

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY**



**UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA**

**CAMPUS D'ALCOY**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

**“DISEÑO DE UN BASCULANTE DE MOTOCICLETA EN FIBRA  
DE CARBONO Y LINO PARA COMPETICIÓN”**

**Autor:**

D. Francisco Javier Molina Bellver

**Dirigido por:**

Dr. Octavio Ángel Fenollar Gimeno

Dr. Vicente Fombuena Borrás

**Julio 2018**



# RESUMEN

## **“Diseño de un basculante en fibra de carbono y lino para competición”**

El presente proyecto, como bien indica su título, se basa en el desarrollo de un basculante, realizado en fibra de carbono y lino, para una motocicleta de competición.

El desarrollo del mismo conlleva un duro y complejo trabajo, en el cual se ha tenido que conciliar, la utilización de la fibra de carbono reforzada con fibra de lino, con limitaciones geométricas impuestas por el sistema de transmisión, con requisitos de comportamiento dinámico, y por supuesto, siempre con las limitaciones debidas a la procesabilidad del material. Se podría decir que la mayor dificultad que ha presentado este proyecto ha sido la de enfocar su diseño al proceso de fabricación, ya que la fibra de carbono es un material de difícil tratamiento, no obstante, con la ayuda de los programas Solid Works, y CES Edupack, se ha conseguido lidiar con este inconveniente, obteniendo como resultado un diseño altamente eficiente y fabricable.

Cabe decir, que el proyecto, se trata de un trabajo multidisciplinar, el cual engloba conocimientos en el ámbito de los materiales, en dinámica de vehículos, cálculo de fuerzas y momentos, nociones de fabricabilidad y por supuesto, competencias en el ámbito del diseño asistido por ordenador.

Para finalizar, añadir que el principal objetivo de este proyecto es el de obtener una solución adecuada para el problema planteado, la obtención de un basculante de material compuesto que solvete los problemas de rigidez, totalmente aplicable al motociclismo, llegando con el mismo a aprender conceptos nuevos, reforzar los ya existentes y que el lector, pueda comprender y adquirir conocimientos sobre el diseño del mismo y todos los factores que intervienen.



# SUMMARY

## **“Design swingarm for motorcycle in carbón fiber and linen for competition”**

The present project, as we can read in the title indicates, it is based on the development of a swingarm, made with carbon fiber and linen, for a competition motorcycle.

The development of this project entails a hard and complex work, which has had to be reconciled, the use of carbon fiber reinforced with linen fiber, with geometric limitations imposed by the transmission system, with requirements of dynamic behavior, and of course, always with the limitations due to the processability of it. It could be said that the greatest difficulty that this project has presented has been to focus it is design on the manufacturing process, since carbon fiber is a difficult material to treat, however, with the help of the Solid Works programs, and CES Edupack, has managed to deal with it, resulting in a highly efficient and manufacturable design.

We should be said that the project is a multidisciplinary work, which includes knowledge in the field of materials, vehicle dynamics, calculation of forces and moments, notions of manufacturing processes and of course, competencies in the field of Desing assisted by computer.

Finally, add that the main objective of this project is to obtain a suitable solution for the problem, obtaining a swingarm of composite material that solves the problems of rigidity, fully applicable to motorcycling, arriving with it to learn concepts new, reinforce those already existing and that the reader can understand and acquire knowledge about the design of it and all the factors involved.



# RESUM

## **“Diseny d’un basculant de motocicleta en fibra de carboni i lli per a competició”**

El present projecte, com bé indica el seu títol, es basa en el desenvolupament d'un basculant, realitzat amb fibra de carboni i lli, per a una motocicleta competició.

El desenvolupament del mateix comporta un dur i complex treball, en el qual s'ha hagut de conciliar, la utilització de la fibra de carboni reforçada amb fibra de lli, amb limitacions geomètriques imposades pel sistema de transmissió, amb requisits de comportament dinàmic, i per descomptat, sempre amb les limitacions degudes a la processabilitat del mateix. Es podria dir que la major dificultat que ha presentat aquest projecte ha estat la d'enfocar el seu disseny al procés de fabricació, ja que la fibra de carboni és un material de difícil tractament, però, amb l'ajuda dels programes Solid Works, i CES Edupack, s'ha aconseguit lluitar amb el mateix, obtenint com a resultat un disseny d'alta eficiència i fabricable.

Val a dir, que el projecte, es tracta d'un treball multidisciplinari, el qual engloba coneixements en l'àmbit dels materials, en dinàmica de vehicles, càlcul de forces i moments, nocions de fabricabilitat i per descomptat, competències en l'àmbit del disseny assistit per ordinador.

Per finalitzar, afegir que el principal objectiu d'aquest projecte és el d'obtenir una solució adequada per al problema plantejat, l'obtenció d'un basculant de material compost que solvent els problemes de rigidesa, totalment aplicable al motociclisme, arribant amb el mateix a aprendre conceptes nous, reforçar els ja existents i que el lector, pugui comprendre i adquirir coneixements sobre el disseny d'aquest i tots els factors que hi intervenen.



# TABLA DE CONTENIDOS

<b>RESUMEN .....</b>	<b>3</b>
<b>SUMMARY .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUM.....</b>	<b>7</b>
<b>TABLA DE CONTENIDOS .....</b>	<b>9</b>
<b>ABREVIATURAS .....</b>	<b>15</b>
<b>LISTADO DE FIGURAS .....</b>	<b>17</b>
<b>LISTADO DE TABLAS.....</b>	<b>25</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>29</b>
<b>I.1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>31</b>
<b>I.1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA MOTOCICLETA.....</b>	<b>31</b>
<b>I.2. EL CHASIS.....</b>	<b>33</b>
<i>I.2.1.1. Chasis tubular. ....</i>	<i>33</i>
<i>I.2.1.2. Chasis de doble viga. ....</i>	<i>34</i>
<b>I.3. LA TRANSMISIÓN EN LA MOTOCICLETA.....</b>	<b>35</b>
<i>I.3.1.1. Transmisión por cardan. ....</i>	<i>35</i>
<i>I.3.1.2. Transmisión por correa. ....</i>	<i>35</i>
<i>I.3.1.3. Transmisión por cadena. ....</i>	<i>36</i>
<b>I.4. EL BASCULANTE.....</b>	<b>37</b>
<i>I.4.1.1. Historia del basculante.....</i>	<i>39</i>
<i>I.4.1.2. Basculante de doble brazo.....</i>	<i>40</i>
<i>I.4.1.3. Basculante monobrazo.....</i>	<i>41</i>
<b>I.4.2. COMPARATIVA ENTRE AMBOS BASCULANTES.....</b>	<b>42</b>

I.4.2.1. Comparativa estructural. ....	44
<b>I.1. LA FIBRA DE CARBONO EN COMPETICIÓN. ....</b>	<b>47</b>
<b>I.2. ESTUDIO DE MERCADO .....</b>	<b>49</b>
<b>II. OBJETIVOS .....</b>	<b>51</b>
<b>II.1. OBJETIVO GENERAL.....</b>	<b>53</b>
<b>II.2. OBJETIVOS PARTICULARES. ....</b>	<b>54</b>
<b>III. DESARROLLO PROYECTO.....</b>	<b>55</b>
<b>III.1. INTRODUCCION. ....</b>	<b>57</b>
<b>III.2. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.....</b>	<b>58</b>
<b>III.2.1. PROTOTIPO 1. ....</b>	<b>58</b>
<i>III.2.1.1. Diseño del brazo principal.....</i>	<i>58</i>
<i>III.2.1.2. Diseño del brazo secundario. ....</i>	<i>63</i>
<i>III.2.1.3. Diseño de los pilares intermedios. ....</i>	<i>64</i>
<i>III.2.1.4. Diseño del amarre de la rueda trasera.....</i>	<i>65</i>
<i>III.2.1.5. Resultado final. ....</i>	<i>68</i>
<b>III.2.2. Prototipo 2.....</b>	<b>69</b>
<b>III.2.1. prototipo 3.....</b>	<b>71</b>
<i>III.2.1.1. Brazo secundario. ....</i>	<i>71</i>
<i>III.2.1.2. Amarre rueda.....</i>	<i>71</i>
<i>III.2.1.3. Brazo principal.....</i>	<i>73</i>
<i>III.2.1.4. Resultado final. ....</i>	<i>73</i>
<b>III.2.2. Prototipo 4.....</b>	<b>76</b>
<i>III.2.2.1. Superficies de contacto.....</i>	<i>76</i>
<i>III.2.2.2. Amarre de la suspensión.....</i>	<i>77</i>
<i>III.2.2.3. Amarre rueda trasera. ....</i>	<i>77</i>
<b>III.2.3. DISEÑO DEL EJE TRASERO.....</b>	<b>79</b>

<b>III.3. NORMATIVA APLICABLE.</b>	<b>81</b>
<b>III.3.1. LIMITACION DIMENSIONAL Y DE MASA.</b>	<b>81</b>
<b>III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.</b>	<b>83</b>
<b>III.4.1. CONCEPTOS GEOMÉTRICOS.</b>	<b>83</b>
III.4.1.1. Avance <b>a</b> .	84
III.4.1.2. Batalla <b>p</b> .	85
III.4.1.3. Ángulo de lanzamiento ( $\epsilon$ ).	87
<b>III.4.2. EJES DE MOVIMIENTO Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MOTOCICLETA.</b>	<b>87</b>
III.4.2.1. Ejes de movimiento.	87
III.4.2.2. Centro de gravedad.	88
<b>III.4.3. FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTUAN SOBRE LA MOTOCICLETA.</b>	<b>90</b>
III.4.3.1. Fuerzas entre los neumáticos y la carretera.	90
III.4.3.2. Cargas aerodinámicas.	97
<b>III.4.4. DINAMICA DE LA MOTOCICLETA.</b>	<b>98</b>
III.4.4.1. Equilibrio en movimiento rectilíneo.	98
III.4.4.2. Movimiento Curvilíneo.	103
<b>III.5. HIPOTESIS DE CARGA.</b>	<b>106</b>
<b>III.5.1. CALCULO DE CARGAS SOBRE EL BASCULANTE.</b>	<b>107</b>
III.5.1.1. Modelo de referencia.	107
III.5.1.2. Aceleración longitudinal en línea recta.	108
III.5.1.1. Deceleración longitudinal por el uso del freno trasero.	110
III.5.1.2. Trazado de una curva.	112
III.5.1.3. Aceleración longitudinal y lateral combinadas.	115
<b>III.6. SELECCIÓN DE MATERIALES.</b>	<b>117</b>
<b>III.6.1. ACERO.</b>	<b>117</b>

<b>III.6.2. ALUMINIO.....</b>	<b>119</b>
<b>III.6.3. COMPOSITE REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO. ....</b>	<b>121</b>
<i>III.6.3.1. Disposición de las capas de fibra de carbono. ....</i>	<i>124</i>
<b>III.6.4. COMPOSITE REFORZADO CON FIBRAS DE NILON Y FIBRAS DE CARBONO. ....</b>	<b>126</b>
<i>III.6.4.1. Fibra de lino. ....</i>	<i>126</i>
<i>III.6.4.2. Compuesto reforzado con fibra de lino. ....</i>	<i>128</i>
<b>III.7. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.</b>	
.....	<b>131</b>
<b>III.7.1. ADHESIVO RÍGIDO. ....</b>	<b>131</b>
<b>III.7.2. UNION ATORNILLADA. ....</b>	<b>132</b>
<b>III.7.3. UNION SIN PENETRACION DEL EJE DE LA RUEDA TRASERA.</b>	
.....	<b>133</b>
<b>III.8. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM. ....</b>	<b>134</b>
<b>III.8.1. Hipótesis 1: Aceleración longitudinal en línea recta. ....</b>	<b>134</b>
<i>III.8.1.1. Aplicación de estados tensionales. ....</i>	<i>134</i>
<i>III.8.1.2. Aplicación de materiales. ....</i>	<i>135</i>
<i>III.8.1.3. Análisis de estados tensionales. ....</i>	<i>137</i>
<i>III.8.1.4. Análisis de deformaciones. ....</i>	<i>139</i>
<i>III.8.1.5. Trazado de Factor de Seguridad. ....</i>	<i>140</i>
<b>III.8.1. Hipótesis 2: Desaceleracion longitudinal en línea recta. ....</b>	<b>142</b>
<i>III.8.1.1. Aplicación de estados tensionales. ....</i>	<i>142</i>
<i>III.8.1.2. Análisis de estados tensionales. ....</i>	<i>143</i>
<i>III.8.1.3. Análisis de deformaciones. ....</i>	<i>145</i>
<i>III.8.1.4. Trazado de Factor de Seguridad. ....</i>	<i>146</i>
<b>III.8.2. Hipótesis 3: Trazado de una curva. ....</b>	<b>147</b>
<i>III.8.2.1. Aplicación de estados tensionales. ....</i>	<i>147</i>

III.8.2.2. <i>Análisis de estados tensionales curvo a derechas</i> .....	148
III.8.2.3. <i>Análisis de estados tensionales curvo a izquierdas</i> .....	149
III.8.2.4. <i>Análisis de deformaciones</i> .....	150
III.8.2.5. <i>Trazado de Factor de Seguridad</i> .....	151
<b>III.8.3. Hipótesis 4: Fuerzas combinadas</b> .....	<b>152</b>
III.8.3.1. <i>Aplicación de estados tensionales</i> .....	152
III.8.3.2. <i>Análisis de estados tensionales</i> .....	153
III.8.3.3. <i>Análisis de deformaciones</i> .....	153
III.8.3.4. <i>Trazado de Factor de Seguridad</i> .....	154
<b>III.8.4. Estudio de la evolución del diseño</b> .....	<b>155</b>
III.8.4.1. <i>Estados tensionales</i> .....	155
III.8.4.2. <i>Desplazamientos</i> .....	157
III.8.4.3. <i>Factor de seguridad</i> .....	158
<b>III.9. DISEÑO FINAL</b> .....	<b>159</b>
<b>III.10. FABRICACIÓN</b> .....	<b>161</b>
<b>III.10.1. MOLDEO POR TRANSFERENCIA DE RESINA (RTM)</b> .....	<b>162</b>
III.10.1.1. <i>Definición</i> .....	162
<b>III.10.2. MOLDEO POR TRANSFERENCIA DE RESINA ASISTIDA POR VACIO (VARTM)</b> .....	<b>164</b>
III.10.2.1. <i>Definición</i> .....	164
<b>III.10.3. MOLDEADO POR PREINPREGNADO DE VEGIJA</b> .....	<b>166</b>
<b>III.11. ESTUDIO ECONÓMICO</b> .....	<b>168</b>
<b>III.11.1. COSTES DE MATERIAL</b> .....	<b>169</b>
<b>III.11.2. COSTE DEL LOS MOLDES</b> .....	<b>170</b>
III.11.2.1. <i>Diseño del molde</i> .....	170
<b>III.11.3. COSTE DE LAS VEGIJAS</b> .....	<b>172</b>
<b>III.11.4. MATERIAL Y MECANIZADO DEL MOLDE</b> .....	<b>173</b>

<i>III.11.4.1. Brazo principal.</i> .....	173
<i>III.11.4.2. Brazo secundario.</i> .....	174
<i>III.11.4.3. Amarre rueda.</i> .....	174
<i>III.11.4.4. Unión Codada.</i> .....	175
<i>III.11.4.5. Pilares intermedios.</i> .....	175
<i>III.11.4.6. Coste total.</i> .....	176
<b>III.11.5. COSTE DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PROCESO.</b> .....	<b>177</b>
<b>III.11.6. COSTE DE LA MANO DE OBRA.</b> .....	<b>178</b>
<b>III.11.7. COSTE FINAL.</b> .....	<b>179</b>
<b>IV. APÉNDICES</b> .....	<b>181</b>
<b>IV.1. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>183</b>
<b>IV.2. NORMATIVA</b> .....	<b>185</b>
<b>IV.3. PLANOS ACOTADOS</b> .....	<b>186</b>

# ABREVIATURAS

$\alpha$	Avance
$p$	Batalla
$\varepsilon$	Angulo de desplazamiento
$R_f$	Radio de la rueda delantera
$R_r$	Radio de la rueda trasera
$m$	Masa del conjunto
$g$	Gravedad
$\varphi$	Angulo de inclinación
$N_f$	Carga rueda delantera
$N_r$	Carga rueda trasera
$\mu_x$	Coefficiente de rozamiento longitudinal
$\mu_y$	Coefficiente de rozamiento lateral
$V$	Velocidad lineal
$\omega$	Velocidad angular
$R_o$	Radio de rodadura
$h$	Altura al centro de gravedad
$\lambda$	Ángulo de deslizamiento
$F_{xo}$	Fuerza longitudinal
$F_{yo}$	Fuerza lateral
$F_{cf}$	Fuerza centrífuga
$R$	Radio de curvatura de la curva
$F_d$	Fuerza aerodinámica de empuje
$F_l$	Fuerza aerodinámica de levantamiento
$C_d$	Coefficiente de resistencia aerodinámica
$C_l$	Coefficiente de levantamiento
$A$	Área frontal de la motocicleta
$\rho$	Densidad
$S$	Fuerza de tracción
$a$	Aceleración

$\varphi_i$	Ángulo de inclinación indicado
$a_{max}$	Aceleración máxima
$S_{max}$	Fuerza de tracción máxima
$F_{latmax}$	Fuerza lateral máxima
$\Sigma F_x$	Sumatorio de fuerzas en el eje X
$\Sigma F_y$	Sumatorio de fuerzas en el eje Y
$\Sigma M_x$	Sumatorio de momentos en el eje X
$\Sigma M_y$	Sumatorio de momentos en el eje Y
$N_{real}$	Fuerza resultante real
f	Factor de desperdicio
$C_m$	Coste de material
$C_D$	Coste de diseño
$C_{DT}$	Coste de diseño total
$C_{MT}$	Coste de material y mecanizado del molde
$C_{MTT}$	Coste de material y mecanizado del molde total
$C_e$	Coste energético
$C_{MO}$	Coste de la mano de obra
$C_T$	Coste total
E	Módulo de Young
G	Módulo cortante
HV	Dureza
$\nu$	Coefficiente de Poisson
$\sigma_E$	Límite elástico
$\sigma_r$	Límite de tracción
T	Resistencia a tracción

# LISTADO DE FIGURAS

Figura I.1. Motocicleta de los hermanos Michaux y el ingeniero Perreaux.....	31
Figura I.2. Motocicleta de combustión interna, diseñada por Maybach y Gottlieb .....	32
Figura I.3. Primera motocicleta realizada en serie.....	32
Figura I.4. Chasis tubular de la Ducati Monster. ....	33
Figura I.5. Chasis de doble viga de la Honda CBR.....	34
Figura I.6. Transmisión por cardan. ....	35
Figura I.7. Transmisión por correa.....	35
Figura I.8. Transmisión por cadena. ....	36
Figura I.9. Partes de un basculante.....	37
Figura I.10. a) Vista general del basculante en una motocicleta. b) Vista real de la unión del basculante junto con la ruda. c) Vista realizada por ordenador del conjunto, rueda, suspensión basculante. ....	38
Figura I.11. Basculante Moto-guzzi años 50.....	39
Figura I.12. a) Basculante doble brazo de sección rectangular. b) Esquema del basculante con la unión a la rueda.....	40
Figura I.13. a) Basculante triangular mono articulado. b) Basculante triangular inferior. ....	40
Figura I.14. a) Basculante de doble brazo de sección rectangular. b) basculante triangular de tubos soldados. c) Basculante de doble brazo de fundición. ....	41
Figura I.15. a) Basculante monobrazo tubular. b) Basculante monobrazo de una pieza. ....	42
Figura I.16. Basculante monobrazo con la corona de la cadena en la zona exterior. ....	43
Figura I.17. Basculante de doble brazo con la corona de la cadena en el interior. ....	44

Figura I.18. Modelo del basculante mono brazo para el análisis.....	45
Figura I.19. Modelo del basculante doble brazo para el análisis.....	45
Figura I.20. Deformaciones de la rueda trasera debido a cargas horizontales.....	46
Figura I.21. Basculante de fibra de carbono implementado por el equipo Honda en MotoGP.....	48
<i>Figura III.1. Croquis del segmento principal del brazo base. ....</i>	<i>58</i>
<i>Figura III.2. Barrido de segmento principal del brazo base. ....</i>	<i>59</i>
<i>Figura III.3. a) Croquis del segundo segmento del brazo base. b) Resultado tras la aplicación de la operación barrido.....</i>	<i>59</i>
<i>Figura III.4. a) Croquis del amarre de la suspensión. b) Resultado tras aplicar la operación de revolución.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura III.5. a) Extrusión de la unión al amarre. b) resultado final tras realizar la misma operación en los dos amarres.....</i>	<i>60</i>
<i>Figura III.6. a) Creación de plano. b) Croquis del amarre. ....</i>	<i>60</i>
<i>Figura III.7. a) Resultado tras la operación de revolución. b) Resultado tras la extrusión hasta la superficie. ....</i>	<i>61</i>
<i>Figura III.8. Resultado tras vaciar el interior del amarre. b) Resultado tras reducir el espesor para poder ensamblar el pilar correspondiente.....</i>	<i>61</i>
<i>Figura III.9. Resultado del brazo base tras diseñarle todos los anclajes de los pilares y el enganche de la rueda. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura III.10. a) Realización del cubo. B) unión del cubo al brazo principal mediante extrusión hasta superficie. ....</i>	<i>62</i>
<i>Figura III.11. Brazo principal finalizado.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura III.12. a) Croquis del brazo secundario, a base de puntos. b) Resultado tras aplicar la operación de barrido.....</i>	<i>63</i>
<i>Figura III.13. Resultado final, tras incluir los amarres de los pilares, y el amarre de la rueda trasera. ....</i>	<i>64</i>

<i>Figura III.14. a) Croquis de los pilares. b) Extremo donde se enganchará en los amarres. c) resultado final.</i> .....	64
<i>Figura III.15. a) Realización del croquis. b) Vista final tras la reducción de espesor.</i> ....	65
<i>Figura III.16. a) Croquis del cilindro base. b) Resultado tras la extrusión.</i> .....	65
<i>Figura III.17. a) Croquis del cilindro superior. b) Resultado final tras extrusión.</i> .....	66
<i>Figura III.18. Brazo de amarre al principal.</i> .....	66
<i>Figura III.19. a) Modelo con un engancha para los tornillos. b) Modelo con todos los enganches, los agujeros y la holgura hecha.</i> .....	66
<i>Figura III.20. a) Croquis del brazo. b) Resultado tras la operación de barrido circular.</i> .....	67
<i>Figura III.21. a) Croquis del eje de revolución. b) Resultado tras aplicarle la operación de revolución.</i> .....	67
<i>Figura III.22. Modelo final del Amarre de la rueda.</i> .....	68
<i>Figura III.23. Vista trasera del prototipo.</i> .....	68
<i>Figura III.24. Vista lateral del prototipo.</i> .....	68
<i>Figura III.25. Vista trimétrico del prototipo.</i> .....	69
<i>Figura III.26. Vista lateral del prototipo dos.</i> .....	69
<i>Figura III.27. Vista trasera del prototipo dos.</i> .....	70
<i>Figura III.28. Modelo final del prototipo 2.</i> .....	70
<i>Figura III.29. Resultado final tras el alargamiento del brazo secundario.</i> .....	71
<i>Figura III.30. Base del amarre de la rueda para el prototipo tres.</i> .....	72
<i>Figura III.31. Aspecto tras el vaciado y la aplicación de los nervios.</i> .....	72
<i>Figura III.32. Aspecto tras la implantación del acoplamiento superior.</i> .....	72
<i>Figura III.33. Diseño definitivo del amarre de la rueda trasera.</i> .....	73

Figura III.34. Apariencia del amarre de la suspensión tras el redondeo. ....	73
Figura III.35. Vista lateral del modelo final del basculante, donde se pueden observar las inclinaciones. ....	74
Figura III.36. Vista trasera del modelo final del basculante.....	74
Figura III.37. Resultado final del basculante en el prototipo 3. ....	75
Figura III.38. Redondeo de la unión del anclaje de la suspensión con el brazo principal. ....	77
Figura III.39. Resultado final del amarre de la rueda tras las mejoras comentadas anteriormente. ....	77
Figura III.40. Resultado definitivo del basculante.....	78
Figura III.41. Renderizado final del basculante. ....	78
Figura III.42. a) Croquis de la base del eje trasero. b) Resultado tras la extrusión.....	79
Figura III.43. a) Croquis del tope lateral. b) Resultado tras la extrusión. ....	79
Figura III.44. Eje trasero con el acople de la cadena. ....	80
Figura III.45. Acabado del eje trasero con el material aplicado. ....	80
Figura III.46. Geometría básica de la motocicleta. ....	83
Figura III.47. El avance positivo y la fuerza lateral, se combinan para producir un momento alrededor del eje de rotación que tiene a poner la rueda recta.....	84
Figura III.48. Para un de curvatura dado, una distancia entre ejes mayor necesita un mayor Angulo de giro. ....	86
Figura III.49. Una distancia entre ejes grande mejora la estabilidad direccional. ....	86
Figura III.50. Ejes de desplazamiento de la motocicleta.....	88
Figura III.51. Posicionamiento del centro de gravedad en la motocicleta. ....	88
Figura III.52. a) El centro de gravedad se mantiene. b) El centro de gravedad se desplaza a la izquierda. c) El centro de gravedad se desplaza a la derecha.....	89

Figura III.53. Interacción rueda-carrera.....	90
Figura III.54. Radio de rodadura de un neumático .....	92
Figura III.55. Fuerza lateral sobre el neumático.....	93
Figura III.56. tres vistas del efecto cono.....	94
Figura III.57. la combinación del giro del manillar y la inclinación, dan la fuerza lateral. .....	95
Figura III.58. Circulo delimitador de rozamiento máximo del neumático.....	96
Figura III.59. Representación de la fuerza centrífuga.....	97
Figura III.60. Fuerzas en un movimiento rectilínea.....	99
Figura III.61. Equilibrio de fuerzas en tracción.....	100
Figura III.62. Equilibrio de fuerzas en tracción limitada por rodadura. ....	101
Figura III.63. Equilibrio de fuerzas en la frenada limitada por tracción.....	102
Figura III.64. equilibrio de fuerzas en giro estático. ....	103
Figura III.65. Ángulo efectivo de inclinación.....	105
Figura III.66. Ducati Desmosedici GP2018.....	107
Figura III.67. Diagrama bidimensional, aceleración longitudinal.....	108
Figura III.68. Diagrama bidimensional, deceleración longitudinal.....	110
Figura III.69. Diagrama bidimensional, de las fuerzas durante el trazado de una curva. .....	112
Figura III.70. Diagrama bidimensional, fuerzas combinadas.....	115
Figura III.71. Malla de fibra de carbono, donde se pueden ver las hebras y el trenzado. .....	122
Figura III.72. Muestra esquemática de un material compuesto.....	123
Figura III.73. Tabla de disposición de la fibra de carbono en el basculante. ....	125

Figura III.74. Dirección de la fibra de lino en las piezas. ....	129
Figura III.75. Ensamblaje del eje de la rueda con el amarre.....	133
Figura III.76. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 1....	135
Figura III.77. Composite de fibra de carbono. ....	135
Figura III.78. Propiedades del composite reforzado con fibra de carbono y lino. ....	136
Figura III.79. Material para los casquillos y eje trasero. ....	136
Figura III.80. El modelo superior representa el prototipo de fibra de carbono solamente, el inferior representa el reforzado con lino. ....	137
Figura III.81. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de unión del amarre de la suspensión. ....	138
Figura III.82. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de unión de los pilares intermedios.....	138
Figura III.83. La imagen superior muestra el diagrama de deformaciones la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.....	139
Figura III.84. Comparativa del factor de seguridad entre ambos modelos. La imagen superior muestra la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.....	141
Figura III.85. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 2....	142
Figura III.86. El modelo superior representa el prototipo de fibra de carbono solamente, el inferior representa el reforzado con lino. ....	143
Figura III.87. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de cierre de los tornillos. ....	144
Figura III.88. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de unión entre pilar intermedio y brazo principal.....	144

Figura III.89. La imagen superior muestra el diagrama de deformaciones la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.....	145
Figura III.90. Comparativa del factor de seguridad entre ambos modelos. La imagen superior muestra la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.....	146
Figura III.91. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 3....	147
Figura III.92. Vista frontal de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.....	148
Figura III.93. Vista trasera de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.....	148
Figura III.94. Vista frontal de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a izquierdas.....	149
Figura III.95. Vista frontal de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a izquierdas.....	149
Figura III.96. La imagen superior muestra el diagrama de deformaciones la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.....	150
Figura III.97. Vista frontal de distribución del factor de seguridad en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.....	151
Figura III.98. Vista trasera de distribución del factor de seguridad en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.....	151
Figura III.99. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 3....	152
Figura III.100. Diagrama de tensiones para la pieza reforzada con lino.....	153
Figura III.101. Deformación máxima para la pieza realizada con composite reforzado con fibra de carbono. ....	153
Figura III.102. Trazado de deformación máxima para la pieza elaborada con fibra de carbono reforzado con lino.....	154
Figura III.103. Factor de seguridad para la hipótesis 3. ....	154

Figura III.104. Diagrama de tensiones en el prototipo 1. ....	155
Figura III.105. Diagrama de tensiones del prototipo definitivo. ....	155
Figura III.106. a) Primer diseño del amarre de la ruda. b) diseño definitivo del amarre de la rueda .....	156
Figura III.107. a) Primer diseño de los pilares intermedios. b) diseño definitivo de los pilares intermedios. ....	156
Figura III.108. Diagrama de deformación del prototipo 1. ....	157
Figura III.109. Diagrama de deformación del prototipo definitiva. ....	157
Figura III.110. Diagrama del factor de seguridad para el prototipo 1.....	158
Figura III.111. Diagrama del factor de seguridad para el prototipo definitivo.....	158
Figura III.112. Basculante Definitivo. ....	160
Figura III.113. Esquema de funcionamiento .....	162
Figura III.114. Esquema de los tipos de piezas que se pueden realizar por este método de fabricación. ....	162
Figura III.115. Esquema del proceso de fabricación. ....	164
Figura III.116. Esquema de los tipos de piezas que se pueden realizar por este método de fabricación. ....	164
Figura III.117. Esquema de funcionamiento de moldeo por vejiga.....	166
Figura III.118. a) Cuadro de bicicleta en el molde. c) Vejiga de conformado y molde. ....	166
Figura III.119. a) Basculante Ducati Superlegera. b) Cuadro de fibra de carbono BH..	167
Figura III.120. Medio molde del codo que une el basculante principal con el superior. ....	175
Figura III.121. Parte del molde para la realización de los pilares intermedios.....	176

# LISTADO DE TABLAS

Tabla I-1. Grafica comparativa de la resistencia de los tipos de basculantes analizados. .....	46
Tabla III-1. a) Lamina circular de la sujeción al chasis. b) lamina del amarre de la suspensión. c) Lamina del amarre del eje trasero. c) Soporte de acero para los pernos del amarre de la suspensión. ....	76
Tabla III-2. Dimensiones del modelo de referencia. ....	107
Tabla III-3. Datos de partida para el cálculo de la hipótesis de carga. ....	109
Tabla III-4. Valores de aceleración y tracción máxima. ....	109
Tabla III-5. Datos de partida para el cálculo de la hipótesis de carga. ....	111
Tabla III-6. Valores de reacción en la rueda trasera y fuerza de frenada máxima. ....	111
Tabla III-7. Datos para la resolución de la hipótesis 2. ....	114
Tabla III-8. Tabla de resultados, tras la resolución del sistema de ecuaciones planteado. .....	114
Tabla III-9. Tabla de resultados que actúan directamente sobre el basculante. ....	114
Tabla III-10. Fuerzas aplicadas en la rueda trasera de la motocicleta en la hipótesis 4.	116
Tabla III-11. Esta tabla muestra las propiedades generales del acero. ....	118
Tabla III-12. Esta tabla muestra las principales mecánicas del acero. ....	118
Tabla III-13. Esta tabla muestra las propiedades básicas del aluminio. ....	120
Tabla III-14. En esta tabla se muestran las principales características mecánicas del aluminio. ....	120
Tabla III-15. Tabla de las propiedades generales del compuesto reforzado con fibra de carbono. ....	124
Tabla III-16. La tabla muestra el rango de propiedades en las que se mueve la fibra de carbono, según fabricante y numero de fibras. ....	124

Así pues, para los ensayos por elementos finitos en Solid Works que se harán para probar los diferentes prototipos, se trabajará con las propiedades indicadas en la Tabla III-17, que són las quasi isotropicas con la disposicion anterior de las capas.....	125
Tabla III-18. Propiedades de la fibra de lino .....	127
Tabla III-19. Comparativa entre la fibra de carbono y la fibra de lino. ....	127
Tabla III-20. Disposición de las capas de fibra de carbono y fibra de lino.....	128
Para este ensayo se le aplicará fibra de carbono de bajas propiedades, estas se pueden observar en la <i>Tabla III-21</i> . Tras la combinación de ambos materiales, se obtienen las propiedades del composites reforzado con fibra de carbono y fibra de lino. ....	129
Tabla III-22. Propiedades del material reforzado con fibra de carbono y fibra de lino. ....	129
Tabla III-23. Tabla comparativa entre el Composite reforzado únicamente con fibra de carbono, reforzado únicamente con fibra de lino, y el reforzado con fibra de carbono y lino.....	130
Tabla III-24. a) Imagen del perno utilizado para la unión del amarre de la rueda. b) Tuerza utilizada para el cierre del perno. c) Resultado tras el ensamblaje de las uniones. ....	132
Tabla III-25. Valores de tracción máxima. ....	134
Tabla III-26. Valores de tracción máxima. ....	142
Tabla III-27. Cargas durante el trazado de una curva. ....	147
Tabla III-28. Cargas durante el trazado de una curva. ....	152
Tabla III-29. Tabla de los aspectos físicos y de calidad del proceso de fabricación. ....	163
Tabla III-30. Tabla de los aspectos físicos y de calidad del proceso de fabricación. ....	165
Tabla III-31. La tabla muestra todos los factores que influyen en el precio final del producto.....	168
Tabla III-32. a) Representa el molde de la parte inferior de la pieza. b) Representa el molde de la parte superior de la pieza. ....	173

Tabla III-33. Representa el molde de la parte inferior de la pieza. b) Representa el molde de la parte superior de la pieza.....	174
Tabla III-34 Representa el molde de la parte inferior de la pieza. b) Representa el molde de la parte superior de la pieza.....	174
Tabla III-35. Tiempo de trabajo.....	177
Tabla III-36. Tabla del consumo en KW de cada máquina por ciclo de trabajo. ....	178



## **I. INTRODUCCIÓN**

# INTRODUCCIÓN



### I.1. ANTECEDENTES.

En este primer bloque se mostrará y explicará, cuáles son las partes estructurales de la motocicleta más importantes, así como de una breve reseña histórica de la evolución de este vehículo y de dichos componentes. La parte dedicada al basculante será la más extensa, ya que el proyecto se basa en el diseño de esta pieza.

En este apartado se pretende obtener una visión global de este vehículo, así como del funcionamiento de la pieza de estudio y su importancia.

#### I.1.1. RESEÑA HISTÓRICA DE LA MOTOCICLETA.

La motocicleta es un vehículo automóvil formado por dos ruedas, impulsado mediante un motor, por lo general de gasolina, de dos o cuatro tiempos y de entre uno y seis cilindros. Cabe destacar que la rueda directriz es la delantera, y la motriz, es decir, la accionada por el motor, la trasera.

Para muchos la primera motocicleta fue inventada en el 1855, por Heinrich Hilderbrand, este colocó un motor de vapor a una bicicleta.

