba</b>   | $T$    | Eix X    | 63,21  | Nm      |
| <b>Moment motor arrencada</b>           | $M_m$  | Eix Z    | 180    | Nm      |

**Taula D.1** Reaccions sol·licitants per al càlcul estructural

Totes elles es troben distribuïdes en els anclatges que s'ha dissenyat per a subjectar el motor. A la *Figura D.2* que es troba a continuació, es presenta la seva ubicació i direcció.



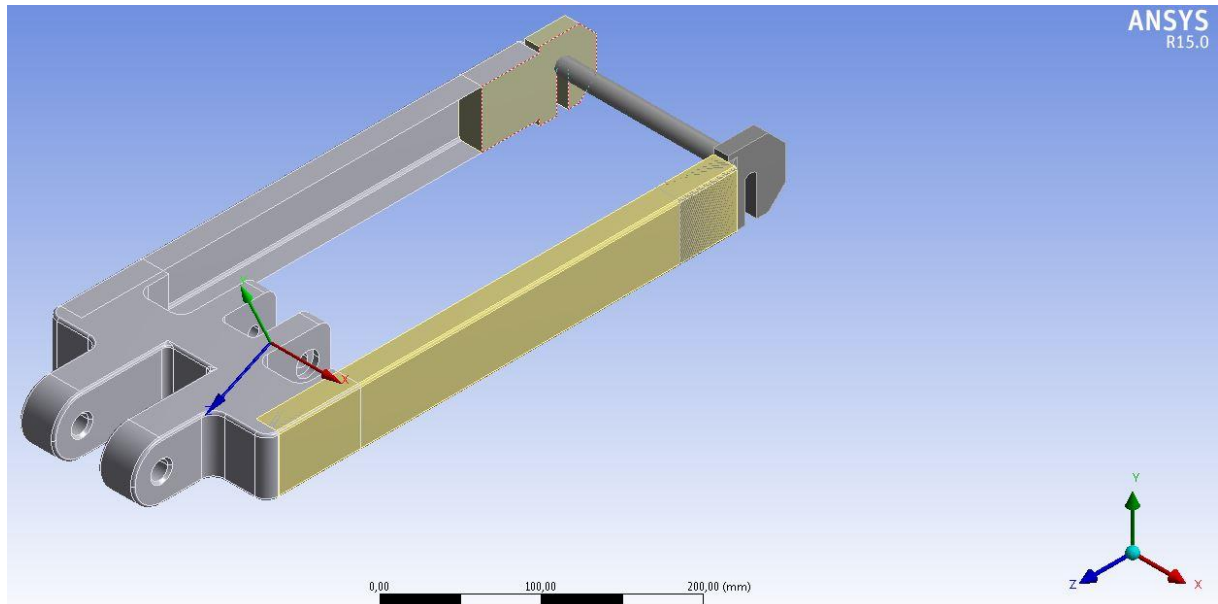
**Figura D.2** Estat de càrregues i ubicació de les mateixes en el MEF

### D.3 CONDICIONS DE CONTORN I SISTEMES DE COORDENADES

En quant a les condicions de contorn que s'ha utilitzat per a simular el model es resumeixen com a:

- Suport cilíndric per a la unió amb el xassís, restringint els moviments en la direcció radial i axial. D'aquesta forma es simulava el punt de recolzament amb el xassís, ja que bascula respecte un punt concret. Resumit a la *Figura D.2*.
- Desplaçament (Displacement) que s'ha utilitzat per a simular el punt d'ancoratge amb la suspensió posterior. Per el punt en concret s'ha restringit el moviment en l'eix Y, deixant lliure el desplaçament del eix X i Z. Aquest eix Y ha estat girat respecte l'eix de coordenades global uns 25° en sentit antihorari per a ajustar-se el màxim possible a la direcció real que portava la suspensió.

Tot això es troba resumit a la *Figura D.3*.



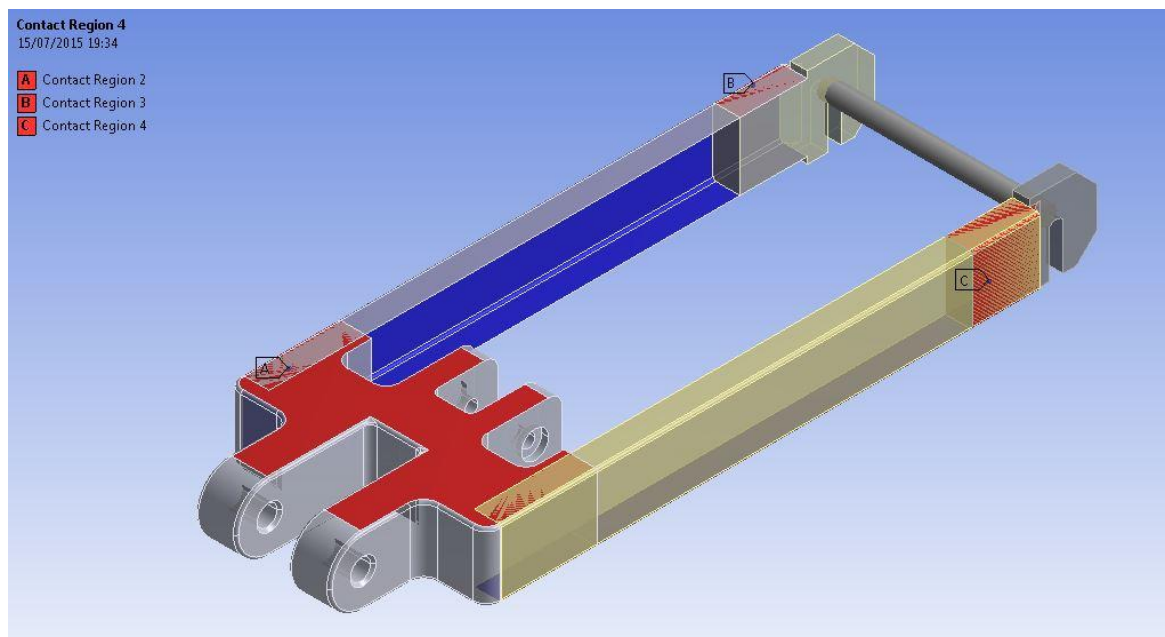
**Figura D.3** Coordinate Systems per al MEF

#### D.4 CONTACTES, MALLA I CONNEXIONS

Per a la correcta execució del mallat, s'ha creat elements hexaèdrics de dimensions aproximades a 3 mm per a obtenir un càlcul més acurat de les tensions en els nodes.

Per altra banda, també s'ha hagut d'incloure una connexió entre les cares interiors dels anclatges dret i esquerre. Això ha estat creat per a simular que entre aquests punts hi ha ubicat un eix d'acer corresponent al motor de la motocicleta elèctrica i, per tant, creava un efecte diferent respecte les deformades i tensions al global del model.

Finalment, en quant als contactes que el programa va agafar per defecte s'ha de comentar que tots ells són “Bonded” això significa que el software va prendre com a contactes totes les regions que es troben enllaçades. De forma abreujada, el que fa el software és crear una connexió cinemàtica, que vindria a ser que els punts que es troben en diferents plans però sobre la mateixa línia vertical es deformin per igual sense variar la distància entre ells.



**Figura D.4** Regions de contacte tipus “Bonded” per als diferents elements

## D.5 DEFINICIÓ DELS MATERIALS

### D.5.1 Característiques dels materials escollits

En els teixits utilitzats per a fer les diferents combinacions de “Layered Sections” són:

- Làmina biaxial
- Làmina unidireccional

Per a obtenir més informació dels teixits consultar *Annex F, Catàlegs dels materials* o també *Document N° 3 Plec de condicions*.

Cal esmentar que les característiques presentades a les *Taules D.2 i D.3* han estat les necessàries perquè el software entengui de forma coherent com treballa un material ortotròpic. És a dir, que les làmines emprades, des del punt de vista mecànic, treballen diferent en cadascun dels seus eixos principals.

#### Làmina biaxial:

| Young's Modulus X MPa | Young's Modulus Y MPa | Young's Modulus Z MPa | Poisson's Ratio XY | Poisson's Ratio YZ | Poisson's Ratio XZ | Shear Modulus XY MPa | Shear Modulus YZ MPa | Shear Modulus XZ MPa |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 53600                 | 53600                 | 5000                  | 5,e-002            | 5,e-002            | 5,e-002            | 3640                 | 2000                 | 2000                 |

**Taula D.2** Característiques làmina biaxial

#### Làmina unidireccional:

| Young's Modulus X MPa | Young's Modulus Y MPa | Young's Modulus Z MPa | Poisson's Ratio XY | Poisson's Ratio YZ | Poisson's Ratio XZ | Shear Modulus XY MPa | Shear Modulus YZ MPa | Shear Modulus XZ MPa |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 118000                | 7600                  | 7600                  | 0,32               | 0,32               | 0,32               | 4070                 | 4000                 | 4000                 |

**Taula D.3** Característiques làmina unidireccional

El material d'aleació d'alumini utilitzat és el Alumini 2017 que es troba sota la normativa UNE 38312:1999 amb les característiques que es mostren a la *Taula D.4*.

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| <b>Densitat</b>              | 2790 kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Tensió a compressió</b>   | 280 MPa                |
| <b>Tensió a tracció</b>      | 280 MPa                |
| <b>Tensió última</b>         | 310 MPa                |
| <b>Mòdul de young</b>        | 70000 MPa              |
| <b>Coeficient de Poisson</b> | 0.33                   |
| <b>Tensió de tall</b>        | 26692 MPa              |
| <b>Mòdul de compressió</b>   | 69608 MPa              |

**Taula D.4** Propietats equivalents de l'aleació d'alumini emprada per la simulació

L'adhesiu industrial utilitzat serà el prefixat al *Document N° 3 Plec de condicions, punt 3. Materials* amb el nom de Redux 870 A/B. S'ha cregut convenient agafar aquest per la seva capacitat de fixació i per les característiques que té. Per a una informació més específica, consultar *Annex F, Catàlegs de materials*.

## D.6 METODOLOGIA

Per a començar a treballar amb el model d'element finits es va realitzar un anàlisi preliminar de rigidesa utilitzant les propietats equivalents del laminat 1 i laminat 2. Aquestes van ser obtingudes mitjançant un programa desenvolupat amb Matlab segons la teoria de laminats per a valorar-ne la rigidesa inicial. Les làmines emprades són les mostrades al punt anterior. Així doncs, això va portar a unes conclusions i es que el laminat 2 treballava millor que el primer. Això és degut a que el primer laminat només treballava amb làmines biaxials i un cop estudiat el comportament que tenia el basculant, es va descobrir que s'havia de reforçar amb làmina unidireccional per a millorar el comportament a flexió.

Per a la correcta comprensió de la disposició de les capes, cal esmentar que la "Capa 1", per tots els casos, seria la que tocava directament el motlle, és a dir, la "Bottom Layer". Així doncs, s'anirien dipositant una sobre de l'altra en sentit ascendent.

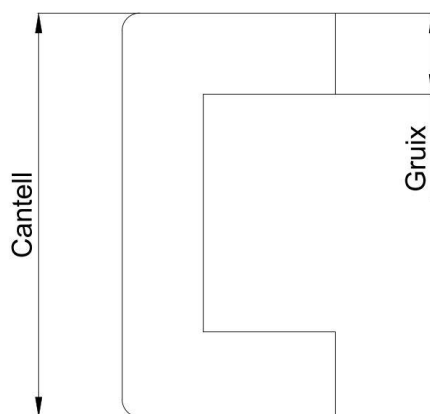
| Capa | Material       | Gruix (mm) | Angle (°) |
|------|----------------|------------|-----------|
| (+Z) |                |            |           |
| 8    | Làmina Biaxial | 0,5        | 45        |
| 7    | Làmina Biaxial | 0,75       | 0         |
| 6    | Làmina Biaxial | 0,5        | 45        |
| 5    | Làmina Biaxial | 0,75       | 0         |
| 4    | Làmina Biaxial | 0,75       | 0         |
| 3    | Làmina Biaxial | 0,5        | 45        |
| 2    | Làmina Biaxial | 0,75       | 0         |
| 1    | Làmina Biaxial | 0,5        | 45        |
| (-Z) |                |            |           |

**Taula D.5** Laminat 1 utilitzat per a l'anàlisi preliminar de rigidesa

| Capa | Material              | Gruix (mm) | Angle (°) |
|------|-----------------------|------------|-----------|
| (+Z) |                       |            |           |
| 13   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 12   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 11   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 10   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 9    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 8    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 7    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 6    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 5    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 4    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 3    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 2    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 1    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| (-Z) |                       |            |           |

**Taula D.6** Laminat 2 utilitzat per a valorar la rigidesa amb reforç unidireccional

Un cop vist com treballava el laminat 2 en vers el 1, es va passar a augmentar el cantell del perfil en C per a donar inèrcia a la secció i també es va variar el gruix d'aquesta. Aquest fet es va dur a terme ja que hi havia problemes de rigidesa a torsió i, per tant, es va voler estudiar amb deteniment. Els valors es mostren a la *Taula D.7*.



**Figura D.5** Mides mínimes vinculants per a la valoració dels diferents perfils

| Cantell (mm) | Gruix (mm) | D. Total (mm) | D. Flexió (mm) | D. Torsió (mm) |
|--------------|------------|---------------|----------------|----------------|
| 60           | 5          | 14,83         | 3,48           | 12,97          |
| 80           | 5          | 13,57         | 2,29           | 12,31          |
| 100          | 5          | 12,45         | 1,62           | 11,52          |
| 64           | 7          | 7,28          | 1,88           | 6,34           |
| 70           | 10         | 9,30          | 1,91           | 8,45           |

**Taula D.7** Valoració deformades per a diferents cantells i gruixos de secció pel Laminat 2

Amb la comparació realitzada entre els diferents cantells i gruixos, es va veure que augmentar el cantell no era el que millorava, sinó que un cantell d'alçada inferior però amb un gruix superior millorava la inèrcia i per conseqüent, la resistència a flexió i torsió. Per tant, segons les especificacions d'*Airborne Aerospace* es va passar a fabricar un perfil de com a molt 8 mm de gruix per a que no apareguessin arrugues en la producció d'aquest.

Més endavant es va realitzar un anàlisi de rigidesa i resistència més acurat utilitzant les especificacions pactades amb el productor, per aquest fet es varen desenvolupar diferents laminats mitjançant les "Layered Sections". Aquestes estan representades amb el nom de

Laminat 2b, 2c i 3. El fet d'utilitzar aquest últim mètode es que es podia orientar de forma correcta les fibres respecte l'eix de coordenades global i d'aquesta forma obtenir uns resultats més fiables, sense la necessitat d'utilitzar les propietats equivalents.

A continuació es presenta les diferents taules amb les disposicions de les làmines per a cada "Layered Section" (Laminat) i finalment, una taula de la qual s'ha extret les conclusions per a mirar quin seria el laminat que finalment es triaria com a definitiu per a portar a produir.

| Capa | Material              | Gruix (mm) | Angle (°) |
|------|-----------------------|------------|-----------|
| (+Z) |                       |            |           |
| 13   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 12   | Làmina Unidireccional | 0,5        | 0         |
| 11   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 10   | Làmina Unidireccional | 0,5        | 0         |
| 9    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 8    | Làmina Unidireccional | 0,5        | 0         |
| 7    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 6    | Làmina Unidireccional | 0,5        | 0         |
| 5    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 4    | Làmina Unidireccional | 0,5        | 0         |
| 3    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 2    | Làmina Unidireccional | 0,5        | 0         |
| 1    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| (-Z) |                       |            |           |

**Taula D.8** Laminat 2b amb un gruix total de 6,5 mm i amb reforç unidireccional

| Capa | Material              | Gruix (mm) | Angle (°) |
|------|-----------------------|------------|-----------|
| (+Z) |                       |            |           |
| 13   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 12   | Làmina Unidireccional | 0,75       | 0         |
| 11   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 10   | Làmina Unidireccional | 0,75       | 0         |
| 9    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 8    | Làmina Unidireccional | 0,75       | 0         |
| 7    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 6    | Làmina Unidireccional | 0,75       | 0         |
| 5    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 4    | Làmina Unidireccional | 0,75       | 0         |
| 3    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 2    | Làmina Unidireccional | 0,75       | 0         |
| 1    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| (-Z) |                       |            |           |

**Taula D.9** Laminat 2c amb un gruix total de 8 mm i amb reforç unidireccional

| Capa | Material              | Gruix (mm) | Angle (°) |
|------|-----------------------|------------|-----------|
| (+Z) |                       |            |           |
| 19   | Làmina Biaxial        | 0,25       | 0         |
| 18   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 17   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 16   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 15   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 14   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 13   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 12   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 11   | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 10   | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 9    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 8    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 7    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 6    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 5    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| 4    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 3    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 0         |
| 2    | Làmina Unidireccional | 0,25       | 0         |
| 1    | Làmina Biaxial        | 0,5        | 45        |
| (-Z) |                       |            |           |

**Taula D.10** Laminat 3 amb un gruix total de 7 mm.

Així doncs, un cop realitzat l'estudi anterior, es presenta la taula resum que va donar lloc a la conclusió de triar el Laminat 2c per a la producció del perfil en C. Tant per la resistència a flexió i torsió, com per la distribució de les làmines unidireccional i biaxials.

|                   | Gruix (mm) | Def. Flexió | Def. Torsió | Def. Total  |
|-------------------|------------|-------------|-------------|-------------|
| <b>Laminat 2b</b> | 6.5        | 1,72        | 4,50        | <b>4,96</b> |
| <b>Laminat 2c</b> | 8          | 1,42        | 3,53        | <b>3,99</b> |
| <b>Laminat 3</b>  | 7          | 1,79        | 4,64        | <b>5,10</b> |

**Taula D.11** Taula resum dels diferents laminats, totes les unitats són en mil·límetres

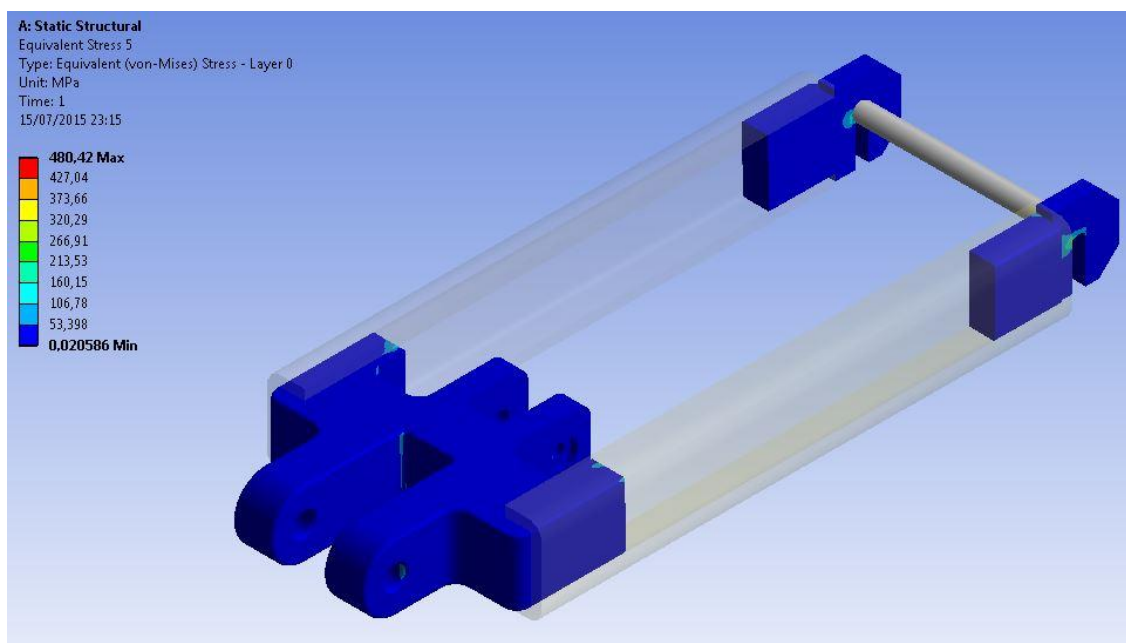
Tenint en compte el coeficient de majoració de 2, s'ha pres per bo el valor de 3,99 mm com a deformació màxima per al global del MEF del Laminat 2c.

## D.7 RESULTATS OBTINGUTS DEL MEF

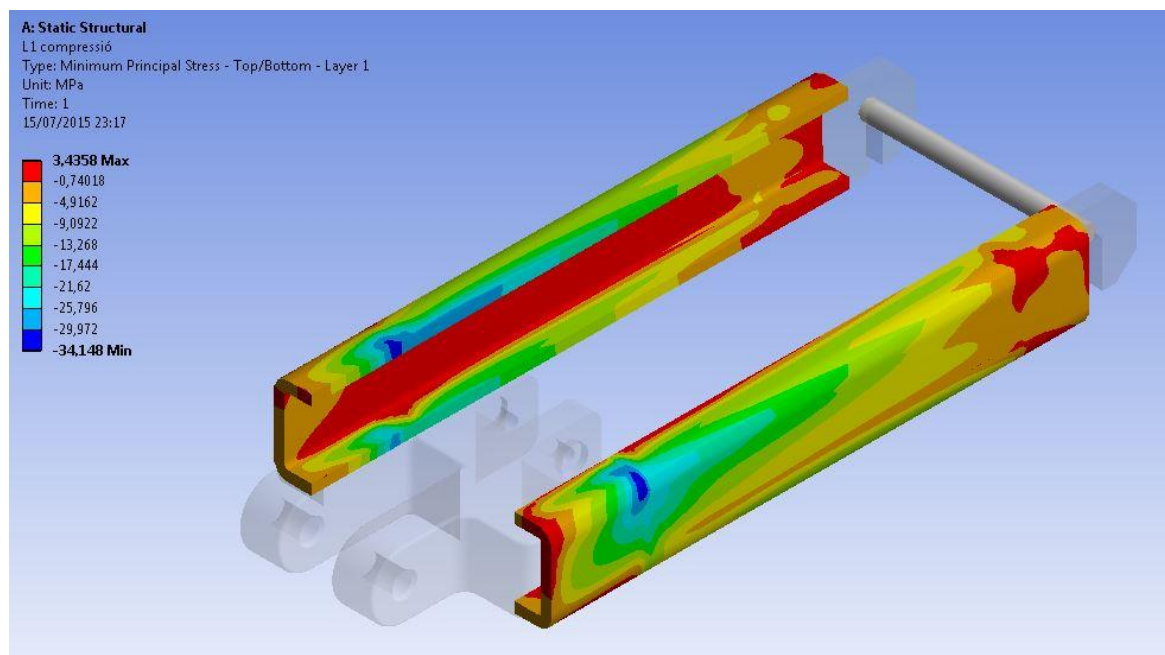
Tal i com s'ha plantejat en el punt anterior, el **Laminat 2c** amb un gruix màxim de 8 mm i una longitud de perfil de 400 mm serà el que es portarà a fabricació. Per a més informació consultar el plànol *1.01 Perfil en C* del *Document N° 2 Plànols*.

Per als càlculs s'ha utilitzat un coeficient de majoració de 2, és a dir, que en quant a deformació per flexió i torsió, el perfil final triat serà suficientment resistent per a les càrregues que ha de suportar. Aquest té una deformació màxima total de **3,99 mm**.

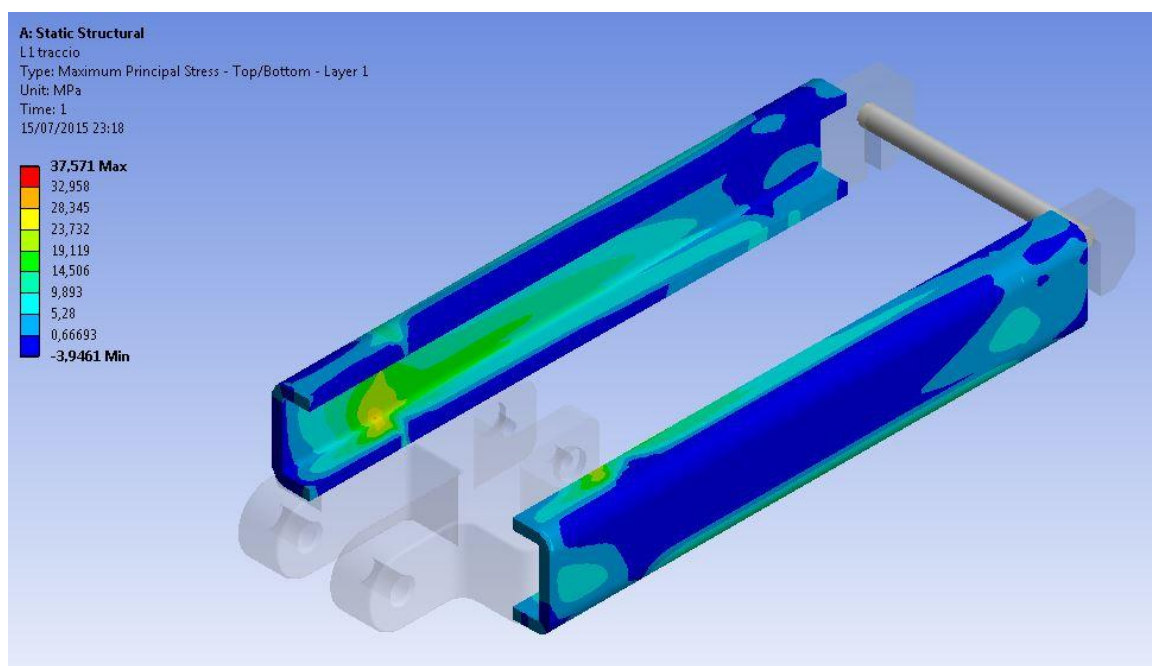
Totes les tensions principals màximes i mínimes es troben expressades a continuació, on es pot apreciar que cap fallarà ja que les làmines teòriques utilitzades i la disposició que s'ha fet amb elles suportarà suficient. També s'ha tingut en compte les capes més desfavorables, les que patiran més esforços, entre elles trobem les més internes, L1, L2, L3 i les més externes, L13, L12, L11.



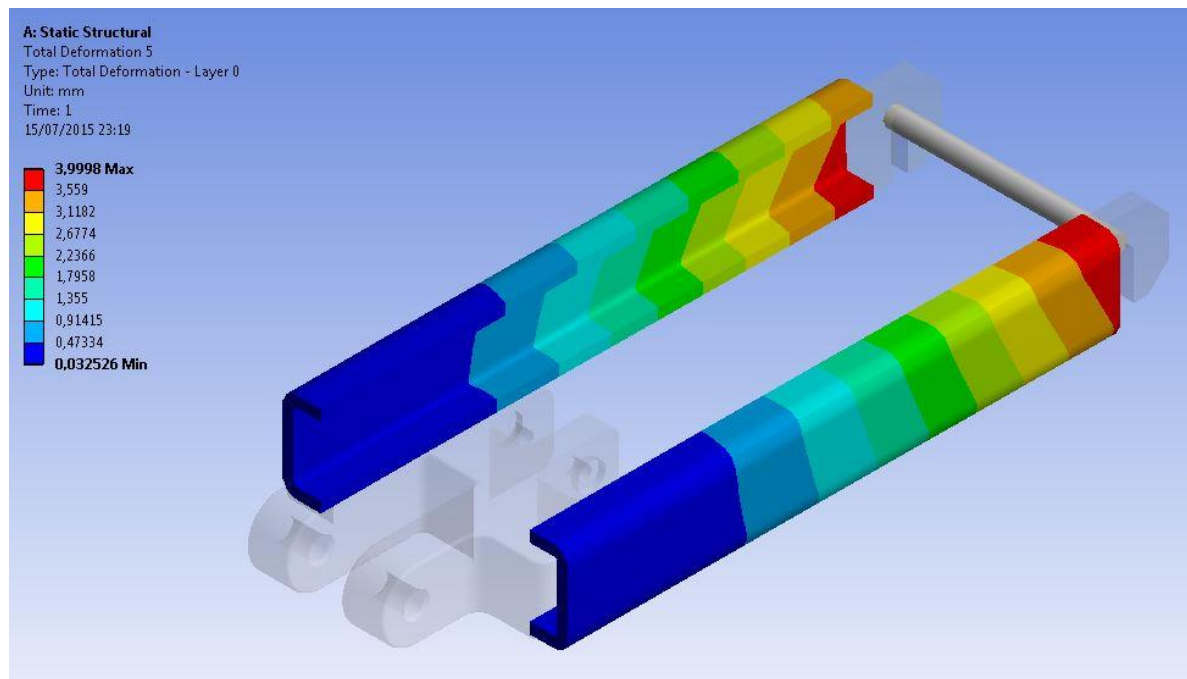
**Figura D.6** Equivalent (Von-Misses) Stress per les peces d'alumini



**Figura D.7** Minimum principal stress per la capa interior del perfil de fibra



**Figura D.8** Maximum principal stress per la capa interior del perfil de fibra



**Figura D.9** Deformació total pel perfil de carboni

### D.7.1 Resultats de deformació i tensions principals

Com es troba representat en l'apartat que es tracta a continuació, es presenten els resultats obtinguts a través del MEF, per a valorar les deformades i les tensions principals que són de caràcter vinculant.

|                 | Total deformation     | Total deformation | L2 tracció                     | L2 compressió | L1 tracció       | L1 compressió |
|-----------------|-----------------------|-------------------|--------------------------------|---------------|------------------|---------------|
| Tipus           | Deformació total (mm) |                   | Maximum Principal Stress (MPa) |               |                  |               |
| Mínim           | 0,03                  | 0,03              | -0,2                           | -150,9        | -3,9             | -34,2         |
| Màxim           | 3,99                  | 3,93              | 170                            | 0,2           | 37,6             | 3,44          |
| Mínim apareix a | Carbono Esquerra      | Carbono Dret      | Carbono Esquerra               | Carbono Dret  | Carbono Esquerra |               |
| Màxim apareix a | Carbono Esquerra      | Carbono Dret      | Carbono Esquerra               | Carbono Dret  | Carbono Esquerra | Carbono Dret  |

**Taula D.12** Resultats de deformació i tensions principals per als perfils de carboni esquerre i dret i les seves capes L1 i L2

|                 | L3 tracció                     | L3 compressió                  | L11 tracció                    | L11 compressió                 | L12 tracció                    | L12 compressió                 | L13 tracció                    | L13 compressió                 |
|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Tipus           | Maximum Principal Stress (MPa) | Minimum Principal Stress (MPa) | Maximum Principal Stress (MPa) | Minimum Principal Stress (MPa) | Maximum Principal Stress (MPa) | Minimum Principal Stress (MPa) | Maximum Principal Stress (MPa) | Minimum Principal Stress (MPa) |
| Mínim           | -0,7                           | -68,2                          | -0,3                           | -101,6                         | -0,2                           | -240                           | -1,7                           | -72,8                          |
| Màxim           | 76,7                           | 0,7                            | 111,4                          | 0                              | 262,4                          | 0,15                           | 78,6                           | 1,14                           |
| Mínim apareix a | Carbono Dret                   |                                |                                |                                | Carbono Esquerra               | Carbono Dret                   | Carbono Esquerra               | Carbono Dret                   |
| Màxim apareix a | Carbono Esquerra               | Carbono Dret                   | Carbono Esquerra               |                                |                                | Carbono Dret                   | Carbono Esquerra               | Carbono Dret                   |

**Taula D.13** Resultats de les tensions principals per als perfils de carboni esquerre i dret i les seves capes L3, L11, L12 i L13

En quant al perfil en material compòsit cal esmentar que no té problemes de resistència, ja que treballa perfectament com es pot apreciar a les *Taules D.12 i D.13*, com també a les figures *D.7, D.8 i D.9*.

|                 | Total deformation 1   | Equivalent Stress                    | Maximum Shear Stress       | Equivalent Stress                    | Equivalent Stress | Total deformation 4   |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|-------------------|-----------------------|
| Tipus           | Deformació total (mm) | Equivalent (Von-Misses) Stress (MPa) | Maximum Shear Stress (MPa) | Equivalent (Von-Misses) Stress (MPa) |                   | Deformació total (mm) |
| Mínim           | 0                     | 0                                    | 0                          | 0                                    | 0                 | 0                     |
| Màxim           | 4.52                  | 480,4                                | 254,3                      | 164,3                                | 349,4             | 0,18                  |
| Mínim apareix a | Unió amb xassís       | Anclatge eix esquerre                |                            | Unió xassís                          | Anclatge eix dret | Unió xassís           |
| Màxim apareix a | Anclatge eix esquerre |                                      |                            | Unió xassís                          | Anclatge eix dret | Unió xassís           |

**Taula D.14** Resultats de les tensions principals i les deformacions per als elements d'alumini

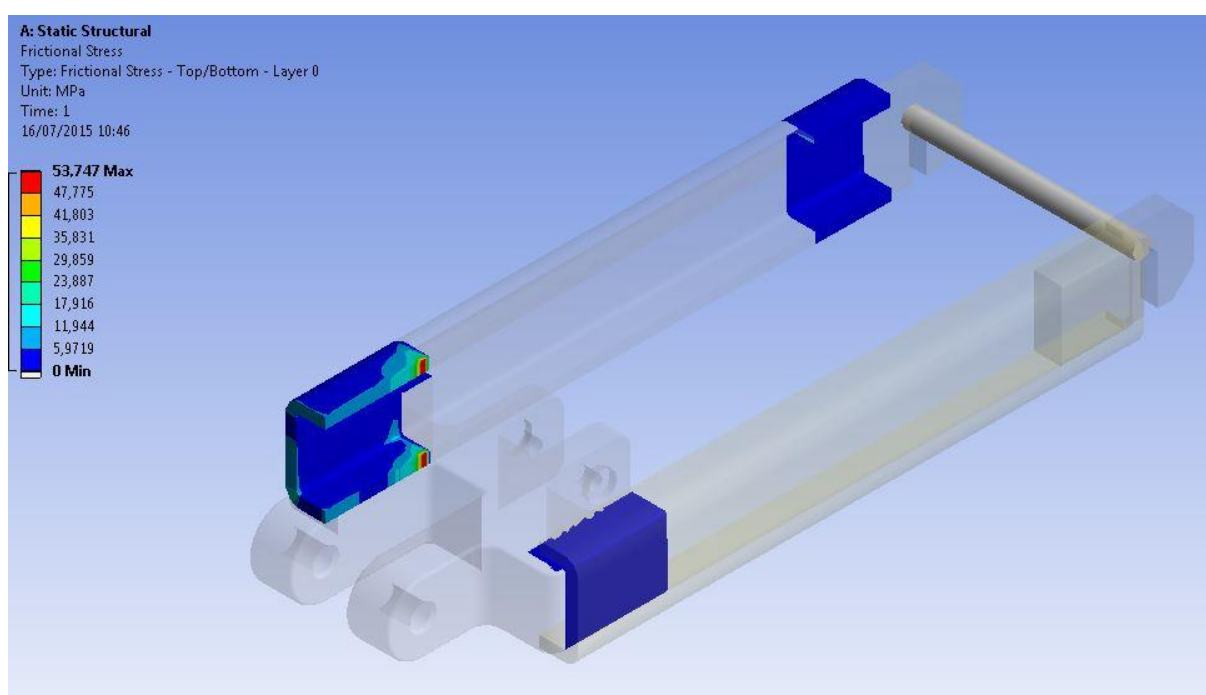
Les tensions de Equivalent (Von-Misses) Stress extrems del model d'elements finits, amb uns valors de 480,4 MPa i 349,4 MPa, que recauen directament sobre les peces d'alumini, no s'han de tenir en compte ja que són puntuals. És a dir, tal i com s'aprecia a la *Figura D.2*, i repercuteix a la *Figura D.6*, el fet de trobar aquestes tensions tant altes és degut a que totes les forces han estat ubicades als *Anclatges Dret i Esquerre*. Aquest mateix fet apareix en la deformació total per l'alumini, amb un valor de 4,52 mm, tot i així no es té en compte pel que s'ha explicat amb anterioritat. Fent referència a la *Figura D.6*, per la identificació de pressions, es pot veure que no supera el valor de 160 MPa, per tant l'alumini estaria sobredimensionat i seria suficientment resistent. El coeficient de seguretat per a les peces d'alumini seria de  $n = 1,72$ .

### D.7.2 Resultats de forces de contacte per l'adhesiu industrial

En quant a les forces de pressió i de fricció que haurà de suportar adhesiu industrial hi ha les següents:

|                 | Tensió de fricció | Pressió      |
|-----------------|-------------------|--------------|
| Mínim           | 0, MPa            | -10,3 MPa    |
| Màxim           | 53,8 MPa          | 10 MPa       |
| Mínim apareix a | Unió amb xassís   | Carbono Dret |
| Màxim apareix a | Carbono Dret      |              |

**Taula D.15** Resultats obtinguts per Contact tool entre els diferents elements units amb adhesiu estructural



**Figura D.10** Friccional stress a les zones de contacte en que hi anirà adhesiu estructural

En principi no hi ha d'haver cap problema, ja que s'ha repassat en tot moment els contactes que el programari ha agafat per defecte i són correctes. Tan mateix, l'àrea de contacte serà suficient, ja que el material triat pot resistir fins a 43 MPa. No es tindrà en compte el valor de 53,75 MPa ja que es troba en un punt en el que no hi ha adhesiu distribuït. Per tant, el punt més desfavorable d'unió entre el compòsit i l'alumini seria d'uns 25 MPa, amb això s'obtidria un coeficient de seguretat de,  $n = 1,72$ , suficient per al disseny.

### D.7.3 Reaccions dels suports

En quant a la resolució de les reaccions que intervenen a la peça *Unió amb xassís*, s'ha obtingut els valors expressats a continuació, tot i així cap d'ells té un caràcter vinculant amb el *Perfil en C*.

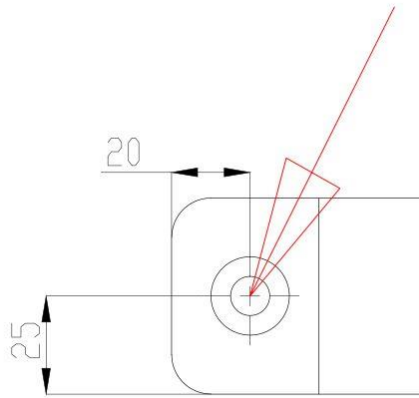
|        | Força de reacció | Força de reacció |
|--------|------------------|------------------|
| Eix    | Suport cilíndric | Desplaçament     |
| X Axis | -1784, N         | 0, N             |
| Y Axis | 5071,4 N         | -6671,4 N        |
| Z Axis | 2970,9 N         | -3110,9 N        |
| Total  | 6142,3 N         | 7361,1 N         |

**Taula D.16** Resultats reaccions dels suports

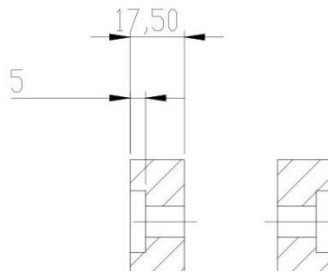
Aquests valors seran usats per a triar el pern que subjectarà l'amortidor amb el basculant. Per aquest motiu, consultar el punt següent *D.8 JUSTIFICACIÓ CÀLCUL PERN*.

## D.8 JUSTIFICACIÓ CÀLCUL PERN

Aquest document explica les consideracions que s'ha de tenir en compte per al càlcul del pern a tallant. S'utilitzen els valors de la force reaction, extrets del MEF, per a comparar què pot aguantar el pern a tallant i, per consegüent, la resistència a l'aixafament del material al que travessa. A les *Figures D.11 i D.12* es veu la direcció de la reacció i també les dimensions i geometria del forat per al qual passa el cargol.



**Figura D.11** Reaccions al basculant que provenen de la suspensió  $R_z = -3110,9 \text{ N}$ ,  $R_y = -6671,4 \text{ N}$



**Figura D.12** Dimensions i geometria del forat, àrea d'aixafament del cargol

Fent un cop d'ull al mercat s'ha estat mirant d'usar diferents cargols, i per geometria es farà ús d'un cargol de M10 DIN 933/931 – ISO 4015.

Les condicions constructives mínimes que haurà de suportar la unió seran les següents:

$$1,2d_o \leq e_1 \leq 150, 12t, 40 + 4t \quad \text{Per al gruix horitzontal} \quad (\text{Eq. 1})$$

$$2,2d_o \leq p_1 \leq 200, 14t \quad \text{Per al gruix vertical} \quad (\text{Eq. 2})$$

Amb un diàmetre,  $d_o$ , de 10 mm i un gruix,  $t$  de 12.5 mm, el resultat de  $e_1$  serà de 20 mm i el valor de  $p_1$  serà de 25 mm. És a dir, compliran amb la norma de condicions constructives.

Altrament, per al càlcul de la resistència a tallant secció del cargol, es farà ús de la fórmula escrita a continuació:

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot 0.5 f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq. 3})$$

On  $n$  és el número de plans de tall,  $f_{ub}$  és la resistència última de l'acer del que està fet el cargol,  $A$  és l'àrea resistent i  $\gamma_{M2}$  tindrà un valor de 1,25. Els resultats es presenten resumits en forma de taula a continuació.

| Pern | Fub (MPa) | n | $\alpha$ | A (M10) | $\gamma_{M2}$ | $F_{v,Rd}$ (N) | kN    |
|------|-----------|---|----------|---------|---------------|----------------|-------|
| 6.8  | 600       | 2 | 0,5      | 58      | 1,25          | <b>27840</b>   | 27,84 |
| 8.8  | 800       | 2 | 0,5      | 58      | 1,25          | <b>37120</b>   | 37,12 |
| 10.9 | 1000      | 2 | 0,5      | 58      | 1,25          | <b>46400</b>   | 46,40 |

**Taula D.17** Valors de la resistència a tallant del cargol per a la tria d'aquest

Clarament queda clar que s'utilitzarà un pern M10 – 6.8, ja que tindrà suficient resistència a tallant per aguantar la reacció que prové de la suspensió amb un valor de 6671,4 N.

A continuació es realitzarà el càlcul de la resistència a l'aixafament de les xapes a unir, és a dir, el suport d'alumini per a la unió de la suspensió amb el basculant. De la normativa es treu l'expressió:

$$F_{t,Rd} = \frac{2.5 \alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq. 4})$$

Els valors de  $\alpha$  és 1,  $f_u$  és la resistència última de l'alumini,  $d$  és el diàmetre del forat i  $t$  el gruix. El fet d'agafar diferents valors de  $f_u$ , és degut a que encara no es sap del cert l'alumini que finalment es farà servir, per això s'ha buscat informació per a calcular-ho des del més desfavorable.

| fu (Mpa) | 2,5 | $\alpha$ | d  | t    | Ym2  | $F_{t,rd}$ (N) | kN    |
|----------|-----|----------|----|------|------|----------------|-------|
| 90       | 2,5 | 1        | 10 | 12,5 | 1,25 | <b>22500</b>   | 22,50 |
| 125      | 2,5 | 1        | 10 | 12,5 | 1,25 | <b>31250</b>   | 31,25 |
| 145      | 2,5 | 1        | 10 | 12,5 | 1,25 | <b>36250</b>   | 36,25 |

**Taula D.18** Valors de la resistència al aixafament de la unió.

Per a diferents aluminis es veu que el gruix posat per la unió és suficient per a suportar les reaccions pròpies del basculant.