No obstante, no fue hasta el 1868 cuando los hermanos Michaux y junto al ingeniero Perreaux, que fabricaban bicicletas, diseñaron lo que para muchos fue la primera motocicleta, tal y como la conocemos ahora por definición. Esta, consistía en un motor de un cilindro, de tracción trasera, y transmisión mediante correa, que accionaba una rueda de madera y podía alcanzar los 30 *Km/h*.

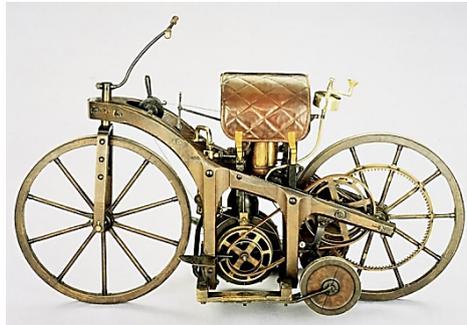


*Figura I.1. Motocicleta de los hermanos Michaux y el ingeniero Perreaux.*

## I. Introducción

---

El gran avance se dio cuando se pasó del motor a vapor al motor de combustión interna diseñada por Nikolas August Otto. En 1885 Wilhelm Maybach y Gottlieb diseñaron una motocicleta con cuadro y ruedas de madera, accionada por un motor de combustión interna de cuatro tiempos.



*Figura I.2. Motocicleta de combustión interna, diseñada por Maybach y Gottlieb*

En 1894 Hildebran y Wolfmuller presentan en Munich la primera motocicleta fabricada en serie y que disponía de un motor de gasolina de dos cilindros y cuatro tiempos.



*Figura I.3. Primera motocicleta realizada en serie.*

A partir de este momento y con el inicio de la Primera Mundial, el mundo de la motocicleta avanzó a pasos agigantados, gracias también a la aparición de la marca Harley Davison que introdujo muchas mejoras, como la chispa de ignición o el cambio de marchas. Tras la Primera Guerra Mundial, el motociclismo estaba totalmente consolidado y comenzaron a aparecer diferentes marcas como: Ducati, Yamaha, Kawasaki etc. Estas marcas revolucionaron el mercado y crearon conceptos nuevos de motocicletas, como las deportivas, de paseo, de viaje, etc.

En la actualidad el sector del motociclismo es muy importante y avanza al mismo ritmo que lo hacen las nuevas tecnologías.

### I.2. EL CHASIS.

En este apartado se explicará, que es el chasis de una motocicleta y los tipos que existen del mismo. Se puede decir que el chasis es el elemento principal al cual van unidos la horquilla delantera, el subchasis, el basculante y el resto de elementos del vehículo como el motor, el depósito, cableado etc. Es el elemento estructural principal de una motocicleta.

Por otra parte, este se encarga de soportar gran parte de las cargas estáticas de la motocicleta, como el peso de todos los componentes y el peso del piloto. También resiste parte de los esfuerzos producidos durante el movimiento del vehículo, esfuerzos de flexión y torsión. Es por todo esto que esta pieza debe ser altamente rígida y resistente, pudiendo deformarse mínimamente.

En la actualidad podemos distinguir principalmente dos tipos de chasis.

#### I.2.1.1. Chasis tubular.

Este bastidor se basa una estructura de tubos soldados, intentando imitar una estructura de cercha, que une la horquilla delantera con el basculante. Estas estructuras generalmente están formadas de acero, ya que es más fácil de soldar que el aluminio. Las ventajas que presentan este chasis frente al resto, es que, estructuralmente posee una gran resistencia, y en términos de diseño, le aporta a la moto carácter y personalidad, no obstante, cabe decir, que son chasis más complejos y costos de fabricar.



*Figura I.4. Chasis tubular de la Ducati Monster.*

## I. Introducción

---

### I.2.1.2. Chasis de doble viga.

Esta estructura, construida normalmente en aluminio, consta de dos bigas a ambos lados de la motocicleta, uniendo así la horquilla delantera con el basculante trasero. Actualmente, es una de las soluciones más aplicadas en el mundo del motociclismo, aunque estructuralmente no sea un chasis de grandes características. La utilización de este se debe a que es un chasis muy económico de fabricar y la forma del mismo hace que se pueda alojar en la motocicleta todos los componentes sin problemas.



*Figura I.5. Chasis de doble viga de la Honda CBR.*

### I.3. LA TRANSMISIÓN EN LA MOTOCICLETA.

En este apartado se habla de los medios principales existentes, de transmisión del par del motor a la rueda trasera. Históricamente existen tres tipos de transmisión.

#### I.3.1.1. Transmisión por cardan.

Este es un sistema se basa en un conjunto piñón-corona. Se sitúa dentro de un cárter, con lo cual no se ve. Es un sistema muy complejo pesado y muy caro, pero no requiere de mantenimiento y tiene una vida útil muy larga. Este sistema se usa sobretodo en algunos modelos de BMW y en modelos Custom, con potencias contenidas.



*Figura I.6. Transmisión por cardan.*

#### I.3.1.2. Transmisión por correa.

Este es un sistema basado en una correa de goma dentada. Esta transmisión no requiere de engrase y son longevas en el tiempo, pero su regulación es crítica. Su uso se reduce a motos de pequeña cilindrada.



*Figura I.7. Transmisión por correa.*

### I.3.1.3. Transmisión por cadena.

Este tipo de transmisión se basa en un conjunto de eslabones conectados entre sí. Es un sistema sencillo, con un coste muy económico, es ligero, de rendimiento muy alto, ya que le roba muy poca potencia al motor y con reacciones muy buenas en la aceleración y el frenado. Por todo esto es el método de transmisión universal. Si se debiera decir algún punto negativo es que requiere algo de mantenimiento, como el engrase, controlar la tensión o el cambio de la misma.



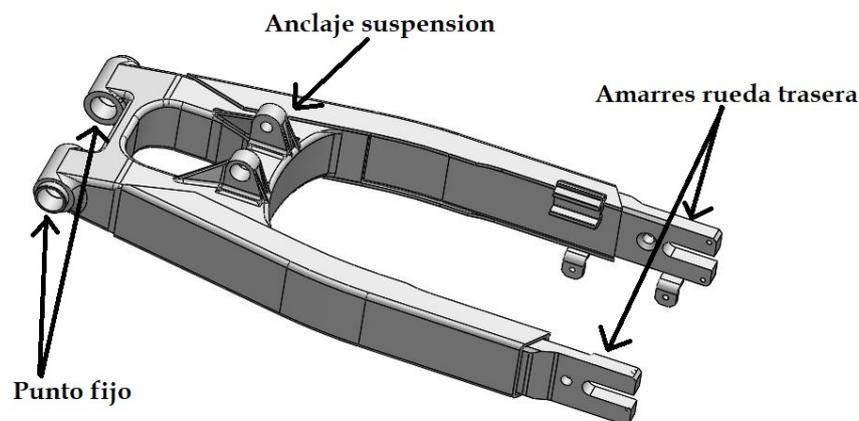
*Figura I.8. Transmisión por cadena.*

La elección de la transmisión es crucial para el diseño del basculante, ya que la forma de este está relacionada directamente con el elemento de transmisión, como se puede observar en la imagen. Debido a que en la gran parte de las motos deportivas se usa la transmisión por cadena, el basculante de este proyecto estará diseñado para una transmisión por cadena, así pues, el diseño deberá de contener los orificios y la forma para garantizar la correcta posición de la cadena.

### I.4. EL BASCULANTE.

El basculante será la pieza de estudio de este proyecto y, a la que más tiempo se le dedicará, para así, llegar a entender la tan alta importancia de la misma.

Este está anclado al chasis por un punto fijo, en el cual se alojan rodamientos para así permitir el pivoteo del mismo, este permite el movimiento en sentido vertical y lo restringe en el horizontal, posee un alojamiento donde poder instalar la suspensión trasera, y uno o dos brazos para anclar la rueda trasera.



*Figura I.9. Partes de un basculante.*

Es una pieza de vital importancia ya que está sometido a esfuerzos estructurales, siendo los más importantes el de torsión, al tomar una curva, el de pandeo estático, producido por el peso del conductor, y esfuerzos dinámicos, al pasar por baches o acelerar.

Transmite todas las sensaciones de la rueda trasera al piloto, y variando la distancia entre ejes, se consigue que la motocicleta sea más o menos larga, modificando así la estabilidad de la misma. Su ajuste es muy importante en competición, dependiendo de si se trata de un circuito rápido o lento, y de esta forma se obtiene toda la sensibilidad del grip trasero, pudiendo derrapar más o menos.

Cabe recalcar que la rueda trasera es la encargada de proporcionar la tracción al vehículo, de ahí, que el basculante deba de ser una pieza altamente resistente a esfuerzos de todo tipo. La rueda no es el único elemento anclado al basculante, también lo hace la

## I. Introducción

suspensión trasera, muy importante en la transmisión de sensaciones al piloto durante la conducción.

Por todo esto se concluye, que el basculante es una pieza crucial en una motocicleta, ya que es la encargada de transmitir todas las sensaciones de la rueda trasera al conductor y de soportar una gran parte de los esfuerzos dinámicos que aparecen durante la conducción. El estudio de todos estos esfuerzos se mostrará en los apartados siguiente.

En las siguientes imágenes se puede observar donde está situado el basculante con respecto a la moto.



a)



b)



c)

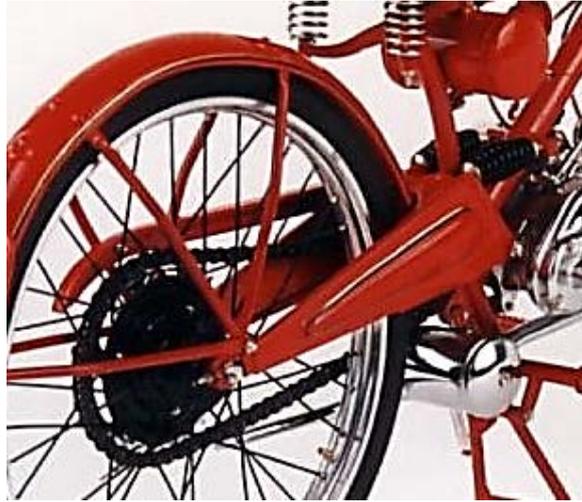
*Figura I.10. a) Vista general del basculante en una motocicleta. b) Vista real de la unión del basculante junto con la rueda. c) Vista realizada por ordenador del conjunto, rueda, suspensión basculante.*

## I. Introducción

---

### I.4.1.1. Historia del basculante.

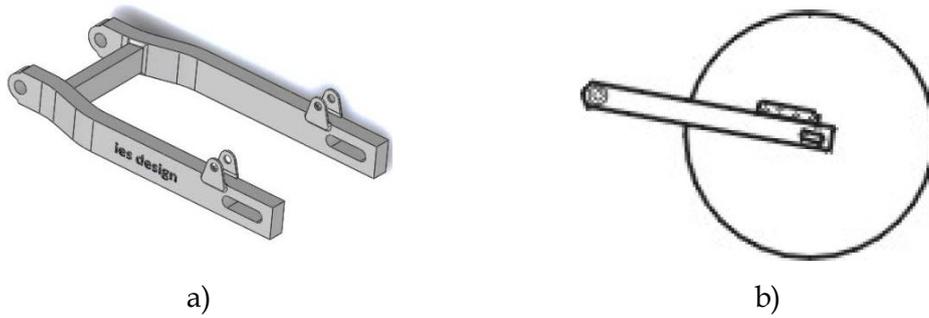
Los primeros diseños de suspensiones con basculante, como los de Moto-Guzzi y Vincent, estaban triangulados para tener una mayor rigidez estructural, pero durante los años 50 y 60, los basculantes comenzaron a ser universales y este aspecto quedó ignorado.



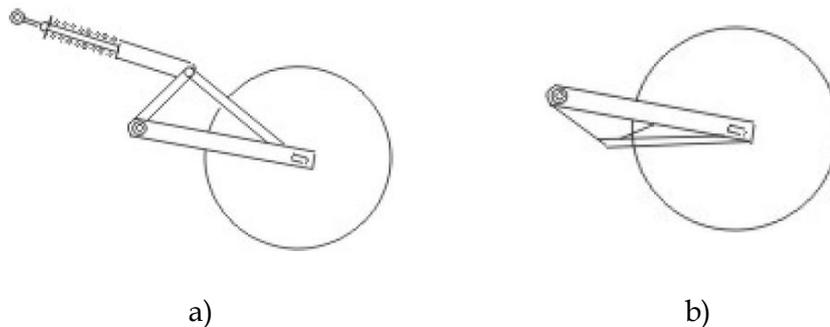
*Figura I.11. Basculante Moto-guzzi años 50.*

La Norton Featherberd lidero un diseño, que se basaba en un tubo transversal para el giro, junto con dos brazos laterales. No obstante, La falta de rigidez torsional, fue tal que se empezaron a vender pares de suspensiones, uno para cada brazo, y así reducir estos esfuerzos.

Los primeros basculantes eran de sección redonda y no eran resistentes prácticamente ante ningún esfuerzo, cuando se dieron cuenta de que el basculante era una parte determinante para conseguir buena maniobrabilidad en la moto se empezaron a reforzar cambiando la sección a una cuadrada o rectangular, mejorando así su comportamiento a flexión.



Finalmente comprobaron que triangulando se conseguía un mejor control de la flexión en cada brazo del basculante, y con esta triangulación se mejoró el problema de torsión asegurando la alineación de las dos ruedas en las curvas. Esta triangulación puede ser por la parte superior o inferior al eje de giro.



Según se reforzaron los basculantes se comprobó que mejoraba el comportamiento dinámico de la motocicleta introduciendo vigas transversales y haciéndolos macizos llegando a una gran robustez. Como en la mayoría de componentes, en los basculantes se busca un compromiso entre rigidez y peso.

Se procede a explicar los dos grandes tipos de basculantes que existen en la actualidad.

### I.4.1.2. Basculante de doble brazo.

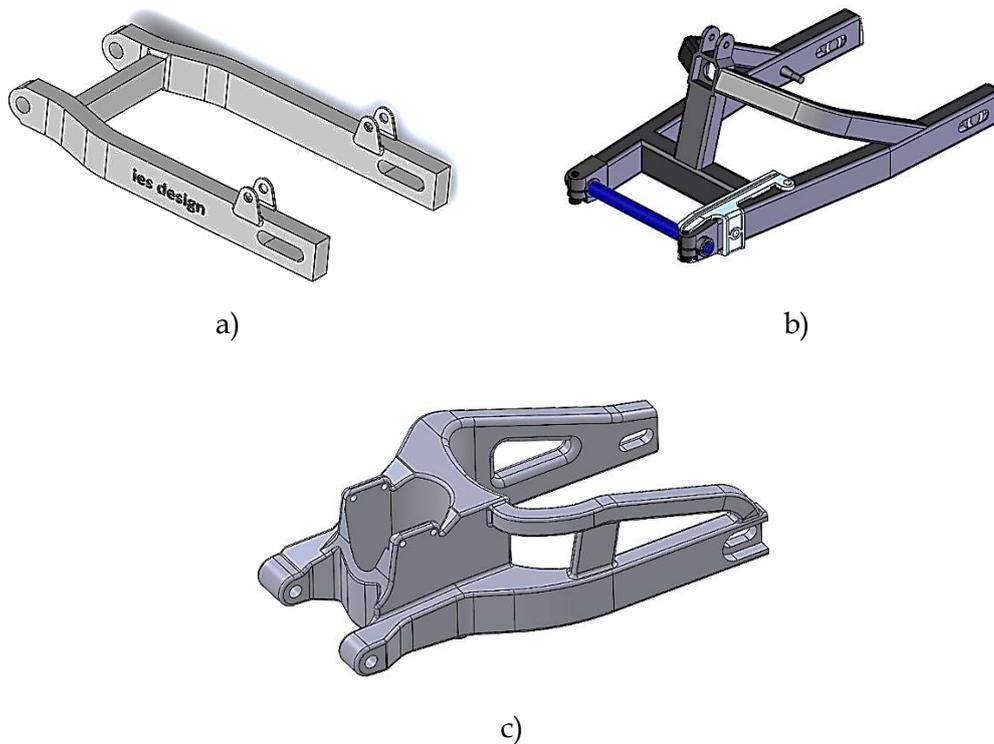
Este tipo de basculantes es una de los más utilizados por los fabricantes en la actualidad, están constituidos por dos brazos que sostienen la rueda trasera mediante un eje, largo y de pequeño diámetro, apoyado en los extremos de los brazos.

Existen diferentes tipos de basculantes con esta tipología, como son los basados en brazos de sección rectangular, los triangulares, formados por varios tubos unidos

## I. Introducción

---

entre si y el de, sección variable, constituidos por piezas, generalmente de fundición soldadas entre sí.



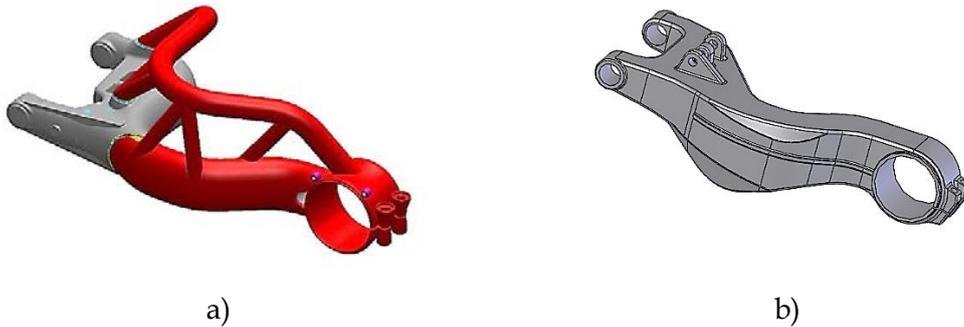
*Figura I.14. a) Basculante de doble brazo de sección rectangular. b) basculante triangular de tubos soldados. c) Basculante de doble brazo de fundición.*

Este sistema es muy usado en motos deportivas, como puede ser la Yamaha R6 y R1, o la Honda CBR, es decir en motos comerciales, ya que su coste de fabricación es menor que el del basculante monobrazo. En moto GP su uso está muy extendido, ya sea por fiabilidad o por tradición, ya que, el basculante monobrazo transmite sensaciones totalmente distintas a la hora de la conducción.

### I.4.1.3. Basculante monobrazo.

Este tipo de basculante está constituido por un único brazo que amarra la rueda trasera, esta se ancla mediante un eje, corto y de gran diámetro, apoyado en único rodamiento en la cavidad trasera. y rompen con el tradicional diseño de basculantes de doble brazo.

Existen diferentes tipos de basculantes monobrazo, según la constitución de su estructura, puede estar formado por una única pieza maciza de fundición o en cambio puede estar realizada por una serie de tubos soldados imitando la estructura de cercha.



Algunas ventajas que presentan este tipo de basculantes son, por ejemplo, la facilidad en el cambio de la rueda trasera y la facilidad de ajustar la tensión de la cadena, además de su función estética.

Honda lo ha empleado en una gran variedad de motos deportivas y de carreras, tanto con transmisión por cadena como por cardan, Ducati ha tenido mucho éxito en los circuitos, mientras BMW ha pasado a emplear el monobrazo de forma exclusiva en todos sus modelos con transmisión por cardan, primero con un brazo rígido muy simple y más tarde con un sistema articulado llamado “paralever” que controla el levantamiento y el squat. MV ha decidido utilizar un monobrazo de fundición en su nueva superbike F4. De hecho, los basculantes monobrazo tienen un uso mucho más amplio de lo que normalmente se piensa.

### I.4.2. COMPARATIVA ENTRE AMBOS BASCULANTES.

Asumiendo que ambas variantes tienen la misma geometría (misma longitud y los mismos puntos de anclaje al chasis), y que tanto el muelle como el amortiguamiento son iguales, existen tres criterios principales para compararlos:

#### 1. Peso total.

Hay que tener presente que el basculante es una pieza de la motocicleta, integrante de la suspensión, lo cual se incluye en el grupo de masas no suspendidas. Cualquier reducción en el peso de este elemento, redundará de forma directa en la sensibilidad de la suspensión, mejorando el confort en la conducción y aumentará su agilidad al reducir las fuerzas inerciales de los componentes. Cabe destacar que esta reducción del peso aportaría un mayor aprovechamiento del par y la potencia del motor.

### 2. Rigidez del basculante.

Es de vital importancia que el basculante tenga la rigidez adecuada para que evite deformaciones elevadas durante su funcionamiento. Estas deformaciones podrían generar movimientos durante el funcionamiento, comprometiendo así la estabilidad, e incluso, una variación de la trayectoria respecto a la deseada por el usuario. Por otro lado, la existencia de deformaciones podría comprometer la transferencia de cargas entre el tren posterior y anterior de la motocicleta, condicionando el comportamiento dinámico del conjunto. De ahí la importancia del diseño del basculante.

### 3. Facilidad de montaje-desmontaje.

Teniendo en cuenta que el diseño del basculante objeto de este proyecto se destina a motocicletas de competición, es útil prever la rapidez de las operaciones asociadas a este elemento. Estas operaciones incluyen el cambio de neumáticos, la sustitución de la cadena, o la colocación e caballetes.

Dado que el diseño real de un basculante monobrazo y de uno de dos brazos varía tanto, resulta difícil poder compararlos. Los primeros para transmisión por cadena al estilo de los que han diseñado Honda, Ducati y otros, utilizan formas muy complejas, y costosas de fabricar, debido a que montan la corona de la cadena por el lado de fuera, no obstante, este tipo de basculantes, monobrazo, presenta gran facilidad a la hora del cambio de rueda y del ajuste de la cadena, además de una gran resistencia a las fuerzas laterales.



*Figura I.16. Basculante monobrazo con la corona de la cadena en la zona exterior.*

Las características de la deformación de un basculante de dos brazos dependen en gran medida de la naturaleza y la rigidez del eje de la rueda y de su método de anclaje. Este tipo de piezas resultan mucho más económicas de fabricar y menos complejas a la hora de diseñar, no obstante, no es tan bueno a la hora de soportar cargas laterales,

## I. Introducción

---

aunque mediante refuerzos se consiguen buenos resultados. La corona se sitúa entre los dos brazos, siendo algo más compleja el ajuste de la cadena y el cambio de rueda.



Figura I.17. Basculante de doble brazo con la corona de la cadena en el interior.

Dado que ambos diseños son tan diferentes, es difícil elegir uno. La facilidad para el cambio de rueda podría ser un punto definitivo a favor del monobrazo, especialmente en carreras de resistencia, pero existen otras consideraciones como el coste, la facilidad de ajuste de la cadena, la facilidad para conseguir las tolerancias de fabricación necesarias, la estética o la tradición.

En este trabajo se elegirá el monobrazo, ya que la facilidad para el ajuste de la cadena, el cambio de la rueda y el comportamiento, son superiores que en el de doble brazo. También cabe recalcar que el diseño monobrazo, aporta un carácter más agresivo y personal a las motocicletas, así pues, estéticamente es más atractivo y por lo general el basculante monobrazo suele ser algo más ligero que el de doble brazo.

En próximos capítulos, tras explicar los esfuerzos a los que está sometido el basculante, se hará una comparativa, en cuanto a cargas, y así, comprobar cuáles son las ventajas específicas de cada uno.

### I.4.2.1. Comparativa estructural.

Tal y como se explica Foale, T en su libro '*Comportamiento dinámico y diseño de un chasis. El arte y la ciencia*'. Para lograr entender si alguno de los dos tipos de basculantes es mejor que el otro, se considerará un análisis por métodos finitos de ejemplos simples de cada tipo, en acero, y después se comparan los resultados. Ambos ejemplos se analizan con y sin refuerzo, la longitud de los basculantes es la misma, las dimensiones de los tubos pivotantes también y el espesor de la chapa utilizada en ambos coincide. En

## I. Introducción

las imágenes siguientes se muestran los dos tipos de basculante utilizados para el ensayo:

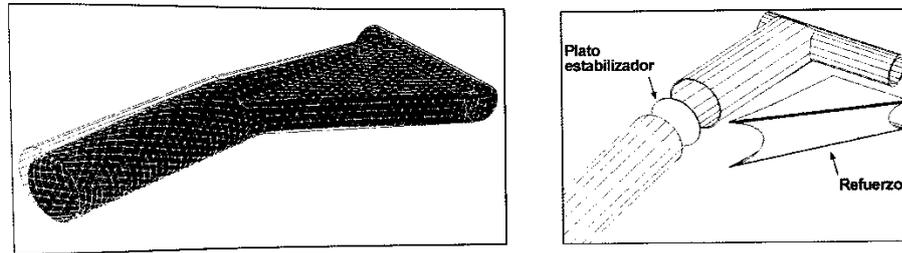


Figura I.18. Modelo del basculante mono brazo para el análisis.

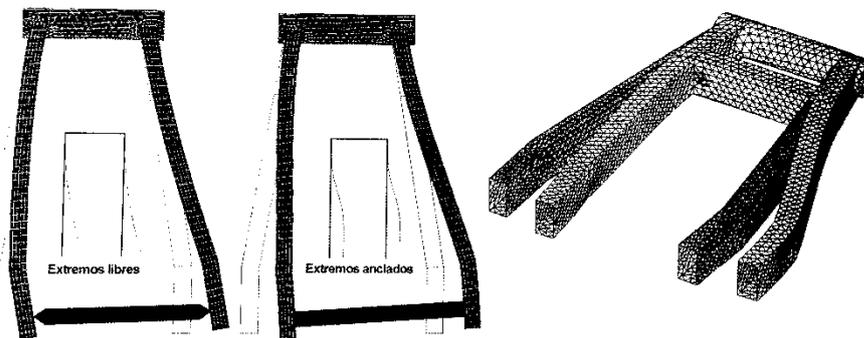


Figura I.19. Modelo del basculante doble brazo para el análisis.

La tabla siguiente muestra las deformaciones sufridas en la rueda, tal y como se observa en la imagen que le precede. se puede observar que ninguno de los dos diseños presenta una clara superioridad frente al otro, eso sí, el refuerzo es necesario en ambos casos, ya que otorga mucha rigidez. En cuanto al desplazamiento latera, el monobrazo es casi el doble de rígidos frente al de doble brazo, no obstante, la situación es la contraria para el caso del ángulo de giro de la rueda. Por ultimo en el caso de la rigidez en lo referente a la variación del ángulo de comba, el mono brazo es mínimamente superior al de doble brazo.

## I. Introducción

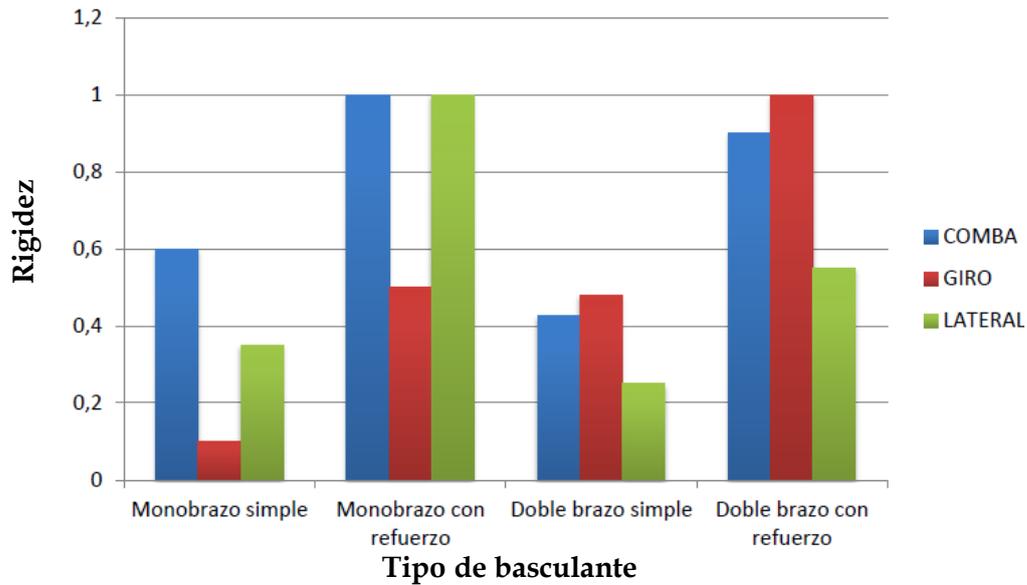


Tabla I-1. Grafica comparativa de la resistencia de los tipos de basculantes analizados.

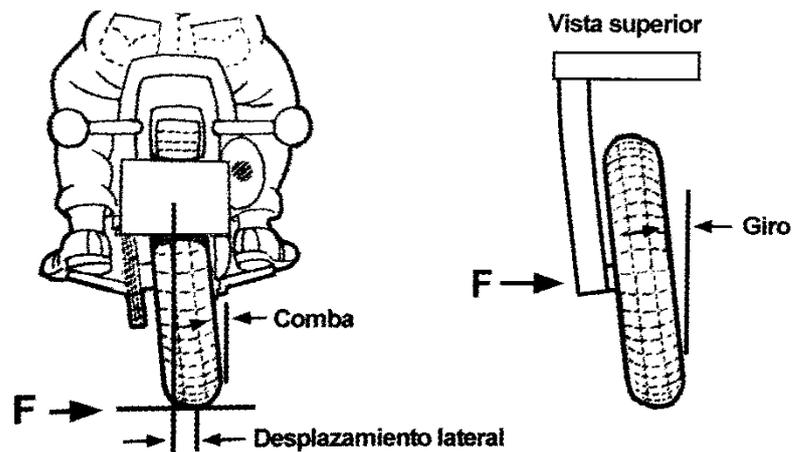


Figura I.20. Deformaciones de la rueda trasera debido a cargas horizontales.

Así pues, parece que ambos tipos de basculantes se pueden construir para que tenga un excelente comportamiento. La facilidad para el cambio de rueda y el ajuste de la cadena, como se ha comentado anteriormente, hace que se elija el basculante de tipo mono brazo.

### I.1. LA FIBRA DE CARBONO EN COMPETICIÓN.

En la máxima competición de motociclismo la fibra de carbono no ha llegado todavía a calar hondo en los fabricantes. Actualmente el único equipo que presenta un chasis realizado íntegramente de fibra de carbono, combinado con un basculante del mismo material es el equipo Ducati que lo implementa desde 2009, una difícil inversión a largo plazo pero que ya empieza a dar sus frutos. Además, la marca italiana ha llegado a sacar una motocicleta superdeportivo de calle realizada íntegramente de fibra de carbono la Superlegera.

Para la mayoría de equipos, el basculante de fibra de carbono, todavía no ha llegado a posicionarse como una clara alternativa al de aluminio en la máxima competición, debido a:

1. La dificultad que presenta a la hora de diseñarse y de producir.
2. El elevado coste de fabricación.
3. La elevada rigidez.

No obstante, algunos equipos ya han empezado a realizar sus investigaciones y a introducirlo. Durante el campeonato 2017/2018, el equipo ganador del mundial, Honda, empezó a introducir un nuevo basculante trasero realizado de fibra de carbono en algunos de sus entrenamientos.

En el mundo del motociclismo, existe un gran problema con las denominadas masas no suspendidas, aquellas piezas móviles, como las ruedas, la cadena, la horquilla, o el basculante. Para entender el problema se plantea el siguiente ejercicio, si se extendiera el brazo horizontal mente, con un peso en el puño, y se empezara a moverlo de arriba hacia abajo, la fatiga aparecería antes que si no se tuviera ningún peso en el puño. Esto es lo que sucede con las masas no suspendidas, a mayor peso de estas, mayor desgaste y mayor fatiga del elemento. Por ello se intenta siempre a reducir el peso de todos estos componentes.



*Figura I.21. Basculante de fibra de carbono implementado por el equipo Honda en MotoGP*

Hasta ahora el material elegido por todos los equipos, era el aluminio, no obstante, debido a que se está migrando a piezas más largas para aumentar la tracción y la estabilidad, es complicado mantener la rigidez estructural sin aumentar el peso. Con lo cual se buscan nuevas soluciones.

La fibra de carbono, otorga mayor rigidez estructural que el aluminio, combinado con una reducción muy considerable del peso. No obstante, un basculante necesita poseer algo de flexibilidad para garantizar el buen comportamiento de la motocicleta. Aquí reside el problema de la fibra de carbono, con un basculante de este material y el neumático al 100%, va un paso por delante del de aluminio, no obstante, cuando el neumático empieza a desgastarse y la superficie se convierte en irregular, el exceso de rigidez genera muchas vibraciones en la motocicleta. A todo esto, hay que añadirle que el neumático trasero es el que más sufre, ya que recibe todo el par de la motocicleta.

En las últimas carreras del campeonato 2018-2019, el equipo Honda y Ducati, han dado grandes pasos en cuanto a su basculante de fibra de carbono, llegando a subirse al pódium en Qatar con esta pieza.

Aunque el camino es largo, todos están de acuerdo en que la fibra de carbono es el futuro en el mundo de las dos ruedas, solamente hay que dar con la tecla.

### I.2. ESTUDIO DE MERCADO

Para la realización de este proyecto previamente se ha realizado un estudio del estado del arte, una investigación para analizar cuáles son las tecnologías empleadas para la fabricación de componentes en fibra, que utilizan las grandes marcas del sector.

Entidades como Ducati, con muchísima experiencia a sus espaldas en el tratamiento de la fibra de carbono, o Giant, experta en la fabricación de cuadros en fibra de carbono, han sido los principales referentes de este trabajo. Otras de las que también se ha recibido influencia han sido Alfa Romeo, Ferrari, etc. De todas ellas se ha investigado como diseñan y fabrican sus piezas, para así poder imitar a los grandes.

De Ducati se ha extraído la idea de cómo realizar diseños en fibra de carbono y como unir elementos metálicos en el diseño final, debido a que la marca actualmente fabrica motocicletas tanto de calle como de competición realizadas totalmente en fibra de carbono. De la importante marca Giant, como referente en el mundo de las bicicletas de fibra de carbono, se ha extraído la manera de fabricar sus cuadros, donde se ha podido encontrar videos excelentes donde muestran el proceso al que se ve sometido este material antes de llegar al resultado final.

En definitiva, es necesario siempre fijarse en los referentes y observar que hacen. Estas marcas se encuentran consolidadas por los años de experiencia que llevan a sus espaldas, en cuanto al tratamiento de la fibra de carbono. Por todo esto se puede apreciar una clara influencia sobre el diseño del basculante. La única pretensión que se tiene a la hora de estudiar sus trabajos es la de aprender, poder incorporar lo mejor de cada una en el diseño de este proyecto y proporcionar alguna idea de mejora.



## **II. OBJETIVOS**

# OBJETIVOS



## **II. Objetivos**

---

### **II.1. OBJETIVO GENERAL.**

Tras analizar el problema resultante de la fibra de carbono en competición, el exceso de rigidez, el objetivo final del presente proyecto será encontrar una solución para conseguir otorgarle más flexibilidad a la fibra de carbono y poder así facilitar la implementación de este material en el mundo de la competición. Esta solución llegará con la combinación de fibra de carbono más fibra de lino.

En este proyecto se diseñará un basculante, para una motocicleta de competición, teniendo esta que poder soportar grandísimas cargas, debido a que se supone que el vehículo va a ser llevado al límite de sus posibilidades, así pues, el basculante debe de garantizar en todo momento la seguridad y la correcta respuesta.

El basculante estará realizado íntegramente en fibra de carbono reforzado con lino, con pequeños componentes metálicos, únicamente utilizados en uniones atornilladas y en zonas donde la fibra podría presentar problemas de desgaste.

Así pues, el objetivo general que se persiguen en este trabajo es el de lograr una solución para el problema de rigidez de la fibra de carbono, y así poder implantarla de manera definitiva en el mundo de la competición sobre dos ruedas. Si se llegará a una solución óptima, derivadas de esta, aparecerían beneficios como la reducción del peso de la motocicleta, un ítem que se persigue en competición.

## II. Objetivos

---

### II.2. OBJETIVOS PARTICULARES.

En cuanto a los objetivos particulares del proyecto que se pretenden alcanzar con su elaboración se encuentran:

Entender el funcionamiento del basculante en una motocicleta, su importancia y cómo influye en el comportamiento final de la misma.

Otro campo donde se pretende adquirir más conocimientos es en el diseño CAD, debido a que esta es una pieza de complejidad media-alta, se pretende lograr entender todas las herramientas que comportan este tipo de programas y las posibilidades que ofrecen.

La fabricabilidad del producto es uno de los factores más importantes a la hora del diseño del mismo, ya que, si no se puede construir, ¿de qué sirve diseñarlo? Con lo cual se pretende diseñar siempre con la vista puesta en su fabricabilidad.

El estudio de las propiedades de la fibra de carbono de lino es de vital importancia para este proyecto, debido a que es el material base del prototipo.

Otro aspecto del cual un ingeniero puede aprender mucho es el estudio de las cargas a las que se ve sometida una motocicleta en su uso, entenderlas y saber posicionarlas determinan por completo el diseño del basculante.

La obtención de un prototipo funcional es la meta a la que se pretende llegar con la realización de todo el proyecto y por la que se pelea en cada uno de los apartados.

Permitiéndome hablar en primera persona, he de decir que de este proyecto he aprendido muchísimas cosas, incluso más de las que me esperaba, pero sobretodo, me ha enseñado a no rendirme y a seguir peleando por aquello que quiero.

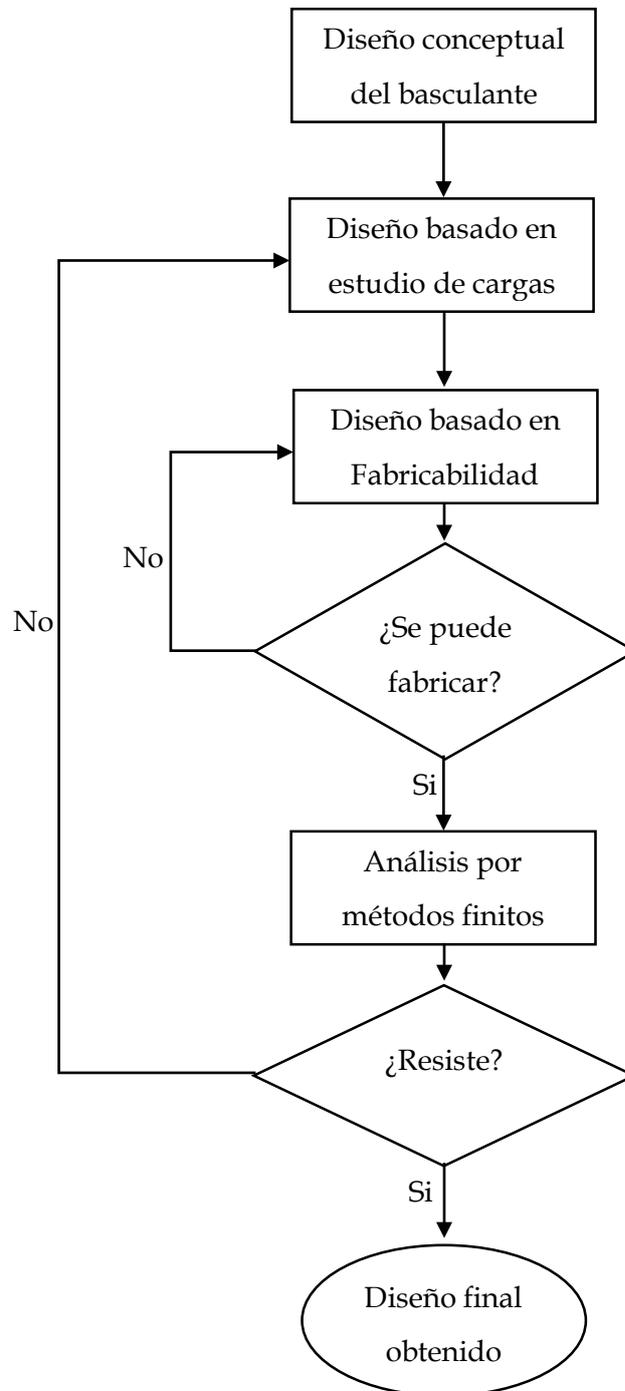
### **III. DESARROLLO PROYECTO**

# DESARROLLO PROYECTO



#### III.1. INTRODUCCION.

Ante de comenzar a mostrar todo el proceso de diseño del mismo, se explicará mediante un diagrama de flujo, cuáles han sido las pautas a seguir a la hora de configurar cada una de las piezas que componen este basculante.



### III. Desarrollo proyecto

## III.2. DISEÑO INICIAL PROTOTIPOS.

En este apartado se mostrarán las etapas de diseño de los prototipos del basculante que se ha diseñado. El objetivo es ver el desarrollo de la pieza y como ha ido evolucionando.

Algunos de los puntos principales que se han tenido en cuenta para realizar el diseño de esta pieza, quitando que debe cumplir requisitos estructurales, han sido que:

- La pieza debe ser fabricable en fibra de carbono y lino.
- Se deben ensamblar sus componentes sin problemas.
- El método de fabricación de los componentes es el de conformado por pre impregnado de vejiga.

En otros capítulos, se entrará más en detalle, sobre el método de fabricación elegido, y sobre el material, la fibra de carbono reforzada con lino. Así pues, ahora mismo se mostrarán las etapas de desarrollo del prototipo.

### III.2.1. PROTOTIPO 1.

#### III.2.1.1. Diseño del brazo principal.

En este apartado se mostrará el proceso de diseño del brazo principal del basculante, esta pieza es la base a partir de la cual crecen todos los demás integrantes del mismo.

En primer lugar, se crea el croquis del brazo principal, condicionado por:

- La distancia entre los enganches al chasis.
- Por su longitud.
- Por el perfil de la rueda y la llanta.

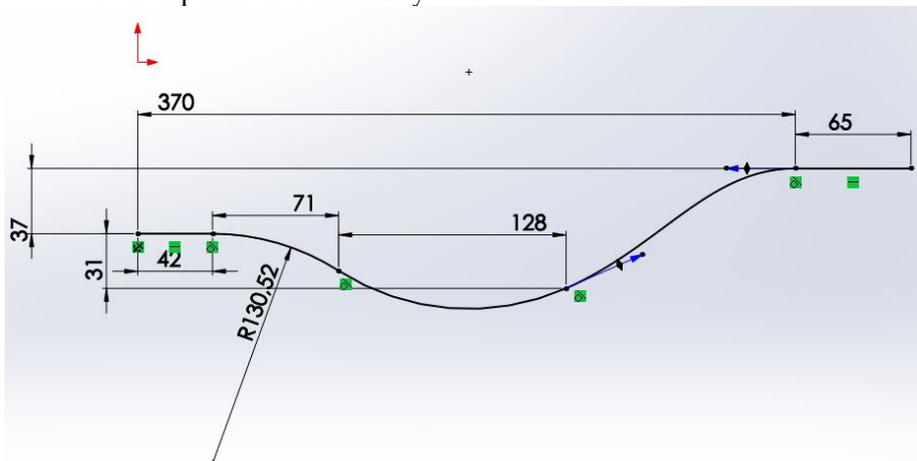


Figura III.1. Croquis del segmento principal del brazo base.

### III. Desarrollo proyecto

Acto seguido se le aplica la herramienta de barrido circular, con un diámetro exterior de 50mm y un espesor de capa de 5mm.

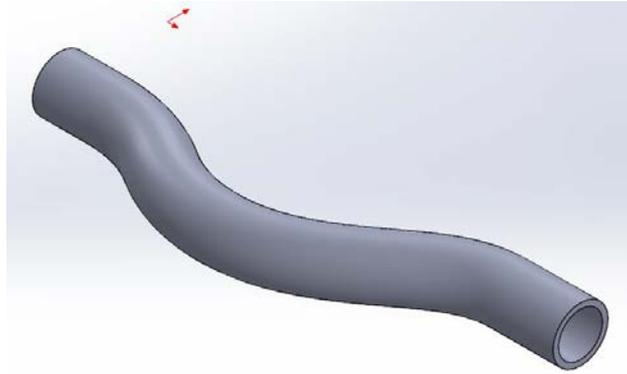


Figura III.2. Barrido de segmento principal del brazo base.

Tras realizar estas operaciones, se procede a dibujar el croquis del segmento secundario y a realizar la misma operación que en el caso anterior, barrido.

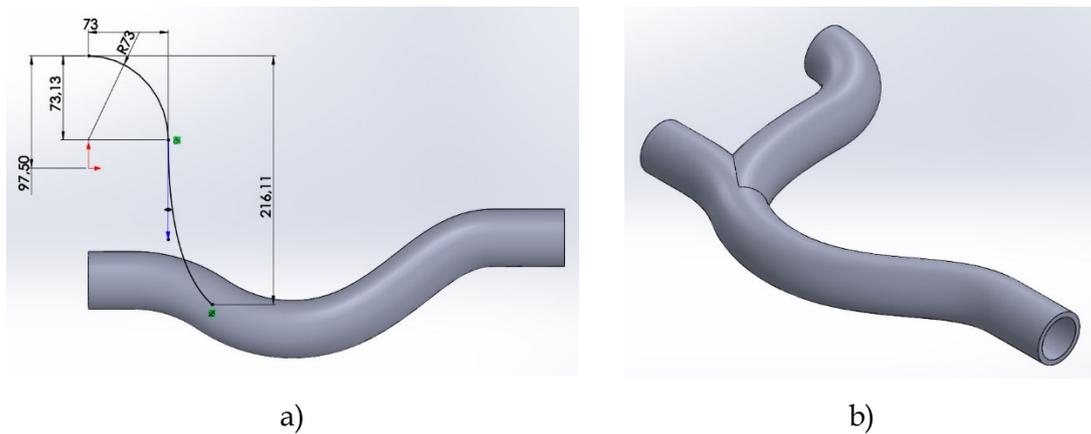
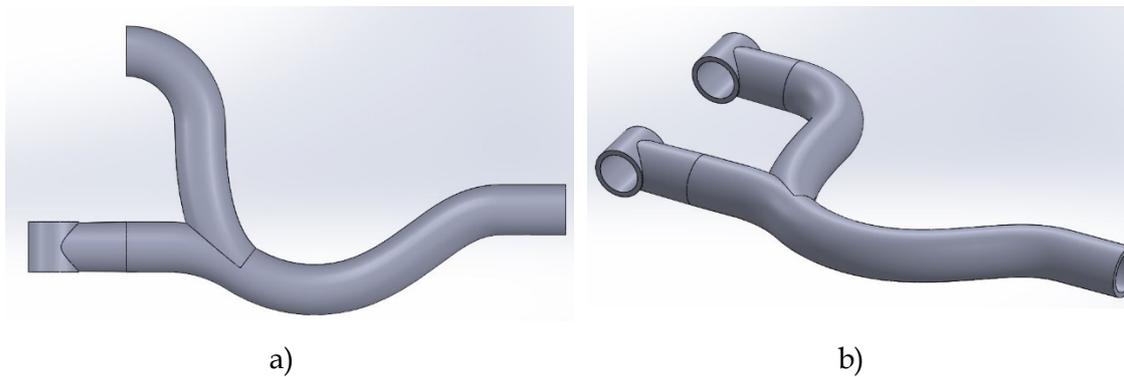
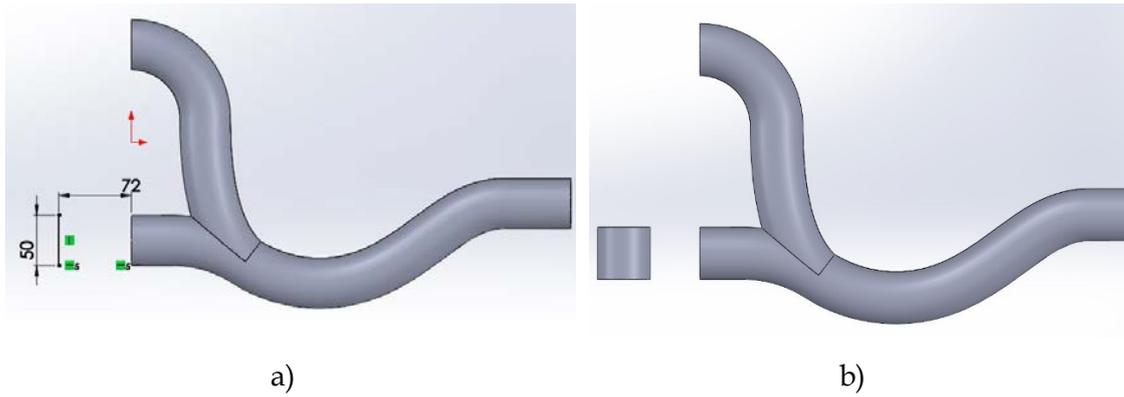


Figura III.3. a) Croquis del segundo segmento del brazo base. b) Resultado tras la aplicación de la operación barrido.

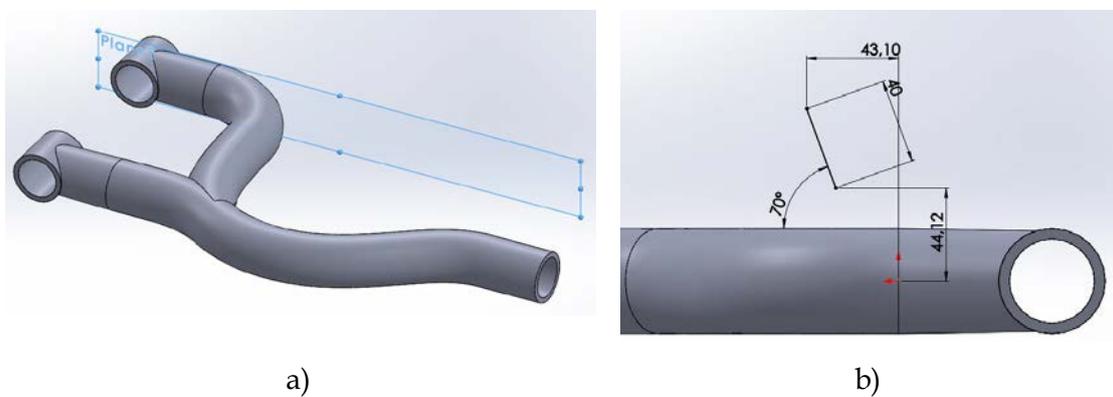
Una vez constituido la base, se procede a diseñar los amarres al chasis, en primer lugar, se dibujarán los cilindros donde se anclará, esto se realizará con la operación revolución, y acto seguido se unirá a la base, con la operación de extrusión hasta superficie, respetando siempre el perfil circular hueco. Esta operación se realizará para los dos amarres.

### III. Desarrollo proyecto



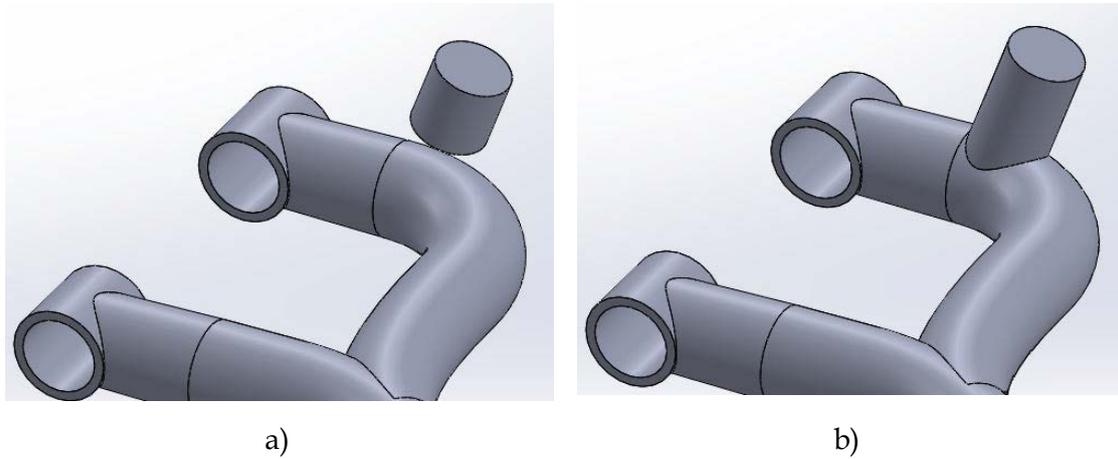
Una vez realizados los anclajes al chasis, se procede a dibujar los amarres para los pilares internos del basculante, que serán los que sostenga el brazo secundario, que se verá en los apartados siguientes. Estos amarres están diseñados con una cierta inclinación, imitando la estructura en cercha, y así conseguir una buena resistencia.

Para la realización de estos enganches, primero, se dibujará el plano medio que los contendrá, en segunda lugar, se dibujará el eje para realizar la revolución.



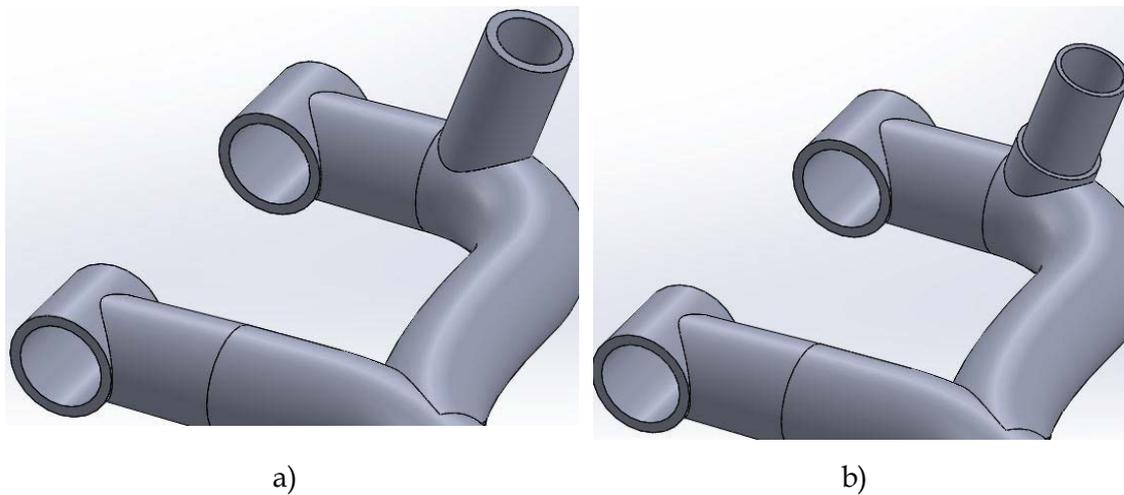
### III. Desarrollo proyecto

Acto seguido, al croquis creado se le aplicará la operación de revolución, y luego extrusión hasta la superficie de la base.



*Figura III.7. a) Resultado tras la operación de revolución. b) Resultado tras la extrusión hasta la superficie.*

Debido a que esta pieza, está pensada para ser toda fabricada en fibra de carbono en un molde, este amarre debe ser hueco como toda la pieza, y además debe permitir que se ensamble en ella el pilar correspondiente, así que se le hará también una reducción del espesor exterior en la zona de ensamblaje.

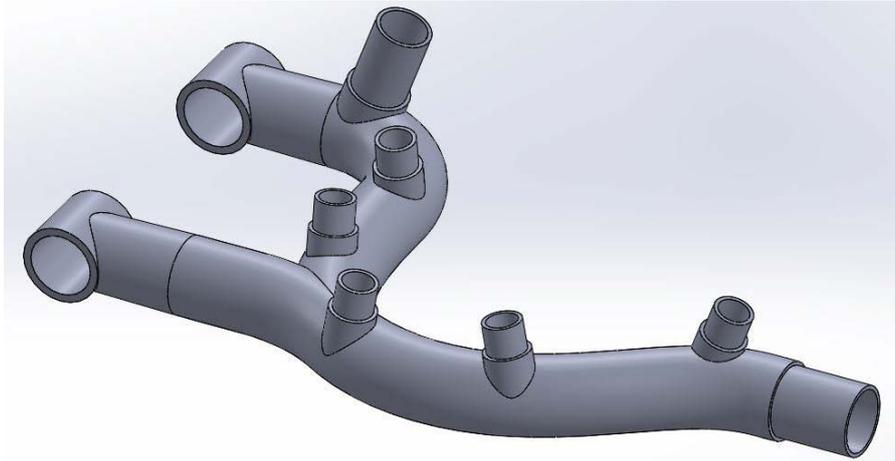


*Figura III.8. Resultado tras vaciar el interior del amarre. b) Resultado tras reducir el espesor para poder ensamblar el pilar correspondiente.*

Este mismo procedimiento se realizará para diseñar todos y cada uno de los enganches de los pilares que tendrá este basculante. Tendrán un diámetro de 30mm y un espesor de 5mm por la zona gruesa y 2.5mm por la zona de unión. También se realizará la reducción de espesor en el extremo, donde se acoplará el amarre de la rueda.

### III. Desarrollo proyecto

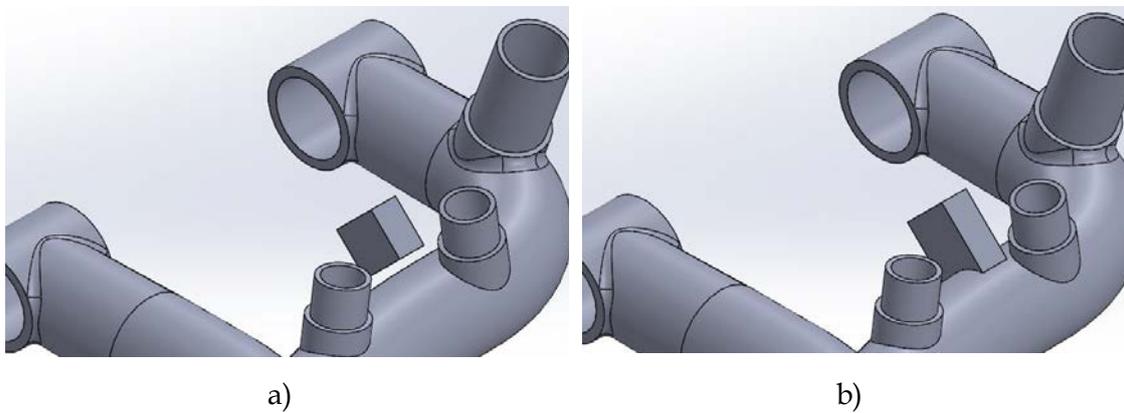
---



*Figura III.9. Resultado del brazo base tras diseñarle todos los anclajes de los pilares y el enganche de la rueda.*

Después de estos pasos, lo siguiente es realizar el diseño del amarre de la suspensión. Para este caso, se ha pensado en una suspensión con dos amarres, sujeta por un perno que le permitirá el movimiento de rotación.

Así pues, en el alzado se dibujará un rectángulo, que después mediante la extrusión se unirá al brazo.



*Figura III.10. a) Realización del cubo. B) unión del cubo al brazo principal mediante extrusión hasta superficie.*

Tras realizar este primer paso, se hará una simetría, y se copiarán dos piezas como las anteriores, una a cada lado, acto seguido se le realiza un agujero para que pase el perno, y el amarre de la suspensión ya estaría realizado en su totalidad.

Para finalizar el diseño de este brazo principal, se aplicará un redondeo en las uniones de 5mm, ya que como se hará en fibra de carbono, se asemejará más a la realidad y además ayudará en el comportamiento mecánico.

### III. Desarrollo proyecto

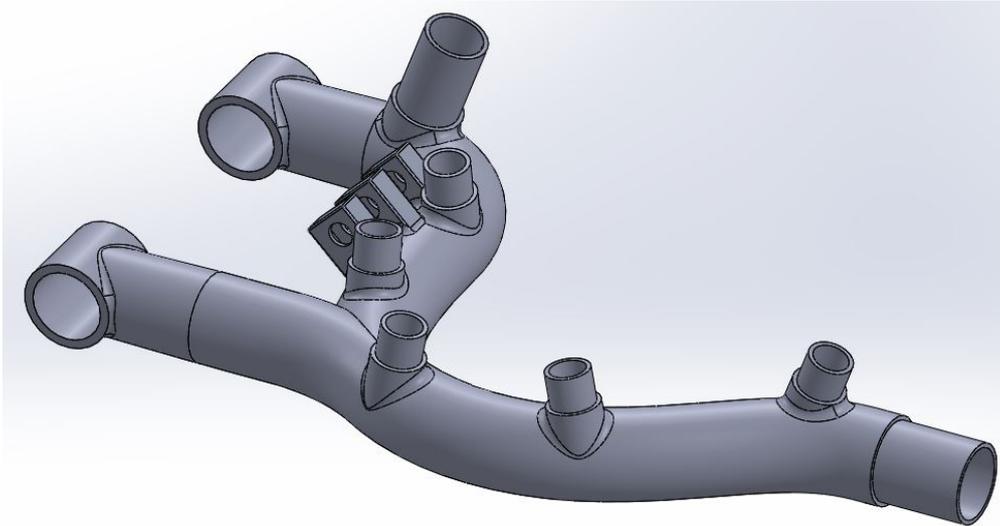


Figura III.11. Brazo principal finalizado.

#### III.2.1.2. Diseño del brazo secundario.

Este es el brazo superior que, junto con el brazo principal, soportaran los pilares del basculante, componentes muy importantes en el comportamiento mecánico del mismo, debido a que colaboran, reduciendo los desplazamientos y aportando rigidez al conjunto.

Para este caso se ha tomado como referencia el brazo principal, tomado puntos del mismo y trasportándolos a otro croquis, generando así una curva, con la herramienta spline. Después se genera la pieza con la herramienta barrido circular.

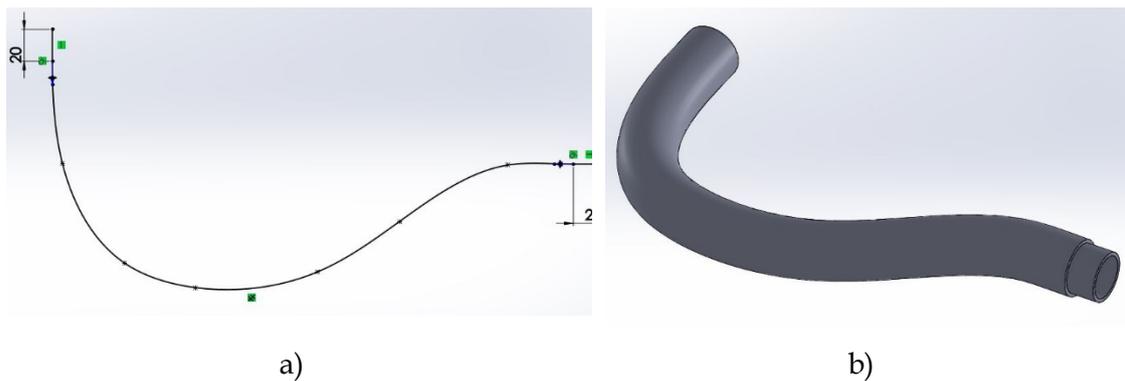


Figura III.12. a) Croquis del brazo secundario, a base de puntos. b) Resultado tras aplicar la operación de barrido.

Tras realizar esta primera fase, se le incluirán los enganches de los pilares, estos se realizarán de la misma manera que se ha explicado en la pieza anterior, eso sí, teniendo en cuenta, el posicionamiento, y la inclinación para que coincidan a la perfección.

### III. Desarrollo proyecto

---



Figura III.13. Resultado final, tras incluir los amarres de los pilares, y el amarre de la rueda trasera.

#### III.2.1.3. Diseño de los pilares intermedios.

Los pilares intermedios, son los que se encargarán de unir el brazo principal con el secundario, tiene un papel crucial en el comportamiento del conjunto, ya que, según la inclinación y la posición, restringen más el movimiento en un sentido u otro, además de otorgar más o menos rigidez.

En cuanto a estos componentes en primer lugar existen los rectos, su diseño es muy fácil, un croquis de una sola línea, al que se le aplica una revolución circular.

Acto seguido en los dos extremos se le realizara una reducción de espesor para que encaje sin problemas en los amarres diseñados.

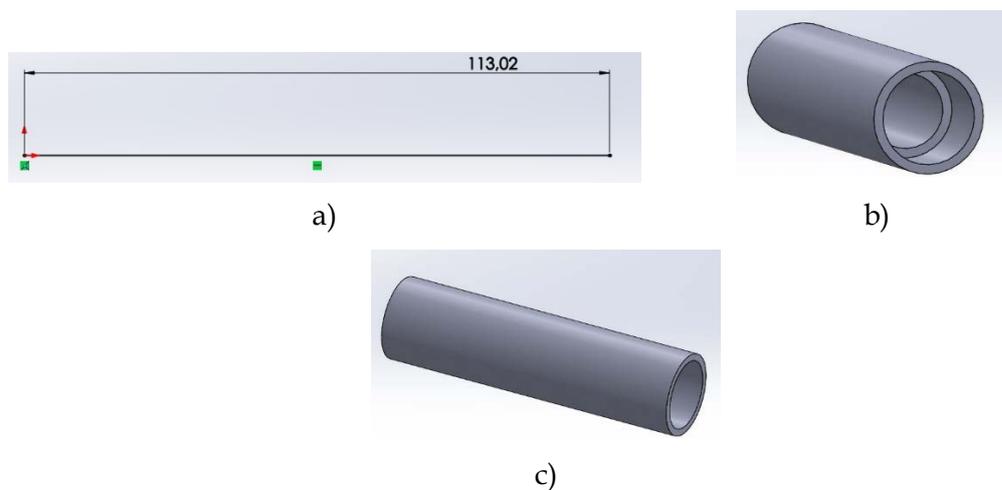


Figura III.14. a) Croquis de los pilares. b) Extremo donde se enganchará en los amarres. c) resultado final.

### III. Desarrollo proyecto

Por otra parte, está el pilar curvo, este une el brazo secundario y el principal, por uno de los extremos, es el más grande, y debe de soportar gran esfuerzo, por eso tiene el diámetro mayor.

Para este en primer lugar se le creará el croquis, acto seguido el barrido circular y para finalizar la reducción de espesor en los extremos para encajarlo correctamente.

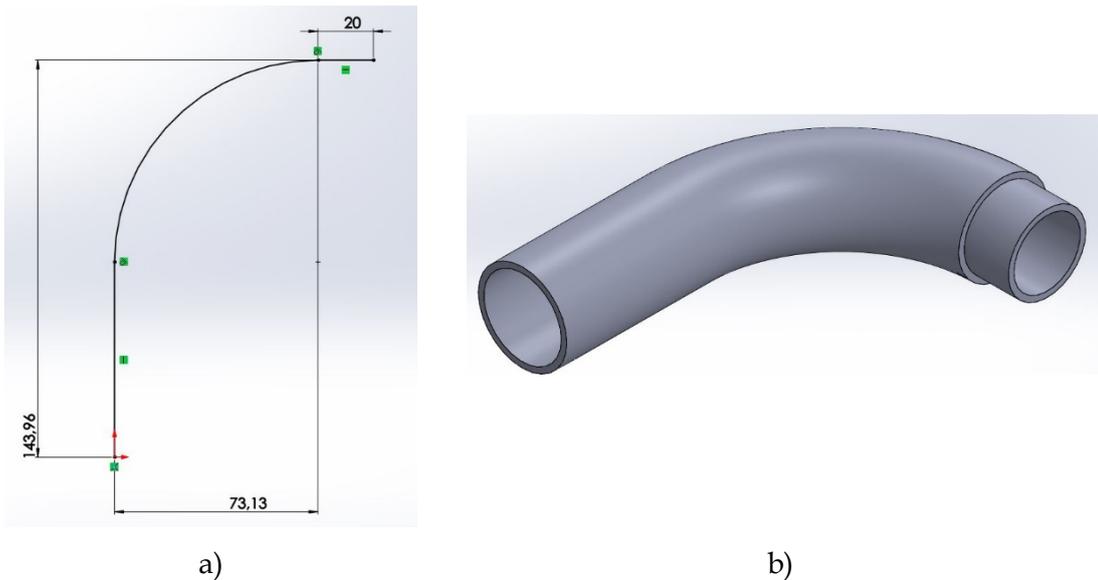


Figura III.15. a) Realización del croquis. b) Vista final tras la reducción de espesor.

#### III.2.1.4. Diseño del amarre de la rueda trasera.

Esta, es una pieza de vital importancia, ya que, se encarga de amarrar la rueda trasera. Es una de las piezas que más variaciones ha sufrido a lo largo de todo su diseño, hasta lograr el definitivo.

En primer lugar, se dibujará un cilindro que será la base de esta pieza.

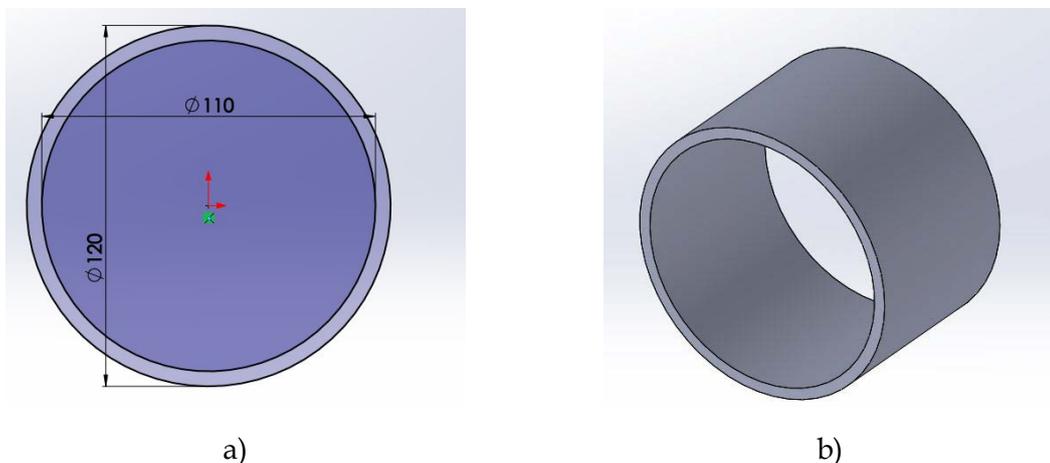


Figura III.16. a) Croquis del cilindro base. b) Resultado tras la extrusión.

### III. Desarrollo proyecto

Acto seguido se realizará encima de este, un segundo cilindro, algo más extremo, no obstante, no irá vaciado, se vaciará en próximas operaciones, y así, eliminar de una vez todo el material que se generará.

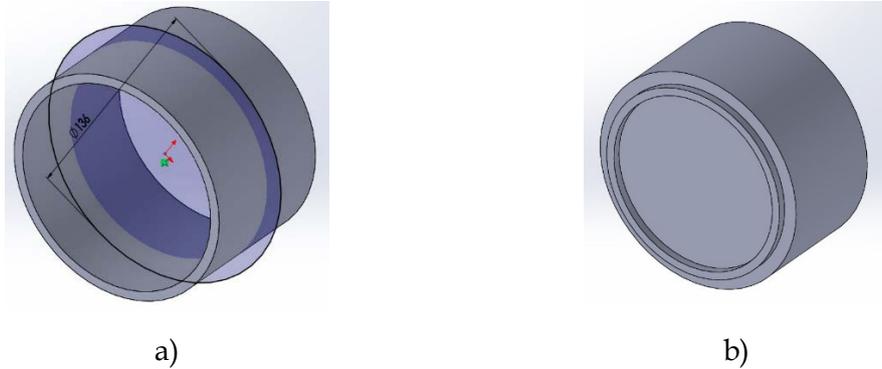


Figura III.17. a) Croquis del cilindro superior. b) Resultado final tras extrusión.