## **ANNEX E, SOLUCIÓ ALTERNATIVA EN ACER PER ABSÈNCIA DE FABRICACIÓ EN COMPÒSIT**

## E.0 INTRODUCCIÓ

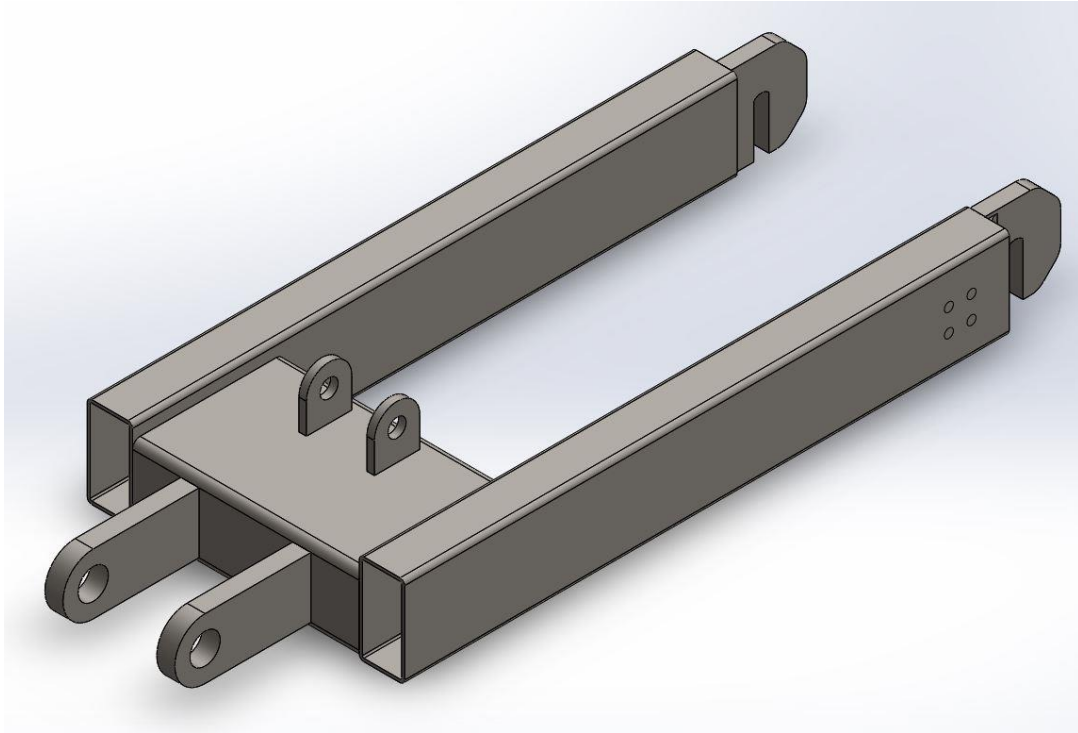
En aquest present document s'exposa en resum el que s'ha anat avaluant amb l'Ansys Workbench, com també el procés que s'ha seguit per a obtenir els resultats finals i en definitiu, coherents, del basculant en acer.

El fet de realitzar un estudi detallat ha estat degut a que durant el període d'avaluació del basculant en material compòsit, es va anar fent una sèrie de trobades amb *Airborne Aerospace*. En aquestes reunions, *Airborne Aerospace*, com a sponsor de l'equip del Smart Moto Challenge va voler aconsellar sobre els mètodes dels que disposaven per a produir el perfil de material compòsit, tan dels motlles, com dels teixits, material necessari per a la producció, etc. Sobre aquests fets es va anar treballant per adaptar el projecte als requeriments que posava el patrocinador, ja que s'havia d'ajustar en quant a producció de material i a costos de fabricació. Finalment per temes de disponibilitat d'hores de taller, parlant amb en Marc Gascons, no hi va haver manera de trobar ni operaris ni opcions derivades per a poder produir els braços de compòsit. Es varen buscar altres alternatives, com per exemple, subcontractar la producció, però es va desestimar ja que el temps d'entrega del producte era molt lluny de la data límit establerta per l'equip. Altrament, també es va mirar de comprar un perfil estructural a diversos productors especialitzats d'origen holandès, però al no especificar la orientació dels teixits ni les característiques dels mateixos es va decidir que no seria factible si no es podia fer una valoració mitjançant un model d'elements finits.

Tan mateix, l'equip del Smart Moto Challenge va decidir en el seu moment tirar pel camí ràpid i produir una unitat d'aquest basculant en acer.

## E.1 GEOMETRIA

El disseny final del basculant en acer ha estat el s'aprecia a continuació. Format per tres perfils estructurals d'acer S275 i les quatre urelles per a les diferents unions també del mateix material. Els perfils estructurals són tubs de 100x50x4 (travesser) i 60x30x2 (braços). Aquesta ha estat la geometria que s'ha introduït al programa en format *.STEP*.



**Figura E.1** Basculant definitiu en acer

El basculant compte amb el nombre d'elements mostrats a la *Figura E.1* i té un pes total de 5,35 Kg.

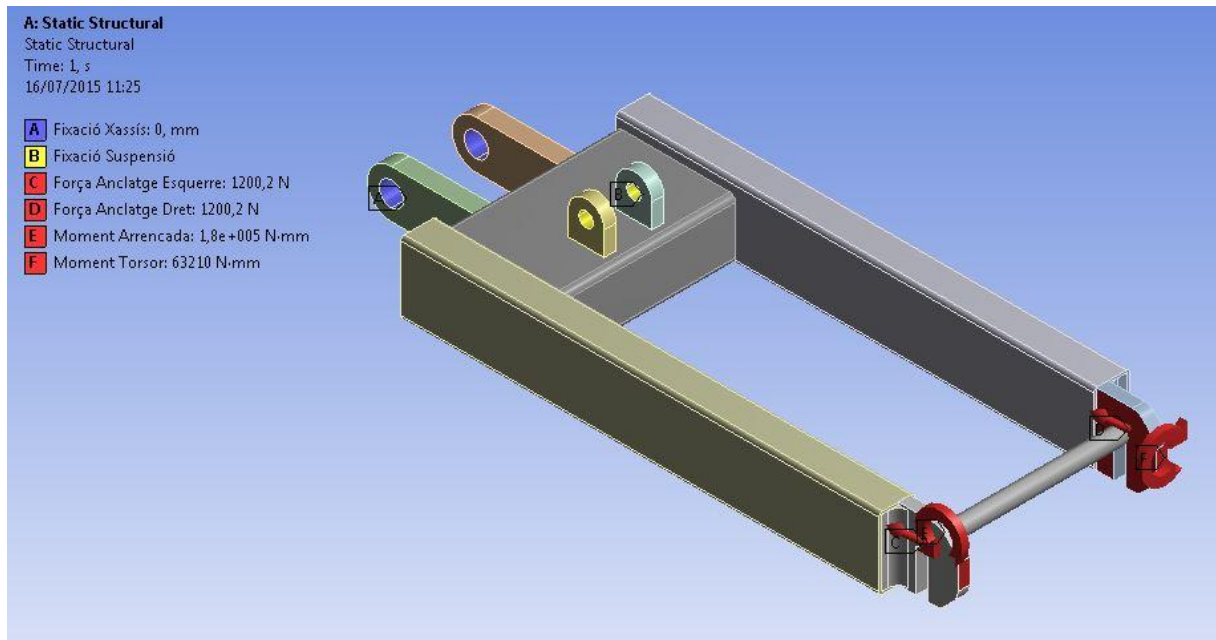
## E.2 ESTAT DE CÀRREGUES

Les càrregues emprades per al càlcul de les deformades i les tensions internes en el global del basculant, són les presentades a la *Taula E.1*.

| Càrregues                                      | Símbol                      | Direcció | Valors | Unitats |
|------------------------------------------------|-----------------------------|----------|--------|---------|
| <b><i>Força normal a la roda posterior</i></b> | <b><i>R<sub>b</sub></i></b> | Y        | 1600   | N       |
| <b><i>Força de tracció/fricció</i></b>         | <b><i>F<sub>m</sub></i></b> | X        | 140    | N       |
| <b><i>Força lateral en pas per corba</i></b>   | <b><i>F<sub>L</sub></i></b> | Z        | 1784   | N       |
| <b><i>Moment torsor en pas per corba</i></b>   | <b><i>T</i></b>             | Eix X    | 63,21  | Nm      |
| <b><i>Moment motor arrencada</i></b>           | <b><i>M<sub>m</sub></i></b> | Eix Z    | 180    | Nm      |

**Taula D.1** Reaccions sol·licitants per al càlcul estructural

Totes elles es troben distribuïdes en els anclatges que s'ha dissenyat per a subjectar el motor. A la *Figura E.2* que es troba a continuació, es presenta la seva ubicació i direcció.



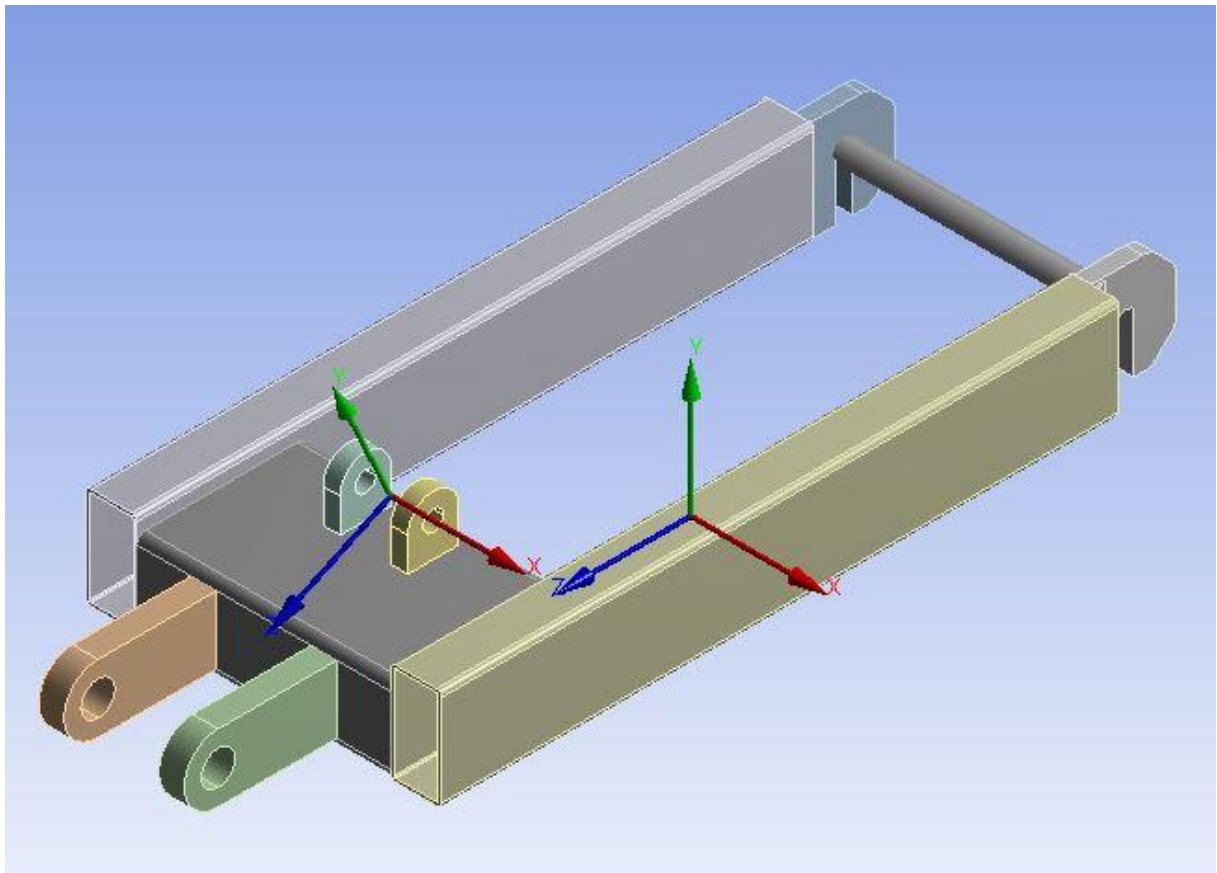
**Figura E.2** Estat de càrregues i ubicació de les mateixes en el MEF

### E.3 CONDICIONS DE CONTORN I SISTEMES DE COORDENADES

En quant a les condicions de contorn que s'ha utilitzat per a simular el model es resumeixen com a:

- Suport cilíndric per a la unió amb el xassís, restringint els moviments en la direcció radial i axial. D'aquesta forma es simulava el punt de recolzament amb el xassís, ja que bascula respecte un punt concret. Resumit a la *Figura E.2*.
- Desplaçament (Displacement) que s'ha utilitzat per a simular el punt d'ancoratge amb la suspensió posterior. Per el punt en concret s'ha restringit el moviment en l'eix Y, deixant lliure el desplaçament del eix X i Z. Aquest eix Y ha estat girat respecte l'eix de coordenades global uns  $25^\circ$  en sentit antihorari per a ajustar-se el màxim possible a la direcció real que portava la suspensió.

Tot això es troba resumit a la *Figura E.3*.



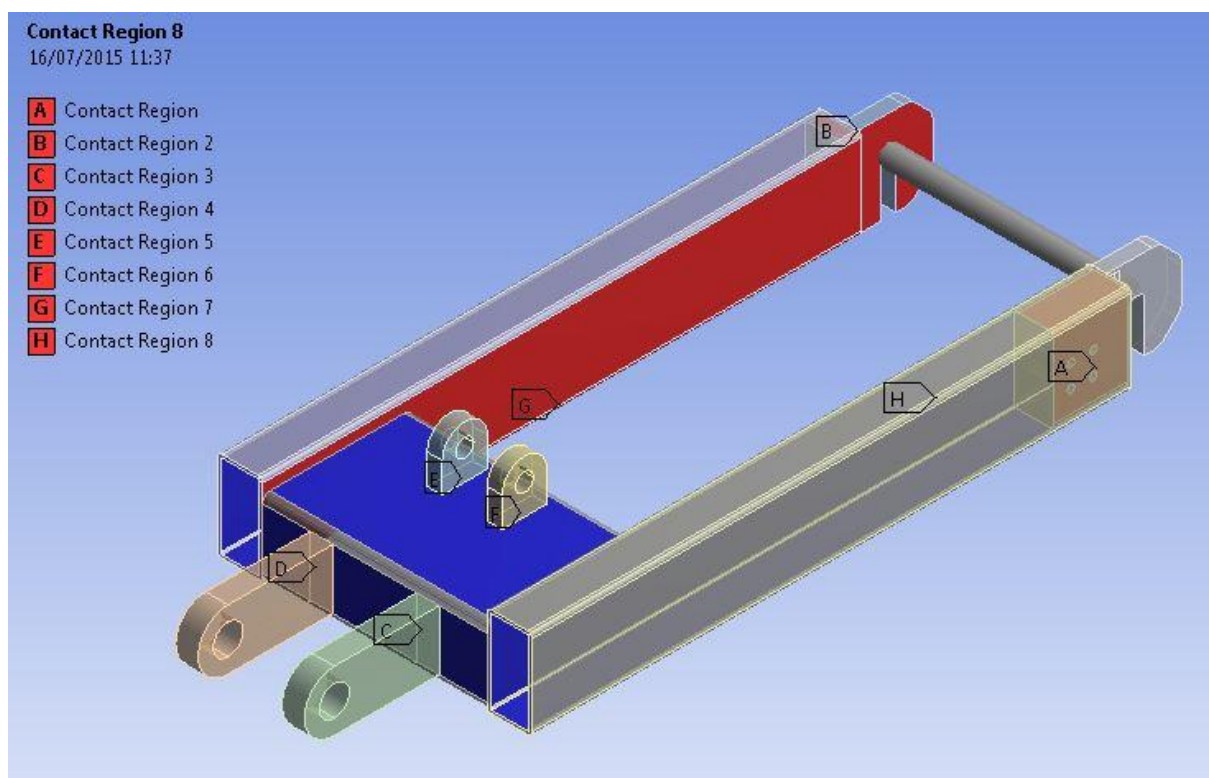
**Figura E.3** Coordinate Systems pel MEF

#### E.4 CONTACTES, MALLA I CONNEXIONS

Per a la correcta execució del mallat, s'ha creat elements hexaèdrics de dimensions aproximades a 3 mm per a obtenir un càlcul més acurat de les tensions en els nodes.

Per altra banda, també s'ha hagut d'incloure una connexió entre les cares interiors dels anclatges dret i esquerre. Això ha estat creat per a simular que entre aquests punts hi ha ubicat un eix d'acer corresponent al motor de la motocicleta elèctrica i, per tant, creava un efecte diferent respecte les deformades i tensions al global del model.

Finalment, en quant als contactes que el programa va agafar per defecte s'ha de comentar que tots ells són “Bonded” això significa que el software va prendre com a contactes totes les regions que es troben enllaçades.



**Figura E.4** Regions de contacte tipus “Bonded” per als diferents elements

## E.5 DEFINICIÓ DELS MATERIALS

### E.5.1 Característiques dels materials triats

El material és acer estructural S275 per a tots els elements del model, tal i com s'ha expressat anteriorment. La *Taula E.4* presenta les propietats principals que requereix el programa d'elements finits per a simular l'estructura completa.

|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| <b>Densitat</b>              | 7850 kg/m <sup>3</sup> |
| <b>Tensió límit elàstic</b>  | 275 MPa                |
| <b>Tensió de ruptura</b>     | 410 MPa                |
| <b>Mòdul de young</b>        | 200000 MPa             |
| <b>Coeficient de Poisson</b> | 0.3                    |
| <b>Tensió de tall</b>        | 76923 MPa              |
| <b>Mòdul de compressió</b>   | 166670 MPa             |

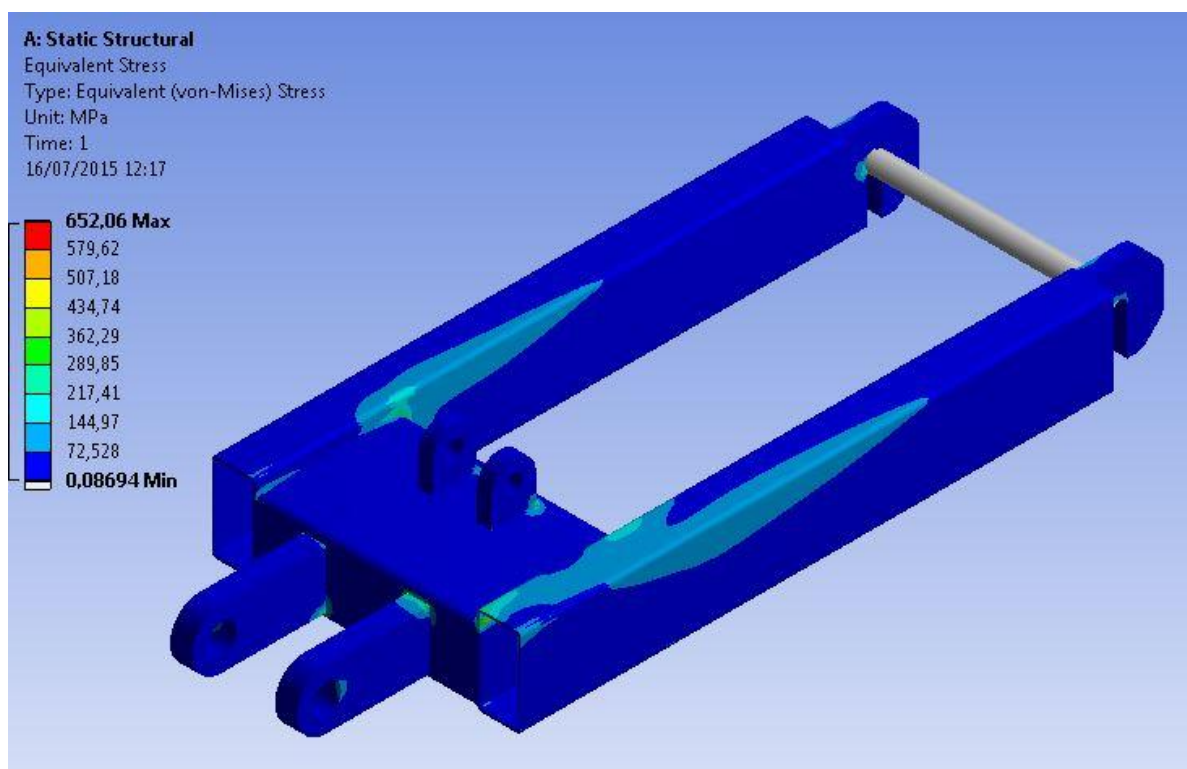
**Taula E.4** Propietats equivalents de l'acer emprat per la simulació

## E.6 RESULTATS OBTINGUTS DEL MEF

Tal i com s'ha anat desenvolupant, a continuació es presenten els resultats obtinguts per al global del basculant. Com que aquest només depèn del acer, serà més senzill d'avaluar. El basculant segueix complint les mides generals que hi ha estipulades al plànol *0.00 Conjunt Sencer* del *Document N°2 Plànols*, però els components són diferents. En aquest mateix *Annex E*, s'adjunten una sèrie de plànols amb les mides de cadascun per a la seva producció.

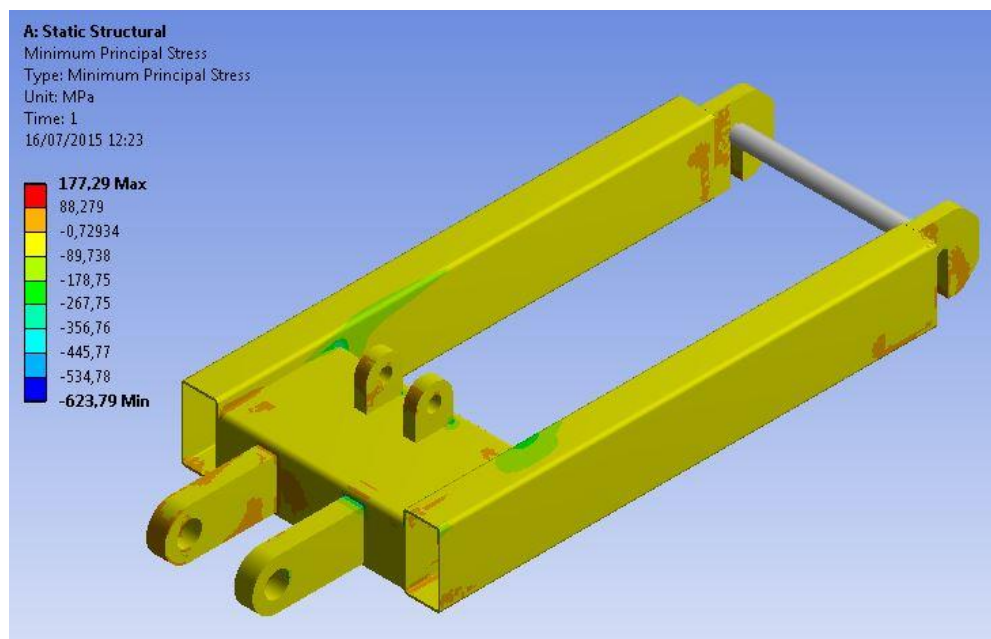
Per als càlculs s'ha utilitzat un coeficient de majoració de 2, és a dir, que en quant a deformació per flexió i torsió, el perfil final triat serà suficientment resistent per a les càrregues que ha de suportar. Aquest té una deformació màxima total de **2,20 mm**.

Així mateix es presenten totes les figures necessàries per a la correcta comprensió del que succeeix en el basculant d'acer.

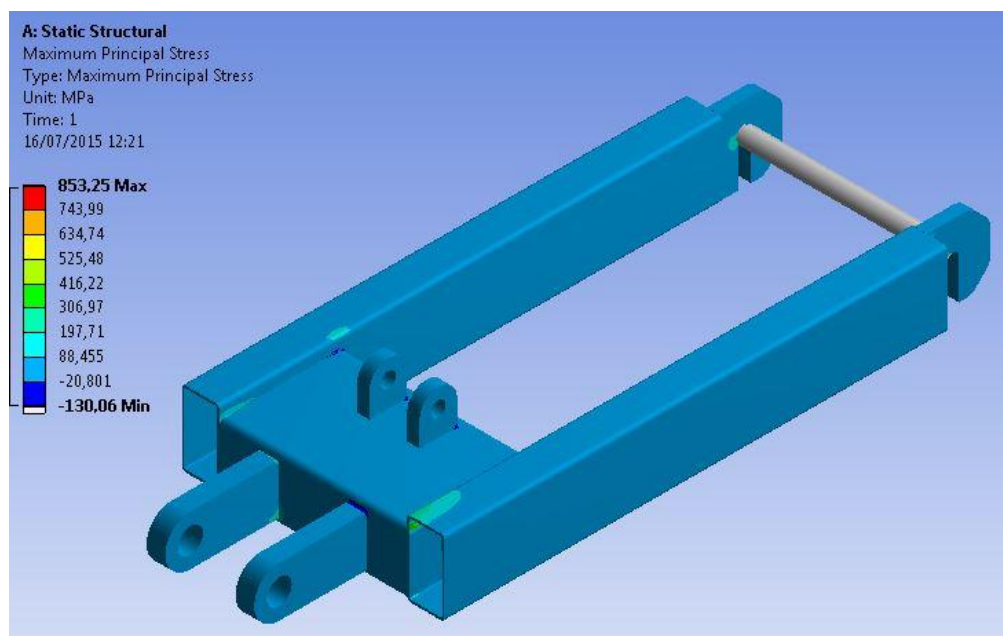


**Figura E.5** Equivalent (Von-Misses) Stress

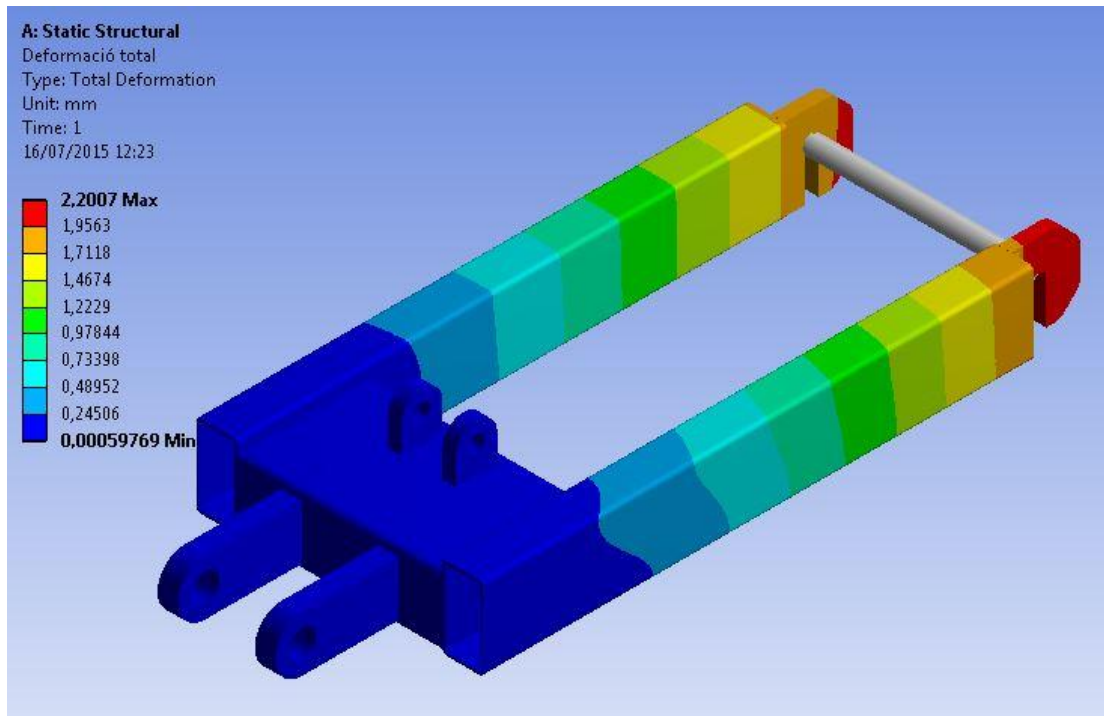
Fent referència a la *Figura E.5* es veu clarament que les tensions oscil·len entre valors de 0 a 250 MPa, els punts més sol·licitants es troben a la unió amb la soldadura. També hi ha uns petits punts de concentració de tensions amb valors de fins a 652,06 MPa, però aquests s'han de desestimar perquè no són influenciables.



**Figura E.6** Minimum principal stress pel basculant d'acer



**Figura E.7** Maximum principal stress pel basculant d'acer



**Figura E.8** Deformació total per al basculant

Tal i com queda reflectit a les figures *E.5* fins a la *E.8*, com també a les explicacions donades a l'inici d'aquest apartat, el basculant en acer és molt rígid i té una alta resistència. Els valors de deformació a tenir en compte són els que recauen sobre els braços d'acer, és a dir, els perfils tubulars, amb una deformació màxima de 1,96 mm. Altrament, els valors màxims de tensió equivalent de Von-Misses són de 250 MPa i recauen allà on aniran units mitjançant un bon cordó de soldadura. Per tant, amb un coeficient de seguretat, de  $n = 1.1$ , serà suficientment rígid i resistent pels esforços que ha de suportar, com també per la durada de vida pel que ha estat pensat.

### E.6.1 Resultats de deformació i tensions principals

Com es troba representat en l'apartat que es tracta a continuació, es presenten els resultats obtinguts a través del MEF, per a valorar les deformades i les tensions principals que són de caràcter vinculant.

|                 | Deformació total            | Equivalent Stress                    | Deformació braç       | Deformació anclatge  | Maximum principal stress       | Minimum principal stress       |
|-----------------|-----------------------------|--------------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Tipus           | Deformació total (mm)       | Equivalent (Von-Misses) Stress (MPa) | Deformació total (mm) |                      | Maximum principal stress (MPa) | Minimum principal stress (MPa) |
| Mínim           | 0                           | 0                                    | 0,05                  | 0                    | -130,1                         | -623,8                         |
| Màxim           | 2,20                        | 652,1                                | 1,91                  | 0,04                 | 853,3                          | 177,3                          |
| Mínim apareix a | Anclatge xassís dret        | Anclatge eix motor esquerre          |                       | Anclatge xassís dret | Cos acer                       | Braç esquerre                  |
| Màxim apareix a | Anclatge eix motor esquerre | Anclatge eix motor dret              |                       | Anclatge xassís dret | Anclatge eix motor dret        | Anclatge eix motor esquerre    |

**Taula E.12** Resultats de deformació i tensions principals per als perfils de carboni esquerre

### E.6.2 Reaccions dels suports

En quant a la resolució de les reaccions que intervenen a la peça que substituiria *Unió amb xassís*, s'ha obtingut els valors expressats a continuació, tot i així cap d'ells té un caràcter vinculant, és a dir, com s'ha vist amb anterioritat el material que s'ha utilitzat per aquest suporta suficient.

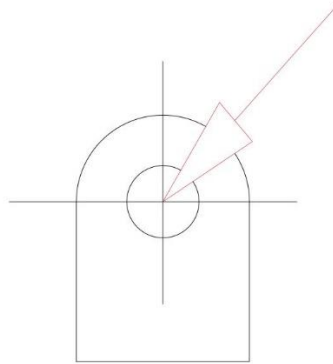
|              | Força de reacció | Força de reacció |
|--------------|------------------|------------------|
| Eix          | Suport cilíndric | Desplaçament     |
| X Axis       | -1784, N         | 0, N             |
| Y Axis       | 3970,5 N         | -5570,5 N        |
| Z Axis       | 2457,6 N         | -2597,6 N        |
| <b>Total</b> | <b>4998,7 N</b>  | <b>6146,4 N</b>  |

**Taula E.13** Resultats reaccions dels suports

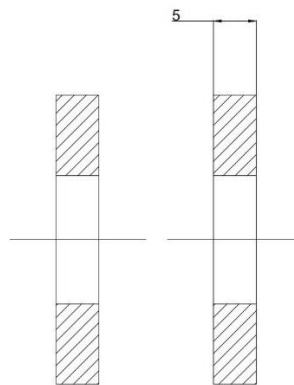
Aquests valors seran usats per a triar el pern que subjectarà l'amortidor amb el basculant.

## E.7 JUSTIFICACIÓ CÀLCUL PERN

Aquest apartat explica les consideracions que s'ha de tenir en compte per al càlcul del pern a tallant. S'utilitzen els valors de la force reaction, extrets del MEF, per a comparar què pot aguantar el pern a tallant i, per conseqüent, la resistència a l'aixafament del material al que travessa. A les *Figures E.9 i E.10* es veu la direcció de la reacció i també les dimensions i geometria del forat per al qual passa el cargol.



**Figura E.9** Reaccions al basculant que provenen de la suspensió  $R_z = -2597,6 \text{ N}$ ,  $R_y = -5570,5 \text{ N}$



**Figura E.10** Dimensions i geometria del forat, àrea d'aixafament del cargol

Fent un cop d'ull al mercat s'ha estat mirant d'usar diferents cargols, i per geometria es farà ús d'un cargol de M10 DIN 933/931 – ISO 4015.

Altrament, per al càlcul de la resistència a tallant secció del cargol, es farà ús de la fórmula escrita a continuació:

$$F_{v,Rd} = \frac{n \cdot 0.5 f_{ub} A}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq. 1})$$

On  $n$  és el número de plans de tall,  $f_{ub}$  és la resistència última de l'acer del que està fet el cargol,  $A$  és l'àrea resistent i  $\gamma_{M2}$  tindrà un valor de 1,25. Els resultats es presenten resumits en forma de taula a continuació.

| Pern | Fub (MPa) | n | $\alpha$ | A (M10) | $\gamma_{M2}$ | $F_{v,rd}$ (N) | kN    |
|------|-----------|---|----------|---------|---------------|----------------|-------|
| 6.8  | 600       | 2 | 0,5      | 58      | 1,25          | <b>27840</b>   | 27,84 |
| 8.8  | 800       | 2 | 0,5      | 58      | 1,25          | <b>37120</b>   | 37,12 |
| 10.9 | 1000      | 2 | 0,5      | 58      | 1,25          | <b>46400</b>   | 46,40 |

**Taula E.14** Valors de la resistència a tallant del cargol per a la tria d'aquest

Clarament queda clar que s'utilitzarà un pern M10 – 6.8, ja que tindrà suficient resistència a tallant per aguantar la reacció que prové de la suspensió amb un valor de 5570,5 N.

A continuació es realitzarà el càlcul de la resistència a l'aixafament de les xapes a unir, és a dir, el suport d'acer per a la unió de la suspensió amb el basculant. De la normativa es treu l'expressió:

$$F_{t,Rd} = \frac{2.5\alpha f_u d t}{\gamma_{M2}} \quad (\text{Eq. 2})$$

Els valors de  $\alpha$  és 1,  $f_u$  és la resistència última de l'acer,  $d$  és el diàmetre del forat i  $t$  el gruix. A la següent taula es presenta el resultat de la força màxima que podria suportar la xapa sense esser deformada.

| $f_u$ (Mpa) | 2,5 | $\alpha$ | d  | t | $\gamma_{M2}$ | $F_{t,rd}$ (N) | kN    |
|-------------|-----|----------|----|---|---------------|----------------|-------|
| 410         | 2,5 | 1        | 10 | 5 | 1,25          | <b>41000</b>   | 41,00 |

**Taula E.15** Valors de la resistència al aixafament de la unió.

Per al tipus d'acer que s'ha utilitzat, S275, es veu que el gruix posat per la unió és suficient per a suportar les reaccions pròpies del basculant.

## E.8 PROCÉS DE FABRICACIÓ DEL BASCULANT

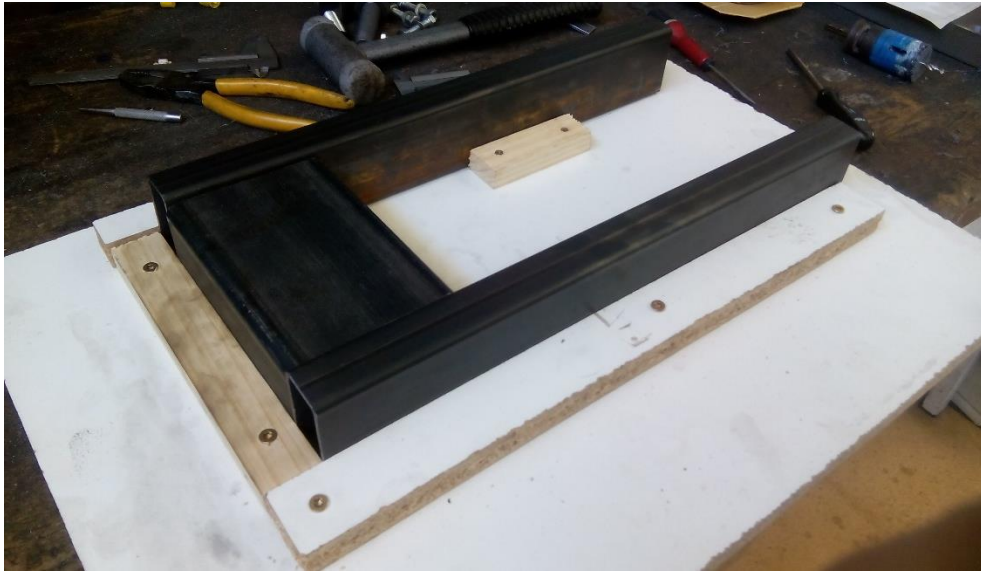
Primer de tot caldrà consultar el plànol *E.9.00 CONJUNT SENCER* per a conèixer les dimensions bàsiques per a fer l'utilatge de fusta o acer.

A continuació es passarà a tallar les fustes necessàries de les mides estipulades per a la correcta alineació dels diferents components estructurals. Un cop tallades, s'haurà de traçar les línies, amb escaire i cartabó, tal i com estan expressades en el plànol *E.9.00*. per a mirar de subjectar els talls de fusta a les distàncies pactades. Més endavant s'agafarà cargols avellanats de fusta i es procedirà a roscar-los amb els diferents talls de fusta, mirant que quedin ben subjectes a la base. Per a tenir una idea de com ha de quedar finalment es presenta la *Figura E.11*.



**Figura E.11** Utilatge a base de fusta per la correcta alineació dels components

Un cop hi ha els elements estructurals *E.9.01* i *E.9.04* tallats a mida i polits als extrems, es disposen sobre l'utilatge per a ésser soldats entre ells. Per a soldar s'utilitzarà la soldadura MIG amb material d'aportació.



**Figura E.12** Disposició dels elements estructurals abans de ser soldats

Un cop siguin soldats, caldrà deixar un temps de repòs sense extreure'ls de l'utilatge, s'ha de tenir en compte que quan es solda el material en calent exerceix unes pressions de retorn i podria quedar torçat respecte el que interessa tenir. Si pel que fos queda doblegat, caldrà utilitzar algun tipus de mecanisme per a exercir pressió entre les cares interiors dels braços i fer que torni a la posició inicial tal i com es veu a la *Figura E.13*.

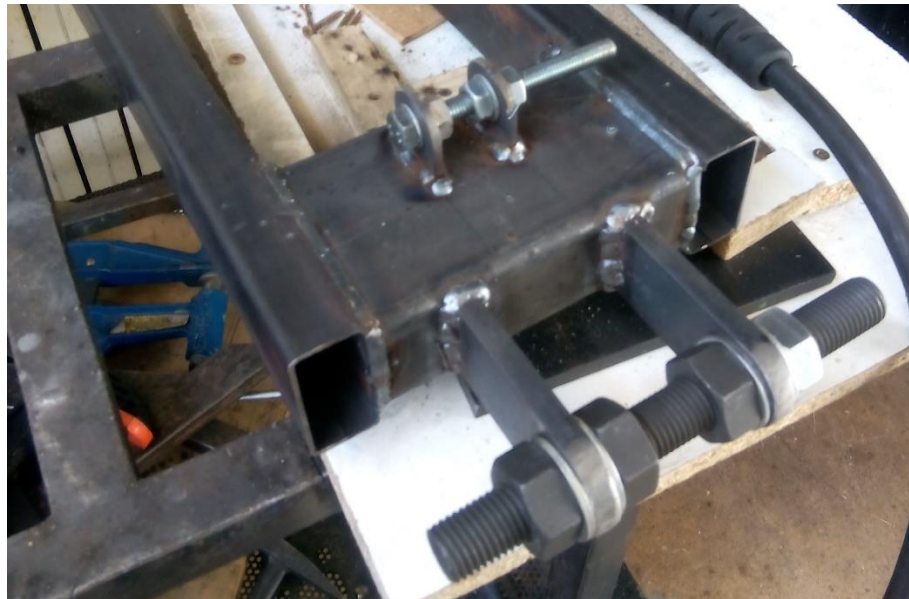


**Figura E.13** Mecanisme per vèncer les forces de pressió degudes a l'augment de temperatura

Un cop s'hagi comprovat que els braços han recuperat la mida de 150 mm entre cares interiors, ja es podrà deixar d'utilitzar el mecanisme.

Al mateix temps, es pot començar a produir les peces que estan representades als plànols E.9.02 i E.9.03, dues unitats de cadascuna.

A continuació es mira de fer un altre utillatge que compleixi amb les mides necessàries per a les urelles d'acer que faran d'unió entre el xassís i també amb la suspensió, tal i com representa la *Figura E.14*. Aquest ajudarà a mantenir els paral·lelismes i les distàncies que hi ha al plànol E.9.00.



**Figura E.14** utillatges per a mantenir els paral·lelismes entre les diferents urelles soldades

Altre cop caldrà deixar reposar el muntatge per a poder seguir treballant amb ell, com també pel problema de la dilatació tèrmica que pateix en ser soldat.

A continuació quan estigui fred es podrà extreure l'utilatge i repassar les soldadures amb la mola de polir.

També es podrà posar el basculant a la fresadora manual per ajustar que les cares dels braços estiguin en un pla coincident, és a dir, es procedirà a fer un refrentat. Aquest últim pas es pot veure ben representat a la *Figura E.15*.



**Figura E.15** Refrentat per a fer coincidir les cares a un mateix pla

Mitjançant aquest sistema, s'ha pogut utilitzar com a mètode d'alineació dels anclatges dret i esquerre corresponents als plànols *E.9.05* i *E.9.06*.

Al mateix temps que s'ha anat desenvolupant tota aquesta part del basculant, també s'ha anat produint els anclatges representats als plànols *E.9.05* i *E.9.06*. Per aquests s'ha creat un programa en CAM i s'han mecanitzat amb la fresadora de 3 eixos de CNC.



**Figura E.16** Mecanitzat dels anclatges mitjançant la fresadora CNC de 3 eixos

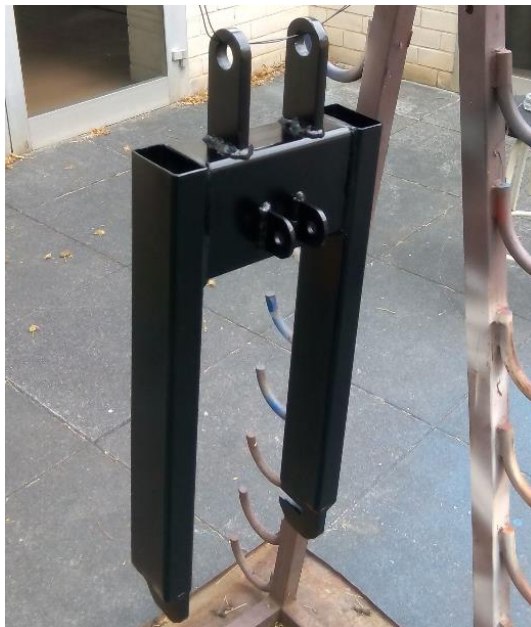
Un cop acabats s'ha utilitzat la mola per a matar els cantells vius i després s'ha creat un utilatge per a alinear-los amb la resta de conjunt del basculant.