A este cilindro, se le añadirá, un brazo, que será el enganche al brazo principal del basculante. Este irá vacío, y con una disminución del espesor en el extremo para engancharlo correctamente.

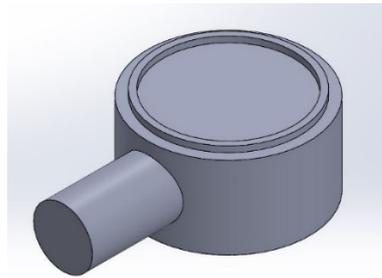


Figura III.18. Brazo de amarre al principal.

Tras esto, se procede a diseñar el enganche de los tornillos que generaran presión en el eje de a rueda, para evitar así que se salga. Estos se pueden aflojar, si se quiere cambiar algún componente. Se realizará uno, y mediante una operación de simetría el resto.

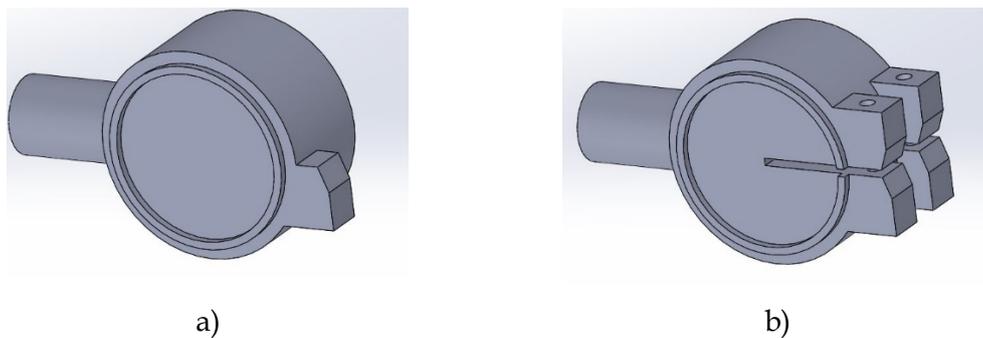


Figura III.19. a) Modelo con un engancha para los tornillos. b) Modelo con todos los enganches, los agujeros y la holgura hecha.

### III. Desarrollo proyecto

El siguiente paso será el de realizar el croquis del segundo brazo, que tendrá esta pieza, este servirá para unir el brazo superior. Se realizará como los demás, primero el croquis, y después un barrido cilíndrico.

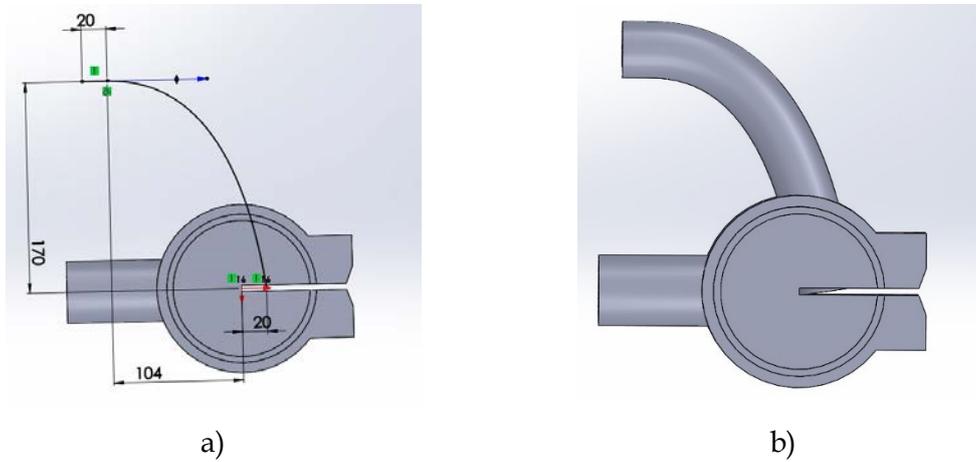


Figura III.20. a) Croquis del brazo. b) Resultado tras la operación de barrido circular.

Una vez realizado este amarre, se procede al vaciado del interior del amarre y a la inserción del refuerzo, que constituirá un brazo que sustentará los dos amarres. En primer lugar, se realizará en eje de rotación, para después aplicarle la herramienta de revolución sobre eje.

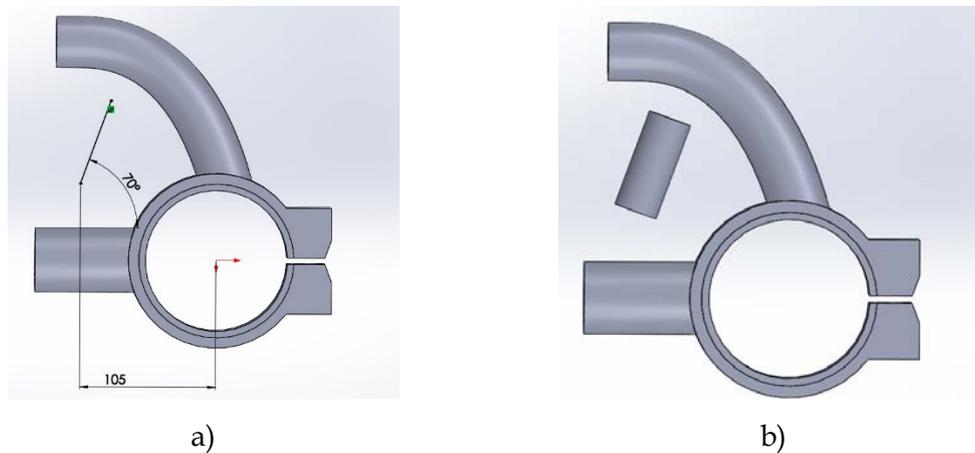


Figura III.21. a) Croquis del eje de revolución. b) Resultado tras aplicarle la operación de revolución.

Después se extruirá por ambos lados para unirlo a los brazos. Se redondearán las uniones de los mismo, y el amarre de la rueda, se puede dar por finalizado.

### III. Desarrollo proyecto

---

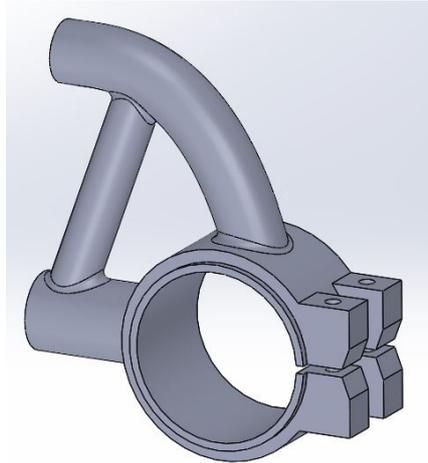


Figura III.22. Modelo final del Amarre de la rueda.

#### III.2.1.5. Resultado final.

El resultado final del prototipo 1, tras ensamblar todos los componentes, será el siguiente:

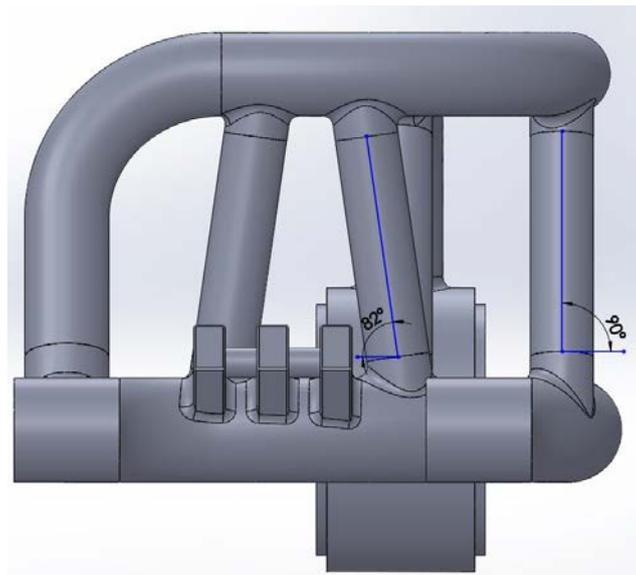


Figura III.23. Vista trasera del prototipo.

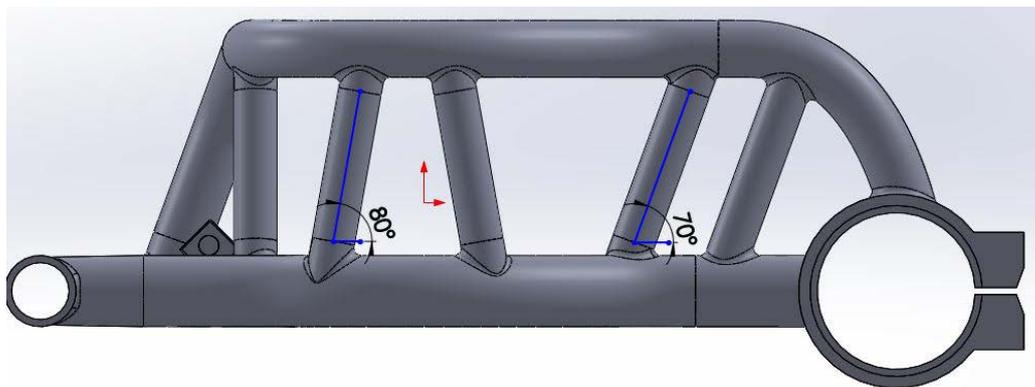


Figura III.24. Vista lateral del prototipo.

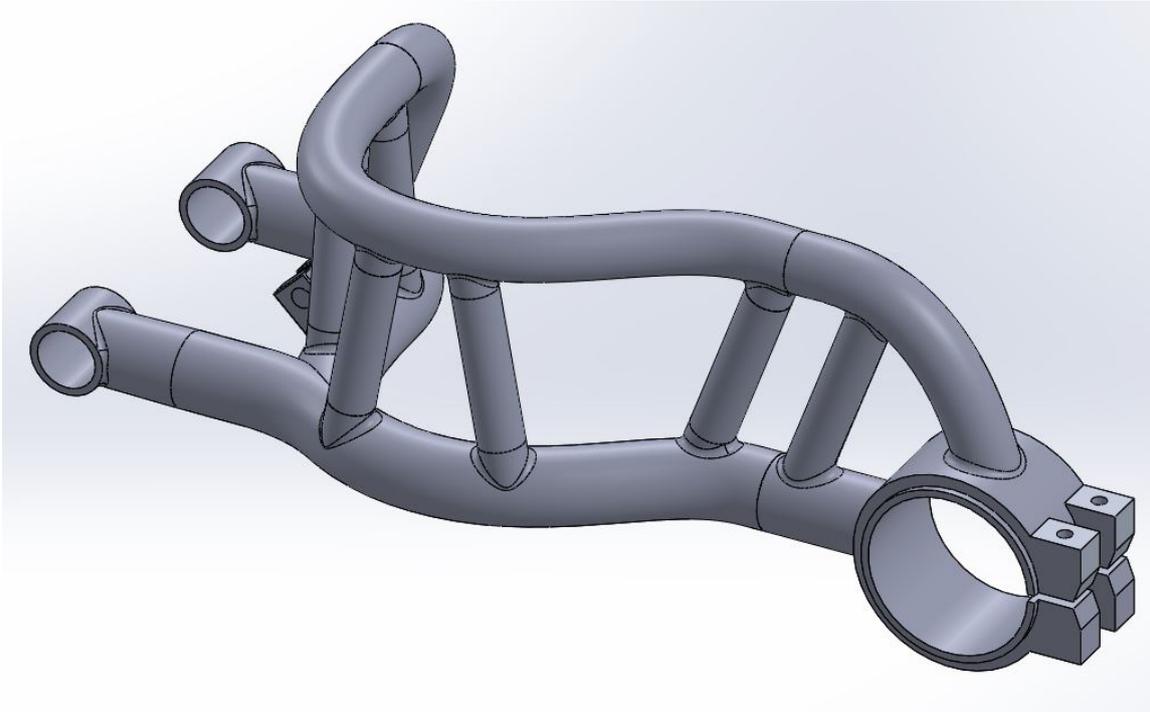


Figura III.25. Vista trimétrica del prototipo.

#### III.2.2. PROTOTIPO 2.

El prototipo dos, es exactamente igual, que el prototipo uno, no obstante, cambia la inclinación de los pilares internos, que es más pronunciada, lo que se intenta conseguir es más reacción en la componente horizontal, ya que como se verá en los siguientes puntos, el basculante soporta muchas cargas, en esta dirección.

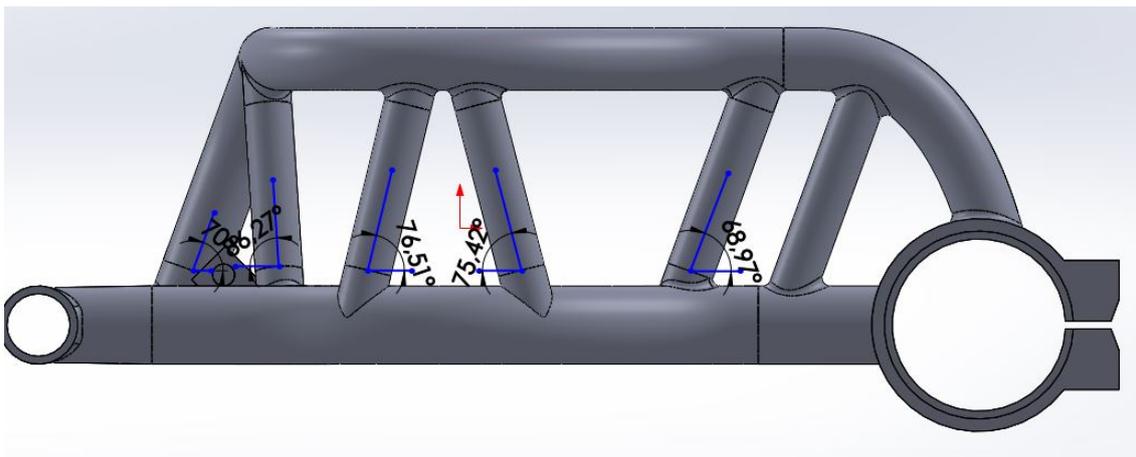
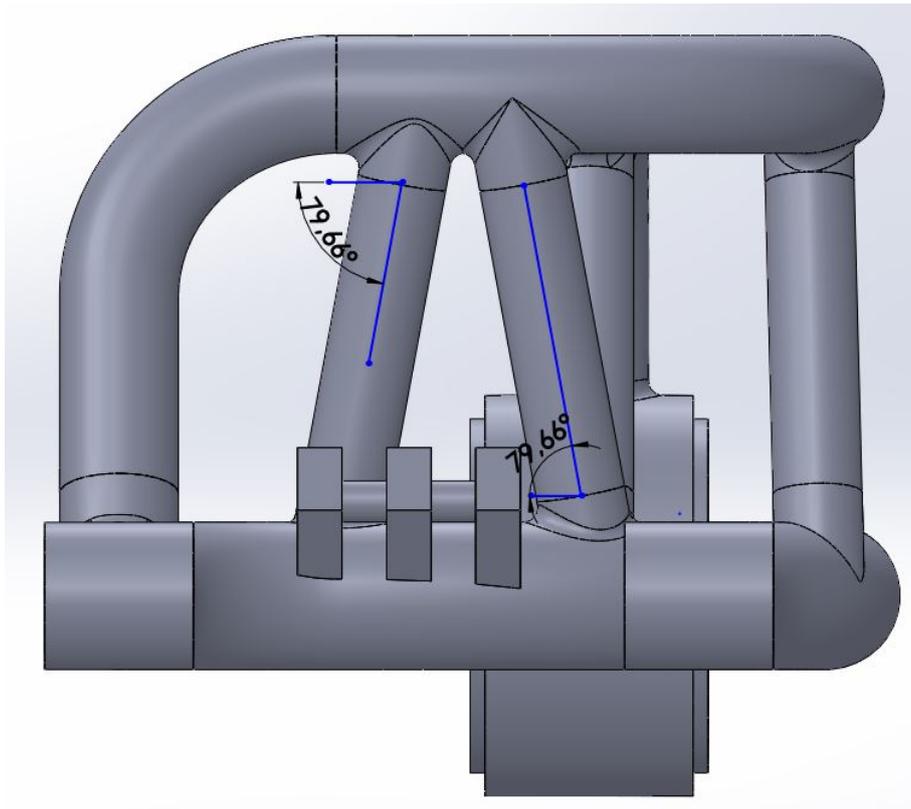


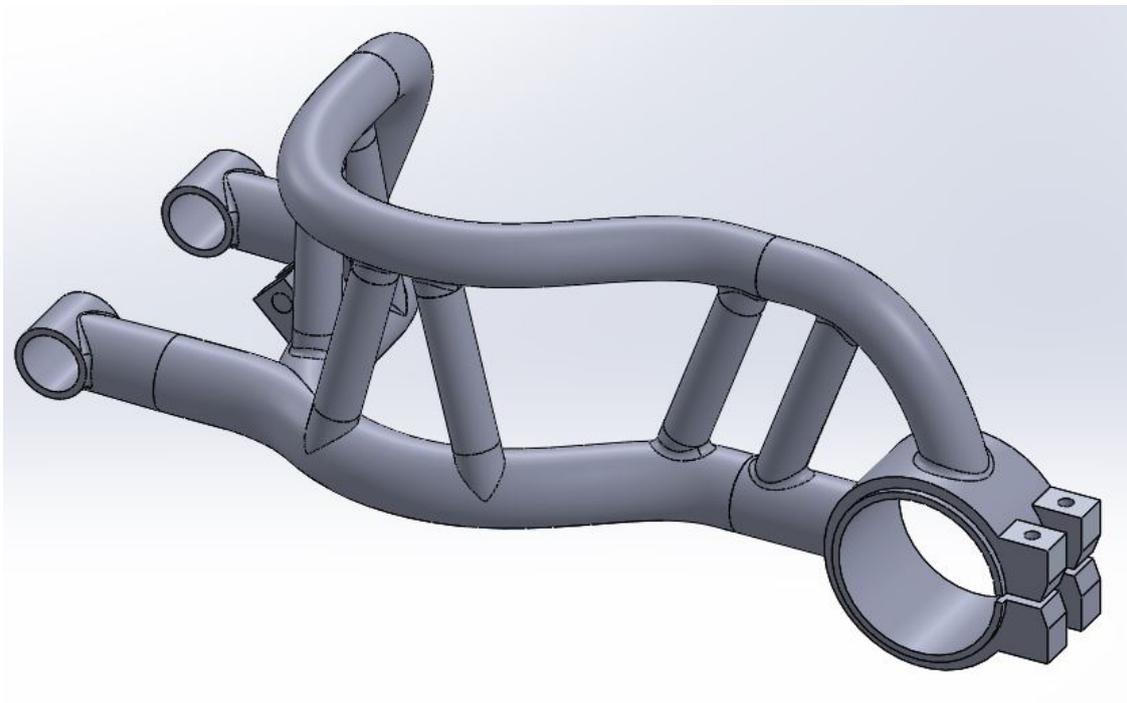
Figura III.26. Vista lateral del prototipo dos.

### III. Desarrollo proyecto

---



*Figura III.27. Vista trasera del prototipo dos.*



*Figura III.28. Modelo final del prototipo 2.*

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.2.1. PROTOTIPO 3.

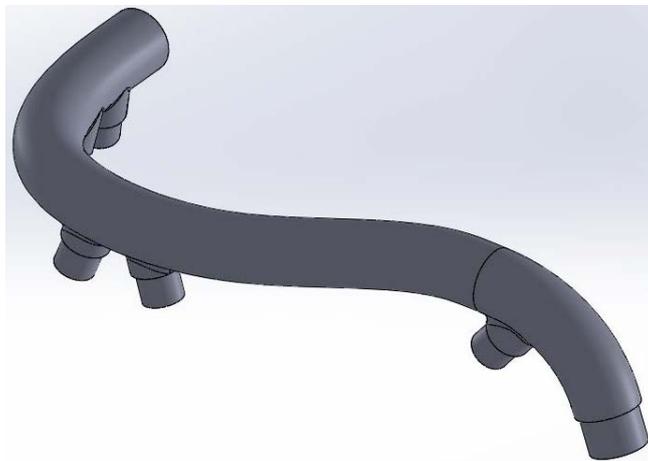
En este apartado se ha observado, gracias a los análisis realizados por métodos finitos según se avanzaba en el diseño, que a medida que se inclinaban más los pilares en los ejes X y Z, se mejoraba el comportamiento del basculante, siendo posible eliminar uno de ellos, además se ha rediseñado el amarre de la rueda haciéndolo más optimizado y por último el brazo secundario se ha alargado.

Seguidamente se procede a mostrar los cambios más significativos producidos en los componentes.

##### III.2.1.1. Brazo secundario.

La gran diferencia que presenta esta pieza respecto a las anteriores es que, el brazo se ha alargado, consiguiendo así, eliminar el acople superior existente en la pieza del amarre de la rueda, ya que esa zona no poseía un buen comportamiento.

Esto se ha conseguido modificando el croquis original, y con la misma operación de barrido circular.



*Figura III.29. Resultado final tras el alargamiento del brazo secundario.*

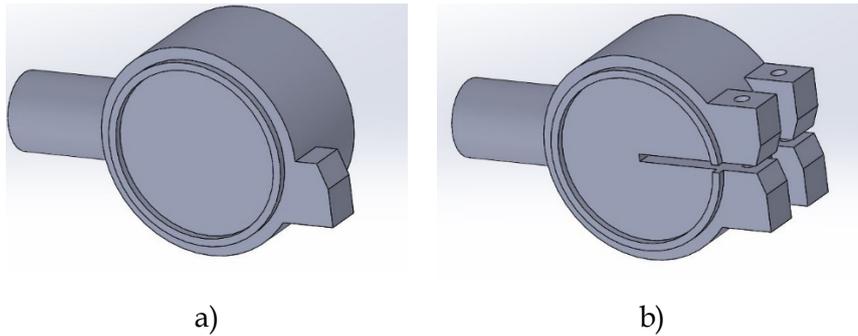
##### III.2.1.2. Amarre rueda.

Esta es una de las piezas que más cambios ha sufrido en este diseño, el primer prototipo no poseía un buen comportamiento, además de ser una pieza demasiado grotesca, con este se pretende, minimizar los componentes y conseguir un resultado más óptimo y atractivo.

Se partirá de la base del prototipo uno:

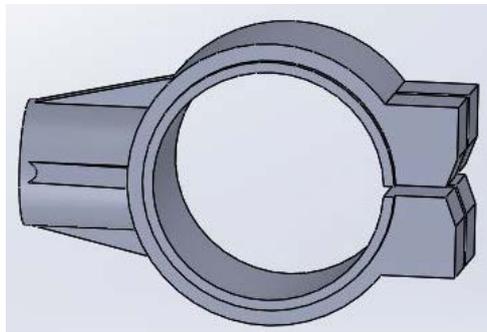
### III. Desarrollo proyecto

---



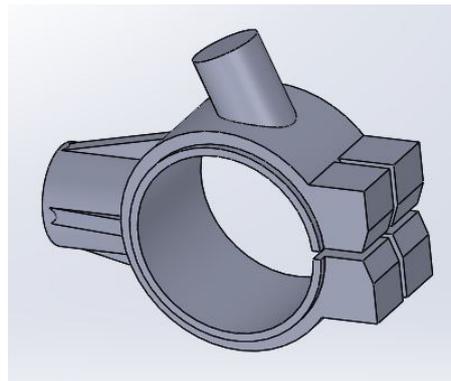
*Figura III.30. Base del amarre de la rueda para el prototipo tres.*

A partir de aquí, se vaciará su interior y en el acoplamiento del brazo principal se generarán unos nervios para aumentar su resistencia.



*Figura III.31. Aspecto tras el vaciado y la aplicación de los nervios.*

Acto seguido, en la parte superior se genera un acoplamiento mucho más corto que el anterior, y con la perfecta curvatura para que cohesione sin problemas con el brazo secundario.



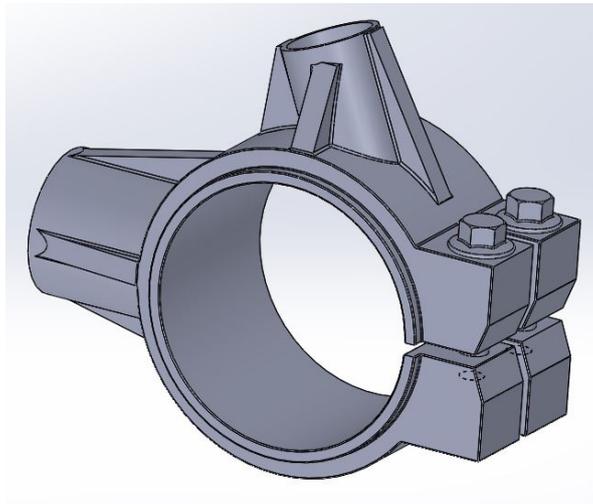
*Figura III.32. Aspecto tras la implantación del acoplamiento superior.*

Una vez realizado el acoplamiento superior, se le añadirán nervios para mejorar su resistencia y se vaciará ya que esta pieza es hueca. También se incluirán tornillos que ejercerán la presión para ajustar el eje de la rueda y se redondearán todas las aristas con

### III. Desarrollo proyecto

---

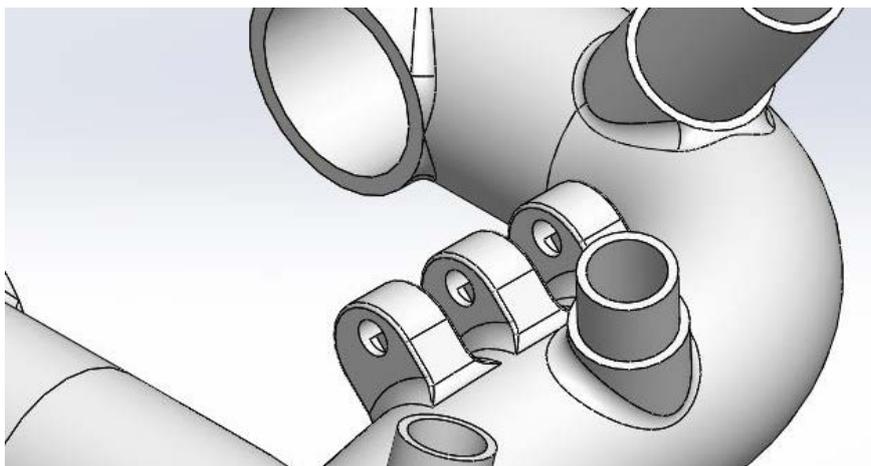
un Angulo de acuerdo de un milímetro. De este modo quedaría completado el nuevo diseño del amarre de la rueda trasera.



*Figura III.33. Diseño definitivo del amarre de la rueda trasera.*

#### III.2.1.3. Brazo principal.

En esta zona, aparte del cambio en la inclinación de los anclajes de los pilares que se verá próximamente, se ha rediseñado el amarre de la suspensión, haciéndolo más redondeado y quitando material, para evitar concentradores de tensiones, disminuir el peso y ahorrar en costes. Esto se ha conseguido mediante el empleo de la función redondeo.



*Figura III.34. Apariencia del amarre de la suspensión tras el redondeo.*

#### III.2.1.4. Resultado final.

A continuación, se mostrarán imágenes donde se puede observar las inclinaciones de los pilares internos, estas pequeñas inclinaciones son el causante de que

### III. Desarrollo proyecto

el basculante trabaje tan bien dinámicamente, ya que genera reacciones horizontales evitando deformaciones, el resultado final del prototipo será el siguiente:

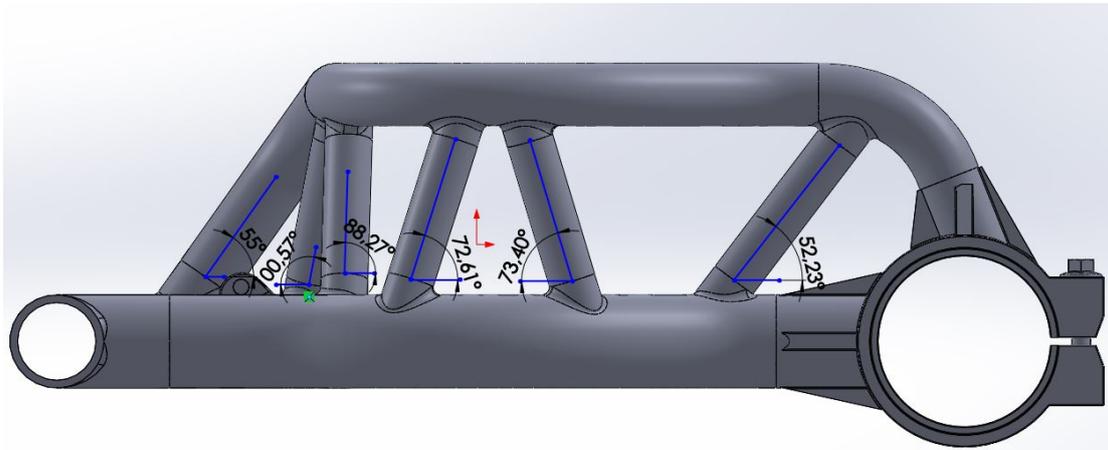


Figura III.35. Vista lateral del modelo final del basculante, donde se pueden observar las inclinaciones.

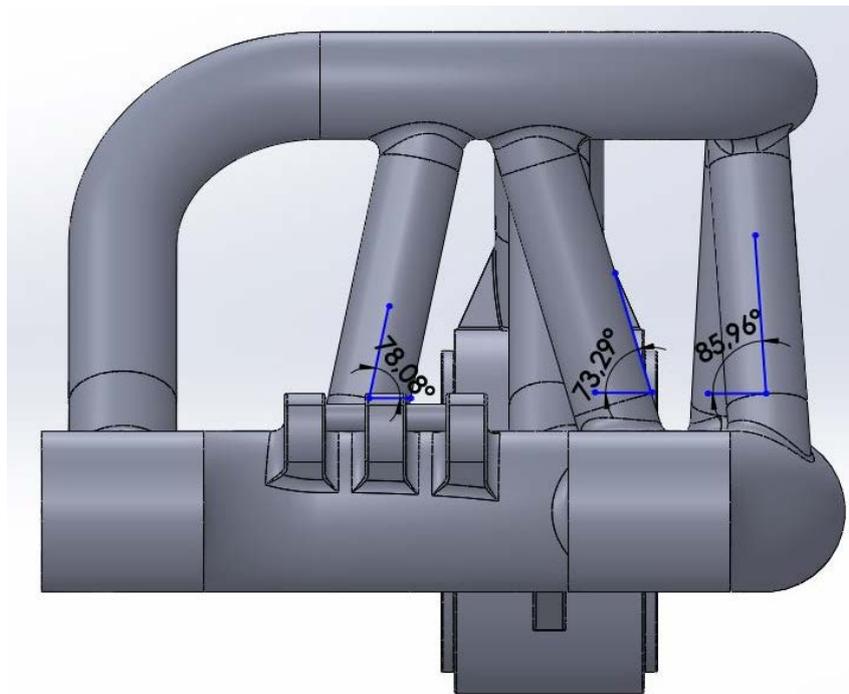
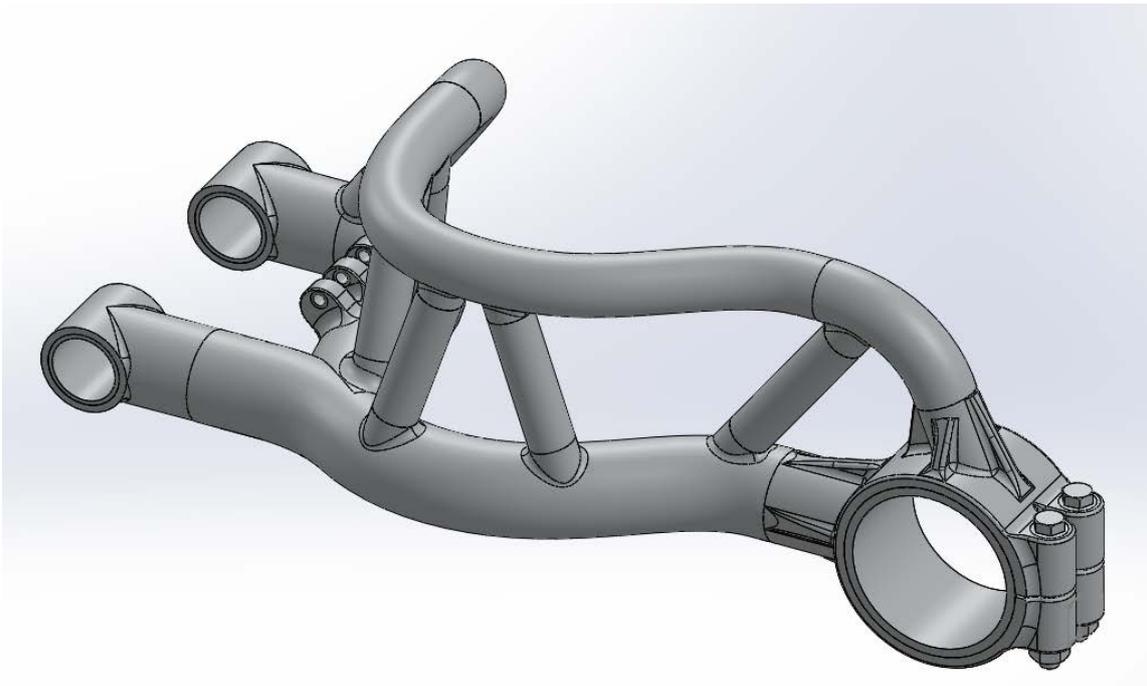


Figura III.36. Vista trasera del modelo final del basculante.

### III. Desarrollo proyecto

---



*Figura III.37. Resultado final del basculante en el prototipo 3.*

### III. Desarrollo proyecto

---

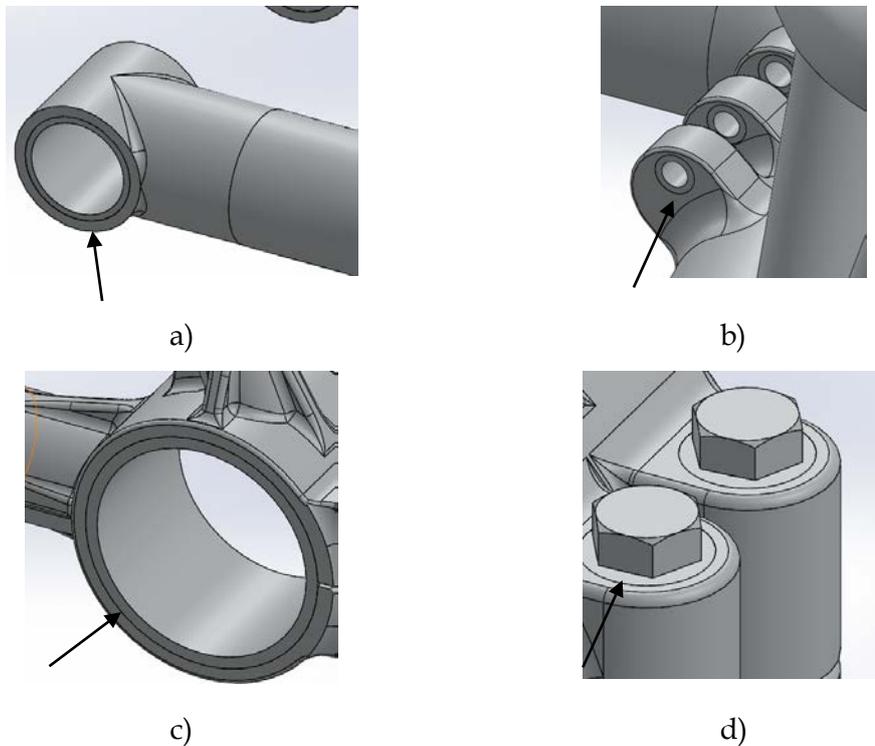
#### III.2.2. PROTOTIPO 4.

Este es el modelo definitivo del basculante tras todo el proceso de diseño, se han mejorado zonas como el amarre de la suspensión, el amarre del neumático y las superficies de contacto, a este modelo se ha llegado tras numerosos análisis estructurales, consiguiendo así un modelo completamente optimizado y atractivo. A continuación, se mostrará cuáles han sido los cambios de mayor relevancia y el resultado final del basculante.

##### III.2.2.1. Superficies de contacto.

En este punto se ha mejorado los anclajes al chasis, a la suspensión y la rueda, añadiéndose un casquillo circular en las zonas donde el basculante entra en contacto con el acero, esto se ha hecho debido a que la fibra de carbono tiene un mal comportamiento a la fricción y podría generar graves problemas de desgaste. Estas piezas de acero aleado se fusionarían con la fibra en el proceso de moldeo, llegando a integrarse por completa en el conjunto. El material elegido para esta pieza será acero con un nivel de aleación intermedia, como puede ser la serie 1030, 1040 o 1137.

El diseño de estas piezas es simple, simplemente se ha creado un cilindro con la operación extruir, y después se les ha cortado el cilindro.



*Tabla III-1. a) Lamina circular de la sujeción al chasis. b) lamina del amarre de la suspensión. c) Lamina del amarre del eje trasero. d) Soporte de acero para los pernos del amarre de la suspensión.*

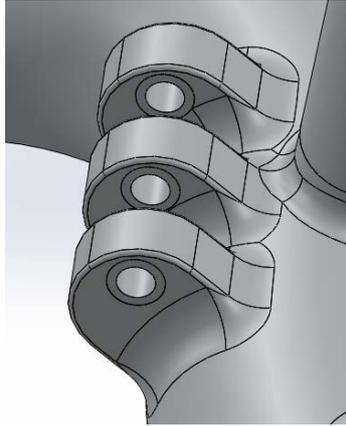
### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.2.2.2. Amarre de la suspensión.

Debido a que se ha observado que esta es una zona del basculante donde se concentra mucha tensión, se ha aumentado el redondeo de sus aristas y de la unión con el brazo principal, reduciendo las cargas en esa zona y mejorando su comportamiento.

El radio de redondeo se ha aumentado a 15mm



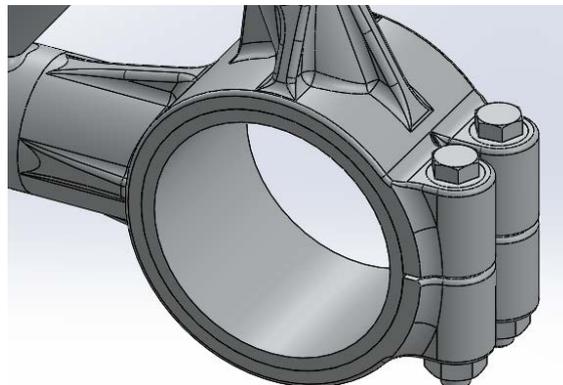
*Figura III.38. Redondeo de la unión del anclaje de la suspensión con el brazo principal.*

#### III.2.2.3. Amarre rueda trasera.

Esta pieza es la que más mejoras presenta frente a todas las demás, para ser más fácil su entendimiento se enumerarán.

1. Aumento del redondeo de las aristas a 3mm.
2. Optimización de los enganches de los tornillos, redondeando su superficie.

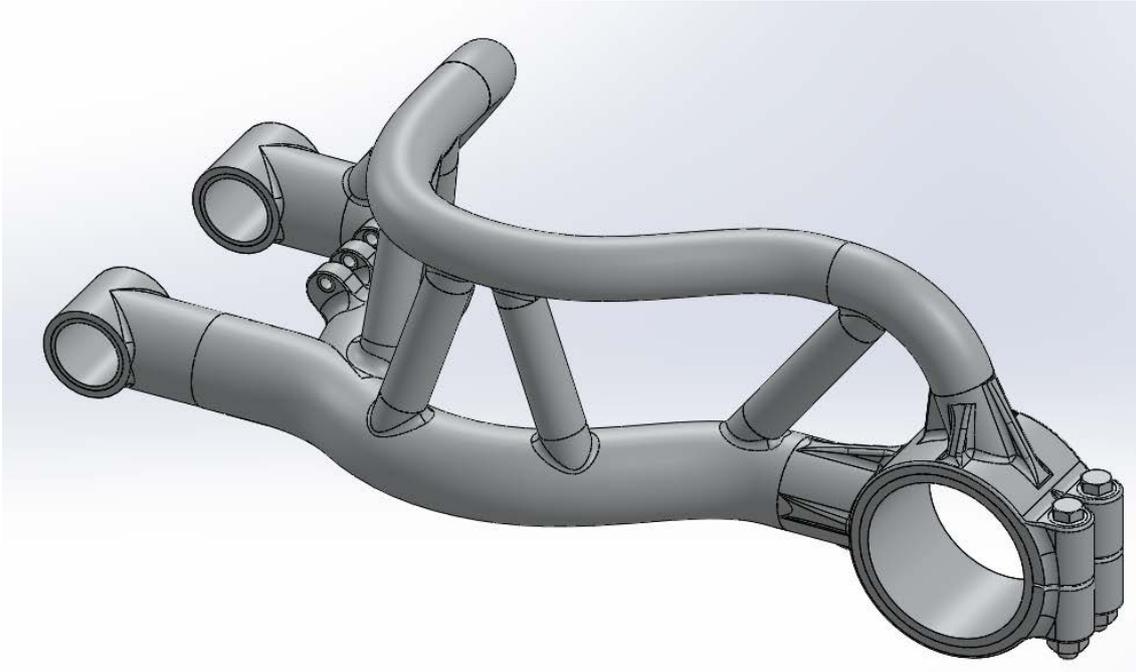
Con estas mejoras, se han reducido los concentradores de tensiones y se ha mejorado la fabricación de este componente.



*Figura III.39. Resultado final del amarre de la rueda tras las mejoras comentadas anteriormente.*

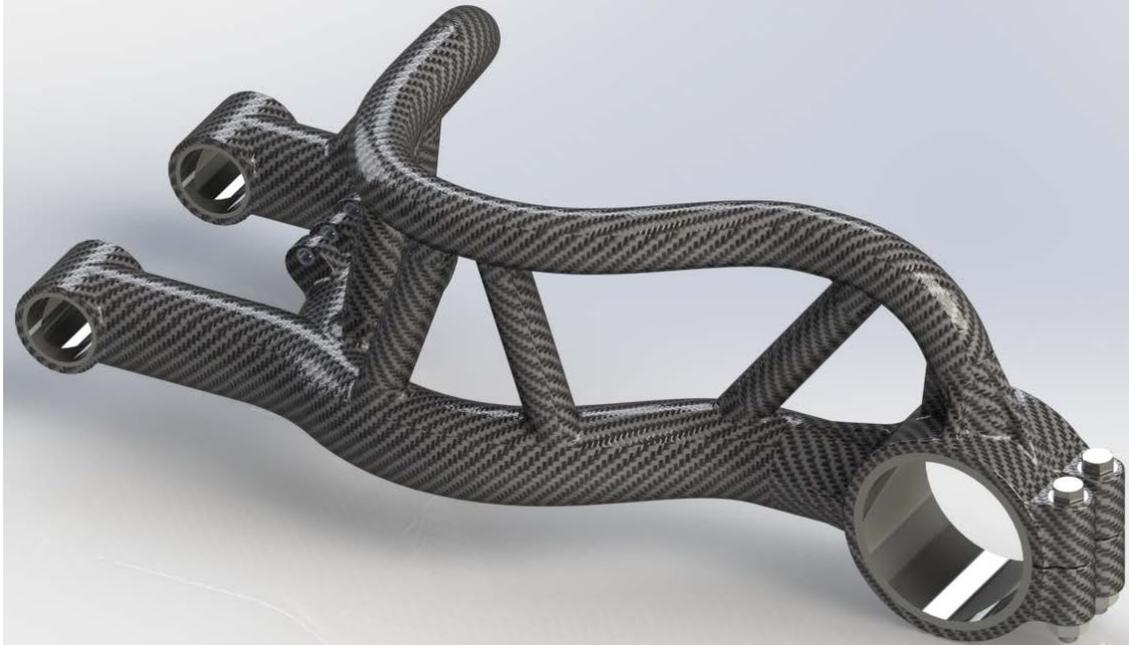
### III. Desarrollo proyecto

---



*Figura III.40. Resultado definitivo del basculante.*

La siguiente imagen muestra cual sería el resultado final del basculante, como se puede observar, es un diseño muy atractivo a la vez que deportivo, perfecto para una motocicleta de gran cilindrada.



*Figura III.41. Renderizado final del basculante.*

### III. Desarrollo proyecto

#### III.2.3. DISEÑO DEL EJE TRASERO.

Para realizar las simulaciones, es necesario diseñar un modelo aproxima del eje trasero de la motocicleta, ya que ese es el que transmite las cargas directamente al basculante, y estas son aplicadas sobre él.

Para ello se parte en primer lugar de una extrusión de un cilindro de 134mm de diámetro.

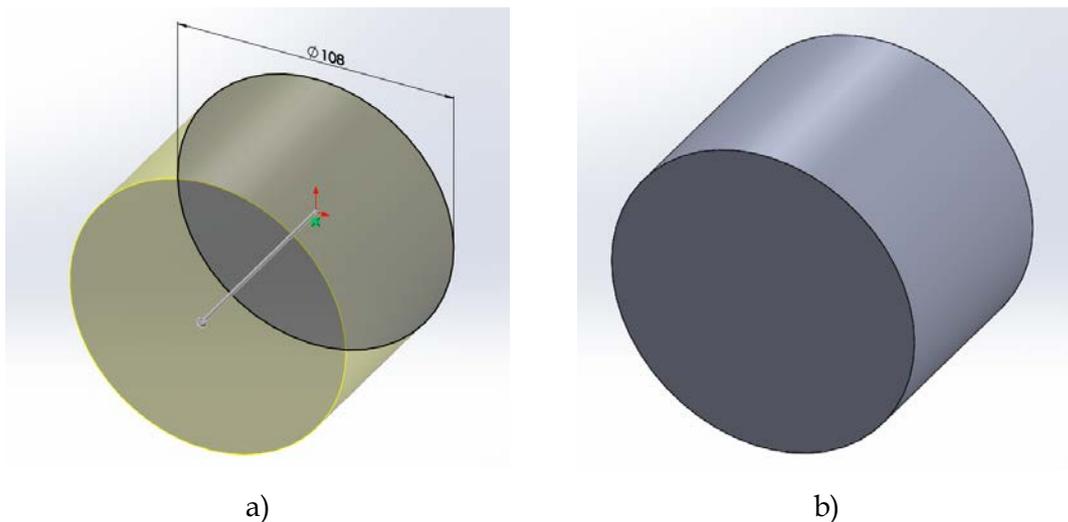


Figura III.42. a) Croquis de la base del eje trasero. b) Resultado tras la extrusión.

Tras esta operación se procederá a dibujar el tope lateral de la parte de la cadena. Para ello se procederá de la misma manera, se dibujará un croquis de 134 de diámetro y acto seguido se extruye.

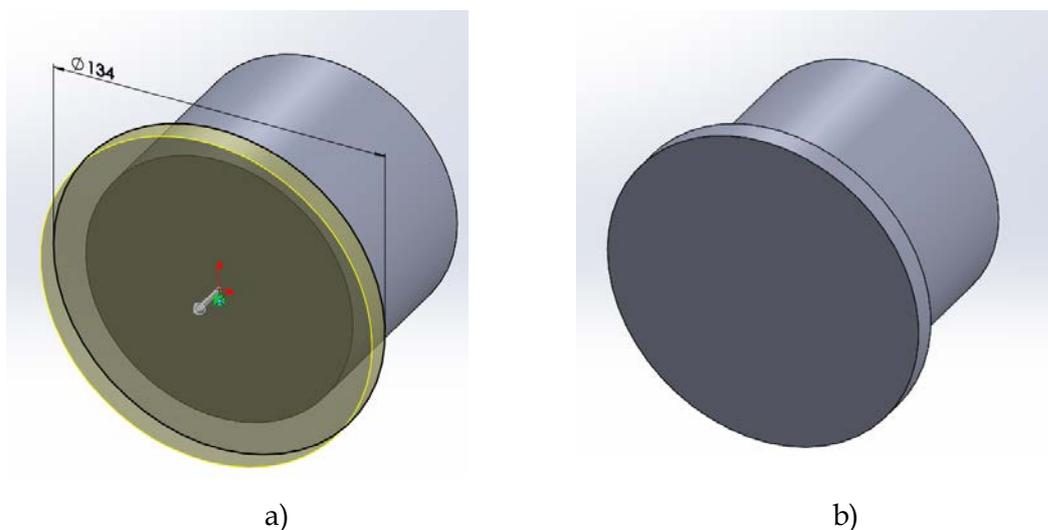
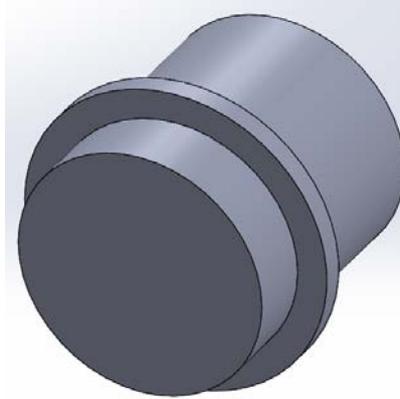


Figura III.43. a) Croquis del tope lateral. b) Resultado tras la extrusión.

### III. Desarrollo proyecto

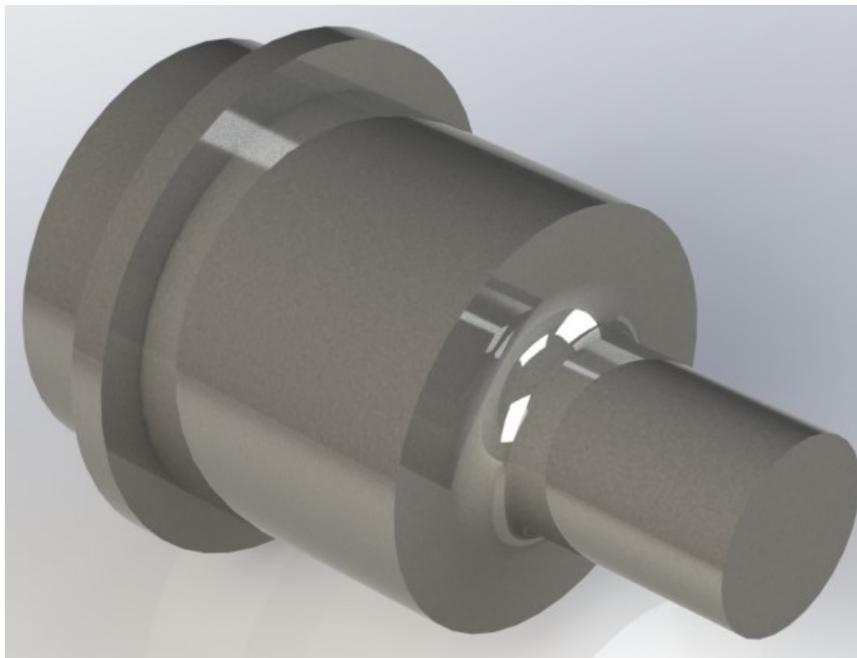
---

Acto seguido se dibuja el anclaje del plato de la cadena, como se ha comentado es un diseño simplificado, no posee la forma exacta, pero para simular las cargas de manera correcta será de gran ayuda.



*Figura III.44. Eje trasero con el acople de la cadena.*

Por último, de la misma manera que en los casos anteriores, se dibujara la zona del eje donde descansara la rueda trasera, es aquí donde actuarán las cargas de la rueda sobre el basculante. En la unión con la base del eje se le aplicará un redondeo para reducir tensiones.



*Figura III.45. Acabado del eje trasero con el material aplicado.*

### **III. Desarrollo proyecto**

---

#### **III.3. NORMATIVA APLICABLE.**

Debido a que este basculante está enfocado a motocicletas de competición en el mundial de motoGP el diseño se basará en la normativa de la federación internacional del motociclismo del 2018. Esta normativa se podrá consultar completa en los anexos, no obstante, en este apartado se mostrará las principales restricciones que han condicionado el diseño de basculante.

Tras investigar en los reglamentos mencionados anteriormente, en cuanto a restricciones directamente sobre el basculante no se han encontrado. Lo que sí que se ha visto, han sido condicionantes sobre las dimensiones de la moto y sobre su peso total, que sí que condicionan, las dimensiones que deberá tener el basculante.

Otra restricción que se ha encontrado ha sido, la de que, el diseño del basculante, no puede tener salientes, ni aristas cortantes, ni acabados en punta. Esta condición se pasa con creces, ya que la pieza está constituida por tubos de fibra de carbono, y no presenta ninguna geometría de las mencionadas anteriormente.

##### **III.3.1. LIMITACION DIMENSIONAL Y DE MASA.**

Como se ha comentado en la introducción de este apartado, se van a tener en cuenta la normativa europea, y la de la federación internacional de motociclismo.

En primer lugar, se muestran las restricciones impuestas por la federación internación del motociclismo.

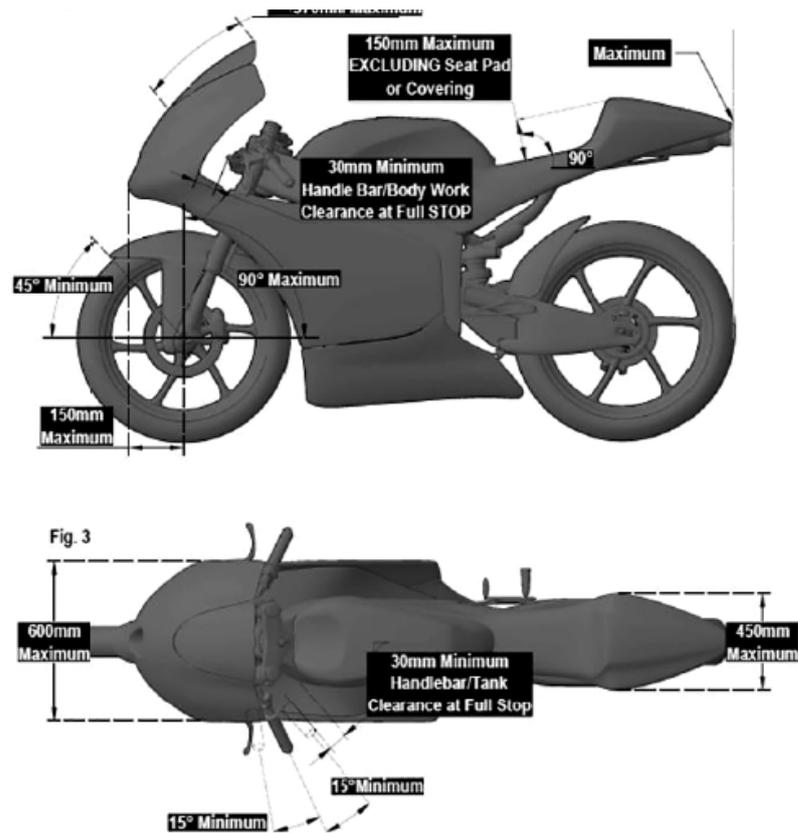
- Anchura máxima de la motocicleta por la parte trasera, 450mm.
- Peso máximo de la motocicleta.
  - Hasta 800 cc: 150Kg
  - A partir de 801cc: 157Kg

En este caso, se cumplen perfectamente ambas restricciones, ya que, en lo referente a la achura, el basculante diseñado posee una anchura de 540mm, en su extremo del enganche de la rueda. Por otro lado, en lo referente al peso, al estar realizada en fibra de carbono, incrementa mínimamente el peso, sin sobrepasar ninguno de los pesos anteriores.

Acto seguido se muestra una imagen de las dimensiones máximas que permite la federación internacional de motocicletas.

### III. Desarrollo proyecto

---



Se puede deducir que, con las dimensiones, y el peso que tiene el producto, cumple perfectamente con las restricciones impuestas.

Una de las limitaciones más importantes en motoGP es el peso. Los equipos siempre intentan reducir al máximo la masa total del vehículo poder pasar sin problemas los controles y mejorar la relación peso-potencia, en este aspecto el basculante de fibra de carbono juega un papel fundamental.

## III.4. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE ESTADOS TENSIONALES.

En este apartado se procede a explicar todas las fuerzas y momentos que actúan en la motocicleta durante su uso, conceptos geométricos de la misma, y se plantearán los diferentes estados tensionales. En este apartado se harán muchas alusiones al libro de Foale, T. '*Comportamiento dinámico y diseño de un chasis. El arte y la ciencia*'. De donde se han extraído la gran parte de conceptos teóricos

### III.4.1. CONCEPTOS GEOMÉTRICOS.

Debido a que se va a plantear el estudio de comportamiento de la motocicleta y sus prestaciones, hay que tener en cuenta y conocer diferentes factores geométricos que son determinantes.

Algunos de estos parámetros no afectan directamente al basculante, y viene determinados por las características del modelo escogido para el cálculo, pero sí que interviene de manera directa en las fuerzas que actúan sobre el mismo. Son los siguientes.

- Batalla ( $p$ )
- Avance ( $a$ )
- Fork offset
- Ángulo de lanzamiento ( $\varepsilon$ )
- Radio de la rueda delantera ( $R_f$ )
- Radio de la rueda trasera ( $R_r$ )

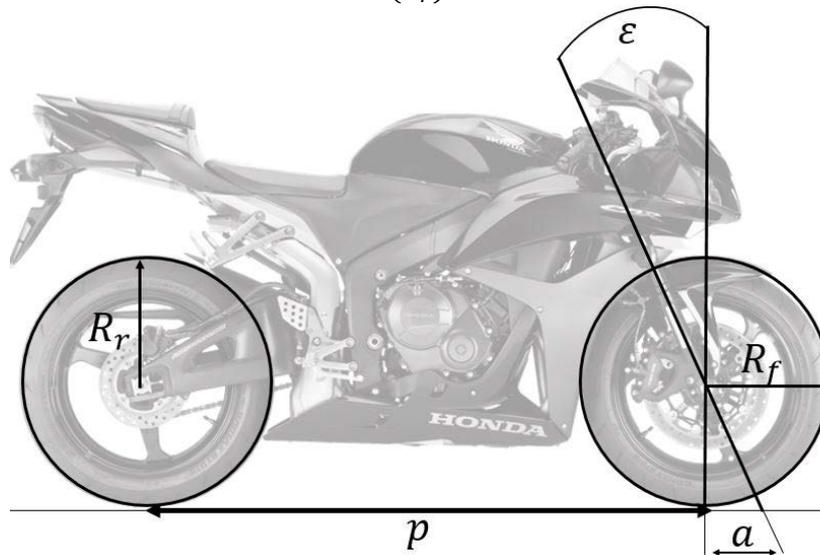


Figura III.46. Geometría básica de la motocicleta.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.4.1.1. Avance ( $a$ ).

El avance se define como la distancia existente entre el eje de dirección y el centro de la huella del neumático.

La función principal del avance es proporcionar una cierta estabilidad direccional, y también es de gran importancia en el inicio de la fase de inclinación de la moto al tomar una curva. Se puede ver que tanto el neumático delantero como el trasero tocan el suelo por detrás del punto donde el eje de dirección lo hace, y esto provoca un efecto de autocentrado en ambas.

Gracias a esta distancia, cualquier fuerza que se genere en el neumático crea un momento alrededor del eje de la dirección.

Debido a que existe un cierto ángulo entre la rueda y la dirección de viaje (ángulo de deriva), se genera una fuerza que forma un ángulo recto con respecto al neumático. Como la huella de contacto queda por detrás del eje de dirección (avance positivo), esta fuerza actúa generando un momento corrector sobre la rueda girada. Así pues, si la dirección se gira debido a alguna causa (por ejemplo, el mal estado del suelo) el avance positivo automáticamente lo contrarresta.

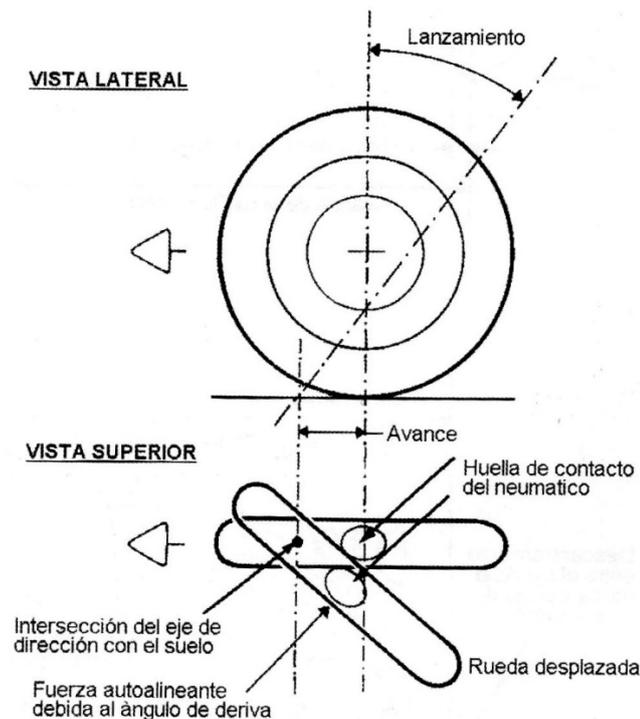


Figura III.47. El avance positivo y la fuerza lateral, se combinan para producir un momento alrededor del eje de rotación que tiene a poner la rueda recta

### III. Desarrollo proyecto

---

El valor del avance también depende del tipo de motocicleta y de su distancia de batalla ( $p$ ) entre ejes. Suele tomar valores de entre 75-90mm en máquinas de competición, de 90-100mm en motocicletas sport y hasta valores 120mm o más en motocicletas puramente turísticas.

#### III.4.1.2. Batalla ( $p$ ).

La batalla ( $p$ ) es la distancia que existe entre el centro del eje de la rueda delantera y del eje de la rueda trasera en el sentido del eje longitudinal de la motocicleta. Este parámetro es sumamente importante ya que condiciona el comportamiento de la motocicleta tanto en agilidad y estabilidad, como en prestaciones dinámicas; como la aceleración máxima de la motocicleta, que viene limitada por este y otros parámetros, la posición del centro de gravedad respecto al punto de contacto del neumático trasero en sentido longitudinal, o como de su posición en sentido vertical, perpendicularmente desde el pavimento.

Como se ha podido extraer del libro de Foale, T. '*Comportamiento dinámico y diseño de un chasis. El arte y la ciencia*'. La distancia entre los ejes de las ruedas tiene diversos efectos, pero en general cuanto mayor es esta distancia mayor es la estabilidad direccional y mayor es el esfuerzo necesario para negociar las curvas. Influyen tres factores:

##### 1. Angulo de giro requerido.

En la siguiente figura, se muestra como, para una curva dada, una motocicleta con una gran distancia entre ejes necesita girar más la rueda delantera, consecuentemente es necesario mayor fuerza para negociar las curvas.

### III. Desarrollo proyecto

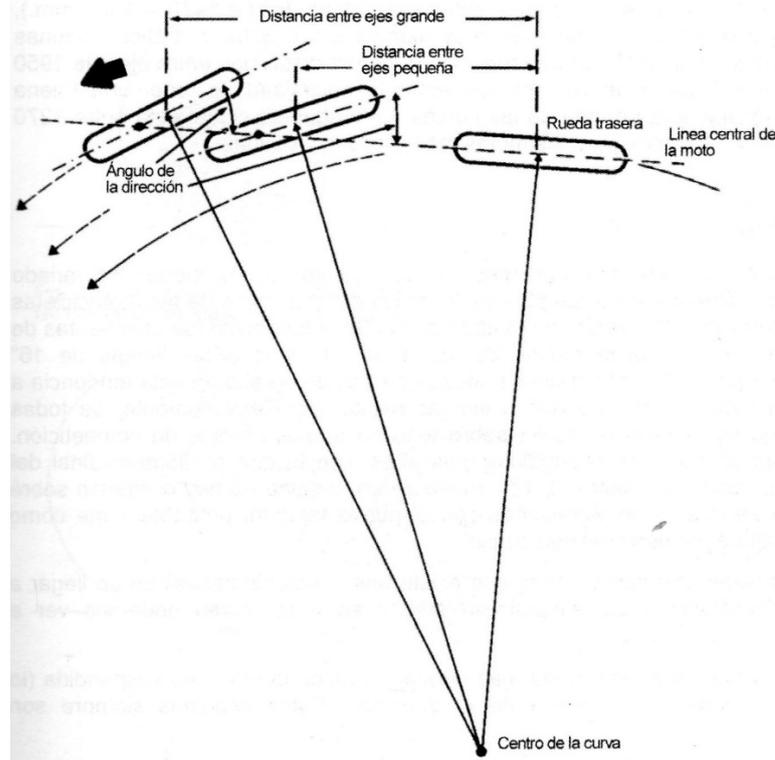


Figura III.48. Para un de curvatura dado, una distancia entre ejes mayor necesita un mayor Ángulo de giro.

#### 2. Ángulo de la rueda trasera.

Para una determinada flexión lateral, el ángulo formado entre la rueda trasera y la dirección de viaje es menor con una distancia entre ejes grande, lo cual mejora la estabilidad direccional al reducir los desplazamientos laterales.



Figura III.49. Una distancia entre ejes grande mejora la estabilidad direccional.

#### 3. Efectos de inercia.

La distancia entre ejes tiene un efecto sobre la transferencia de peso que tiene lugar durante la frenada y la aceleración. Para una altura dada del centro de gravedad, cuanto mayor sea la distancia entre ejes, menor será la transferencia de peso. También, los momentos de inercia de los planos de cabeceo y guiñada se incrementa, lo cual hará que la moto sea más estable y perezosa.

### III. Desarrollo proyecto

---

La distancia entre ejes, influye directamente en al diseño del basculante, ya que, dependiendo de la longitud que le demos, puede incrementar o no dicha medida, así pues, tras lo explicado en este apartado, se deduce que para la aplicación de este proyecto se busca un basculante, que no incremente en la longitud de la motocicleta, se pretende llegar a un compromiso entre la necesidad de tener estabilidad a altas velocidades, y ser ágil a la entrada de las curvas. Para las motos más grandes y rápidas la tendencia se encuentra en unos 1400mm

#### III.4.1.3. Ángulo de lanzamiento ( $\epsilon$ ).

El ángulo de lanzamiento varía en cada tipo de motocicleta, puede ir desde los 19° en motocicletas de "speedway" hasta los 21°-24° en las motos deportivas y los 27°-34° en motocicletas de turismo. Desde un punto de vista estructural, un ángulo de lanzamiento genera grandes esfuerzos en las barras de la suspensión delantera en la frenada. Si se tiene en cuenta que la horquilla delantera es deformable tanto a flexión como a torsión, este esfuerzo puede provocar deformaciones que conllevarían a peligrosas oscilaciones en la zona delantera de la motocicleta.

Así pues, el ángulo de lanzamiento está muy relacionado con el avance. Son directamente proporcionales, un aumento en uno conlleva un incremento en el otro.

#### III.4.2. EJES DE MOVIMIENTO Y CENTRO DE GRAVEDAD DE LA MOTOCICLETA.

En este apartado se pretende mostrar los diferentes ejes en los que la motocicleta puede realizar movimientos y explicar que es el centro de gravedad de la misma y como puede variar durante la conducción. Todos estos conceptos se encuentran extraídos del libro de Foale, T. '*Comportamiento dinámico y diseño de un chasis. El arte y la ciencia*'.

##### III.4.2.1. Ejes de movimiento.

Para poder realizar un estudio completo del comportamiento de la motocicleta, es necesario definir cómo serán estos movimientos en su funcionamiento.

En primer lugar, se encuentra lo movimientos lineales, como el movimiento que se realiza a lo largo del eje longitudinal de la misma, "*eje de inclinación*", este puede ser de avance o de retroceso y viene motivado bien por el empuje del motor, o bien por el uso del freno. Por otro lado, está el movimiento vertical, "*eje de guiñada*", generado por

### III. Desarrollo proyecto

las ondulaciones del terreno, por subidas y bajadas o, baches. Por último, se encuentra el movimiento lateral, "eje de cabeceo", motivado por las ráfagas de aire que atacan lateralmente a la motocicleta. En la imagen siguiente se puede observar los tres ejes de movimiento de la motocicleta.

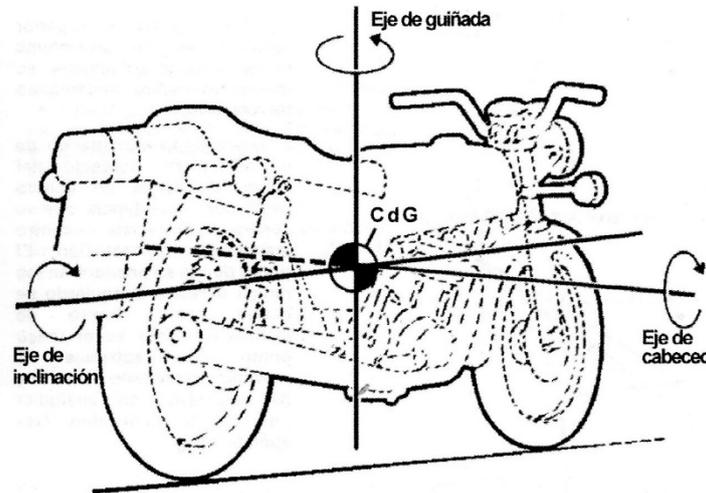


Figura III.50. Ejes de desplazamiento de la motocicleta.

#### III.4.2.2. Centro de gravedad.

La posición del centro de gravedad de la motocicleta tiene una relevancia importantísima en el comportamiento de la misma. Su posición viene determinada por la distribución de las masas del conjunto.

El centro de gravedad es un punto en el espacio, es decir se requiere de tres coordenadas para poder definirlo. En el supuesto de la motocicleta se toma como validada la hipótesis de que este está situado sobre el plano medio longitudinal, y en el plano medio transversal. Es decir, a la mitad de su altura y a la mitad de su longitud, como se aprecia en la imagen siguiente.

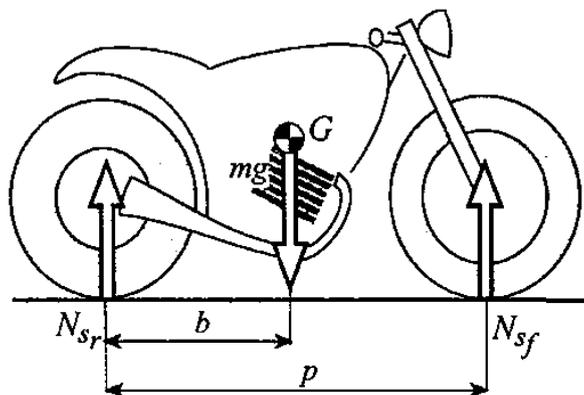


Figura III.51. Posicionamiento del centro de gravedad en la motocicleta.

### III. Desarrollo proyecto

La distancia (**b**) entre el punto de contacto de la rueda trasera y el centro de gravedad se determina midiendo la masa total de la motocicleta y las cargas aplicadas sobre cada rueda en posiciones estáticas.  $N_{sf}, N_{sr}$

$$b = (N_{sf} * p) / (m * g) = p - (N_{sr} * p) / (m * g)$$

Por norma general la disposición del piloto en la moto hace variar la localización del centro de gravedad de la misma, desplazándolo hacia la parte trasera. Para este proyecto se entenderá una posición de conducción deportiva.

En las siguientes imágenes se puede observar ejemplos de la variación del centro de gravedad de la motocicleta, respecto a la posición del piloto en la conducción. Donde ( $\varphi$ ) es el ángulo de inclinación.