**Figura E.17** Estat de repòs dels anclatges ja soldats al basculant mitjançant un utillatge

Un cop passat el temps de repòs, degut a la temperatura que agafa en ser soldat, s'extreu l'utilatge i es passa a polir el muntatge final del basculant. Això servirà per a eliminar les imperfeccions en la soldadura i també per a deixar un millor acabat superficial.

Com a punt final, cal esmentar que el basculant s'ha de netejar mitjançant dissolvent i, a continuació, aplicar dues capes de pintura negra per estructures metàl·liques esperant un temps de 10 minuts entre capa i capa.



**Figura E.18** Basculant acabat de pintar

Aquest ha estat tot el procés a desenvolupar per a arribar a obtenir el basculant que l'equip del Smart Moto Challenge ha fet servir durant la competició que va tenir lloc els dies 9, 10, 11 i 12 de juliol.

## **E.9 PLÀNOLS**

### **Llista de plànols**

E.9.00 CONJUNT SENCER

E.9.01 BRAÇ D'ACER

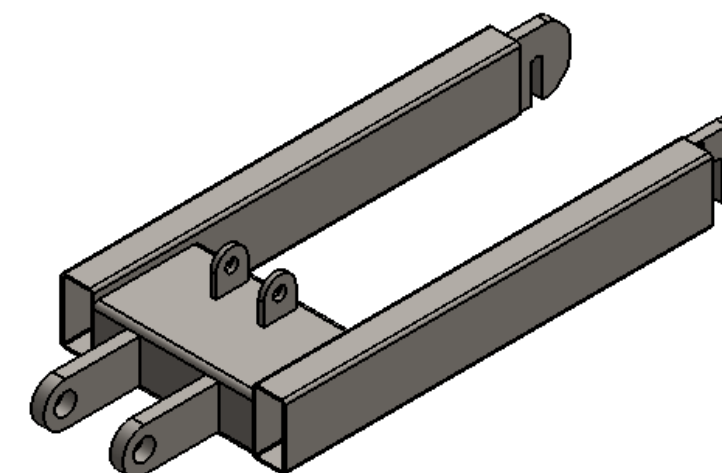
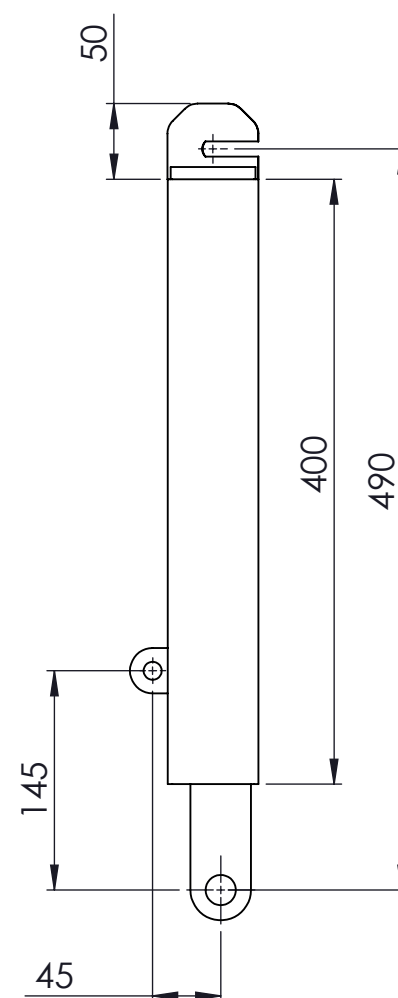
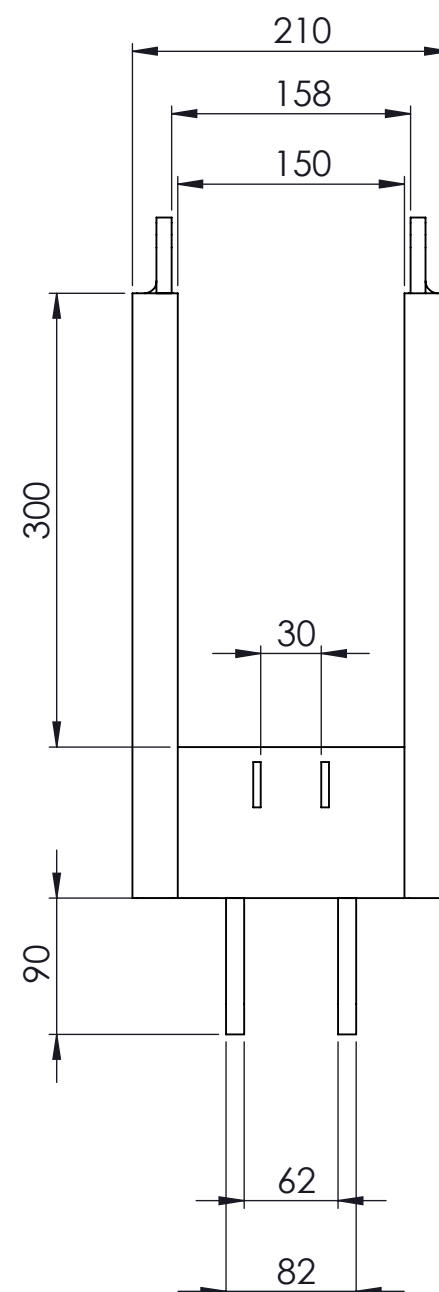
E.9.02 ANCLATGE SUSPENSÍO

E.9.03 ANCLATGE AMB XASSÍS

E.9.04 COS D'ACER

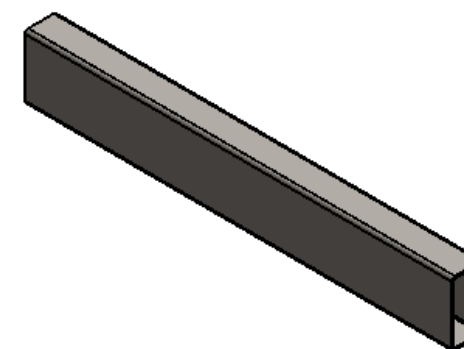
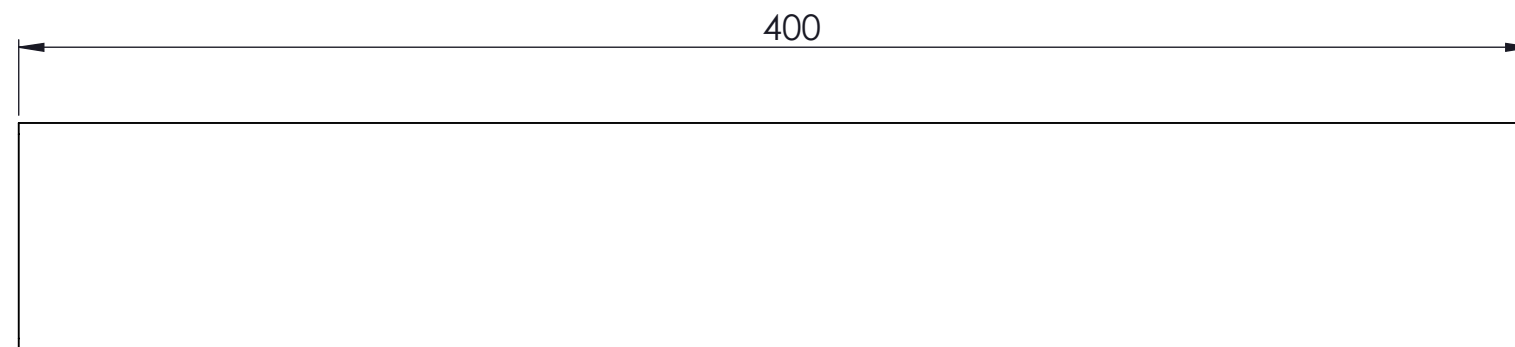
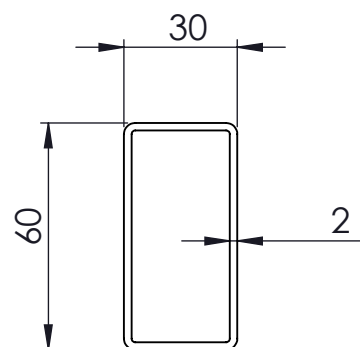
E.9.05 ANCLATGE EIX ESQUERRE

E.9.06 ANCLATGE EIX DRET



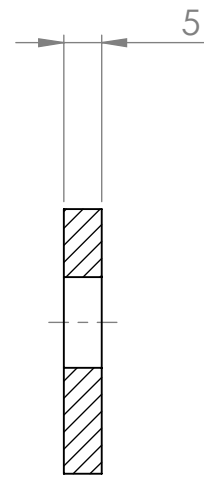
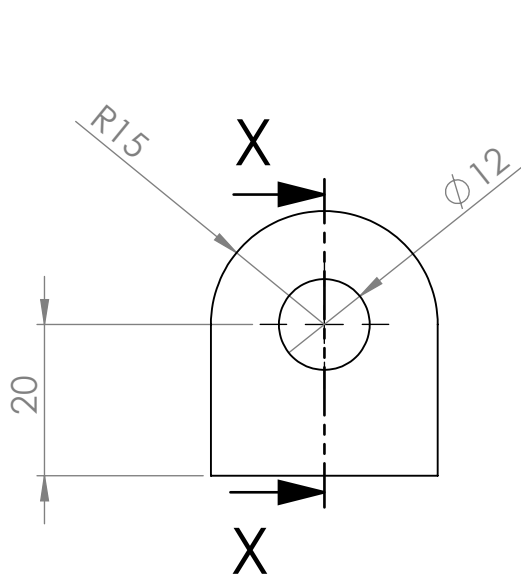
Matar cantells vius  
Material Acer S275  
Cotes de caràcter vinculant per a realitzar utilitatges

|           |                |                 |            |                                                                                       |                                            |
|-----------|----------------|-----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|           | Data           | Nom             | Cognom     |  | Nº plànol:                                 |
| Dibuixat  |                | Francesc        | Avellaneda |                                                                                       | E.9.00                                     |
| Comprov.  |                | Xavier Espinach |            |                                                                                       |                                            |
| id.s.norm |                | ISO-UNE         |            |                                                                                       |                                            |
| Escala    | CONJUNT SENCER |                 |            |                                                                                       | Disseny d'un basculant en fibra de carboni |
| 1:5       |                |                 |            |                                                                                       | Treball de final de grau                   |

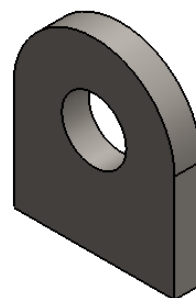


*Perfil tubular d'acer S275 amb dimensions 60x30x2*  
*Matar cantells vius*

|           |             |                 |            |                                                                                       |                                               |
|-----------|-------------|-----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|           | Data        | Nom             | Cognom     |  | Nº plànol:                                    |
| Dibuixat  |             | Francesc        | Avellaneda |                                                                                       | E.9.01                                        |
| Comprov.  |             | Xavier Espinach |            |                                                                                       |                                               |
| id.s.norm |             | ISO-UNE         |            |                                                                                       |                                               |
| Escala    | BRAÇ D'ACER |                 |            |                                                                                       | Disseny d'un basculant<br>en fibra de carboni |
| 1:2       |             |                 |            |                                                                                       | Treball de final de grau                      |

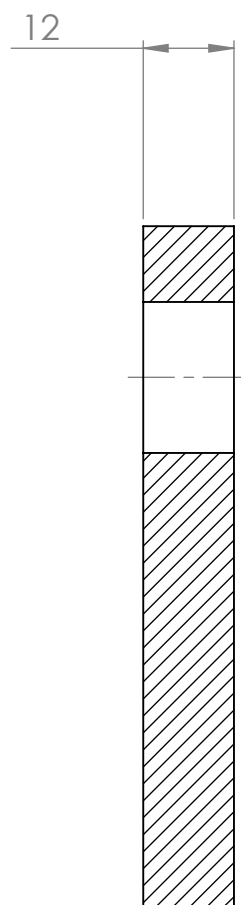
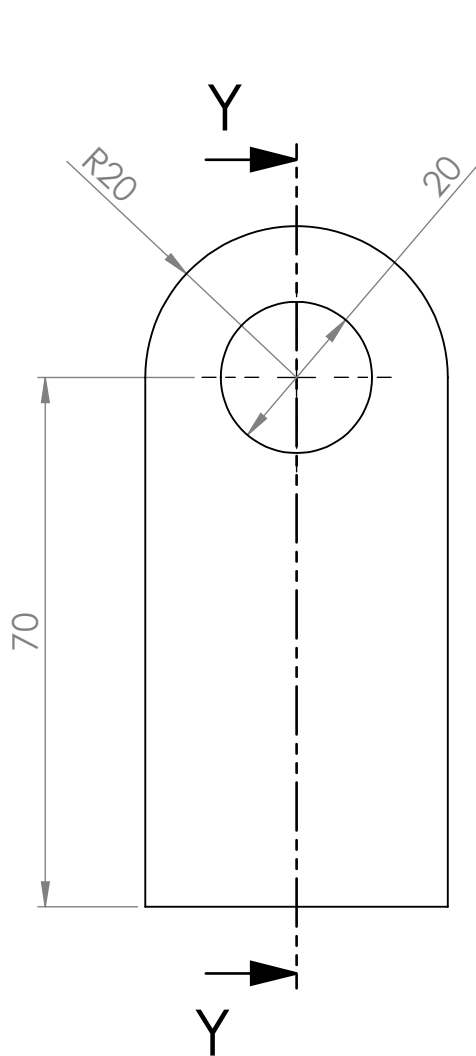


SECCIÓ X-X

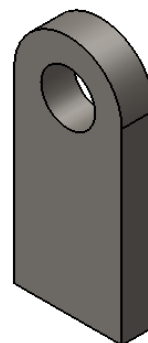


*Matar cantells vius*  
*Material Acer S275*  
*Fabricar 2 unitats*

|                      |                           |          |            |             |                                                                                                                                     |
|----------------------|---------------------------|----------|------------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nº Plànol<br>E.9.02  | <i>Dibuixat</i>           | Francesc | Avellaneda | <i>Data</i> | <br><small>Escola Politècnica Superior</small> |
|                      | <i>Comprovat</i>          | Xavier   | Espinach   |             |                                                                                                                                     |
| Escala<br><b>1:1</b> | <b>ANCLATGE SUSPENSÍO</b> |          |            |             | <i>Disseny d'un basculant en fibra de carboni</i>                                                                                   |

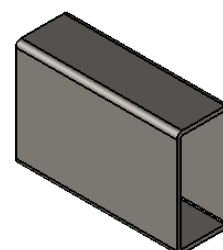
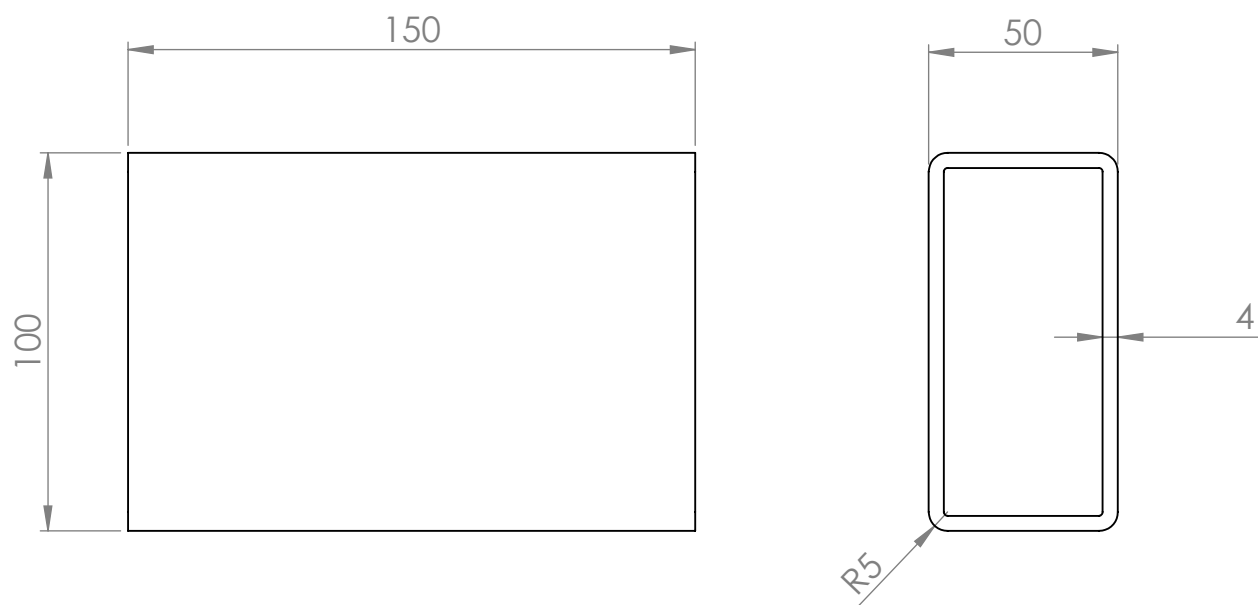


SECCIÓ Y-Y



*Matar cantells vius*  
*Material Acer S275*  
*Fabricar 2 unitats*

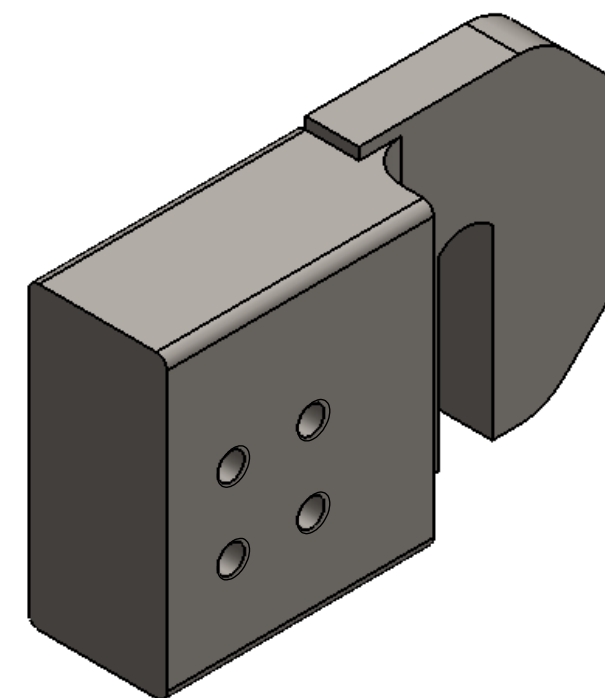
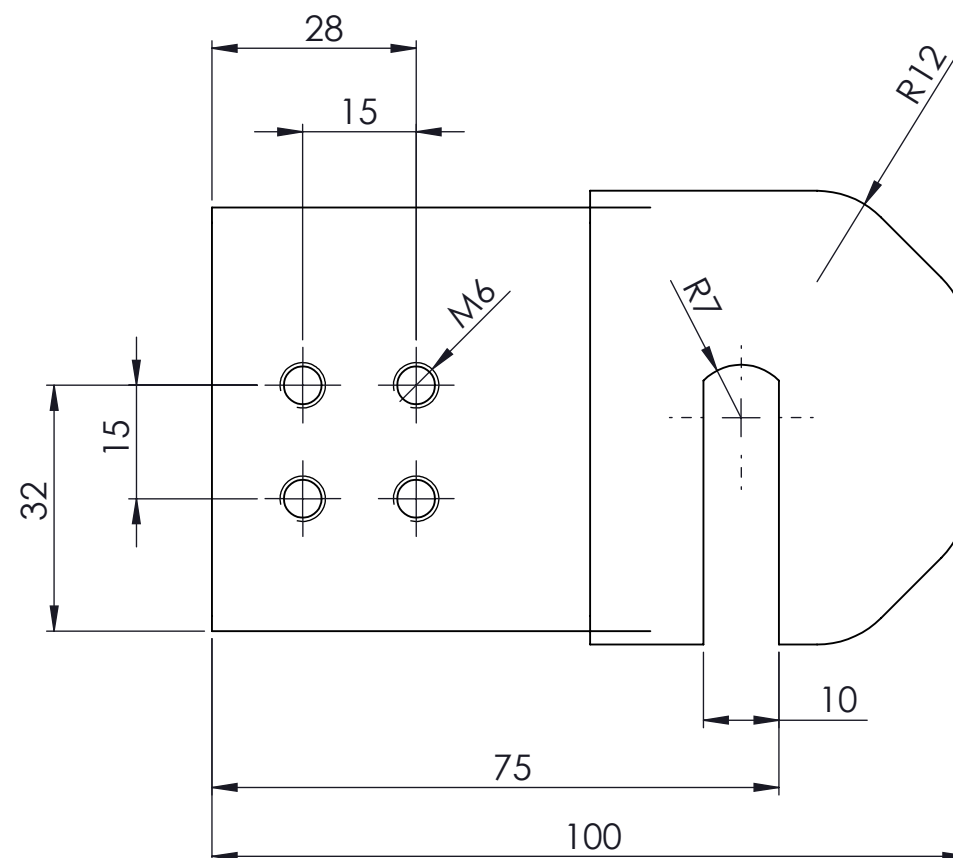
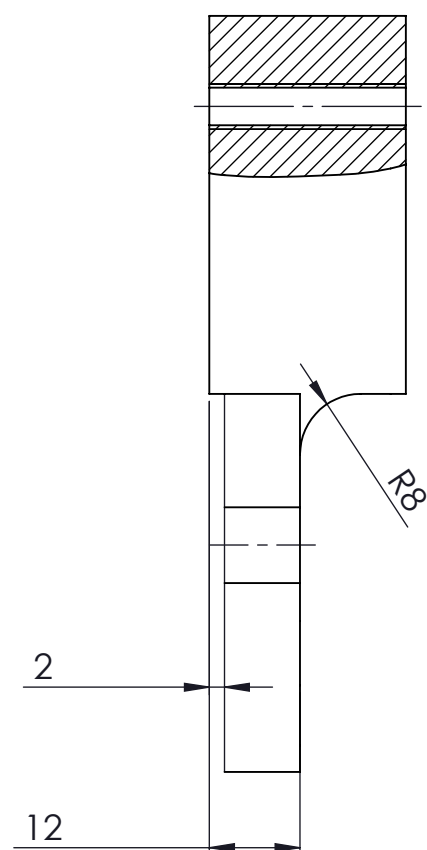
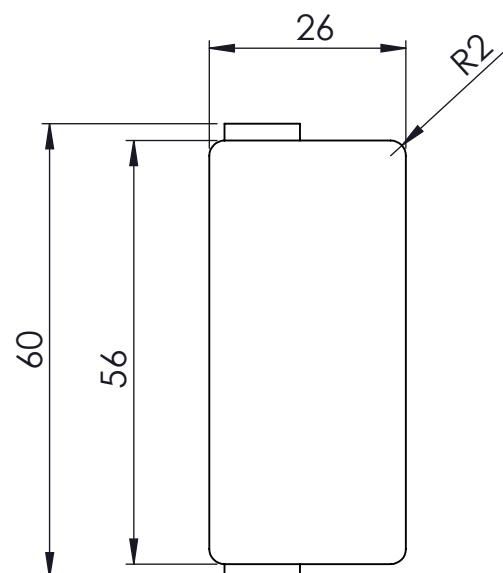
|           |                     |                  |                 |                   |             |                                                                                       |
|-----------|---------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Nº Plànol |                     | <i>Dibuixat</i>  | <i>Francesc</i> | <i>Avellaneda</i> | <i>Data</i> |  |
| E.9.03    |                     | <i>Comprovat</i> | <i>Xavier</i>   | <i>Espinach</i>   |             |                                                                                       |
| Escala    | ANCLATGE AMB XASSÍS |                  |                 |                   |             | Disseny d'un basculant en fibra de carboni                                            |
| 1:1       |                     |                  |                 |                   |             |                                                                                       |



*Matar cantells vius*  
*Perfil tubular d'acer S275 amb dimensions 100x50x4*

|           |            |                         |                 |                   |                    |                                                                                       |
|-----------|------------|-------------------------|-----------------|-------------------|--------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Nº Plànol |            | <i><b>Dibuixat</b></i>  | <i>Francesc</i> | <i>Avellaneda</i> | <i><b>Data</b></i> |  |
| E.9.04    |            | <i><b>Comprovat</b></i> | <i>Xavier</i>   | <i>Espinach</i>   |                    |                                                                                       |
| Escala    | COS D'ACER |                         |                 |                   |                    | <i>Disseny d'un basculant en fibra de carboni</i>                                     |
| 1:2       |            |                         |                 |                   |                    |                                                                                       |

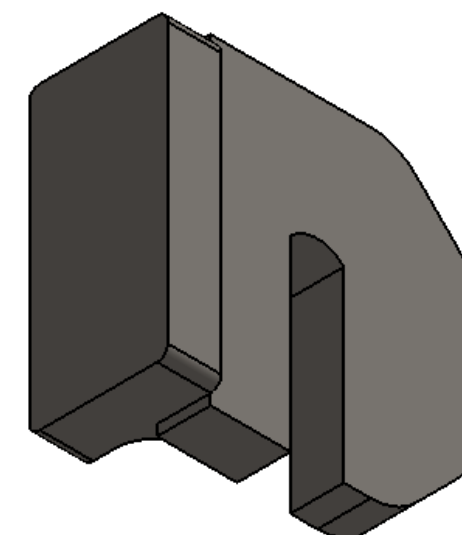
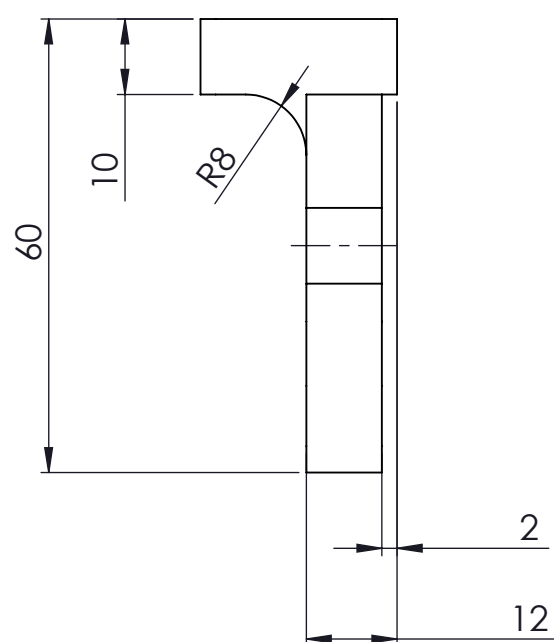
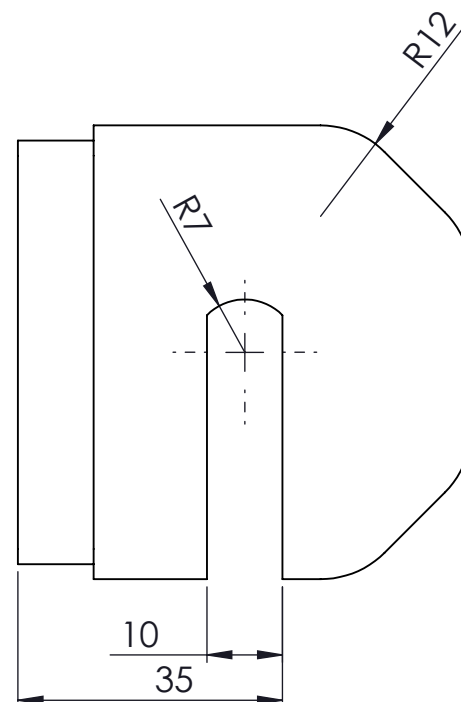
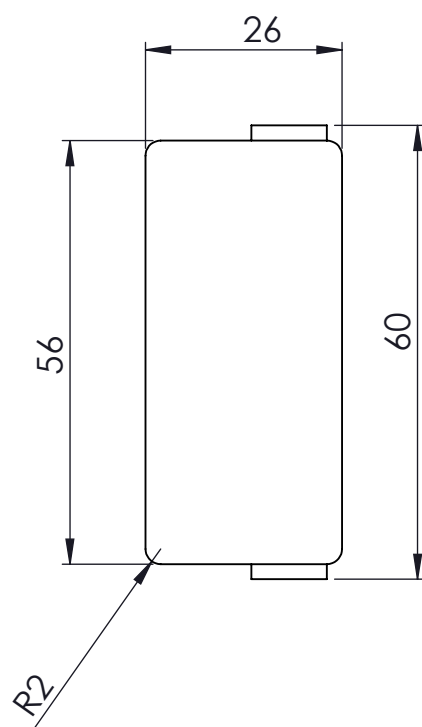
N7



Matar cantells vius  
Material Acer S275

|           |                       |                 |            |                                                                                       |                                            |
|-----------|-----------------------|-----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
|           | Data                  | Nom             | Cognom     |  | Nº plànol:                                 |
| Dibuixat  |                       | Francesc        | Avellaneda |                                                                                       | E.9.05                                     |
| Comprov.  |                       | Xavier Espinach |            |                                                                                       |                                            |
| id.s.norm |                       | ISO-UNE         |            |                                                                                       |                                            |
| Escala    | ANCLATGE EIX ESQUERRE |                 |            |                                                                                       | Disseny d'un basculant en fibra de carboni |
| 1:1       |                       |                 |            |                                                                                       | Treball de final de grau                   |

N7



Matar cantells vius  
Material Acer S275

|           |                   |                 |            |                                                                                       |                                               |
|-----------|-------------------|-----------------|------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|           | Data              | Nom             | Cognom     |  | Nº plànol:                                    |
| Dibuixat  |                   | Francesc        | Avellaneda |                                                                                       | E.9.06                                        |
| Comprov.  |                   | Xavier Espinach |            |                                                                                       |                                               |
| id.s.norm |                   | ISO-UNE         |            |                                                                                       |                                               |
| Escala    | ANCLATGE EIX DRET |                 |            |                                                                                       | Disseny d'un basculant<br>en fibra de carboni |
| 1:1       |                   |                 |            |                                                                                       | Treball de final de grau                      |

## E.10 PRESSUPOST BASCULANT ACER

### E.10.1 Introducció

A continuació es mostra pressupost referent a la fabricació del basculant en acer pel Smart Moto Challenge.

Defineix tan els materials com el procés de fabricació i el muntatge.

El pressupost es divideix en dues partides de materials i una part final a l'acabat de l'estructura.

- El preu del pressupost és variable. Hi han costos fixes, com el material de construcció i d'altres que poden variar segons el procés d'execució del projecte, imprevistos...
- No ha estat necessari l'ús d'equipament extra que augmentés el cost del pressupost.
- El IVA% està inclòs dins el pressupost.

A continuació s'inclou una taula de preus unitaris amb els imports que es basaran els pressupostos realitzats en aquests documents.

| QUADRE DE PREUS UNITARIS       |            |
|--------------------------------|------------|
| Descripció                     | Preu (€/h) |
| Hores fresadora                | 35         |
| Hores polidora                 | 25         |
| Hores mecanització rosques     | 25         |
| Hores foradar                  | 30         |
| Hores pintor                   | 45         |
| Hores oficial muntatge bancada | 20         |
| Hores oficial soldador         | 50         |
| Hores tallar                   | 20         |

**E.10.2 Pressupostos parcials****E.10.2.1 Cos d'acer**

| <b>1. Cos d'acer</b> |      |                 |    |                          |             |           |         |
|----------------------|------|-----------------|----|--------------------------|-------------|-----------|---------|
| Plànol               | NUM. | CODI            | UA | DESCRIPCIÓ               | PREU (€/kg) | AMIDAMENT | IMPORT  |
| E.9.04               | 1    | <b>FP087972</b> | kg | Tub d'acer S275 100x50x4 | 3,25        | 1,772     | 5,76 €  |
|                      |      |                 |    | Operacions a realitzar   | (€/h)       |           |         |
|                      | 2    | <b>NOVA001</b>  | h  | Hores tallar             | 20          | 0,2       | 4,00 €  |
|                      | 3    | <b>NOVA002</b>  | h  | Hores polidora           | 25          | 0,2       | 5,00 €  |
|                      |      |                 |    |                          |             | TOTAL     | 14,76 € |

**E.10.2.2 Braç d'acer**

| <b>2. Braç d'acer</b> |      |                 |    |                         |             |           |         |
|-----------------------|------|-----------------|----|-------------------------|-------------|-----------|---------|
| Plànol                | NUM. | CODI            | UA | DESCRIPCIÓ              | PREU (€/kg) | AMIDAMENT | IMPORT  |
| E.9.01                | 4    | <b>FP074750</b> | kg | Tub d'acer S275 60x30x2 | 1,46        | 0,003     | 0,004 € |
|                       |      |                 |    | Operacions a realitzar  | (€/h)       |           |         |
|                       | 5    | <b>NOVA001</b>  | h  | Hores tallar            | 20          | 0,4       | 8,00 €  |
|                       | 6    | <b>NOVA002</b>  | h  | Hores polidora          | 25          | 0,2       | 5,00 €  |
|                       |      |                 |    |                         |             | TOTAL     | 13,00 € |

**E.10.2.3 Mecanitzat anclatge dret**

| <b>3. Mecanitzat anclatge dret</b> |      |                |    |                                                 |             |           |          |
|------------------------------------|------|----------------|----|-------------------------------------------------|-------------|-----------|----------|
| Plànol                             | NUM. | CODI           | UA | DESCRIPCIÓ                                      | PREU (€/kg) | AMIDAMENT | IMPORT   |
| E.9.06                             | 7    | <b>FP55316</b> | kg | Perfil comercial d'acer S275 amb gruix de 30 mm | 0,05        | 1,404     | 0,07 €   |
|                                    |      |                |    | Operacions a realitzar                          | (€/h)       |           |          |
|                                    | 8    | <b>NOVA003</b> | h  | Hores fresadora                                 | 35          | 5         | 175,00 € |
|                                    | 9    | <b>NOVA002</b> | h  | Hores polidora                                  | 25          | 0,25      | 6,25 €   |
|                                    |      |                |    |                                                 |             | TOTAL     | 181,32 € |

**E.10.2.4 Mecanitzat anclatge esquerre**

| <b>4. Mecanitzat anclatge esquerre</b> |      |                |                        |                                                 |             |           |          |
|----------------------------------------|------|----------------|------------------------|-------------------------------------------------|-------------|-----------|----------|
| Plànol                                 | NUM. | CODI           | UA                     | DESCRIPCIÓ                                      | PREU (€/kg) | AMIDAMENT | IMPORT   |
| E.9.05                                 | 10   | <b>FP55316</b> | kg                     | Perfil comercial d'acer S275 amb gruix de 30 mm | 0,05        | 1,404     | 0,07 €   |
|                                        |      |                | Operacions a realitzar |                                                 | (€/h)       |           |          |
|                                        | 11   | <b>NOVA003</b> | h                      | Hores fresadora                                 | 35          | 5         | 175,00 € |
|                                        | 12   | <b>NOVA002</b> | h                      | Hores polidora                                  | 25          | 0,25      | 6,25 €   |
|                                        | 13   | <b>NOVA004</b> | h                      | Hores mecanització forats                       | 25          | 0,25      | 6,25 €   |
|                                        |      |                |                        |                                                 |             | TOTAL     | 187,57 € |

**E.10.2.5 Mecanitzat anclatge suspensió**

| <b>5. Mecanitzat anclatge suspensió</b> |      |                |                        |                                           |             |           |         |
|-----------------------------------------|------|----------------|------------------------|-------------------------------------------|-------------|-----------|---------|
| Plànol                                  | NUM. | CODI           | UA                     | DESCRIPCIÓ                                | PREU (€/kg) | AMIDAMENT | IMPORT  |
| E.9.02                                  | 14   | <b>FP55237</b> | kg                     | Perfil comercial d'acer amb gruix de 5 mm | 1,5         | 0,137     | 0,21 €  |
|                                         |      |                | Operacions a realitzar |                                           | (€/h)       |           |         |
|                                         | 15   | <b>NOVA001</b> | h                      | Hores tallar                              | 20          | 0,1       | 2,00 €  |
|                                         | 16   | <b>NOVA005</b> | h                      | Hores foradar                             | 30          | 0,4       | 12,00 € |
|                                         | 17   | <b>NOVA002</b> | h                      | Hores polidora                            | 25          | 0,5       | 12,50 € |
|                                         |      |                |                        |                                           |             | TOTAL     | 26,71 € |

**E.10.2.6 Mecanitzat anclatge amb xassís**

| <b>6. Mecanitzat anclatge amb xassís</b> |      |                |                        |                                            |             |           |         |
|------------------------------------------|------|----------------|------------------------|--------------------------------------------|-------------|-----------|---------|
| Plànol                                   | NUM. | CODI           | UA                     | DESCRIPCIÓ                                 | PREU (€/kg) | AMIDAMENT | IMPORT  |
| E.9.03                                   | 18   | <b>FP55245</b> | kg                     | Perfil comercial d'acer amb gruix de 12 mm | 3,62        | 0,75      | 2,72 €  |
|                                          |      |                | Operacions a realitzar |                                            | (€/h)       |           |         |
|                                          | 19   | <b>NOVA001</b> | h                      | Hores tallar                               | 20          | 0,2       | 4,00 €  |
|                                          | 20   | <b>NOVA005</b> | h                      | Hores foradar                              | 30          | 0,75      | 22,50 € |
|                                          | 21   | <b>NOVA002</b> | h                      | Hores polidora                             | 25          | 0,5       | 12,50 € |
|                                          |      |                |                        |                                            |             | TOTAL     | 41,72 € |

**E.10.2.7 Muntatge basculant en acer**

| <b>7. Muntatge basculant en acer</b> |      |                |    |                        |            |           |          |
|--------------------------------------|------|----------------|----|------------------------|------------|-----------|----------|
| Plànol                               | NUM. | CODI           | UA | Operacions a realitzar | PREU (€/h) | AMIDAMENT | IMPORT   |
| E.9.00                               | 22   | <b>NOVA006</b> | h  | Hores soldador         | 50         | 4         | 200,00 € |
|                                      | 23   | <b>NOVA007</b> | h  | Hores muntador bancada | 20         | 2         | 40,00 €  |
|                                      | 24   | <b>NOVA002</b> | h  | Hores polidora         | 25         | 0,75      | 18,75 €  |
|                                      | 25   | <b>NOVA008</b> | h  | Hores pintor           | 45         | 1         | 45,00 €  |
|                                      |      |                |    |                        |            | TOTAL     | 311,50 € |

**E.10.2.8 Resum pressupostos parcials**

| <b>TAULA RESUM PRESSUPOSTOS PARCIAIS</b> |                 |
|------------------------------------------|-----------------|
| <b>Descripció</b>                        | <b>Import</b>   |
| 1. Cos d'acer                            | 14,76 €         |
| 2. Braç d'acer                           | 13,00 €         |
| 3. Mecanitzat anclatge dret              | 181,32 €        |
| 4. Mecanitzat anclatge esquerre          | 187,57 €        |
| 5. Mecanitzat anclatge suspensió         | 26,71 €         |
| 6. Mecanitzat anclatge amb xassís        | 41,72 €         |
| 7. Muntatge basculant en acer            | 311,50 €        |
| <b>TOTAL</b>                             | <b>776,57 €</b> |

**E.10.3 Pressupost general**

| <b>PRESSUPOST GENERAL</b>           |                   |
|-------------------------------------|-------------------|
| <b>Descripció</b>                   | <b>Import</b>     |
| Pressupost execució material        | 776,57 €          |
| Despeses generals 13%               | 100,95 €          |
| Benefici Industrial 6%              | 46,59 €           |
|                                     |                   |
| Pressupost d'execució per contracte | 924,12 €          |
| IVA 21%                             | 194,07 €          |
|                                     |                   |
| <b>Pressupost final</b>             | <b>1.118,19 €</b> |

En el cas de fabricar una sola unitat de producte, el cost total del basculant en acer, serà de:

MIL CENT DIVUIT AMB DINOÜ CÈNTIMS.....**1.118,19 €**

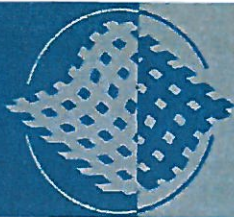
## **ANNEX F. CATÀLEGS DE MATERIALS**

## **LLISTA DE CATÀLEGS**

**F.1 Catàleg prepreg**

**F.2 Catàleg adhesiu estructural bicomponent**

**F.3 Catàleg aleació alumini 2017**



## HexPly® F593

Resin Systems for Advanced Composites

### *Product Data*

#### **Description**

---

HexPly® F593 is a modified 350°F (177°C) curing epoxy system with very low flow for carbon fabric and tape applications that provides excellent laminate and honeycomb sandwich properties. As a low flow resin, HexPly® F593 lends itself to net resin, zero bleed applications. HexPly® F593's low flow minimizes sandwich part porosity.

#### **Features**

---

##### Uncured

- Good Tack and Drape for Layup and Assembly
- Elevated Viscosity During Cure
- Simple Cure Cycle for Autoclave and Press
- Available on Various Fiber and Weave Combinations

##### Cured

- Excellent  $K_{1c}$  and  $G_{1c}$
- Good Environment and Impact Resistance
- Good Sandwich Panel and Laminate Properties

©Copyright Hexcel Corporation

® HexPly, Hexcel and the Hexcel logos are registered trademarks of Hexcel Corporation, Stamford, Connecticut





## HexPly® F593 Product Data

### Availability

| Form           | Hexcel Designation | Fiber            | Fiber Areal Wt. g/m <sup>2</sup> | Weave           | Count Warp x Fill | Available Widths<br>Standard Width, in (cm) |
|----------------|--------------------|------------------|----------------------------------|-----------------|-------------------|---------------------------------------------|
| Carbon Fabrics | W3T282-42"-F593    | Toray T-300/3k   | 193                              | Plain           | 12.5 x 12.5       | 42", 60"<br>(106.7, 152.4)                  |
|                | W3G282-42"-F593    | Amoco T-300/3k   | 193                              | Plain           | 12.5 x 12.5       | 42", 60"<br>(106.7, 152.4)                  |
|                | W3C282-42"-F593    | Toho G-30/500/3k | 193                              | Plain           | 12.5 x 12.5       | 42", 60"<br>(106.7, 152.4)                  |
|                | F3T584-42"-F593    | Toray T-300/3k   | 370                              | 8 Harness Satin | 24 x 24           | 42", 60"<br>(106.7, 152.4)                  |
|                | F3G584-42"-F593    | Amoco T-300/3k   | 370                              | 8 Harness Satin | 24 x 24           | 42", 60"<br>(106.7, 152.4)                  |
|                | F3C584-42"-F593    | Toho G-30/500/3k | 370                              | 8 Harness Satin | 24 x 24           | 42", 60"<br>(106.7, 152.4)                  |
| Carbon Tapes   | T2TXXX-12"-F593    | Toray T-300/12k  | 095, 145, 190                    | n/a             | n/a               | 12", 3"-24"<br>(30.5, 7.6-61)               |
|                | T2GXXX-12"-F593    | Amoco T-300/12k  | 095, 145, 190                    | n/a             | n/a               | 12", 3"-24"<br>(30.5, 7.6-61)               |

Note: HexPly® F593 carbon tapes and fabrics may be produced with various carbon fiber types and tow sizes. In designating tapes and fabrics, the second digit represents the tow size and the third digit represents the fiber type. Consult your nearest Hexcel Representative for additional information.