La primera imagen muestra que, si el pilo se inclina manteniendo la misma inclinación que la motocicleta, el centro de gravedad se mantiene, pero cuando existe, un aumento del ángulo de inclinación por parte del piloto, el centro de gravedad se desplaza a la derecha y cuando existe una disminución del ángulo de inclinación del piloto, el centro de gravedad se desplaza a la izquierda.

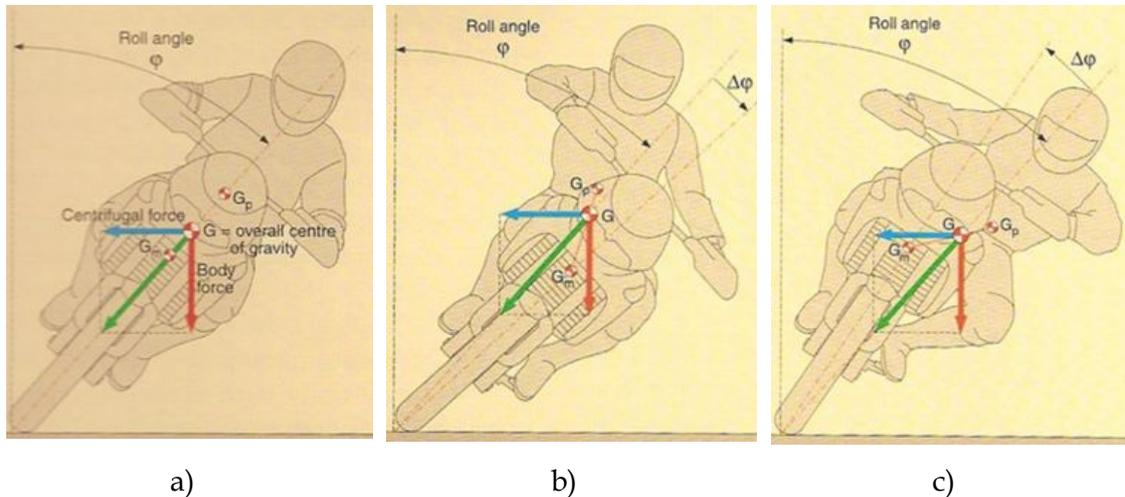


Figura III.52. a) El centro de gravedad se mantiene. b) El centro de gravedad se desplaza a la izquierda. c) El centro de gravedad se desplaza a la derecha.

Por ultimo añadir que un centro de gravedad bajo ayudan a tener un mejor equilibrio, debido a que el par que desestabiliza la moto es igual al peso multiplicado por la distancia del centro de gravedad al suelo, cuanto mayor sea esta distancia, mayor será el par desestabilizador.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.4.3. FUERZAS Y MOMENTOS QUE ACTUAN SOBRE LA MOTOCICLETA.

En este apartado se estudiarán todos los esfuerzos a los que se encuentra sometida una motocicleta, generadas por el contacto del neumático y el asfalto, y así poder extrapolarlo al basculante.

##### III.4.3.1. Fuerzas entre los neumáticos y la carretera.

Resulta increíble que dos pequeñas zonas de contacto de goma puedan soportar una moto, y ser capaces a la vez de transmitir una elevada potencia al suelo, mientras al mismo tiempo soportan las fuerzas que se generan en las curvas, que son al menos tan grandes como el peso de la moto y del piloto. Estos ejercen la mayor influencia sobre la manejabilidad de la moto.

Los neumáticos son uno de los elementos más importantes en la motocicleta, ya que estos se encuentran en contacto directo con la carretera. Una de sus propiedades principales, es que es deformable, y permite que se mantenga el contacto rueda-carretera constantemente.

Otros aspectos importantes es que dan confort a la marcha, proporcionando adherencia, algo crucial en la transmisión de cargas de tracción, durante la aceleración y el frenado. También genera fuerzas laterales que ayudan a mantener la moto en equilibrio durante el trazo de una curva.

La interacción entre el neumático y la carretera se puede representar mediante el siguiente modelo. Esto es fundamental para poder entender el comportamiento de la motocicleta.

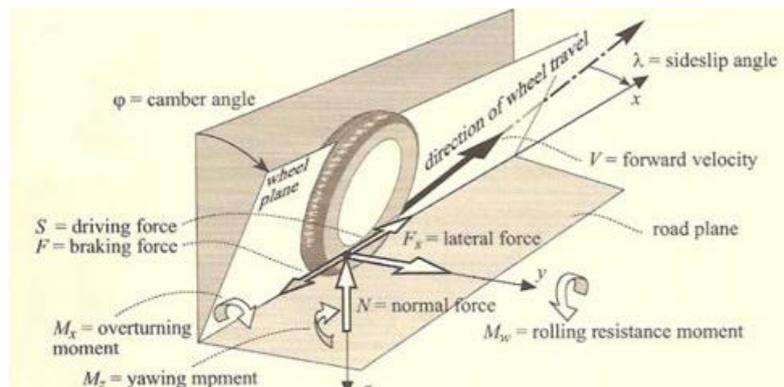


Figura III.53. Interacción rueda-carretera.

### III. Desarrollo proyecto

---

De la imagen se observa que cuando el neumático está en movimiento aparecen las siguientes cargas.

- **Fuerzas.**
  - a. Una fuerza longitudinal situada en el eje X, de sentido positivo a velocidad constante o acelerando, y de sentido negativo en la frenada.
  - b. Una fuerza longitudinal en el eje Z, representando las cargas sobre el neumático debidas al propio peso.
  - c. Una fuerza en el eje Y, representando las fuerzas laterales.
  
- **Momentos.**
  - a. Un momento de rotación respecto al eje X,  $M_x$ .
  - b. Un momento de rotación respecto al eje Z,  $M_z$ .
  - c. Un momento de rotación respecto al eje Y,  $M_y$ .

#### III.4.3.1.1. Fricción.

Es evidente que los neumáticos, son cruciales para proporcionar agarre a la motocicleta, ya que estos son el único elemento en contacto con el pavimento.

La cantidad de adherencia del neumático viene determinada por el peso que soporta cada neumático, y si este aumenta, aumenta su agarre. Con lo cual, se deduce que la relación entre la carga vertical que soporta el neumático y su máximo agarre es el coeficiente de fricción.

Las frenadas fuertes (donde el neumático delantero soporta hasta el 100% del peso de la moto) es un buen ejemplo de los efectos de la relación existente entre la carga y el coeficiente de fricción. En una gran frenada, la transferencia de carga al tren delantero incrementa la presión en la huella de contacto de la rueda delantera y reduce en la trasera, con lo cual es más eficiente frenar con el freno delantero, debido a habrá más agarre.

Esto motiva también el aumento de la sección en neumáticos de competición y motocicletas deportivas. Cuanto mayor es la superficie de contacto con el suelo, más se reparte la carga, y por lo tanto mayor el coeficiente de fricción.

Para el estudio de este caso, se utilizará, para el coeficiente de fricción en el sentido de la marcha ( $\mu_x = 0,8$ ), y para el coeficiente de fricción lateral ( $\mu_y = 1,2$ ).

### III. Desarrollo proyecto

#### III.4.3.1.2. Resistencia a la rodadura.

Se considera una rueda rodando sin deslizamiento en una superficie plana, el radio de rodadura viene definido por la velocidad lineal ( $V$ ) y la velocidad angular ( $\omega$ ).

$$R_0 = V/\omega$$

El radio efectivo de rodadura es la distancia entre el centro de la rueda, y la superficie del neumático deformada en contacto con la carretera. Así que, el radio de la rueda será mayor que el radio de rodadura. Un valor aproximado viene dado por la siguiente ecuación.

$$R_0 = R - (R - h)/3$$

Siendo  $R$  el radio de la rueda sin carga, y  $h$  la altura del centro de la rueda al suelo.

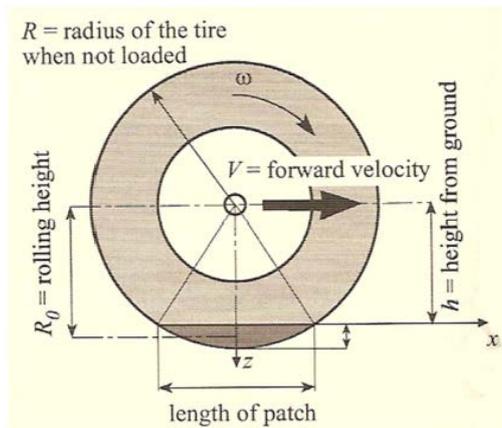


Figura III.54. Radio de rodadura de un neumático

En el área de contacto, el neumático está sometido a esfuerzos que provocan la deformación del mismo. Debido a la histéresis del material del neumático, parte de dicha energía empleada en deformar la carcasa, no se regenera en la siguiente fase de relajación o se restaura tarde. Esto causa un cambio en la distribución de las fuerzas normales del neumático, que deja de ser simétrica, para ser mayor en las áreas por delante de la rueda.

El coeficiente de fricción depende de muchos factores, tales como, el tipo de carcasa del neumático, la temperatura, las dimensiones, las condiciones de uso, etc. El cálculo de este es muy complicado, pero existen fórmulas desarrolladas a partir de experiencias empíricas que permiten obtener estos valores. No obstante, para el cálculo del basculante, no se tendrá en cuenta la resistencia a la rodadura, ya que es

### III. Desarrollo proyecto

prácticamente despreciable, en comparación con el modelo, y no afecta al diseño del basculante.

#### III.4.3.1.3. Fuerzas longitudinales de tracción y frenado.

En las acciones de aceleración y frenado se generan fuerzas longitudinales en la zona de contacto del neumático. En las frenadas se transmite un par a la rueda de a través de la huella de contacto, mediante una fuerza horizontal en la superficie de la carretera. El asfalto empuja el neumático hacia atrás y el neumático empuja con la misma intensidad al asfalto hacia delante. Al acelerar la situación es similar, pero en sentido contrario. las fibras se tensan y en la aceleración se comprimen.

Para poder localizar exactamente cuál es la zona de contacto entre el neumático y la carretera y así saber la posición exacta de la fuerza normal sobre la rueda, se requiere de un estudio muy complejo, basado en datos experimentales. Por esto, en este proyecto no se tendrá en cuenta este desplazamiento y se considerará que la fuerza normal si situará siempre en el mismo punto de contacto. Evidentemente esto no ocurre ya que un neumático se deforma, no obstante, esta variación es mínima, y no influirá en el diseño de nuestro prototipo.

#### III.4.3.1.4. Fuerzas laterales o centrípetas.

Antes de ser definidas como actúan las fuerzas laterales en el neumático, han de ser definidos dos términos. El primero, el ángulo de deslizamiento "*sideslip angle*" ( $\lambda$ ), este es el ángulo definido por la trayectoria de la rueda y la línea de intersección entre el plano medio de la rueda y el plano de la carretera. El segundo, el ángulo de comba "*camber angle*" ( $\varphi$ ), siendo este el ángulo formado por la vertical respecto de la carretera y el plano medio del neumático.

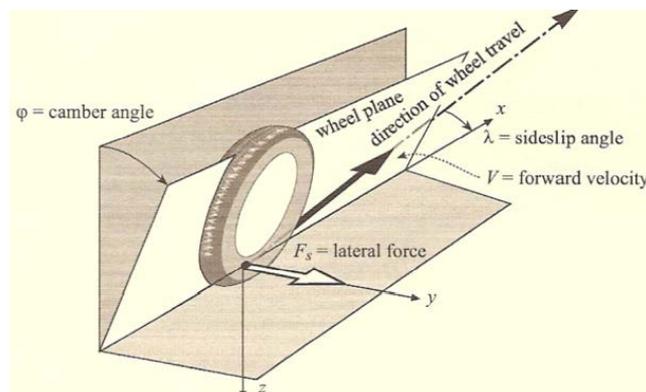


Figura III.55. Fuerza lateral sobre el neumático.

### III. Desarrollo proyecto

Conforme se entra en una curva, el neumático comienza a producir fuerzas centrípetas que contrarrestan el deseo de la moto de seguir moviéndose en línea recta. La carretera reacciona con el neumático, de forma que se produce una fuerza hacia el centro de la curva.

Estas fuerzas son las que permiten a la motocicleta poder inclinarse respecto a su eje vertical y constituyen el equilibrio de la misma.

#### III.4.3.1.5. Fuerzas generadas por el ángulo de comba.

Las bicicletas y las motos deben inclinarse para negociar una curva y esta inclinación crea también una fuerza centrípeta. Cabe añadir que el ángulo de comba, es el ángulo de inclinación de la rueda, respecto a la vertical. De hecho, esta fuerza centrípeta es la que contribuye en mayor medida a crear una fuerza hacia el interior de la curva. La fuerza generada en el neumático debida al ángulo de inclinación del mismo se conoce como fuerza de comba o empuje.

Al inclinarse la rueda para tomar la curva, la rueda se ve afectada por el efecto cono, que intenta que la rueda gire alrededor de un círculo más cerrado que la propia curvatura, de todas formas, el efecto de conservación del momento lineal trabajará en contra de que la moto gire.

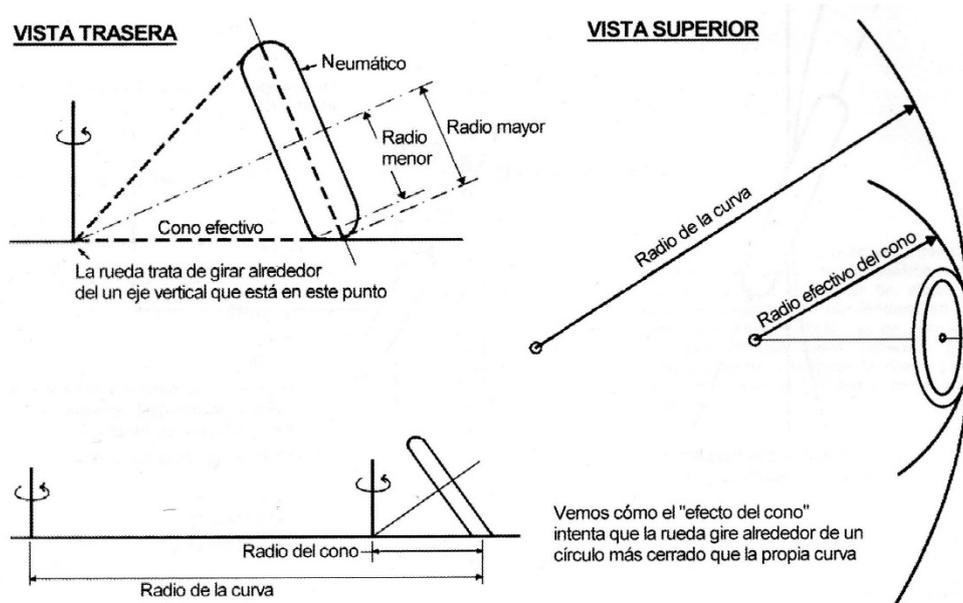


Figura III.56. tres vistas del efecto cono.

En resumen, conforme las ruedas se inclinan, se pueden considerar como parte de un cono que trata de girar alrededor de una curva cerrada, pero la fuerza centrífuga

### III. Desarrollo proyecto

que se genera obliga a que las ruedas deslicen, lo que hace que esa curva tan cerrada se abra llegando a alcanzar el radio de curvatura deseado.

#### III.4.3.1.6. Fuerzas combinadas.

Para este caso se imaginará un piloto de competición que está tumbado muy cerca del límite a 50 grados de inclinación. Esto significa que no existen más reservas de adherencia que se puedan utilizar en un momento dado, el piloto está usando el máximo coeficiente de fricción. Así pues, es fácil darse cuenta de que, aunque el piloto introduzca un ángulo de giro mayor en el manillar, no va a aumentar el agarre.

Los ángulos de inclinación y de deriva se combinan de forma que se produce una fuerza lateral para cada combinación.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de como la fuerza lateral que se genera en la curva es una combinación de las fuerzas que genera la inclinación y el ángulo de deriva. Para poder mantener una situación de equilibrio de equilibrio en la curva, los neumáticos deben producir la fuerza lateral exacta que hace falta. Se puede observar una curva superpuesta a las demás, que muestra el requerimiento para distintos ángulos de inclinación. Estas curvas asumen que el coeficiente de rozamiento máximo es 1.

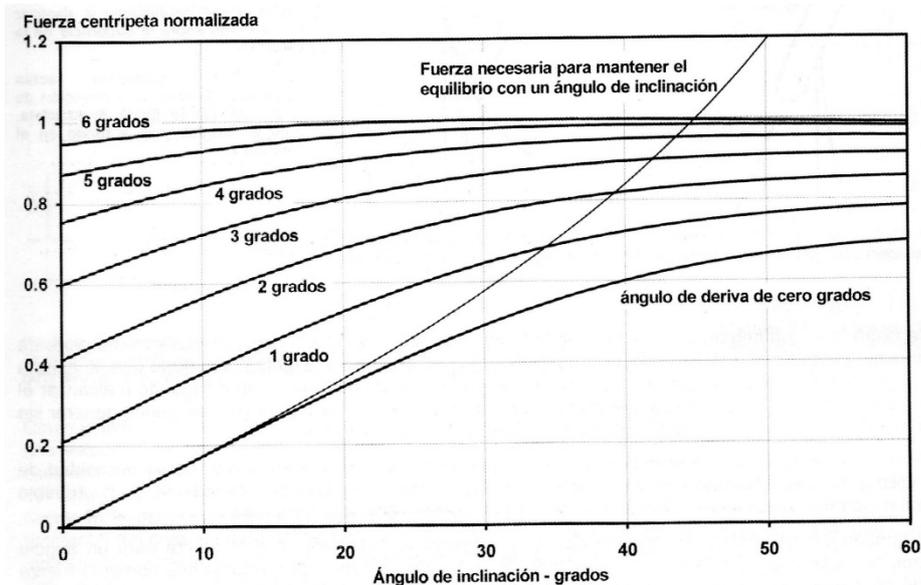


Figura III.57. la combinación del giro del manillar y la inclinación, dan la fuerza lateral.

Es necesario recordar que las fuerzas de aceleración y de frenada añaden otra dimensión más al asunto, que también hay que tener en cuenta. Si se consume parte del

### III. Desarrollo proyecto

agarre máximo del neumático para frenar, la fuerza total disponible para tomar las curvas, proveniente de los ángulos de inclinación y deriva, se verá también reducida, por lo tanto, se debe redibujar el gráfico anterior para cada requerimiento de frenada o aceleración. Desafortunadamente, esto es difícil de conseguir.

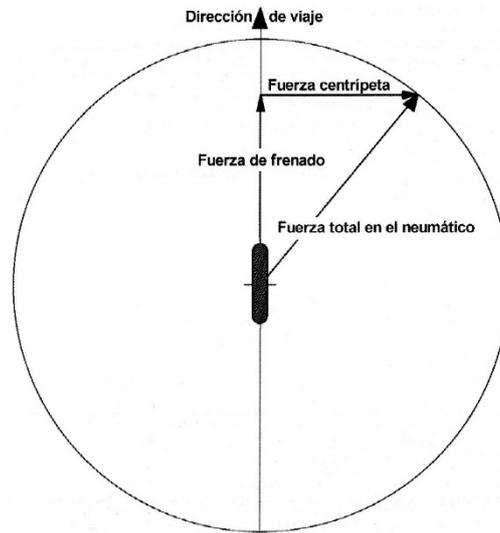


Figura III.58. Círculo delimitador de rozamiento máximo del neumático

Cualquier combinación de fuerzas laterales y longitudinales es posible mientras no se exceda el valor delimitado por el círculo.

La fuerza resultante ha de estar situada en el interior de la elipse, la cual refleja los valores máximos que pueden tomar tanto la fuerza longitudinal y la lateral. Estos valores quedan definidos por las siguientes ecuaciones.

$$F_{x0} = \mu_x * N$$

$$F_{y0} = \mu_y * N$$

Donde  $\mu_x$  y  $\mu_y$  son los coeficientes de tracción longitudinal y lateral.  $\mu_x$  suele tomar valor en la práctica de 0.8 y  $\mu_y$  suele tomar valor de 1.2

#### III.4.3.1.7. Fuerza centrífuga.

La fuerza centrífuga, no es una fuerza como tal, esta está basada en un eje de referencia giratorio, respecto al cual, el objeto que gira a su alrededor crea una fuerza no visible hacia afuera.

Esto pasa en una motocicleta cuando se encuentra girando una curva, que se ve sometida a fuerza centrífuga. El valor de la misma viene determinado por la siguiente ecuación.

### III. Desarrollo proyecto

$$F_{cf} = (M * V^2)/R$$

Donde **M**, es la masa total del conjunto, **V** es la velocidad tangencial de dicho conjunto y **R** es el radio de curvatura de la trayectoria.

La velocidad tangencial de la motocicleta viene determinada por la siguiente ecuación.

$$V = \omega * R$$

Siendo ( $\omega$ ) la velocidad angular de la motocicleta.

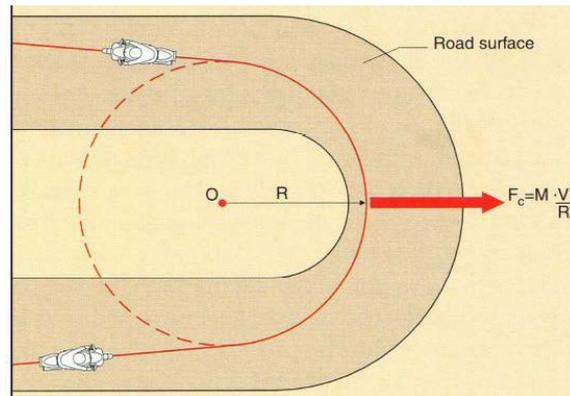


Figura III.59. Representación de la fuerza centrífuga.

#### III.4.3.2. Cargas aerodinámicas.

Las cargas aerodinámicas son las generadas por la acción del viento contra la motocicleta y estas solo se producen cuando el vehículo se encuentra en circulación.

Son de gran importancia, así que, en los apartados siguientes se presentarán una hipótesis de carga, las cuales serán utilizadas para calcular correctamente el basculante. En algunas de estas hipótesis se tendrán en cuenta las cargas aerodinámicas más importantes, que son la fuerza de empuje del aire y la fuerza de levantamiento.

Estas fuerzas están aplicadas sobre el centro de presiones del basculante, que no coincide exactamente con el centro de gravedad de la motocicleta, pero se asumirá como tal.

La fuerza de empuje viene dada por la ecuación.

$$F_d = 1/2 \rho * C_d * A * V^2$$

- $\rho$  = Densidad del aire.
- $C_d$  = Coeficiente de resistencia aerodinámica.
- $A$  = Área frontal de la motocicleta.
- $V$  = Velocidad de la motocicleta.

### III. Desarrollo proyecto

---

La fuerza de levantamiento viene dada por la ecuación.

$$F_l = 1/2 \rho * C_l * A * V^2$$

- $\rho$  = Densidad del aire.
- $C_l$  = Coeficiente de levantamiento.
- $A$  = Área frontal de la motocicleta.
- $V$  = Velocidad de la motocicleta.

#### III.4.4. DINAMICA DE LA MOTOCICLETA.

En este apartado se estudiarán las cargas que aparecen en la motocicleta generadas cuando esta se encuentra en movimiento, en concreto cuando está realizando un movimiento en línea recta y curvilínea. Se estudiarán los casos más desfavorables a los que se encontrará sometido el basculante que son: cuando se acelera bruscamente, y cuando se realiza una frenada intensa únicamente presionando el freno trasero. En este apartado especialmente aparecen conceptos teóricos extraídos directamente del libro Foale, T.' *Comportamiento dinámico y diseño de un chasis. El arte y la ciencia'*

##### III.4.4.1. Equilibrio en movimiento rectilíneo.

Cuando la motocicleta se encuentra a velocidad constante, esta tiende a mantener su trayectoria rectilínea, esto es debido a la inercia de las ruedas que giran sobre su eje y producen el efecto giroscopio.

El efecto giroscopio a nivel físico se da cuando la rueda de la motocicleta, que sigue un movimiento rotacional de alrededor de su propio eje, se le obliga a girar también según otro eje que no es el suyo. Este efecto en las motos se da sobre las dos ruedas y el cigüeñal del motor.

En este caso, con la motocicleta en línea recta, con un ángulo de inclinación de la carretera nulo y a velocidad constante, se pueden tomar las siguientes hipótesis para una situación de equilibrio.

- Fuerza de resistencia a la rodadura igual a cero.
- Fuerza aerodinámica de levantamiento igual a cero.
- Con la pendiente nula, la única fuerza resistente al movimiento será la fuerza de empuje del viento, que coincidirá con el centro de gravedad.

Las demás fuerzas aplicadas sobre la motocicleta serán.

### III. Desarrollo proyecto

- El peso del conjunto como fuerza apeso ( $mg$ ).
- Las reacciones virtuales a las cargas en los puntos de contacto con la carretera ( $N_r$  y  $N_f$ ).
- La fuerza de tracción ( $S$ ) que el suelo aplica sobre la motocicleta en el punto de contacto con la rueda trasera. Es la resultante de la fuerza generada por el motor.

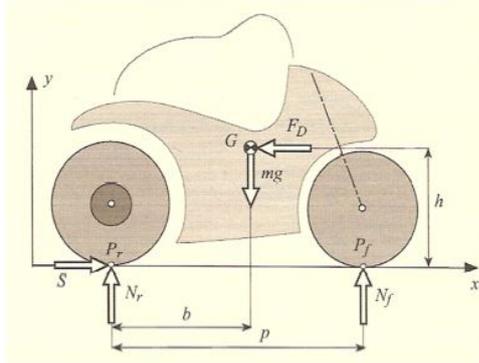


Figura III.60. Fuerzas en un movimiento rectilíneo.

Así pues, se pueden plantear las ecuaciones de equilibrio de la motocicleta.

- $\Sigma F_x = 0 \rightarrow S - F_d = 0$
- $\Sigma F_y = 0 \rightarrow mg - N_f - N_r = 0$
- $\Sigma M_{cdg} = 0 \rightarrow Sh - N_f(p - b) - N_r b = 0$

De donde se deduce que las fuerzas entre el suelo y las ruedas son.

- **Carga dinámica sobre la rueda delantera:**  $N_f = mg(b/p) - S(h/p)$
- **Carga dinámica sobre la rueda trasera:**  $N_r = mg(p - b/p) + S(h/p)$

El segundo término a tratar, es el denominado, transferencia de carga ( $N_{tr}$ ). Se basa en la carga que se trasmite de la rueda trasera a la delantera, será en positivo para la rueda de atrás y negativo, y de igual magnitud, para la de delante.

La ecuación de equilibrio de fuerzas horizontales dependerá de si la moto se encuentra acelerando o frenando.

#### III.4.4.1.1. Aceleración.

En este apartado se puede afirmar que el equilibrio de las fuerzas verticales y la de los momentos son válidos. No obstante, ahora  $S$ , la fuerza de tracción, será positiva.

##### III.4.4.1.1.1 Aceleración limitada por la tracción.

Así pues, aceptando las consideraciones anteriores, la fuerza de tracción sería.

$$S = ma + F_d$$

### III. Desarrollo proyecto

Donde ( $m$ ) es la masa de la motocicleta, ( $a$ ) la aceleración horizontal de la misma y ( $F_d$ ) la carga aerodinámica, fuerza de empuje.

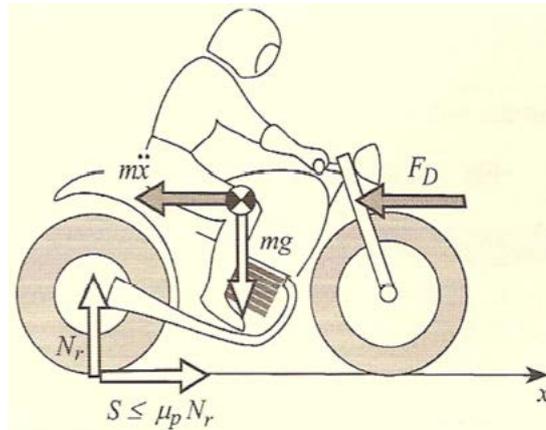


Figura III.61. Equilibrio de fuerzas en tracción.

Cabe recalcar que la fuerza de tracción no puede ser mayor que la fuerza de rozamiento del neumático y la carreta, ya que, se produciría deslizamiento, y la motocicleta no aceleraría.

$$S \leq \mu_x * N_r$$

Para finalizar, si se sabe que:

$$N_r = mg \left( \frac{p-b}{p} \right) + S \left( \frac{h}{p} \right)$$

Se deduce que:

$$a_{cc} \leq \frac{\mu_x * p * g * \frac{(p-b)}{p}}{\left( 1 - \mu_x * p * \frac{h}{p} \right)} - \frac{F_d}{m} = g * \frac{b}{g} - \frac{F_d}{m}$$

La aceleración máxima se obtiene cuando  $F_d$  es cero, esto sucederá empezando a velocidad muy baja. A medida que la velocidad aumenta, la aceleración bajo la limitación de la condición de fricción disminuye. Esto ocurre porque parte de la fuerza de aceleración es igualada a la fuerza aerodinámica y no es utilizada para acelerar el vehículo. La máxima aceleración se dará a velocidad cero.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.4.4.1.1.2 Aceleración limitada por "Wheeling".

El *wheelin* es un efecto que produce el levantamiento de la rueda delantera de la moto, respecto de la calzada, en casos extremos la motocicleta puede llegar a volcar. Así pues, se tomará como caso límite la situación en la que la carga sobre la rueda trasera sea nula.

$$N_f = mg \left( \frac{b}{p} \right) - S \left( \frac{h}{p} \right) = 0$$

De donde se obtendrá el valor de la aceleración máxima, antes del Wheeling.

$$a = mg * \left( \frac{b}{h} \right) - \left( \frac{F_d}{m} \right)$$

Como se puede observar en la imagen, la fuerza de la aceleración ( $mx$ ), tiene la misma dirección que la fuerza de empuje ( $F_d$ ) aerodinámica, y esta solo aparece cuando la moto está en movimiento.

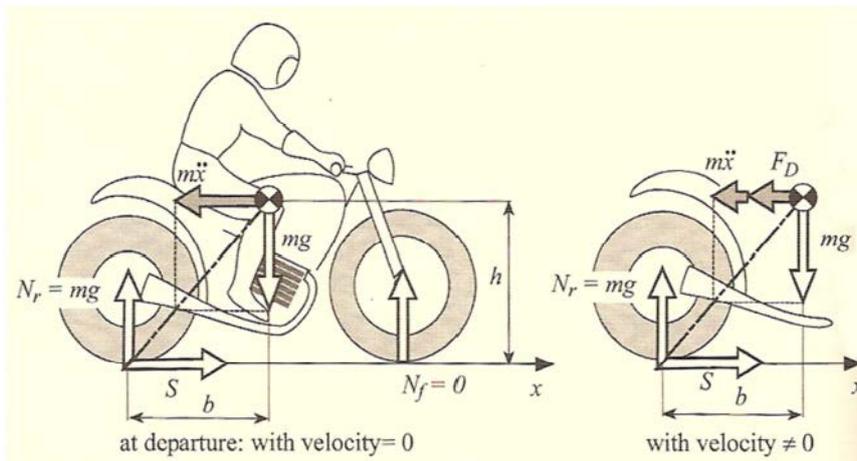


Figura III.62. Equilibrio de fuerzas en tracción limitada por rodadura.

La aceleración que impide el levantamiento de la rueda delantera depende de la ratio  $b/h$ . De manera que la velocidad de avance aumenta gradualmente, la aceleración a la que ocurre el levantamiento de la rueda delantera disminuye. Esto ocurre porque el levantamiento de la rueda es favorecido por la fuerza aerodinámica de oposición al avance. Por lo tanto, la máxima aceleración bajo este límite ocurre con velocidad nula y  $F_d$  nula.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.4.4.1.2. Frenada

Se considera que solo se frena con el freno trasero, caso en el cual ocurrirían cargas extremas, será una situación mucho más exigente.

##### III.4.4.1.2.1 Limitada por la tracción.

Para evaluar el rol del freno trasero bajo limitante de deslizamiento hay que tener en cuenta una serie de condiciones. Durante la desaceleración la carga en la rueda trasera aumentara, mientras la carga de la rueda delantera disminuye, por lo que se deduce que ocurre una transferencia de cargas de la rueda delantera a la trasera. si se considera la motocicleta en fase de frenada y se aplican las leyes de newton, se puede calcular la transferencia de cargas.

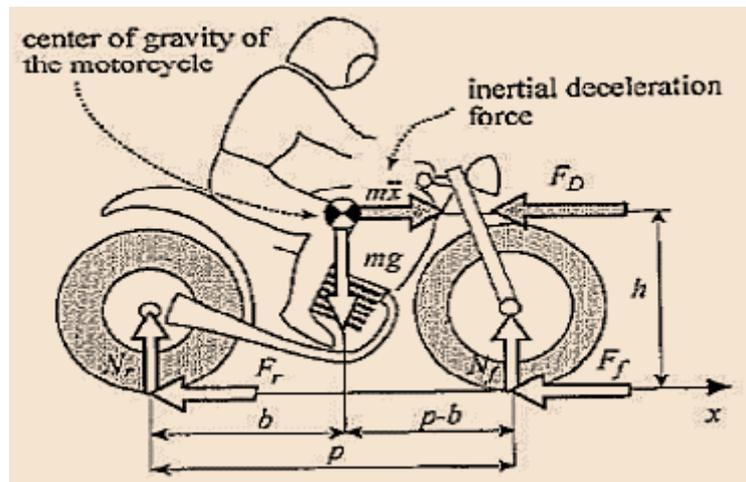


Figura III.63. Equilibrio de fuerzas en la frenada limitada por tracción.

Se tiene tres ecuaciones debidas al equilibrio de fuerzas horizontales y verticales y al equilibrio de momentos alrededor del centro de gravedad.

$$ma = -F_f - F_r$$

$$ma - N_r - N_f = 0$$

$$-F * h - N_r * b + N_f(p - b) = 0$$

Donde  $F$  (fuerza de frenada total) indica la suma de la fuerza delante  $F_f$  y la trasera  $F_r$ . La carga dinámica trasera será la suma de la carga estática y la carga dinámica.

De donde se obtiene que:

$$N_f = mg \left( \frac{b}{p} \right) + F \left( \frac{h}{p} \right)$$

$$N_r = mg \left( \frac{p - b}{p} \right) - F \left( \frac{h}{p} \right)$$

### III. Desarrollo proyecto

Se ve claramente como la transferencia de carga  $F_h/p$  es proporcional a la fuerza de frenado total y a la altura del centro de gravedad, y es inversamente proporcional a la batalla. Para evitar que el neumático deslice en la frenada, la fuerza que se aplique no debe exceder el producto de la carga dinámica que actúa en el neumático multiplicada por el coeficiente de adherencia ( $\mu = 0.8$ ). Este producto representa la frenada máxima aplicable en el neumático, que será la fuerza en el límite antes de empezar a deslizar.

$$F = \mu * m * g$$

#### III.4.4.2. Movimiento Curvilíneo.

En curva se producirán las mayores fuerzas laterales y se producirán una serie de comportamientos interesantes para el análisis. Durante el movimiento estacionario en curva, para mantener el equilibrio, el piloto puede aplicar un par en el manillar que puede ser cero, positivo, o negativo. Estas características son importantes y definen la sensación de manejabilidad de la motocicleta.