### Physical Properties

|          | Property                                     | Carbon Fabrics                 |                               | Carbon Tapes                    |                                |                                |
|----------|----------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| Prepreg  | Material description                         | W3T282                         | F3T584                        | 95 g/m <sup>2</sup>             | 145 g/m <sup>2</sup>           | 190 g/m <sup>2</sup>           |
|          | % Resin content (dry)                        | 38–46                          | 38–46                         | 36–40                           | 36–40                          | 36–40                          |
|          | % Volatiles at 350°F (177°C)                 | 1–6                            | 1–6                           | 1–4                             | 1–4                            | 1–4                            |
|          | % Flow at 350°F (177°C)<br>100 psi (689 kPa) | 4.5 Max.                       | 4.5 Max.                      | 13–25                           | 13–25                          | 13–25                          |
| Laminate | Cured thickness per ply – in (cm)            | 0.0081–0.0096<br>(0.021–0.024) | 0.0155–0.018<br>(0.039–0.046) | 0.0038–0.0042<br>(0.0097–0.011) | 0.0059–0.0063<br>(0.015–0.016) | 0.0077–0.0083<br>(0.020–0.021) |
|          | % Fiber volume                               | 45–53                          | 45–53                         | 50–55                           | 50–55                          | 50–55                          |

## Resin Systems for Advanced Composites

### Mechanical Properties

| Property                                     | Temp<br>°F (°C) | Condition | Carbon Fabrics |            | Carbon Tapes |              |
|----------------------------------------------|-----------------|-----------|----------------|------------|--------------|--------------|
|                                              |                 |           | W3G282         | F3T584     | T2G145       | T2G190       |
| Tensile strength, ksi (MPa)                  | -65 (-54)       | Dry       | 70.4 (485)     | 73.7 (508) | 220.0 (1517) | 184.0 (1269) |
| Tensile modulus, msi (GPa)                   | -65 (-54)       | Dry       | 8.0 (55.2)     | 8.4 (57.9) | 18.3 (126.2) | 17.9 (123.4) |
| Tensile strength, ksi (MPa)                  | 75 (24)         | Dry       | 92.4 (637)     | 81.7 (563) | 251.0 (1731) | 193.0 (1331) |
| Tensile modulus, msi (GPa)                   | 75 (24)         | Dry       | 8.2 (56.5)     | 8.1 (55.9) | 17.3 (119.3) | 17.4 (120.0) |
| Tensile strength, ksi (MPa)                  | 160 (71)        | Dry       | 67.0 (462)     | 84.3 (581) | —            | 207.0 (1427) |
| Tensile modulus, msi (GPa)                   | 160 (71)        | Dry       | 7.5 (51.7)     | 7.8 (53.8) | —            | 17.6 (121.4) |
| Tensile strength, ksi (MPa)                  | 160 (71)        | Wet       | 60.8 (419)     | 74.4 (513) | —            | —            |
| Tensile modulus, msi (GPa)                   | 160 (71)        | Wet       | 7.2 (49.6)     | 7.6 (52.4) | —            | —            |
| Tensile strength, ksi (MPa)                  | 200 (93)        | Dry       | 60.9 (420)     | —          | 257.0 (1772) | 254.0 (1751) |
| Tensile modulus, msi (GPa)                   | 200 (93)        | Dry       | 7.8 (53.8)     | —          | 18.8 (129.6) | 18.3 (126.2) |
| Compression strength, ksi (MPa)              | -75 (-59)       | Dry       | 108.0 (745)    | 92.9 (641) | 250.0 (1724) | 259.0 (1786) |
| Compression modulus, msi (GPa)               | -75 (-59)       | Dry       | 7.3 (50.3)     | 8.4 (57.9) | 16.6 (114.5) | 15.7 (108.3) |
| Compression strength, ksi (MPa)              | 75 (24)         | Dry       | 91.0 (627)     | 74.9 (516) | 244.0 (1682) | 240.0 (1655) |
| Compression modulus, msi (GPa)               | 75 (24)         | Dry       | 7.4 (51.0)     | 7.5 (51.7) | 16.0 (110.3) | 16.6 (114.5) |
| Compression strength, ksi (MPa)              | 160 (71)        | Dry       | 77.7 (536)     | 57.7 (398) | 223.0 (1538) | 223.0 (1538) |
| Compression modulus, msi (GPa)               | 160 (71)        | Dry       | 7.0 (48.3)     | 6.8 (46.9) | 16.9 (116.5) | 16.7 (115.1) |
| Compression strength, ksi (MPa)              | 160 (71)        | Wet       | 59.5 (410)     | 51.8 (357) | 181.0 (1248) | 179.0 (1234) |
| Compression modulus, msi (GPa)               | 160 (71)        | Wet       | 6.5 (44.8)     | —          | —            | —            |
| Compression strength, ksi (MPa)              | 200 (93)        | Dry       | 68.0 (469)     | —          | 199.0 (1372) | 211.0 (1455) |
| Compression modulus, msi (GPa)               | 200 (93)        | Dry       | 6.8 (46.9)     | —          | 16.6 (114.5) | 16.5 (113.8) |
| Compression after impact strength, ksi (MPa) | 75 (24)         | Dry       | —              | —          | —            | 26.6 (183)   |
| Sandwich flatwise tension, psi (kPa)         | -75 (-59)       | Dry       | 679 (4682)     | —          | —            | —            |
|                                              | 75 (24)         | Dry       | 697 (4806)     | —          | 767 (5288)   | 753 (5192)   |
|                                              | 200 (93)        | Dry       | 565 (3896)     | —          | —            | 489 (3372)   |
|                                              | 200 (93)        | Wet       | 430 (2965)     | —          | —            | —            |
| Sandwich long beam bending, lb (kg)          | -75 (-59)       | Dry       | 410 (186)      | —          | 395 (180)    | 381 (173)    |
|                                              | 75 (24)         | Dry       | 322 (146)      | —          | 349 (159)    | 358 (163)    |
|                                              | 200 (93)        | Dry       | 236 (107)      | —          | 252 (115)    | 245 (111)    |
|                                              | 200 (93)        | Wet       | 200 (91)       | —          | —            | —            |

Fabric mechanical testing: tensile, compression, and sandwich long beam bending were performed in the fill direction.

The panel configuration for fabric sandwich flatwise tension and long beam bending is 2 plies of (0°/90°) fabric per skin with HRH®-10 1/8"-8.0# honeycomb core.

The panel configurations for tape sandwich flatwise and long beam bending are:

T2G 145; [0°, 90°, 0°]; 3 plies

T2G 190; [0°, 90°]; 2 plies

per skin with HRH-10 1/8"-8.0# honeycomb core.

The laminate configuration for compression after impact testing is [+45°, 0°, -45°, 90°] 3s, with an impact energy of 270 in-lb (3.1 m-kJ).

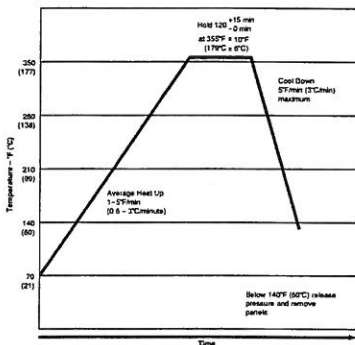
The laminate wet conditioning is defined as 14 ± 1 day of water immersion at 160 ± 5°F (71 ± 3°C).

The sandwich panel wet conditioning is defined as 24 ± 1 hour of humidity conditioning at 160 ± 5°F (71 ± 3°C) and a minimum of 95% relative humidity.

Reported property values are averages to which no statistical assurance should be associated. While Hexcel believes that the data contained herein are factual, the data are not to be taken as warranty or representation for which Hexcel assumes legal responsibility. They are offered solely for your consideration, investigation, and verification.

## Cure Cycle

## Cure Procedure



### Autoclave

- Apply vacuum of 22 in (74 kPa) Hg minimum.
- Apply  $45 \pm 5$  psig ( $310 \pm 34$  kPa) pressure for laminates/sandwich panels.
- Vent vacuum bag to atmosphere when pressure reaches  $20 + 10$  psig - 0 ( $138 + 69$  kPa - 0).
- Following cure, when the part temperature has fallen to  $140^\circ\text{F}$  ( $60^\circ\text{C}$ ), pressure can be relieved and the part removed from the autoclave and debagged.

## Storage

HexPly® F593 prepreg should be sealed in a polyethylene bag and refrigerated, preferably below  $32^\circ\text{F}$  ( $0^\circ\text{C}$ ). Following removal from refrigerated storage, allow the prepreg to reach room temperature before opening the polyethylene bag to avoid moisture condensation. Shelf life: 6 months at  $0^\circ\text{F}$  ( $-18^\circ\text{C}$ ), 3 months at  $40^\circ\text{F}$  ( $4^\circ\text{C}$ ).

## Shipping

Prepreg fabric and tape are generally shipped in sealed polyethylene bags in insulated containers packed with dry ice.

## Disposal of Scrap

Disposal of this material should be in a secure landfill in accordance with state and federal regulations.

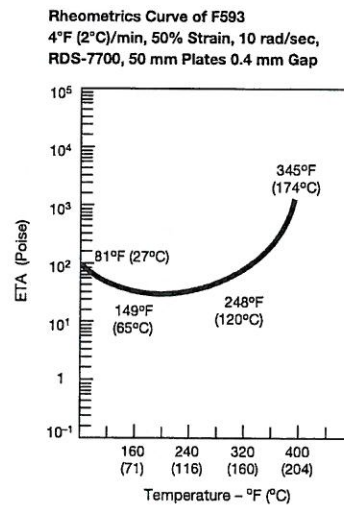
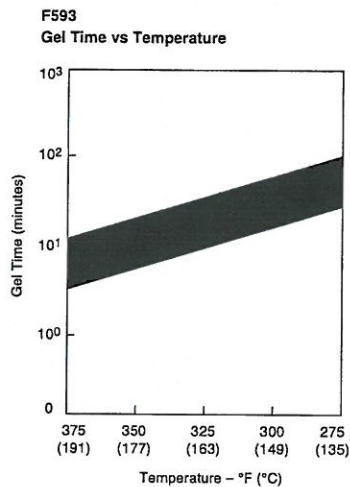
## Handling and Safety Precautions

Hexcel recommends that customers observe established precautions for handling epoxy resins and fine fibrous materials. Operators working with this product should wear clean, impervious gloves to reduce the possibility of skin contact and to prevent contamination of the material.

Airborne graphite as a result of sawing, grinding, etc., can present electrical shorting hazards; refer to NASA Technical Memorandum 78652. Material Safety Data Sheets (MSDS) have been prepared for all Hexcel products and are available to company safety officers on request from your nearest Hexcel Sales Office.

### Neat Resin Properties

|                                             |                                                                |
|---------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Specific gravity                            | 1.22                                                           |
| T <sub>g</sub> dry                          | 341°F (172°C)                                                  |
| T <sub>g</sub> wet                          | 268°F (131°C)                                                  |
| Equilibrium moisture absorption             | 4.2%                                                           |
| Linear coefficient of thermal expansion     | $3.0 \times 10^{-5}$ in/in/°F ( $5.4 \times 10^{-5}$ cm/cm/°C) |
| Tensile strength                            | 8.76 ksi (60.4 MPa)                                            |
| Tensile modulus                             | 0.43 msi (2.96 GPa)                                            |
| Tensile strain                              | 2%                                                             |
| Fracture toughness, K <sub>1C</sub>         | 1.11 ksi $\sqrt{\text{in}}$ (1.22 MPa $\sqrt{\text{m}}$ )      |
| Strain energy release rate, G <sub>1C</sub> | 2.42 in-lb/in <sup>2</sup> (0.42 kJ/m <sup>2</sup> )           |
| Volatiles after 30 minutes at 350°F (177°C) | 3.92%                                                          |
| Poisson's ratio                             | 0.35                                                           |
| Gel time at 350°F (177°C)                   | 9–17 min                                                       |





## HexPly® F593 *Product Data*

### **Important**

Hexcel Corporation believes, in good faith, that the technical data and other information provided herein is materially accurate as of the date this document is prepared. Hexcel reserves the right to modify such information at any time. The performance values in this data sheet are considered representative but do not and should not constitute specification minima. The only obligations of Hexcel, including warranties, if any, will be set forth in a contract signed by Hexcel or in Hexcel's then current standard Terms and Conditions of Sale as set forth on the back of Hexcel's Order Acknowledgement.

### **For more Information**

Hexcel is a leading worldwide supplier of composite materials to aerospace and other demanding industries. Our comprehensive product range includes:

- |                                              |                             |
|----------------------------------------------|-----------------------------|
| ■ Carbon Fiber                               | ■ Structural Film Adhesives |
| ■ RTM Materials                              | ■ Honeycomb Sandwich Panels |
| ■ Honeycomb Cores                            | ■ Engineered Core           |
| ■ Continuous Fiber Reinforced Thermoplastics | ■ Reinforced Fabrics        |
| ■ Carbon, Glass, Aramid and Hybrid Prepregs  |                             |

For US quotes, orders and product information call toll-free 1-800-688-7734. For other worldwide sales office telephone numbers and a full address list please click here: <http://www.hexcel.com/contact/salesoffices>.



## Redux® 870 A/B

**Two Component Shimming and Potting Epoxy  
Paste Adhesive**

### *Product Data*

#### **Description**

Redux 870 A/B is a two component high performance epoxy paste adhesive, ideal for use as a Liquid Shim or for potting applications. This high temperature performing thixotropic adhesive has been specially formulated for bonding of fibre-reinforced composite and metal substrates.

#### **Qualifications**

Redux 870 A/B is qualified to AIMS 10-07-001

#### **Features**

- Thixotropic, gap filling high performance liquid shim adhesive
- Easy 2 : 1 volume mix ratio – available in dual-cartridges with static mixers
- Room temperature curing
- Long working life at ambient temperatures
- Excellent compression and shear properties
- High temperature performance

#### **Product Data**

| Property                             | Redux 870 A     | Redux 870 B     | Mixed Adhesive |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------|
| Appearance (Visual)                  | Dark Grey Paste | Off White Paste | Grey Paste     |
| Specific Gravity                     | 1.20            | 1.10            | 1.16           |
| Viscosity at 25°C                    | Thixotropic     | Thixotropic     | Thixotropic    |
| Non Slump (Bead on Vertical Surface) | -               | -               | > 5mm          |

#### **Instructions for Use**

##### **Pretreatment**

It is essential that all substrates to be used are free of contamination and are in as ideal a state for bonding as possible. As pretreatment will significantly vary dependent on substrates being used, please refer to the Hexcel publication Redux Bonding Technology for optimum procedures.

##### **Processing**

| Mix Ratio        | Parts by Weight | Parts by Volume |
|------------------|-----------------|-----------------|
| Redux 870 Part A | 100             | 100             |
| Redux 870 Part B | 45.5            | 50              |

Resin and hardener should be blended until they form a homogenous mix.

##### **Storage**

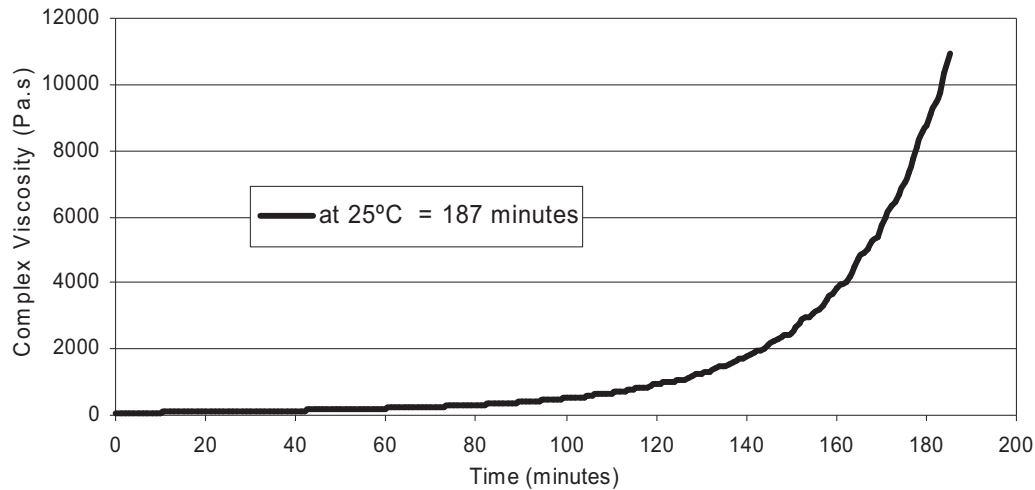
Redux 870 A/B may be stored for up to 12 months at room temperature providing the components are stored in sealed containers. The expiry date is indicated on the label.



## Redux® 870 A/B

### Application Time

#### Redux 870 Working life (AITM 3-004)



#### Development of Shore D Hardness at 25°C:

|                               |          |
|-------------------------------|----------|
| Drilling Time (Shore D 75)    | 7½ hours |
| Fastener Time (Shore D 78)    | 8 hours  |
| Shore D after 5 day 23°C cure | 82       |

### Typical Cured Properties

All the performance values given in this data sheet are based on experimental material with test results obtained under laboratory conditions. They are typical values expected for Redux 870 A/B, they are provided solely as technical information and do not constitute a product specification

#### Tensile Lap Shear Strength - Test Method EN2243-1

Cured 5 days at 23°C. Bond area : 25 x 12.5 mm

| Substrate                  | Test Temperature | Values |
|----------------------------|------------------|--------|
| 2024 T3 Aluminium Alloy    | 23°C             | 43 MPa |
| (CSA pretreated, Unprimed) | 80°C             | 27 MPa |
|                            | 120°C            | 22 MPa |
|                            | 150°C            | 11 MPa |

#### Compression Strength at 23°C - Test Method ISO 604\*

Cured 5 days at 23°C 98 MPa

\*(36.8 mm high cylinders, 12.7 mm dia.)

### **Handling and Safety Precautions**

---

Hexcel products are safe to use providing that certain precautions, normally taken when handling chemicals, are observed. The uncured materials must not be allowed to come into contact with foodstuffs or food utensils, and measures should be taken to prevent the uncured materials from coming in contact with the skin. Impervious rubber or plastic gloves should be worn in addition to eye protection.

The skin should be thoroughly cleansed at the end of each working period by washing with soap and warm water. The use of solvents is to be avoided. Disposable paper - not cloth towels - should be used to dry the skin. Adequate ventilation of the working area is recommended.

### **Disposal Recommendations**

---

To avoid the possibility of a thermal runaway when disposing of surplus mixed product it is recommended to allow it to harden completely before disposal. Heat build-up during or after mixing of epoxy resins and hardeners is normal. The temperature rise depends on the amount of mixed material, the container shape and composition and the ambient temperature. Care should be taken to avoid an uncontrolled exothermic reaction by spreading the mixed material at room temperature in a thin film and leaving to cure in a well ventilated area. Refer to the MSDS for more information on the safety hazards of the individual components.



## Important

All information is believed to be accurate but is given without acceptance of liability. Users should make their own assessment of the suitability of any product for the purposes required. All sales are made subject to our standard terms of sale which include limitations on liability and other important terms.

©Copyright Hexcel Corporation  
Publication RTA 279c (Sept 2010)

## For More Information

Hexcel is a leading worldwide supplier of composite materials to aerospace and other demanding industries. Our comprehensive product range includes:

- |                                             |                             |
|---------------------------------------------|-----------------------------|
| ■ Carbon Fibre                              | ■ Structural Film Adhesives |
| ■ RTM Materials                             | ■ Honeycomb Sandwich Panels |
| ■ Honeycomb Cores                           | ■ Engineered Core           |
| ■ Carbon, glass, aramid and hybrid prepregs | ■ Reinforcement Fabrics     |
| ■ HexTOOL® composite tooling material       |                             |

**For US quotes, orders and product information call toll-free 1-800-688-7734**

**For other worldwide sales office telephone numbers and a full address list please go to:**

<http://www.hexcel.com/contact/salesoffices>



# ALUMINIOS Cuadros Generales Características mecánicas

## Características mecánicas de las aleaciones más utilizadas para forja

| Aleacion<br>Normas<br>EN AW | Estado  | Carga<br>Rotura<br>P.M N/Mm | Limite<br>Elástico<br>Rp0,2 N/Mm | Alargamiento<br>A 5,65% | Limite de<br>Fatiga<br>N/Mm | Dureza<br>Brinell<br>HB | Dureza<br>Vickers<br>HV |
|-----------------------------|---------|-----------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1050                        | 0       | 80                          | 35                               | 45                      | 55                          | 20                      | 20                      |
| 1050                        | H12     | 100                         | 85                               | 13                      |                             | 30                      | 30                      |
| 1050                        | H14     | 115                         | 100                              | 10                      | 70                          | 35                      | 36                      |
| 1050                        | H16     | 130                         | 120                              | 8                       |                             | 40                      |                         |
| 1050                        | H18     | 150                         | 140                              | 6                       | 100                         | 43                      | 44                      |
| 1200                        | 0       | 90                          | 40                               | 40                      | 70                          | 23                      | 22                      |
| 1200                        | H12     | 110                         | 90                               | 11                      |                             | 31                      | 32                      |
| 1200                        | H14     | 130                         | 110                              | 10                      | 100                         | 38                      | 38                      |
| 1200                        | H16     | 140                         | 130                              | 8                       |                             | 40                      | 42                      |
| 1200                        | H18     | 160                         | 150                              | 6                       | 130                         | 45                      | 46                      |
| 2011                        | T3      | 365                         | 290                              | 15                      | 250                         | 95                      | 100                     |
| 2011                        | T6      | 395                         | 300                              | 12                      | 250                         | 100                     | 115                     |
| 2011                        | T8      | 420                         | 315                              | 13                      | 250                         | 115                     | 120                     |
| 2014                        | 0       | 190                         | 85                               | 20                      | 180                         | 55                      | 60                      |
| 2014                        | T4      | 425                         | 280                              | 18                      | 280                         | 110                     | 120                     |
| 2014                        | T6      | 485                         | 430                              | 12                      | 290                         | 140                     | 150                     |
| 2017                        | 0       | 180                         | 70                               | 20                      | 180                         | 45                      | 50                      |
| 2017                        | T4      | 425                         | 275                              | 21                      | 260                         | 110                     | 115                     |
| 2024                        | T0      | 185                         | 75                               | 20                      | 175                         | 60                      | 65                      |
| 2024                        | T3      | 480                         | 345                              | 19                      | 285                         | 115                     | 120                     |
| 2024                        | T4      | 465                         | 335                              | 20                      | 285                         | 120                     | 125                     |
| 2030                        | T3      | 465                         | 360                              | 11                      | 275                         | 110                     | 125                     |
| 2030                        | T4      | 445                         | 295                              | 14                      | 265                         | 100                     |                         |
| 3003                        | H14     | 165                         | 150                              | 10                      | 130                         | 45                      | 46                      |
| 3103                        | H14     | 155                         | 140                              | 9                       | 130                         | 45                      | 50                      |
| 5005                        | H14     | 165                         | 145                              | 12                      |                             | 50                      | 50                      |
| 5052                        | 0/H111  | 195                         | 90                               | 25                      | 210                         | 50                      | 50                      |
| 5083                        | 0/H111  | 295                         | 150                              | 22                      | 250                         | 70                      | 75                      |
| 5251                        | H22     | 210                         | 165                              | 15                      |                             | 65                      | 65                      |
| 5754                        | 0/H111  | 220                         | 105                              | 25                      | 225                         | 60                      | 55                      |
| 5086                        | 0/H111  | 275                         | 130                              | 24                      | 240                         | 65                      | 65                      |
| 6005A                       | T1      | 205                         | 105                              | 25                      |                             |                         |                         |
| 6005A                       | T5      | 265                         | 235                              | 14                      |                             |                         |                         |
| 6060                        | T5      | 225                         | 190                              | 14                      | 160                         | 80                      | 80                      |
| 6061                        | T4      | 230                         | 135                              | 22                      | 180                         | 65                      | 70                      |
| 6061                        | T6/T651 | 310                         | 270                              | 15                      | 190                         | 95                      | 100                     |
| 6063                        | T6      | 245                         | 215                              | 15                      | 150                         | 75                      | 80                      |
| 6063                        | T8      | 260                         | 240                              |                         |                             | 85                      | 85                      |
| 6082                        | T6/T651 | 340                         | 310                              | 12                      | 210                         | 95                      | 95                      |
| 7020                        | T6/T651 | 380                         | 340                              | 14                      | 270                         | 120                     | 125                     |
| 7075                        | T6/T651 | 570                         | 510                              | 11                      | 300                         | 150                     | 160                     |
| 7075                        | T7351   | 500                         | 435                              | 14                      | 300                         | 140                     | 150                     |



# ALUMINIOS Cuadros Generales Equivalencias

## EQUIVALENCIAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO PARA FORJA MÁS UTILIZADAS

| Norma Europea<br>EN 573-1-2 |           | EEUU<br>AA | Japón<br>JIS | España<br>UNE | Francia<br>AFNOR | Alemania<br>DIN | G.B.<br>B.S. | Suecia<br>SIS | Suiza<br>V.S.M. | Canadá<br>C.S.A. | Italia<br>U.N.I. |       |
|-----------------------------|-----------|------------|--------------|---------------|------------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------|
| Númérica<br>EN AW           | Simbólica |            |              |               |                  |                 |              |               |                 |                  | Antigua          | Nueva |

### Aluminio puro

|       |          |       |       |                  |       |                  |       |      |         |          |      |        |
|-------|----------|-------|-------|------------------|-------|------------------|-------|------|---------|----------|------|--------|
| 1050A | Al 99,5  | 1050A | A1050 | L-3051<br>38.114 | A 5   | Al99,5<br>3.0255 | 1B    | 4007 | Al 99,5 | 995(2S)  | 4507 | 9001/2 |
| 1070A | Al 99,7  | 1070A | A1070 | L-3071<br>38.117 | A 7   | Al99,7<br>3.0275 | 2L 48 | 4005 | Al 99,7 | 9970     | 4508 | 9001/3 |
| 1080A | Al 99,8  | 1080A | A1080 | L-3081<br>38.118 | A 8   | Al99,8<br>3.0285 | 1A    | 4004 | Al 99,8 | 9980     | 4509 | 9001/4 |
| 1100  | Al99,0Cu | 1100  | A1100 | L-3002<br>38.119 | A 45  |                  |       |      |         |          |      |        |
| 1200  | Al 99    | 1200  | A1200 | L-3001<br>38.115 | A 4   | Al99<br>3.0205   | 1C    | 4010 | Al 99   | 990 (2S) | 3567 | 9001/1 |
| 1250  | Al 99,5E | 1250  |       | L-3052<br>38.116 | A 5/L | EAI<br>3.0257    |       |      |         |          |      |        |
| 1350  |          |       |       |                  |       |                  |       |      |         |          |      |        |

### Aluminio Cobre

|       |              |       |       |                  |              |                                     |         |        |             |           |      |        |
|-------|--------------|-------|-------|------------------|--------------|-------------------------------------|---------|--------|-------------|-----------|------|--------|
| 2007  | AlCuMgPb     | 2007  |       | L-3121<br>38.139 |              | AlCuMgPb<br>3.1645                  |         | 4355   |             |           |      |        |
| 2011  | AlCu6BiPb    | 2011  | A2011 | L-3192<br>38.322 | A-<br>U5PbBi | AlCuBiPb<br>3.1655                  | FC 1    | 4338   | AlCu6BiPb   | CB60(28S) | 6362 | 9002/5 |
| 2014  | AlCu4SiMg    | 2014  | A2014 | L-3130<br>38.313 | A-U4SG       | AlCuSiMn<br>3.1255                  | H15     |        | AlCu4SiMn   | CS4IN     | 3581 | 9002/3 |
| 2017A | AlCu4MgSi(A) | 2017A | A2017 | L-3120<br>38.312 | A-U4G        | AlCuMg1<br>3.1325                   | H14     | GA 631 |             | CM41(17S) | 5379 | 9002/2 |
| 2024  | AlCu4Mg1     | 2024  | A2024 | L-3140<br>38.314 | A-U4G1       | AlCuMg2<br>3.1355                   | L97/L98 | 5      | AlCu4Mg1.5  | CG42(24S) | 3583 | 9002/4 |
| 2030  | AlCu4MgPb    | 2030  |       | L-3121<br>38.319 | A-U4Pb       | AlCuMgPb<br>3.1645                  | 7L25    | 4335   | decotal-200 |           |      |        |
| 2117  | AlCu2.5Mg    | 2117  | A2117 | L-3180<br>38.318 | A-U2G        | AlCuMg0,5<br>3.1305<br>AlCu2,5Mg0,5 | L86     |        |             | CG30      | 3577 | 9002/1 |
| 2219  | AlCu6Mn      | 2219  |       | L-3191<br>38.321 |              |                                     |         |        |             |           |      |        |
| 2618A | AlCu2MgNi    | 2618A |       | L-3171<br>38.320 | A-U2GN       | AlCu2MgNi/WL<br>3.1924              | H16     |        |             |           | 3578 | 9002/6 |

### Aluminio Manganeso

|      |              |      |       |                  |         |                        |     |            |      |       |      |        |
|------|--------------|------|-------|------------------|---------|------------------------|-----|------------|------|-------|------|--------|
| 3003 | AlMn1Cu      | 3003 | A3003 | L-3810<br>38.381 | A-M1    | AlMnCu<br>3.0517       |     |            |      | MC10  | 7788 | 9003/1 |
| 3004 | AlMn1Mg1     | 3004 |       | L-3820<br>38.382 | A-M1G   | AlMn1Mg1<br>3.0526     |     | GA<br>6511 |      | (D35) | 6351 | 9003/2 |
| 3005 | AlMn1Mg0,5   | 3005 |       |                  | A-MG0,5 | AlMn1Mg0,5<br>3.0525   |     |            |      |       |      |        |
| 3103 | AlMn1Mg0,5   | 3103 |       | L-3811<br>38.383 |         | AlMn1<br>3.0515        |     | 4067       | AlMn |       | 3568 | 9003/3 |
| 3105 | AlMn0,5Mg0,5 | 3105 |       |                  |         | AlMn0,5Mg0,5<br>3.0505 | N31 |            |      |       |      |        |

(continua)



## ALUMINIOS Cuadros Generales Equivalencias

### EQUIVALENCIAS DE LAS ALEACIONES DE ALUMINIO PARA FORJA MÁS UTILIZADAS

(continuación)

| Norma Europea<br>EN 573-1-2 |           | EEUU<br>AA | Japón<br>JIS | España<br>UNE | Francia<br>AFNOR | Alemania<br>DIN | G.B.<br>B.S. | Suecia<br>SIS | Suiza<br>V.S.M. | Canadá<br>C.S.A. | Italia<br>U.N.I. |       |
|-----------------------------|-----------|------------|--------------|---------------|------------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|------------------|------------------|-------|
| Númerica<br>EN AW           | Simbólica |            |              |               |                  |                 |              |               |                 |                  | Antigua          | Nueva |

#### Aluminio Magnesio

|        |              |        |       |                  |              |                      |         |      |           |            |      |        |
|--------|--------------|--------|-------|------------------|--------------|----------------------|---------|------|-----------|------------|------|--------|
| 5005   | AlMg1(B)     | 5005   | A5005 | L-3350<br>38.335 | A-G0,6       | AlMg1<br>3.3315      | N41     | 4106 | AlMg1     | B57S       | 5764 | 9005/1 |
| 5050   | AlMg1,5      | 5050   |       | L-3380<br>38.338 | A-G1,5       | AlMg1,5<br>3.3316    | 3L 44   |      | AlMg1,5   | A57S       | 3573 | 9005/7 |
| 5052   | AlMg2,5      | 5052   | A5252 | L-3360<br>38.336 | A-G2,5C      | AlMg2,5<br>3.3523    | L80/L81 | 4120 | AlMg2,5   | GR20(57S)  | 3574 | 9005/2 |
| 5056 A | AlMg5        | 5056A  | A5056 | L-3320<br>38.332 | A-G5         | AlMg5<br>3.3555      | N6/2L58 | 4146 | AlMg5     | GM50R(56S) | 3576 |        |
| 5083   | AlMg4,5Mn0,7 | 5083   | A5083 | L-3321<br>38.340 | A-<br>G4,5MC | AlMg4,5Mn<br>3.3547  | N8      | 4140 | AlMg4,5Mn | GM4I(D54S) | 7790 | 9005/5 |
| 5086   | AlMg4        | 5086   |       | L-3322<br>38.341 | A-G4MC       | AlMg4,Mn<br>3.3545   |         |      | AlMg4Mn   | GM40       | 5452 | 9005/4 |
| 5154A  | AlMg3,5      | 5154 A | A5154 | L-3392<br>38.421 | A-G3C        |                      | N5      |      |           |            |      |        |
| 5251   | AlMg2        | 5251   |       | L-3361<br>38.347 | A-G2M        | AlMg2Mn0,3<br>3.3525 | N4      |      |           |            |      |        |
| 5454   | AlMg3Mn      | 5454   |       | L-3391<br>38.345 | A-<br>G2,5MC | AlMg2,7Mn<br>3.3537  |         | 4130 | AlMg3     |            | 7789 | 9005/3 |
| 5754   | AlMg3        | 5754   |       | L-3390<br>38.339 | A-G3M        | AlMg3<br>3.3535      |         | 4130 | AlMg3     |            |      | 9005/3 |

#### Aluminio Magnesio-Silicio

|       |             |       |       |                  |              |                            |     |      |           |       |      |        |
|-------|-------------|-------|-------|------------------|--------------|----------------------------|-----|------|-----------|-------|------|--------|
| 6005A | AlSiMg(A)   | 6005A |       | L-3454<br>38.349 | A-SG0,5      | AlMgSi0,7<br>3.3210        |     |      | AlMgSi0,7 |       |      |        |
| 6012  | AlMgSiPb    | 6012  |       | L-3452<br>38.334 |              | AlMgSiPb<br>3.0615         |     |      |           |       |      |        |
| 6060  | AlMgSi0,5   | 6060  |       | L-3442<br>38.350 | AGS          | AlMgSi0,5<br>3.3206        | H9  | 4104 | AlMgSi0,5 |       | 3589 | 9006/1 |
| 6063  | AlMg0,7Si   | 6063  | A6063 | L-3441<br>38.337 | AGS          | AlMgSi0,5<br>3.3206        | H9  | 4104 | AlMgSi0,5 |       |      |        |
| 6061  | AlMgSiCu    | 6061  | A6061 | L-3420<br>38.342 | A-GSUC       | AlMg1SiCu<br>3.3211        | H20 |      |           | GS11N | 6170 | 9006/2 |
| 6063A |             |       |       |                  |              |                            |     |      |           |       |      |        |
| 6082  | AlMgSi1MgMn | 6082  |       | L-3453<br>38.348 | A-<br>SGM0,7 | AlMgSi1<br>3.2315          | H30 | 4212 | AlMgSi1Mn |       | 3571 | 9006/4 |
| 6181  | AlSi1Mg0,8  | 6181  |       | L-3455<br>38.423 | A-SG         | AlMgSi0,8<br>3.2315        |     |      |           |       |      |        |
| 6101  | E-Al1MgSi   | 6101  | A6101 | L-3431<br>38.343 |              | E-<br>Al1MgSi0,5<br>3.2307 | 91E |      |           |       |      |        |
| 6262  | AlMgSiPb    | 6262  |       |                  |              |                            |     |      |           |       |      | 9006/7 |
| 6351  | AlSi1Mg     | 6351  |       | L-3451<br>38.334 |              |                            |     |      |           | SG11R |      |        |

#### Aluminio Zinc

|       |             |        |       |                  |        |                       |      |      |              |      |      |        |
|-------|-------------|--------|-------|------------------|--------|-----------------------|------|------|--------------|------|------|--------|
| 7020  | AlZn4,5MgI  | 7020   |       | L-3741<br>38.374 | A-Z5G  | AlZn4,5Mg1<br>3.4335  | H17  | 4425 | AlZn4,5Mg1   |      | 7791 | 9007/1 |
| 7022  | AlZnMgCu0,5 | 7022   |       |                  |        | AlZnMgCu0,5<br>3.4345 |      |      |              |      |      | 9007/5 |
| 7049A | AlZn8MgCu   | 7049 A |       |                  | A-Z8GU |                       |      |      |              |      |      |        |
| 7075  | AlZn5,5MgCu | 7075   | A7075 | L-3710<br>38.371 | A-Z5GU | AlZnMgCu1,5<br>3.4365 | 2L95 |      | AlZn6MgCu1,5 | ZG62 | 3735 | 9007/2 |

**Propiedades físicas de las aleaciones más utilizadas para forja**

| Norma<br>EN 573-1<br>Designación<br>Numérica | Peso<br>específico<br>Kg/dm <sup>3</sup> | Dilatación<br>lineal<br>°C <sup>-1</sup> x 10 <sup>-6</sup><br>(20/100°C) | Calor<br>específico<br>J/(Kg x °C)<br>(0/100°C) | Intervalo<br>de fusión<br>°C | Módulo de<br>elasticidad<br>N/mm <sup>2</sup> | Conductividad<br>térmica<br>W/(m x °C)<br>a 20 °C | Conductividad<br>eléctrica<br>% IACS | Resistividad<br>eléctrica<br>10 <sup>-3</sup> μΩ x m<br>a 20 °C |
|----------------------------------------------|------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------|---------------------------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| 1050A                                        | 2,7                                      | 23,5                                                                      | 899                                             | 645/658                      | 70.000                                        | 229                                               | 59,5                                 | 29,2                                                            |
| 1350                                         | 2,7                                      | 23,6                                                                      | 900                                             | 646/657                      | 70.000                                        | 234                                               |                                      | 27,9                                                            |
| 1200                                         | 2,72                                     | 23,4                                                                      | 898                                             | 645/657                      | 70.000                                        | 225                                               | 58,5                                 | 33,9                                                            |
| 1100                                         | 2,71                                     | 23,6                                                                      | 904                                             | 643/657                      | 70.000                                        | 222                                               |                                      | 29,2                                                            |
| 2011                                         | 2,82                                     | 23,1                                                                      | 864                                             | 541/638                      | 70.000                                        | 152                                               | 39                                   | 44                                                              |
| 2011                                         | 2,82                                     | 23,1                                                                      | 864                                             | 541/638                      | 70.000                                        | 152                                               | 39                                   | 44                                                              |
| 2014                                         | 2,8                                      | 22,5                                                                      | 920                                             | 507/638                      | 70.000                                        | 134                                               | 34                                   | 51                                                              |
| 2017A                                        | 2,79                                     | 23,6                                                                      | 920                                             | 510/640                      | 70.000                                        | 134                                               | 34                                   | 51                                                              |
| 2618A                                        | 2,76                                     | 22,3                                                                      | 875                                             | 549/638                      | 70.000                                        | 146                                               |                                      | 47                                                              |
| 2024                                         | 2,77                                     | 21,1                                                                      | 875                                             | 502/638                      | 70.000                                        | 121                                               | 30                                   | 56                                                              |
| 2030                                         | 2,82                                     | 23,0                                                                      | 864                                             | 510/640                      | 70.000                                        | 134                                               | 34                                   | 51                                                              |
| 2030                                         | 2,82                                     | 23,0                                                                      | 864                                             | 510/640                      | 70.000                                        | 134                                               | 34                                   | 51                                                              |
| 3003                                         | 2,73                                     | 23,2                                                                      | 893                                             | 643/654                      | 70.000                                        | 159                                               | 42                                   | 42                                                              |
| 3103                                         | 2,73                                     | 23,1                                                                      | 892                                             | 640/655                      | 70.000                                        | 160                                               | 42                                   | 41                                                              |
| 3004                                         | 2,72                                     | 23,2                                                                      | 893                                             | 629/634                      | 70.000                                        | 166                                               |                                      | 39                                                              |
| 3005                                         | 2,73                                     | 23,2                                                                      | 897                                             | 632/653                      | 70.000                                        | 166                                               |                                      | 39                                                              |
| 3105                                         | 2,71                                     | 23,6                                                                      | 897                                             | 638/657                      | 70.000                                        | 172                                               |                                      | 38                                                              |
| 5005                                         | 2,7                                      | 23,7                                                                      | 900                                             | 632/652                      | 70.000                                        | 201                                               | 52                                   | 33                                                              |
| 5251                                         | 2,68                                     | 23,8                                                                      | 900                                             | 597/650                      |                                               | 139                                               | 37,5                                 | 44                                                              |
| 5052                                         | 2,68                                     | 23,8                                                                      | 900                                             | 605/650                      | 70.000                                        | 138                                               | 35                                   | 50                                                              |
| 5754                                         | 2,67                                     | 23,8                                                                      | 900                                             | 590/645                      | 70.000                                        | 132                                               | 32,5                                 | 53                                                              |
| 5083                                         | 2,66                                     | 24,2                                                                      | 900                                             | 574/638                      | 70.000                                        | 117                                               | 28,5                                 | 59                                                              |
| 5086                                         | 2,66                                     | 23,8                                                                      | 900                                             | 585/640                      | 70.000                                        | 126                                               | 31                                   | 56                                                              |
| 6005A                                        | 2,7                                      | 23,6                                                                      | 940                                             | 607/654                      | 70.000                                        | 180                                               |                                      | 37                                                              |
| 6005A                                        | 2,7                                      | 23,6                                                                      | 940                                             | 607/654                      | 70.000                                        | 188                                               |                                      | 36                                                              |
| 6060                                         | 2,7                                      | 23,4                                                                      | 945                                             | 615/655                      | 70.000                                        | 200                                               | 54                                   | 33                                                              |
| 6061                                         | 2,7                                      | 23,6                                                                      | 896                                             | 582/652                      | 70.000                                        | 153                                               | 40                                   | 43                                                              |
| 6061                                         | 2,7                                      | 23,6                                                                      | 896                                             | 582/652                      | 70.000                                        | 167                                               | 43                                   | 40                                                              |
| 6262                                         | 2,71                                     | 23,4                                                                      |                                                 | 582/652                      | 70.000                                        | 172                                               |                                      | 38                                                              |
| 6063                                         | 2,69                                     | 23,4                                                                      | 900                                             | 615/655                      | 70.000                                        | 201                                               | 52                                   | 32                                                              |
| 6063                                         | 2,69                                     | 23,4                                                                      | 900                                             | 615/655                      | 70.000                                        | 201                                               | 52                                   | 32                                                              |
| 6082                                         | 2,71                                     | 23,5                                                                      | 960                                             | 570/645                      | 70.000                                        | 174                                               | 44                                   | 42                                                              |
| 7020                                         | 2,78                                     | 23,1                                                                      | 875                                             | 604/645                      | 70.000                                        | 137                                               | 35                                   | 49                                                              |
| 7049A                                        | 2,82                                     | 23,4                                                                      | 960                                             | 477/627                      | 70.000                                        | 154                                               |                                      | 43                                                              |
| 7075                                         | 2,8                                      | 23,4                                                                      | 960                                             | 477/635                      | 70.000                                        | 130                                               | 33                                   | 52                                                              |
| 7075                                         | 2,8                                      | 23,4                                                                      | 960                                             | 477/635                      | 70.000                                        | 155                                               |                                      | 43                                                              |