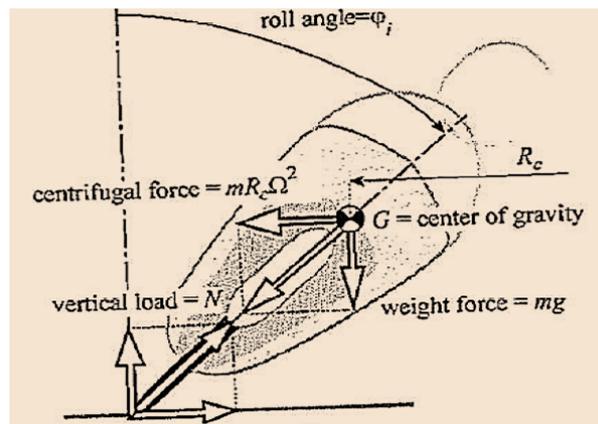


Figura III.64. equilibrio de fuerzas en giro estático.

La motocicleta, cuando se encuentra tomando una curva sin acelerar, se encuentra sometida a las siguientes fuerzas: en el eje y, aparecerá la fuerza peso y la restante vertical. En el eje x, aparecerá la fuerza lateral y la fuerza centrífuga.

Para que la motocicleta no caiga, los momentos generados por estas fuerzas se deben igualar.

$$F_{cf} = F_{lat}$$

$$N_r = mg$$

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.4.4.2.1. Ángulo de inclinación.

Cuando la motocicleta está tomando una curva a velocidad constante, se encuentra sometida a la acción de dos momentos principales. El primero generado por la fuerza centrífuga, que es contrario a la inclinación, y, en segundo lugar, la fuerza peso de la motocicleta, que tiende a inclinar el vehículo.

Para simplificar el estudio, se tomarán dos hipótesis, la primera que el radio de la curva es constante, y el segundo, que los efectos giroscópicos son despreciables.

Con la ecuación de equilibrio de los momentos, se puede calcular el ángulo de inclinación ( $\varphi_i$ ), en función de la velocidad tangencial ( $V$ ), y el radio de la curva ( $R_c$ ), medido desde el centro de gravedad de la motocicleta.

$$\varphi_i = \arctan\left(\frac{R_c * \Omega^2}{g}\right) = \arctan\left(\frac{V^2}{g * R_c}\right)$$

Donde ( $\Omega$ ), indica la velocidad angular y ( $V$ ) es la velocidad lineal de la motocicleta.

En la realidad este ángulo de inclinación es aproximado, ya que el espesor del neumático no es nulo. Además, si el piloto está aplicando sobre el manillar un momento que hace que se produzca un ángulo de giro, el punto de contacto del neumático se desplaza y la línea que une los puntos de contacto no está contenida en el plano x.

#### III.4.4.2.2. Ángulo efectivo de inclinación.

En condiciones de equilibrio, la fuerza resultante de la fuerza centrífuga y de la fuerza peso, pasa por la línea que une el punto de contacto de la rueda y el suelo, y el centro de gravedad.

Así pues, si se considera una motocicleta, cuyo neumático tenga una anchura de ( $2t$ ), y que describe una trayectoria curva de radio ( $R_c$ ), y velocidad angular ( $\Omega$ ). Debido a la sección no nula del neumático, el ángulo de inclinación ( $\varphi$ ) necesario para que exista equilibrio entre los momentos provocados por la fuerza centrífuga y el peso, es mayor y viene definido por la siguiente ecuación.

$$\varphi = \arctan\left(\frac{V^2}{g * R_c}\right) + \arcsin\left(\frac{t * \sin\left(\arctan\frac{V^2}{g * R_c}\right)}{h - t}\right)$$

### III. Desarrollo proyecto

---

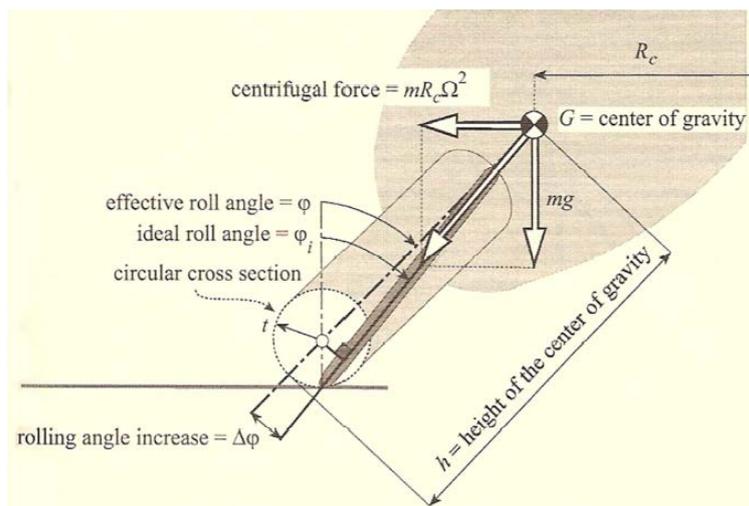


Figura III.65. Ángulo efectivo de inclinación.

#### III.5. HIPOTESIS DE CARGA.

En el funcionamiento normal de una motocicleta, esta se ve sometida a numerosas circunstancias, que generan cargas sobre el basculante y en cada una de ellas debe responder adecuadamente.

Debido a que son numerosas las circunstancias a las que se enfrenta el basculante, es preciso identificar cuáles son las más desfavorables, es decir las que van a requerir un mayor compromiso para el basculante. No solo debe soportar las cargas a las que será sometido, sino que, deberá de ser lo suficientemente rígido para que la geometría de la motocicleta no se vea afectada.

Otra característica importante que debe poseer el basculante, es que este debe ser capaz de transmitir todas las sensaciones al chasis y en general a la motocicleta. Esto es de vital importancia en competición.

Se ha tenido en cuenta, que el basculante diseñado debe poder soportar y dar un resultado óptimo en condiciones de circuito. Las principales deformaciones que sufrirá el basculante serán:

- Deformación torsional.
- Deformación lateral.
- Deformación vertical.

Para el planteamiento de las hipótesis se ha tomado como referencia el proyecto realizado por el compañero Aguilera Turegani, D en 2011. '*Diseño de un basculante trasero para motocicleta*'. De la Universidad politécnica de Cataluña.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.5.1. CALCULO DE CARGAS SOBRE EL BASCULANTE.

Como se ha explicado en el apartado anterior, para el cálculo de las cargas aplicadas sobre el basculante de la motocicleta, es preciso definir las distintas situaciones a las que se va a someter la motocicleta. Se debe tener en cuenta que estas deben de ser las más desfavorables. Serán las siguientes:

- Aceleración longitudinal en línea recta.
- Aceleración lateral durante el trazado de una curva.
- Deceleración longitudinal al usar el freno trasero únicamente.
- Aceleración longitudinal y lateral combinadas durante el trazado de una curva.

##### III.5.1.1. Modelo de referencia.

Para cálculo de las cargas que aparecen en los siguientes supuestos, se tomarán las especificaciones necesarias de la Ducati Desmosedici GP18, el modelo de alta competición de la marca italiana. Se ha elegido este modelo debido a que esta es la única motocicleta del campeonato realizada en fibra de carbono.



Figura III.66. Ducati Desmosedici GP2018.

Las dimensiones de esta son las siguientes:

Dimensiones	
Longitud	2.075mm
Altura	1.100mm
Batalla (p)	1.437mm
Altura del sillín	825mm
Radio rueda trasera (Rr)	420mm
Radio carcasa neumático (t)	152mm
Peso	164 Kg

Tabla III-2. Dimensiones del modelo de referencia.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.5.1.2. Aceleración longitudinal en línea recta.

En esta hipótesis de cálculo se hallarán las cargas sobre el basculante trasero de la motocicleta en situación de aceleración en el mismo sentido de la marcha de la motocicleta. Se buscará la situación más desfavorable y se tomarán las siguientes consideraciones para el cálculo:

- **Carretea:**
  - Pendiente nula.
  - No existen baches ni irregularidades.
  - Ángulo de inclinación lateral de la calzada nula.
- **Motocicleta:**
  - EL conjunto estará formado por el vehículo y el piloto.
  - El piloto tendrá un peso medio de 80Kg.
  - La posición de conducción del piloto será deportiva (agachado bajo la cúpula de la motocicleta).
  - No existe movimiento relativo entre el basculante y el chasis.
  - El neumático trasero estándar.
  - No existe deformación en la carcasa del neumático trasero.
- **Fuerzas:**
  - No existen cargas aerodinámicas debido a que se circula a baja velocidad ( $F_d = 0$ ).
  - Fuerza de resistencia a la rodadura despreciable.
  - Aceleración limitada por "Wheeling".
  - Cdg en función del modelo de motocicleta.
  - La carga de la moto se considera por completo en la rueda trasera.

A continuación, se muestra un diagrama bidimensional:



Figura III.67. Diagrama bidimensional, aceleración longitudinal.

### III. Desarrollo proyecto

---

En este caso, la motocicleta estaría sometida a la fuerza peso del conjunto ( $mg$ ), a la reacción sobre la rueda trasera ( $N_r$ ), generada por la presión de la misma sobre la carretera, y a la fuerza de tracción generada por la aceleración ( $S$ ).

Si se recuerda que la reacción en la rueda trasera viene dada por:

$$N_r = mg \left( \frac{p-b}{p} \right) + S \left( \frac{h}{p} \right)$$

Que la fuerza de tracción viene dada por:

$$S = ma + F_d$$

$$F_d = 1/2 \rho * C_d * A * V^2$$

Y que la aceleración máxima es:

$$a = g * \frac{b}{h} - \frac{F_d}{m}$$

Con los siguientes datos se puede resolver las fuerzas que actúan directamente en el basculante durante la aceleración.

Masas del conjunto	244Kg
Batalla (p)	1.437m
Distancia al CdG (b)	0.719
Altura CdG (h)	0.825m
Radio de la curva	0.125m
Radio rueda trasera (Rr)	0.42m
Radio carcasa neumático (t)	0.152
Gravedad (g)	9,81 m/s <sup>2</sup>
Densidad del aire ( $\rho$ )	1.16Kg/m <sup>3</sup>
Área frontal (A)	0.6 m <sup>2</sup>
Coefficiente aerodinámico ( $C_D$ )	0.5

Tabla III-3. Datos de partida para el cálculo de la hipótesis de carga.

Los resultados obtenidos serian:

$a_{max}$	8,54 m/S <sup>2</sup>
$S_{max}$	2083,8 N
$N_r$	2383,4 N

Tabla III-4. Valores de aceleración y tracción máxima.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.5.1.1. Deceleración longitudinal por el uso del freno trasero.

En este apartado se estudia las fuerzas que aparecen en la moto cuando esta se encuentra circulando y al piloto ejerce presión únicamente sobre el freno trasero.

Las condiciones del supuesto son las siguientes:

- **Carretea:**
  - Pendiente nula.
  - No existen baches ni irregularidades.
  - Ángulo de inclinación lateral de la calzada nula.
- **Motocicleta:**
  - EL conjunto estará formado por el vehículo y el piloto.
  - El piloto tendrá un peso medio de 80Kg.
  - La posición de conducción del piloto será deportiva (agachado bajo la cúpula de la motocicleta).
  - No existe movimiento relativo entre el basculante y el chasis.
  - El neumático trasero estándar.
  - No existe deformación en la carcasa del neumático trasero.
- **Fuerzas:**
  - Fuerza de resistencia a la rodadura despreciable.
  - Cdg en función del modelo de motocicleta.
  - Solo se acciona el freno trasero, la fuerza de frenada se concentra en la rueda trasera.

El modelo bidimensional sería:



Figura III.68. Diagrama bidimensional, deceleración longitudinal.

### III. Desarrollo proyecto

Las fuerzas que aparecerán serán, la fuerza peso del conjunto, las reacciones en las ruedas traseras y delanteras, la fuerza de tracción en sentido contrario a la dirección, la fuerza de avance y las cargas aerodinámicas. Como se ha explicado en apartados anteriores, las cargas en la rueda trasera vendrán determinadas por las siguientes formulas:

$$N_r = mg \left( \frac{p-b}{p} \right) - F \left( \frac{h}{p} \right)$$

Hay que tener en cuenta que la máxima deceleración viene determinada por la fuerza máxima que el neumático va a ser capaz de ejercer sobre el pavimento y que esto ocurrirá justo en el momento en que el piloto presione el freno trasero, y antes de que se produzca la transferencia de cargas, con lo cual la carga sobre la rueda trasera vendría por la ecuación siguiente, donde la carga en la rueda trasera es máxima:

$$N_r = mg \left( \frac{p-b}{p} \right)$$
$$F = \mu * m * g$$

Con los siguientes datos se puede resolver las fuerzas que actúan directamente en el basculante durante la deceleración.

Masas del conjunto	244Kg
Batalla (p)	1.437m
Distancia al CdG (b)	0.719
Altura CdG (h)	0.825m
Radio de la curva	0.125m
Radio rueda trasera (Rr)	0.42m
Radio carcasa neumático (t)	0.152
Gravedad (g)	9,81 m/s <sup>2</sup>
Densidad del aire (ρ)	1.16Kg/m <sup>3</sup>
Área frontal (A)	0.6 m <sup>2</sup>
Coefficiente aerodinámico (C <sub>D</sub> )	0.5
Cociente de adherencia (μ)	0.8

Tabla III-5. Datos de partida para el cálculo de la hipótesis de carga.

Los resultados obtenidos serian:

<b>N<sub>r</sub></b>	1195,6 N
<b>F</b>	1912,96 N

Tabla III-6. Valores de reacción en la rueda trasera y fuerza de frenada máxima.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.5.1.2. Trazado de una curva.

En este caso se calcularán las cargas, sobre el basculante trasero, en un movimiento curvilíneo de la motocicleta, a velocidad tangencial respecto a su trayectoria y constante. Se tendrán en cuenta los siguientes parámetros.

- **Carretea:**
  - Pendiente nula.
  - No existen baches ni irregularidades.
  - Ángulo de inclinación lateral de la calzada nula.
- **Motocicleta:**
  - EL conjunto estará formado por el vehículo y el piloto.
  - El piloto tendrá un peso medio de 80Kg.
  - La posición de conducción del piloto será deportiva (agachado bajo la cúpula de la motocicleta).
  - No existe movimiento relativo entre el basculante y el chasis.
  - El neumático trasero estándar.
  - No existe deformación en la carcasa del neumático trasero.
- **Fuerzas:**
  - La motocicleta no aplica par motor ( $S=0$ ).
  - Velocidad limitada por el Angulo de inclinación.
  - Fuerza de resistencia a la rodadura nula
  - CdG en función del modelo original y el piloto en posición.

Se representa un diagrama bidimensional de las fuerzas que actúan sobre la motocicleta en este caso:

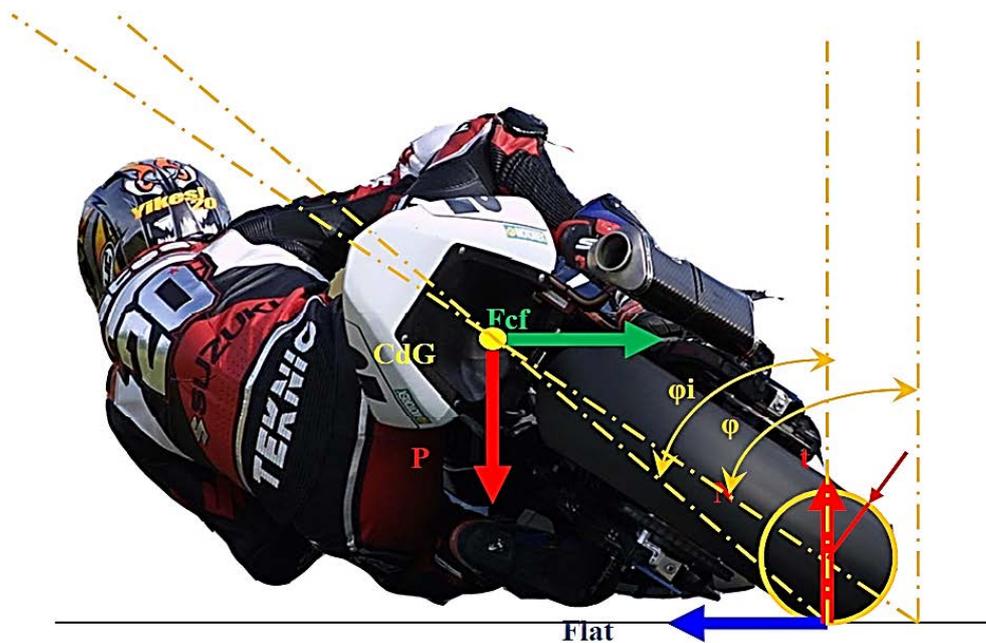


Figura III.69. Diagrama bidimensional, de las fuerzas durante el trazado de una curva.

### III. Desarrollo proyecto

---

Para este caso, la motocicleta se encuentra sometida a la fuerza peso del conjunto que favorece que la moto caiga, también a la fuerza centrífuga, que surge debido a que la moto gira favoreciendo su verticalidad, por otro lado, a la fuerza lateral que también favorece la verticalidad y por último se encuentra la reacción del suelo sobre la rueda, en contra de que caiga el vehículo.

La reacción en la rueda trasera viene determinada por la siguiente fórmula, explicada en apartados anteriores

$$N_r = mg$$

Del diagrama bidimensional se observa que para que la moto se mantenga en equilibrio y no caiga, la fuerza centrífuga debe ser igual a la fuerza lateral:

$$F_{cf} = F_{lat\ max}$$

$$F_{lat\ max} = \mu_y * N_r$$

Donde:

$$F_{cf} = \frac{(m * V^2)}{R}$$
$$V = \omega * R$$

Por último, se tendrá en cuenta el ángulo máximo de inclinación de la motocicleta, que vendrá dado por:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{V^2}{g * R_c}\right) + \arcsin\left(\frac{t * \sin\left(\arctan\frac{V^2}{g * R_c}\right)}{h - t}\right)$$

Se dispone de un sistema de cuatro ecuaciones con tres incógnitas,  $V$ ,  $\varphi$ .

$$\left\{ \begin{array}{l} N_r = mg \\ F_{cf} = F_{latmax} \\ \varphi = \arctan\left(\frac{V^2}{g * R_c}\right) + \arcsin\left(\frac{t * \sin\left(\arctan\frac{V^2}{g * R_c}\right)}{h - t}\right) \end{array} \right\}$$

Los datos necesarios para resolver el problema son:

### III. Desarrollo proyecto

---

Masas del conjunto	244Kg
Batalla (p)	1.437m
Distancia al CdG (b)	0.719
Altura CdG (h)	0.825m
Radio de la curva	125m
Radio rueda trasera (Rr)	0.42m
Gravedad (g)	9,81 $m/s^2$
Radio carcasa neumático (t)	0.152
Densidad del aire ( $\rho$ )	1.16Kg/m <sup>3</sup>
Área frontal (A)	0.6 m <sup>2</sup>
Coefficiente aerodinámico ( $C_D$ )	0.5
Coefficiente levantamiento ( $C_l$ )	0.15
Coefficiente tracción lateral ( $\mu_y$ )	1.2

Tabla III-7. Datos para la resolución de la hipótesis 2.

Tras la sustitución de los valores anteriores, y la resolución del sistema de ecuación, se obtienen los resultados siguientes:

Velocidad de la motocicleta (V)	37'70 $m/S^2$
Angulo máximo ( $\varphi$ )	59°
Fuerza resultante ( $N_r$ )	2.391N
Fuerza lateral máxima (Flat)	2774 N

Tabla III-8. Tabla de resultados, tras la resolución del sistema de ecuaciones planteado.

Los valores de las fuerzas que incidirán sobre el basculante vendrán condicionados por el ángulo de inclinación (cot (49)) ya que deben de ser las fuerzas que incidan perpendicularmente al eje de la rueda.

Fuerza resultante ( $N_{real}$ )	1437 N
Fuerza lateral máxima $F_{latr}$	1429 N

Tabla III-9. Tabla de resultados que actúan directamente sobre el basculante.

Cabe decir que los valores se aproximan mucho a la realidad, debido a que actualmente en competición el ángulo máximo de inclinación que se ha conseguido ha sido de 63°.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.5.1.3. Aceleración longitudinal y lateral combinadas.

En este caso, la motocicleta se encuentra realizando una curva, y al mismo tiempo accionando el acelerador, con lo cual las reacciones que surgen en la moto son, la fuerza longitudinal debido a la aceleración y la fuerza lateral debido al ángulo de inclinación del vehículo. También aparecerá la reacción del suelo contra la rueda.

Se tendrán en cuenta las siguientes hipótesis:

- **Carretera:**
  - Pendiente nula.
  - No existen baches ni irregularidades.
  - Ángulo de inclinación lateral de la calzada nula.
- **Motocicleta:**
  - EL conjunto estará formado por el vehículo y el piloto.
  - El piloto tendrá un peso medio de 80Kg.
  - La posición de conducción del piloto será deportiva (agachado bajo la cúpula de la motocicleta).
  - No existe movimiento relativo entre el basculante y el chasis.
  - El neumático trasero estándar.
  - No existe deformación en la carcasa del neumático trasero.
- **Fuerzas:**
  - La motocicleta aplica par motor.
  - Velocidad limitada por el Angulo de inclinación.
  - Fuerza de resistencia a la rodadura nula
  - CdG en función del modelo original y el piloto en posición.

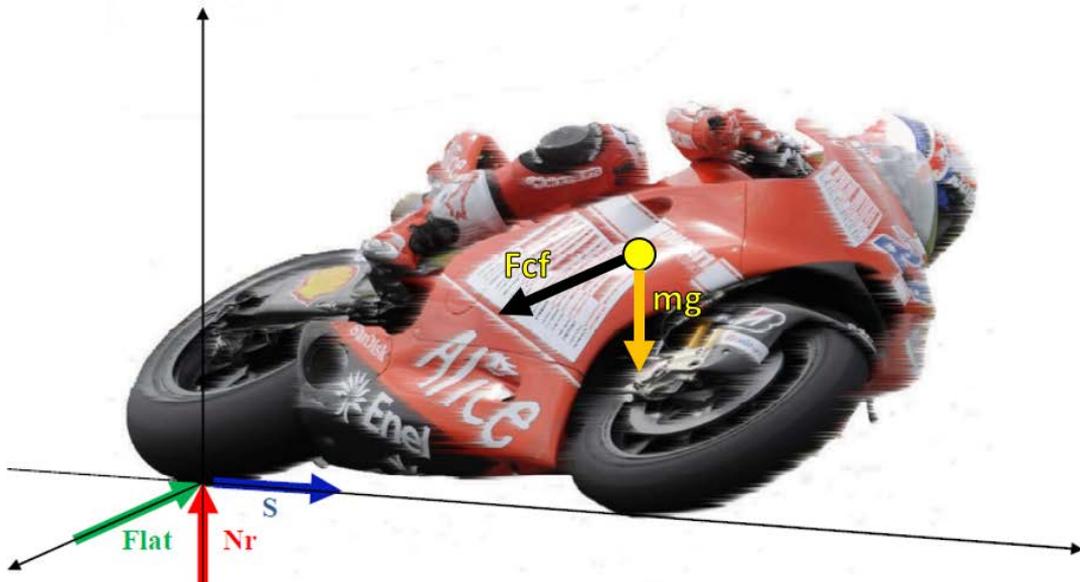


Figura III.70. Diagrama bidimensional, fuerzas combinadas.

### III. Desarrollo proyecto

---

Para este caso se trabajará con la fuerza lateral y la reacción en la rueda trasera, obtenidas en el apartado anterior, y con la fuerza de empuje máximas, calculada en la primera hipótesis. Esto se debe a que todos los casos anteriores son, hipótesis límites, y este es una combinación de ambos.

<b>Fuerza de empuje (S)</b>	2391 N
<b>Fuerza resultante (<math>N_r</math>)</b>	2383 N
<b>Fuerza lateral máxima (Flat)</b>	1429 N

*Tabla III-10. Fuerzas aplicadas en la rueda trasera de la motocicleta en la hipótesis 4.*

## III.6. SELECCIÓN DE MATERIALES.

En este apartado se mostrará una breve explicación de los materiales tradicionales que se emplean para la fabricación de basculantes, estos son el aluminio y el acero.

Por otro lado, se desarrollará en profundidad el Composite de fibra de carbono, y acto seguido el reforzado con lino, que es el elegido para nuestro proyecto, así como la importancia de la orientación de las capas del mismo a la hora de su conformado, todo ello acompañado de su justificación pertinente.

Claro está que la dificultad más grande que entrañan este tipo de materiales reforzados reside en su fabricabilidad, siendo esta compleja y con mayores costes que los materiales tradicionales, no obstante, la propiedad que se consiguen son únicas.

### III.6.1. ACERO.

El hierro puro en su estado material es blando, es por esto que se le añaden componentes como el carbono, níquel, molibdeno, cromo, etc. Para mejorar sus propiedades y también es sometido a tratamientos térmicos.

El tratamiento térmico para las aleaciones de acero con carbono consiste en, calentar a unos 800°C el material, y después enfriarlo rápidamente a unos (200°C/seg), para aumentar sus propiedades mecánicas al máximo, el problema reside en el interior de la pieza, que siempre tardará más en enfriarse. Por este motivo a la aleación también se le añade, manganeso, níquel, molibdeno o cromo, para bajar la velocidad de enfriamiento crítica. De aquí nace el acero al cromo-molibdeno.

El acero al cromo-molibdeno, se encuentra dentro de la familia de los aceros de baja aleación, menor del 5% de aleación y son los elegidos para la fabricación de chasis tubulares y basculantes. Los pertenecientes a la serie 1015, 1020, 1117 o 1118.

Las principales características de este material son:

- Excelentes propiedades mecánicas.
- Alta resistencia a la corrosión.
- Es un material 100% reciclable.
- Facilidad para la soldadura.
- Bajo coste.

### III. Desarrollo proyecto

---

No obstante, cabe recalcar un gran problema que presenta este material, y es el peso, es una aleación de una gran densidad. Por esto su consumo está disminuyendo, y sustituyéndose por el aluminio, que, con mejoras en el diseño, se pueden llegar a alcanzar cualidades mecánicas similares, no obstante, jamás superiores a las del acero.

Los principales campos de aplicación del acero, son, por ejemplo, para la construcción de muelles y resortes, herramientas, rodamientos, cigüeñales, cambios, pasadores, tubos de acero, etc. Como se puede observar sigue teniendo un uso muy extendido, debido a que posee unas propiedades mecánicas excelentes y un bajo coste.

Las propiedades principales son las siguientes:

Propiedades Generales	
Densidad ( $Kg/m^3$ )	7.8 <sup>3</sup> – 7.9 <sup>3</sup>
Precio ( $EUR/kg$ )	0.68 – 0.734

Tabla III-11. Esta tabla muestra las propiedades generales del acero.

Propiedades Mecánicas Isotrópicas	
Módulo de Young (GPa)	205 – 217
Módulo Cortante (GPa)	77 - 85
Módulo en Volumen (GPa)	160 - 176
Coefficiente de Poisson	0.285 – 0.295
Límite Elástico (MPa)	400 - 1.5e <sup>3</sup>
Resistencia a Tracción (MPa)	550 - 1.75e <sup>3</sup>
Resistencia a Compresión (MPa)	400 - 1.5e <sup>3</sup>
Elongación (%strain)	3 - 38
Dureza Vickers (HV)	140 - 693
Resistencia a Fatiga para 10 <sup>7</sup> c (MPa)	248 - 700
Tenacidad a Fractura ( $MPa * m^{0.5}$ )	14 - 200
Coefficiente de pérdida mecánica	0.0018 – 0.0016

Tabla III-12. Esta tabla muestra las principales mecánicas del acero.

Como se observa presenta grandes propiedades mecánicas, no obstante, con el inconveniente de la densidad, que es muy elevada.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.6.2. ALUMINIO.

El aluminio es uno de los elementos que más existen en la corteza terrestre. Este es un metal, que como tal no existe de forma libre, se extrae de la bauxita, y necesita ser aleada con otros elementos para mejorar sus propiedades mecánicas, ya que el aluminio en su estado natural es muy dúctil.

La evolución de la siderúrgica ha hecho que este metal evolucione, aleándolo con magnesio o con zinc, se logra que un metal endeble, llegue a medirse en rigidez y resistencia con el acero, pero que a su vez sea bastante más ligero.

Este material, es de gran utilidad y se usa en infinidad de procesos industriales, ya que su conformado es muy fácil; se ensambla con facilidad, tiene un punto de fusión bajo (660°C), es fácil de mecanizar, acepta muchos acabados superficiales, es fácil de ensamblar. Por todo esto y por sus propiedades físicas, químicas y metalúrgicas, el aluminio se ha convertido en el metal no ferroso de mayor uso.

La aplicación principal de este material es en la construcción, representa el mercado más grande, millares de casas emplean este material en puertas, cerraduras, ventanas, etc. También está muy utilizado en la industria del transporte, en coches, barcos, motocicletas, etc. Juega un papel importante también, en la industria aeroespacial, esto es debido, sobre todo, a su bajo peso. Por último, cabe recalcar su uso en utensilios de cocina, portátiles, refrigeradores, etc.

Las principales características del aluminio son:

- Un material muy ligero.
- Resistente a la corrosión de agentes químicos y del agua.
- Buena conducción térmica y eléctrica.
- Ductilidad.
- Se trata de un material 100% reciclable.
- Buenas propiedades mecánicas tras alearlo.

Aunque parezca que el aluminio es el material perfecto, no es así, presenta algún que otro problema. Es un material mucho menos resistente que el acero. Es más elástico y tiene menos resistencia a la rotura y a la fatiga, en resumen, no tiene unas excelentes cualidades mecánicas. Por ello para conseguir resultados iguales que en el acero, las piezas deben ser de mayor grosor, o alearse con elementos caros, lo que al final incrementa el coste.

### III. Desarrollo proyecto

---

Algunas de sus propiedades principales son las siguientes:

Propiedades Generales	
Densidad ( $Kg/m^3$ )	$2.5e^3 - 2.9e^3$
Precio ( $EUR/kg$ )	1.98 - 2.27

Tabla III-13. Esta tabla muestra las propiedades básicas del aluminio.

Propiedades Mecánicas Isotrópicas	
Módulo de Young (GPa)	68 - 82
Módulo Cortante (GPa)	25 - 34
Módulo en Volumen (GPa)	64 - 70
Coefficiente de Poisson	0.32 0.36
Límite Elástico (MPa)	50 - 330
Resistencia a Tracción (MPa)	65 - 686
Resistencia a Compresión (MPa)	50 - 330
Elongación (%strain)	0.4 - 10
Dureza Vickers (HV)	60 - 150
Resistencia a Fatiga para $10^7c$ (MPa)	35 - 157
Tenacidad a Fractura ( $MPa * m^{0.5}$ )	18 - 35
Coefficiente de pérdida mecánica	0.0014 - 0.0033

Tabla III-14. En esta tabla se muestran las principales características mecánicas del aluminio.

Así pues, como en este proyecto lo que se pretende es innovar, he implantar materiales nuevos, con propiedades mejores, y el aluminio ya está demasiado explotado se descartará como opción para este proyecto. Además, se ha tenido en cuenta que el basculante de una motocicleta debe ser muy resistente ya que constantemente está soportando esfuerzos.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

#### **III.6.3. COMPOSITE REFORZADO CON FIBRA DE CARBONO.**

La fibra de carbono tiene su origen alrededor del año 1958, cuando Roger Bacon desarrolló fibras de alto rendimiento de carbono en el centro Técnico de la Unión Carbide Parma. Estos primeros filamentos se crearon mediante el calentamiento de filamentos de rayón hasta carbonizarse, no obstante, no se obtuvieron buenos resultados mecánicos de las mismas, debido a que solo contenían un 20% de carbón. Más tarde en la década de los 60, Akio Shino de la agencia de ciencia industrial avanzada de Japón, creó fibras con un 50% de carbono.

El alto potencial de la fibra de carbono fue aprovechado en 1963 en un proceso que fue patentado, y luego autorizado a tres empresas británicas: Rolls-Royce, Morganita y Courtaulds.

En 1966 se consiguió obtener fibras de alto módulo y tensión de ruptura a partir de fibras de poliaciónitrilo. En esta época también se desarrollaron fibras de carbono obtenidas a partir de breas de carbón y petróleo, y de resinas fenólicas.

No fue hasta los años 80, cuando algunas marcas como McLaren empezaron a usarlas de manera oficial, por ejemplo, en la construcción de coche de fórmula 1. A partir de este momento el gran desarrollador de la industria de este material han sido los fabricantes de aeronaves y la industria aeroespacial.

Actualmente el uso de estas está muy extendido en el mundo de la competición, de la aeronáutica y en la industria aeroespacial. Aunque su uso se encuentra algo aislado, cada vez más marcas de vehículos la están empezando a emplear.

La fibra de carbono, es una fibra sintética, constituida por finos filamentos de carbono, de diámetro entre 5 – 10 $\mu$ m de diámetro. Cada hebra del material está constituida por miles de estos filamentos, y el material en su conjunto se constituye por un conjunto de hebras trenzadas. Esta disposición de trenza es uno de los motivos por los que este material tiene propiedades mecánicas y físicas tan buenas.

### III. Desarrollo proyecto

---



*Figura III.71. Malla de fibra de carbono, donde se pueden ver las hebras y el trenzado.*

Una de las principales aplicaciones de la fibra de carbono, se encuentra en la constitución de materiales compuestos. Los materiales compuestos, son materiales formados por la unión de uno o más componentes, en este caso la fibra de carbono se une comúnmente con la resina epoxi, esta unión se realiza para conseguir un efecto sinérgico en las propiedades, obteniendo materiales con prestaciones muy superiores a los componentes originales.

Estos materiales compuestos presentan las siguientes partes:

- **Matriz:**

Se encarga de actuar como soporte del elemento proporcionando resistencia térmica y ambiental al elemento final, otra de las funciones principales es la de otorgar procesabilidad y coherencia al material. Para la fibra de carbono, el material base más común es el polímero de resina epoxi.

- **Elemento de refuerzo:**

Este se encarga de proporcionar las propiedades mecánicas al material compuesto, no obstante, presentan dificultades en la procesabilidad. En este caso el material de refuerzo es la fibra de carbono en sí.

- **Interfase:**

Es la zona que se encuentra entre la matriz y el material de refuerzo.

### III. Desarrollo proyecto

---

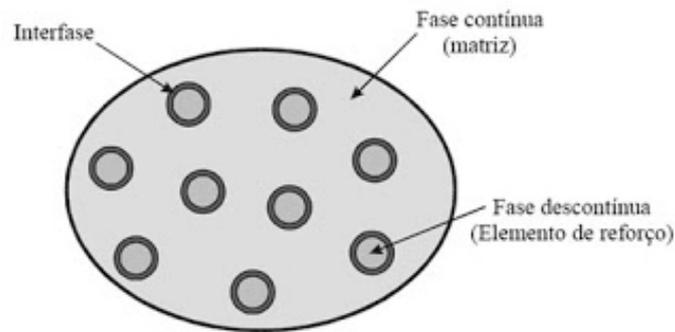


Figura III.72. Muestra esquemática de un material compuesto.

Cabe recalcar que la fibra de carbono es una de las fibras con mejores propiedades mecánicas, combinadas con una densidad baja.

Las propiedades más destacables son:

- Muy elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Material anisótropo, es decir las propiedades mecánicas varían según la dirección del trenzado.
- Baja resistencia al impacto.
- Gran estabilidad dimensional, asociada a un coeficiente de dilatación muy bajo.
- Buena resistencia a fatiga.

Aunque todo parecen ventajas, cabe recalcar un gran inconveniente de este material, posiblemente el único, el alto coste.

Esto es debido al proceso de fabricación de la fibra, es largo y costoso. Este proceso se realiza con temperaturas de entre 1000°C y 2500°C, en atmosfera de hidrogeno, durante varias semanas o meses, según la calidad de la misma. Otro factor que incrementa su coste, es la baja procesabilidad, ya que requiere de complejos utillajes para el conformado de las piezas.

Aunque este material se desarrolló inicialmente para la industria aeroespacial, con el paso del tiempo se ha abarato, debido a que han incrementado el número de marcas que lo fabrican, extendiéndose su uso, por ejemplo, en la industria de la automoción, en la aeronáutica, en el deporte de alta competición, etc.

Para ser más específicos se van a mostrar algunas de las propiedades más características de este material:

### III. Desarrollo proyecto

Propiedades Generales	
Densidad ( $Kg/m^3$ )	1.5 <sup>3</sup> – 1.6 <sup>3</sup>
Precio (EUR/kg)	33.5 – 37.2

Tabla III-15. Tabla de las propiedades generales del compuesto reforzado con fibra de carbono.

Propiedades Mecánicas Isotrópicas	
Módulo de Young (GPa)	69 - 150
Módulo Cortante (GPa)	28 - 60
Módulo en Volumen (GPa)	43 - 80
Coefficiente de Poisson	0.305 - 0.307
Límite Elástico (MPa)	550 - 1.05e <sup>3</sup>
Resistencia a Tracción (MPa)	550 - 1.05e <sup>3</sup>
Resistencia a Compresión (MPa)	440 - 840
Elongación (%strain)	0.32 - 0.35
Dureza Vickers (HV)	10.8 - 21.5
Resistencia a Fatiga para 10 <sup>7</sup> c (MPa)	150 - 300
Tenacidad a Fractura ( $Mpa * m^{0.5}$ )	6.12 - 20
Coefficiente de pérdida mecánica	0.0014 - 0.0033

Tabla III-16. La tabla muestra el rango de propiedades en las que se mueve la fibra de carbono, según fabricante y número de fibras.

Estas propiedades han sido extraídas del programa CES Edupack, una base de datos de materiales.

#### III.6.3.1. Disposición de las capas de fibra de carbono.

El material compuesto a base de fibra de carbono y resina epoxy es un material ortotrópico, es decir, que sus propiedades mecánicas o térmicas son únicas e independientes en los tres ejes, esto viene determinado por la orientación que reciban las capas del material. No obstante, las propiedades mostradas anteriormente son para el compuesto isotrópico, es decir, que sus propiedades se mantienen constantes en todas sus direcciones, esto se consigue disponiendo de una manera específica las capas de fibra.

Para conseguir que el material se convierta en cuasi isotrópico la primera capa de estar dispuesta con una inclinación de 0°, las que siguen deben de estar inclinadas 45° y -

### III. Desarrollo proyecto

---

45° respecto de la primera, alternándolas así según las capas de material que se deseen, y la última estará dispuesta a 90° respecto de la primera. De esta manera se consigue un material cuasi isotrópico. Para este proyecto se dispondrán de 6 capas de material, seleccionándolas en el programa Solid Works, de la siguiente manera:

Pliegue	Espesor	Ángulo	Material
1	1	0	Fibra de carbono 3
2	1	45	Fibra de carbono 3
3	1	-45	Fibra de carbono 3
4	1	45	Fibra de carbono 3
5	1	-45	Fibra de carbono 3
6	1	90	Fibra de carbono 3

*Figura III.73. Tabla de disposición de la fibra de carbono en el basculante.*

En la imagen se puede observar perfectamente un esquema de la dirección de las mallas de fibra de carbono, mediante esta disposición se consigue un material prácticamente isotrópico, con las mismas propiedades en cualquier dirección, ya que se crea un entramado muy compacto. Estas propiedades son imprescindibles para el basculante, debido a que es una pieza que va a estar sometida a muchos esfuerzos y en todas las direcciones. Una motocicleta, tanto en su uso en circuito, como por carretera, está sometida a infinidad de situaciones, y el basculante debe asegurar el correcto funcionamiento en todas, es por ello que se busca este tipo de material isotrópico, para que sea resistente a las fuerzas de cualquier dirección.

Así pues, para los ensayos por elementos finitos en Solid Works que se harán para probar los diferentes prototipos, se trabajará con las propiedades indicadas en la Tabla III-17, que són las quasi isotropicas con la disposicion anterior de las capas..

Por esto que, es uno de los materiales de moda actualmente en el mundo de la competición, ofrece una gran resistencia con un peso muy bajo, y la reducción de la masa total es fundamental en cualquier competición. El coste no es un gran problema, ya que está enfocado a motocicletas de competición, donde los equipos invierten gran cantidad de dinero en cada una de sus piezas.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.6.4. COMPOSITE REFORZADO CON FIBRAS DE NILON Y FIBRAS DE CARBONO.

Debido a la problemática que surge en cuanto a la rigidez de los basculantes realizados en fibra de carbono en el ámbito de la competición, se ha planteado la adhesión de la fibra de lino al compuesto, para así poder otorgarle mayor flexibilidad y mitigar la extrema rigidez.

##### III.6.4.1. Fibra de lino.

La fibra de lino tiene su origen cerca del 7000 a.C en el antiguo Egipto, proviene de una planta denominada '*lino*'. Las fibras que componen esta planta poseen una larga longitud, cercana al metro, además de ser altamente resistentes y flexibles, siendo estas algunas de sus magníficas propiedades.

Históricamente, el lino se ha utilizado para confeccionar prendas de alta calidad, no obstante, en los últimos años han aparecido nuevas aplicaciones. Los nuevos materiales desarrollados presentan un nuevo tipo de hilatura de poca torsión, con la finalidad de reducir tensiones y aumentar la resistencia del mismo. Este tipo de fibras naturales están siendo ampliamente utilizadas en el sector de la automoción para reducir así el peso del vehículo, costos e impacto medioambiental. De hecho, algunas de estas fibras poseen igual o mayor relación de resistencia por unidad de masa que las fibras de vidrio tradicionalmente utilizadas en este sector.

Las fibras pueden utilizarse, o bien como fibras cortas y orientadas al azar, donde los procesos de fabricación son menos complejos, pero las propiedades mecánicas son relativamente pobres, o bien como fibras continuas y alineadas en la dirección de la fuerza de deformación, donde se consiguen propiedades mecánicas excelentes.

Empresas como Jaguar y Land Rover están desarrollando módulos de puertas que son un 60% más ligeros que los utilizados habitualmente. Por otro lado, Decathlon ha lanzado al mercado raquetas reforzadas con fibra de lino y fibra de carbono, consiguiendo unas altas prestaciones.

Las propiedades generales del lino, se muestran en la siguiente tabla.

### III. Desarrollo proyecto

---

Propiedades del lino	
Módulo de Young (GPa)	14.2
Módulo Cortante (GPa)	10.4
Coefficiente de Poisson	0.4
Resistencia a Tracción (MPa)	1500
Resistencia a compresión (MPa)	1000
Densidad ( $Kg/m^3$ )	$1.5e^{-9}$

Tabla III-18. Propiedades de la fibra de lino

De la tabla anterior se puede observar que la fibra de lino posee muy buena flexibilidad. Si se recuerda que el Modulo de Young es la relación entre la tensión y la deformación, a mayor deformación (más flexibilidad), menor Modulo de Young. Todo ello combinado con unas resistencias tanto a tracción como a compresión altísimas y una mínima densidad, con lo cual, al combinar este material con la fibra de carbono, se observará como tanto el limite a tracción como el de compresión aumentan considerablemente.

Para poder observarlo más claramente, se mostrará una tabla comparativa d ambos materiales, fibra de carbono y fibra de lino.

COMPARATIVA ENTRE MATERIALES.		
	Fibra de lino	Fibra Carbono
Densidad ( $Kg/m^3$ )	$1.5e^{-9}$	$1.6e^{-3}$
Módulo de Young (Gpa)	14	78
Módulo Cortante (Gpa)	10.4	65
Límite Elástico (MPa)	1500	963
Límite Compresión (MPa)	1000	873

Tabla III-19. Comparativa entre la fibra de carbono y la fibra de lino.

Se observa que tanto el limite elástico como el de compresión son mucho mayores en la fibra de lino que en la fibra de carbono, y se observa que la fibra de lino es un material mucho más flexible que la fibra de carbono. Al unir ambos materiales, se intenta crear una sinergia, donde las carencias que tenga un material se puedan suplir con el otro, así pues, la fibra de carbono reforzada con lino, poseerá mayores limites elásticos y de compresión, pero también le otorgará mayor flexibilidad, siendo esta la finalidad.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.6.4.2. Compuesto reforzado con fibra de lino.

Para la creación de este material reforzado se procede a intercalar tres capas de fibra de lino en el compuesto seleccionado para la fabricación del basculante.

Para la obtención de las propiedades de este material formado por fibra de carbono y fibra de vidrio se recurre a un programa informático que calcula las propiedades que tendría el material combinando las capas de la siguiente manera:

Pliegue	Espesor	Ángulo	Material
1	1	0	Fibra de carbono 3
2	1	90	Lino
3	1	45	Fibra de carbono 3
4	1	-45	Fibra de carbono 3
5	1	90	Lino
6	1	45	Fibra de carbono 3
7	1	-45	Fibra de carbono 3
8	1	90	Lino
9	1	0	Fibra de carbono 3

Tabla III-20. Disposición de las capas de fibra de carbono y fibra de lino

Como se puede observar de la tabla anterior, se colocan 3 capas de lino, con lo cual la pieza estará compuesta por un 33,33% de lino. La disposición de las capas de fibra de carbono se mantiene conforme a lo explicado anteriormente, 0°, alternancia entre  $\pm 45^\circ$ , y 90°, mientras que las tres de lino se dispondrán a 90°.

Como se verá a en apartados próximo, el basculante se encuentra sometido a cargas de tracción durante la frena, a cargas de compresión durante la aceleración y a torsión durante el trazado de una curva. Debido a esto la disposición de las fibras sobre el basculante no sigue un orden aleatorio, la fibra de lino se dispondrá de manera longitudinal sobre todas las piezas, para otorgarle una alta resistencia tanto a compresión como a tracción, además de aportar mayor flexibilidad ante todos los esfuerzos. La disposición de la fibra de carbono será alternando entre  $\pm 45^\circ$  para otorgarle la resistencia en la torsión y a la componente vertical.

En la imagen siguiente se puede observar un pilar intermedio, con el esquema de la dirección que tendría la fibra de lino:

### III. Desarrollo proyecto

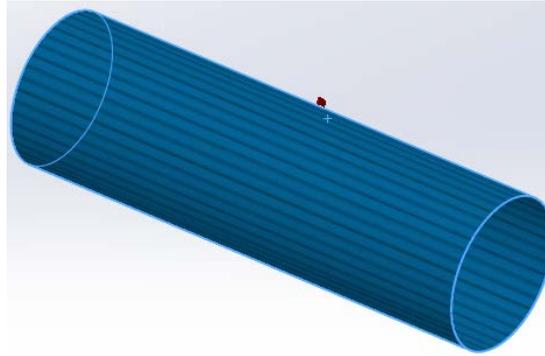


Figura III.74. Dirección de la fibra de lino en las piezas.

Para este ensayo se le aplicará fibra de carbono de bajas propiedades, estas se pueden observar en la *Tabla III-21*. Tras la combinación de ambos materiales, se obtienen las propiedades del composites reforzado con fibra de carbono y fibra de lino.

Propiedades Mecánicas Isotrópicas	
Módulo de Young (GPa)	57.8
Módulo Cortante (GPa)	43.68
Coefficiente de Poisson	0.4
Límite Elástico (MPa)	690
Resistencia a Tracción (MPa)	990
Resistencia a Compresión (MPa)	725
Densidad ( $Kg/m^3$ )	0.6

Tabla III-22. Propiedades del material reforzado con fibra de carbono y fibra de lino.

Como se puede observar en la tabla se han obtenido resultados muy óptimos, no obstante, para poder comprobar cómo han aumentado las propiedades al combinar ambos materiales, se procede a mostrar una tabla comparativa, en la cual aparecerán las propiedades del material reforzado únicamente con fibra de carbono, y del material de compuesto por fibra de carbono reforzado con lino.

COMPARATIVA ENTRE MATERIALES.			
	Fibra de lino	Composite: fibra de carbono	Composite: fibra carbono + fibra de lino
Densidad ( $Kg/m^3$ )	$1.5e^{-9}$	$1.6e^{-3}$	0.6
Módulo de Young (GPa)	14	78	57.8
Módulo Cortante (GPa)	10.4	65	43.68
Límite Elástico (MPa)	1500	600	690
Resistencia tracción (MPa)	1600	838	990
Resistencia Compresión (MPa)	1000	650	725

### III. Desarrollo proyecto

---

*Tabla III-23. Tabla comparativa entre el Composite reforzado únicamente con fibra de carbono, reforzado únicamente con fibra de lino, y el reforzado con fibra de carbono y lino.*

Según la comparativa se puede apreciar lo comentado con anterioridad, añadiendo un porcentaje de fibra de lino a la fibra de carbono se consigue aumentar la flexibilidad de esta, que era el objetivo primordial del proyecto, además, los límites elásticos y de compresión se ven aumentados. El resultado final es un Composite reforzado con ambas fibras, que posee una sinergia de propiedades debidas a los materiales que lo componen.

Según lo observado en este estudio, la combinación de diferentes fibras, proporciona materiales finales con excelentes propiedades, pudiendo ser utilizadas en multitud de aplicaciones industriales, no obstante, esto requiere un duro trabajo de investigación, de ensayo y error, hasta llegar a una combinación casi perfecta. Lo que se ha pretendido en este apartado es mostrar un pequeño ejemplo de cómo se puede llegar a conseguir esta sinergia de materiales, obteniendo unas propiedades finales muy interesantes.

## III.7. ESTUDIO Y DEFINICIÓN DE CONDICIONES DE CONTORNO.

Como se puede observar del diseño, el basculante del presente trabajo está formado por varios componentes, ya que, el modelo presenta una alta complejidad y es imposible conformarlo en una sola pieza. Debido a esto, es inevitable la existencia de contactos entre componentes, haciendo así obligatoria la correcta unión de los mismos.

Para este caso, como se trabaja con material compuesto, a base de fibra de carbono y resina epoxi, para los elementos estructurales el método de unión elegido será mediante Adhesivo rígido, explicado en el siguiente apartado.

Por otro lado, el diseño presenta otro tipo de conexiones o contactos, la unión atornillada del amarre de la suspensión, que también se explicará en los siguientes apartados.

### III.7.1. ADHESIVO RÍGIDO.

Los adhesivos rígidos o estructurales son aquellos que presentan una función mecánica, aunque también pueden tener funciones secundarias como sellantes. Son usados en todos los segmentos industriales. Algunos son flexibles, pero la mayoría son rígidos, ofreciendo uniones rígidas.

Los epóxicos y epoxi-fenólicos son adhesivos termoestables con alta resistencia a la tracción (hasta 45 MPa), a la compresión, y baja resistencia al pelado (1,8 kg/mm). Son resistentes a los disolventes, ácidos, bases y sales. Los epoxi-fenólicos mantienen su resistencia hasta los 150/250°C utilizándose para unir metales, vidrio, resinas fenólicas y materiales compuestos. La mayoría de estos adhesivos presentan un curado a temperaturas de entre 20 y 175 ° C, dependiendo de su grado, en algunos casos es necesario introducirlos en hornos para su correcta curación. Se utilizan en cantidades relativamente pequeñas debido a los precios, pero, junto a los adhesivos base imida, dominan el mercado de los adhesivos de altas prestaciones. Consiguen una buena adherencia sobre una amplia gama de sustratos, con contracción baja y buenas propiedades mecánicas entre -250 a 250 ° C.

### III. Desarrollo proyecto

---

Estos adhesivos tienen una amplia gama de aplicación, como por ejemplo en la unión de los chasis de fibra de carbono de las bicicletas, en el sector aeroespacial, en la unión de componentes de la automoción, palos de golf etc.

Para simular este tipo de unión en el Solid Works, se ha seleccionado la unión rígida, en el apartado de conexiones. Este tipo de conexión simula que las piezas están completamente rígidas y son inamovibles.

#### III.7.2. UNION ATORNILLADA.

Este tipo de unión se encuentra en el amarre de la rueda trasera, debido a que en su interior se coloca el eje de la rueda trasera, y este debe de ir bien ajustado, es necesario crear una pequeña holgura, para, en algunas circunstancias, poder extraerlo.

La unión atornillada se encarga pues de liberar el eje de la rueda trasera, o bien de asegurar su cierre durante el funcionamiento.

Para este tipo de unión se ha optado por un peno DIN7990 de cabeza hexagonal, calidad estructural ya que debe soportar grandes esfuerzos, y de métrica 12 x 100mm. Sellado en su extremo inferior por una rosca.

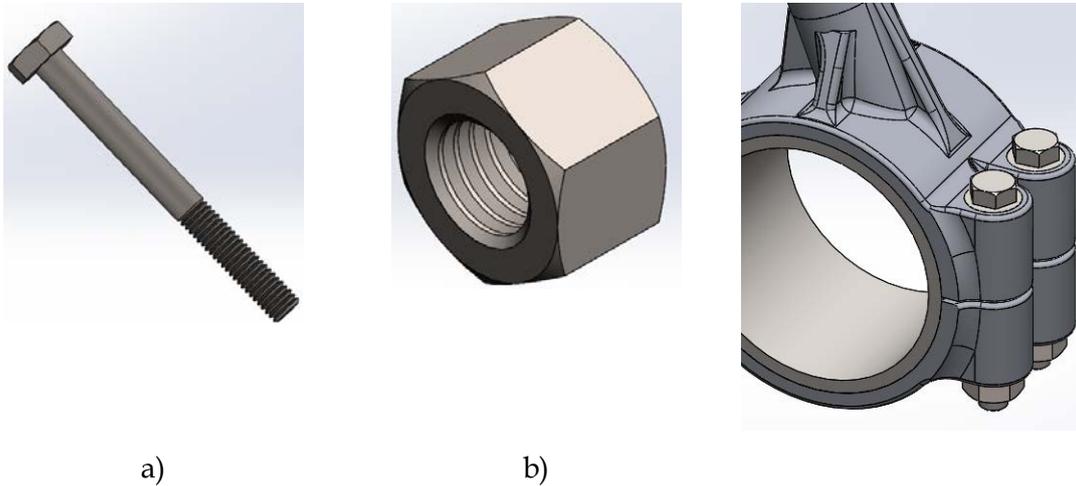


Tabla III-24. a) Imagen del perno utilizado para la unión del amarre de la rueda. b) Tuerza utilizada para el cierre del perno. c) Resultado tras el ensamblaje de las uniones.

Estos tornillos están ajustados con una precarga axial de 7000 N, haciendo pues su unión, completamente rígida, con un factor de seguridad superior a 2. Además, están realizados en acero aleado, un material excelente para este tipo de aplicaciones. Esta unión garantiza pues que el eje de la rueda se encontrará en todo momento bien sujeto.

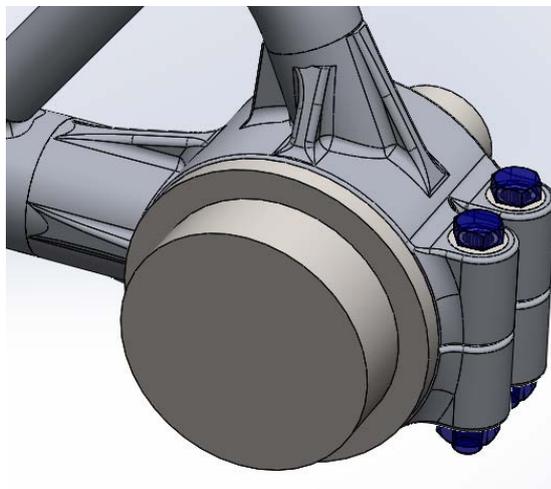
### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.7.3. UNION SIN PENETRACION DEL EJE DE LA RUEDA TRASERA.

En este caso para poder simular correctamente las cargas en la motocicleta, se ha seleccionado la unión sin penetración entre el eje y el amarre de la rueda trasera, lo que se pretende con este tipo de contacto es simular más fielmente la interacción entre los componentes.

Este tipo de unión entiende las piezas como dos elementos independientes que interactúan entre sí, por esto se ha elegido este tipo de contacto.



*Figura III.75. Ensamblaje del eje de la rueda con el amarre.*

## III.8. SIMULACIÓN MEDIANTE FEM.

En este apartado se mostrará los análisis por métodos finitos que se han realizado en el basculante para estudiar su comportamiento, y poder observar como varían los resultados utilizando únicamente como material la fibra de carbono y el composite de fibra de carbono reforzado con lino. También se mostrará un ejemplo de cómo varían los resultados desde el primer prototipo del basculante hasta el definitivo, y así corroborar que las mejoras introducidas han tenido buenos resultados

Cabe recordar que para este análisis se utilizará un eje trasero simplificado, para obtener resultados más reales, ya que las cargas se transfieren de la rueda al eje trasero.

Como se ha explicado anteriormente el basculante se ha calculado en base a cuatro hipótesis de cargas máximas, siendo estas las situaciones más desfavorables para el basculante. A continuación, se muestran los análisis por métodos finitos de cada una de estas hipótesis de carga.

Los análisis comparativos han sido realizados bajo las mismas condiciones.

### III.8.1. HIPÓTESIS 1: ACELERACIÓN LONGITUDINAL EN LÍNEA RECTA.

Esta situación aparecerá en el momento en que la motocicleta era sometida a una aceleración máxima, por ejemplo, en la salida de una carrera.

#### III.8.1.1. Aplicación de estados tensionales.

De acuerdo a los cálculos realizados en los apartados anteriores, se ha logrado obtener las cargas generadas sobre el basculante en el momento citado. Serán las mostradas en la siguiente tabla:

$S_{max}$	2083,8 N
$N_r$	2383,4 N

Tabla III-25. Valores de tracción máxima.

Estas cargas actúan directamente sobre el eje de la rueda trasera y este transmite las tensiones al basculante, a continuación, se muestra la disposición de las fuerzas en el modelo.

### III. Desarrollo proyecto

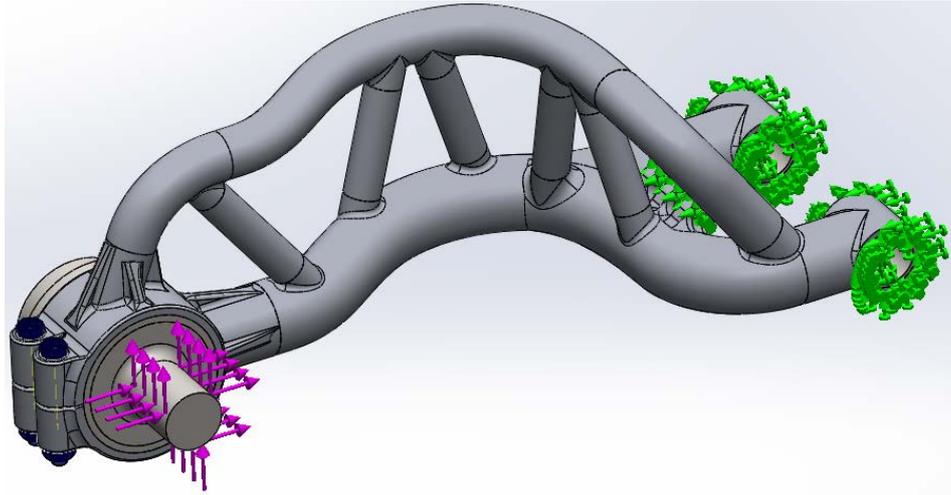


Figura III.76. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 1.

Las flechas azules representan las fuerzas a las que se encuentra sometido el basculante, las horizontales pertenecen a la carga de tracción ( $S_{max}$ ), mientras que las verticales pertenecen a la reacción del peso del conjunto en la rueda trasera ( $N_r$ ). Por otra parte, las flechas verdes simulan las sujeciones, en este caso se encuentran en el amarre de la suspensión y en el amarre al chasis.

#### III.8.1.2. Aplicación de materiales.

Como se ha comentado anteriormente, se realizará una comparación de resultados entre el composite de fibra de carbono y el reforzado con lino. Las propiedades de los materiales han sido obtenidas del CES Edupack y después introducidas en el programa SolidWorks.

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	1.9e+011	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de Poisson	0.307	N/D
Módulo cortante	7e+011	N/m <sup>2</sup>
Densidad de masa	1600	kg/m <sup>3</sup>
Límite de tracción	1500000000	N/m <sup>2</sup>
Límite de compresión	900000000	N/m <sup>2</sup>
Límite elástico	1500000000	N/m <sup>2</sup>
Coefficiente de expansión térmica		/K
Conductividad térmica	0.2256	W/(m·K)

Figura III.77. Composite de fibra de carbono.

### III. Desarrollo proyecto

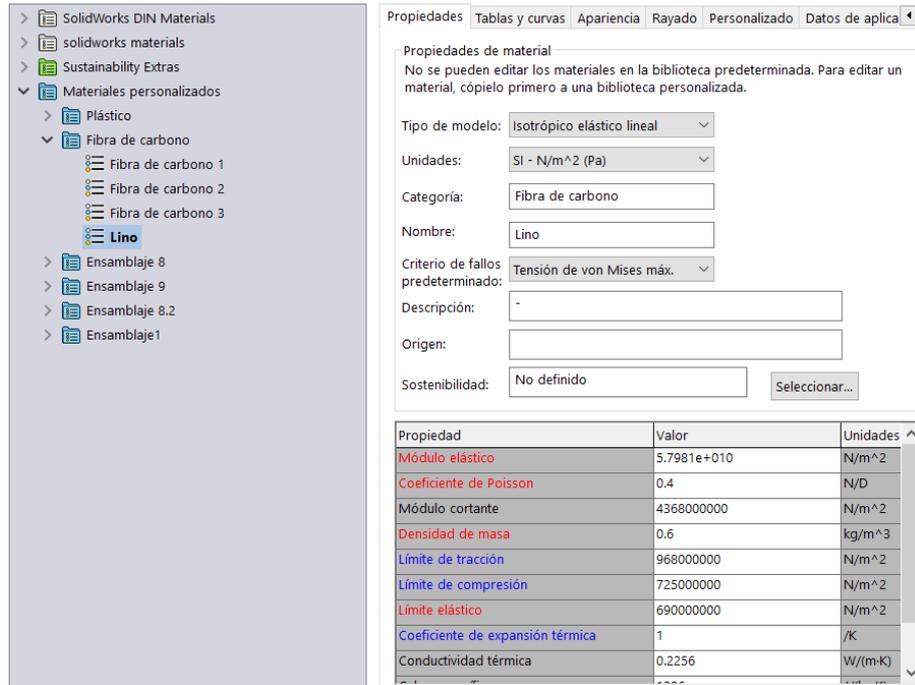


Figura III.78. Propiedades del composite reforzado con fibra de carbono y lino.

Tanto para el eje como para los casquillos del basculante se ha elegido el acero aleado, esta material venia por defecto en la biblioteca de materiales del Solid Works.

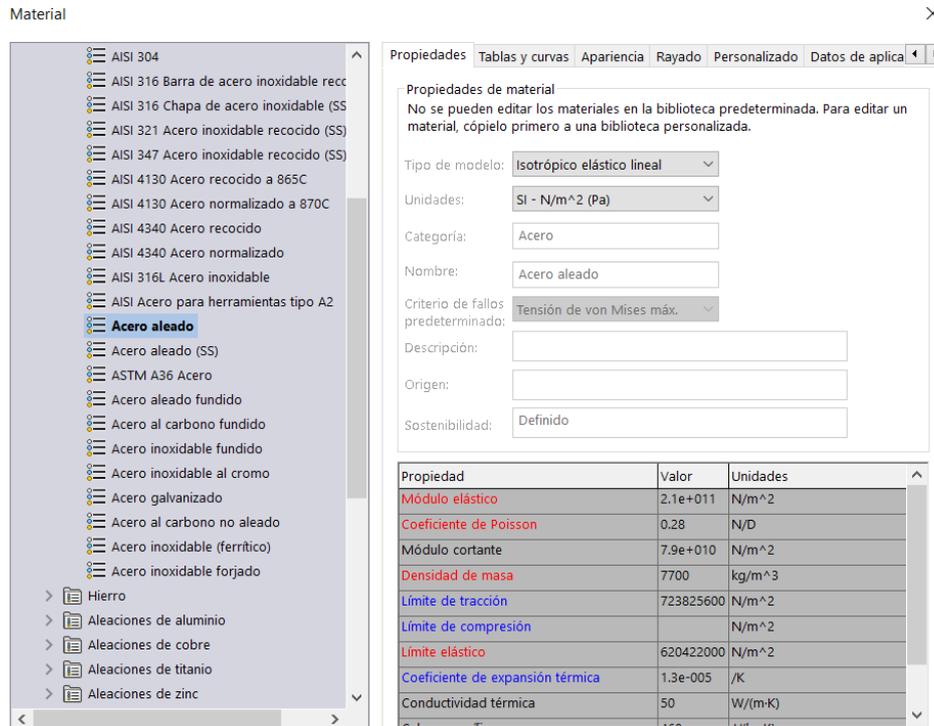


Figura III.79. Material para los casquillos y eje trasero.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.1.3. Análisis de estados tensionales.

A continuación, se mostrará una comparativa entre la pieza realizada únicamente con fibra de carbono y la pieza reforzada también con lino.

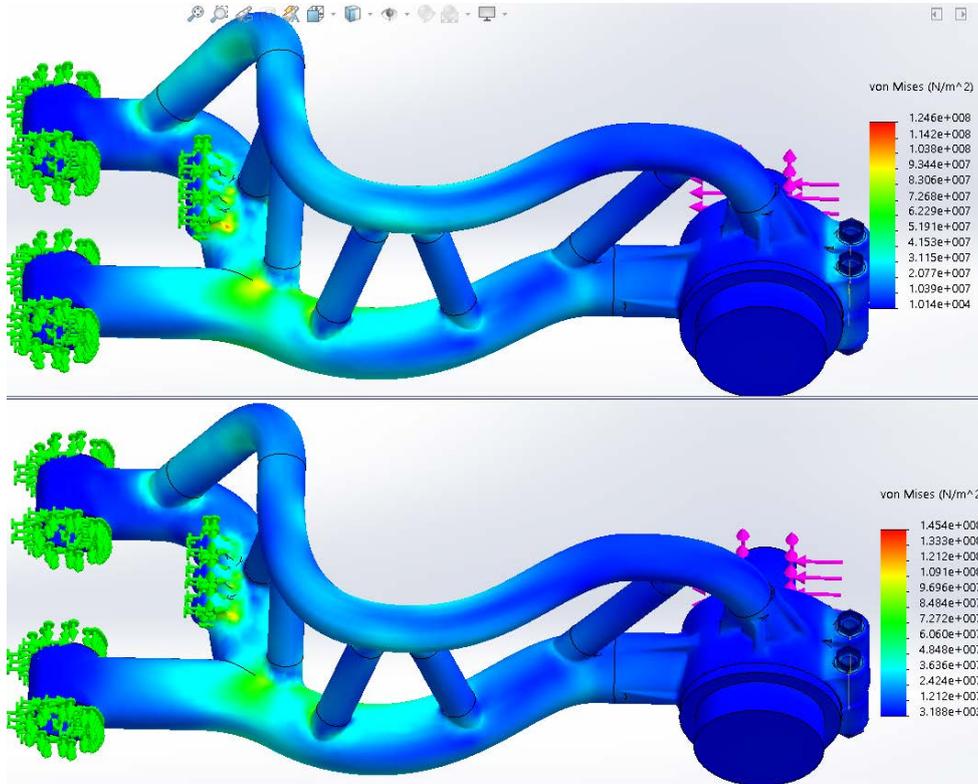


Figura III.80. El modelo superior representa el prototipo de fibra de carbono solamente, el inferior representa el reforzado con lino.

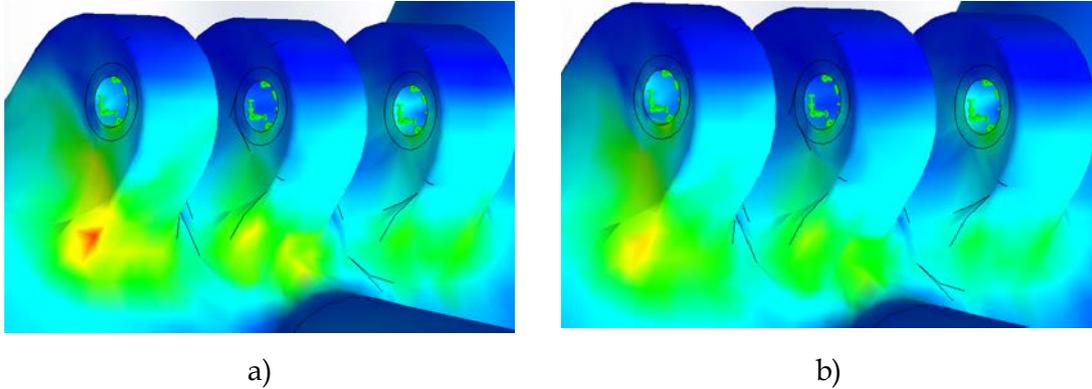
Como se puede observar del estudio realizado, las máximas tensiones se concentran en las zonas de unión de los pilares intermedios con el brazo inferior y en las uniones del amarre de la suspensión. Se puede observar que los pilares cumplen perfectamente con su función debido a que reducen las tensiones en esa zona.

Si se compara ambas imágenes se puede comprobar que, en el estudio realizado con fibra de carbono, en las uniones comentadas anteriormente se genera mayor tensión, esto es debido a la rigidez. Con la adhesión de la fibra de lino, representada en la imagen inferior, se consigue disminuir esta tensión en las zonas, debido a que son áreas sometidas a fuerzas de compresión y tracción, y el lino otorga mayor resistencia a estos esfuerzos.

La adhesión de la fibra de lino cumple completamente su finalidad, que es la de otorgarle un mejor comportamiento al basculante.

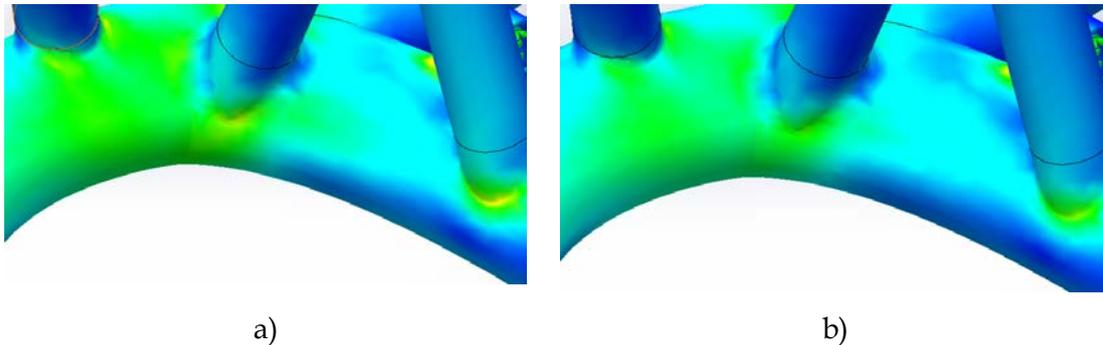
### III. Desarrollo proyecto

La imagen siguiente mostrara una comparación más detallada de las zonas donde se concentran en mayor medida las tensiones, tanto del modelo realizado en fibra de carbono, como el realizado en fibra de carbono más lino.



*Figura III.81. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de unión del amarre de la suspensión.*

Como se puede observar se reduce en gran medida la concentración de tensiones en esa zona con la incorporación de la fibra de lino, debido a que es una zona que trabaja a compresión y el lino otorga mayor resistencia en esta dirección.



*Figura III.82. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de unión de los pilares intermedios.*

En este caso se vuelve a repetir lo comentado, debido a la flexibilidad de la fibra de lino y a la resistencia tanto a tracción como a compresión que otorga, se consiguen reducir las tensiones en la zona mostrada.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.1.4. Análisis de deformaciones.

En este caso se podrán comprobar las deformaciones en milímetros que sufrirá la pieza en esta circunstancia.

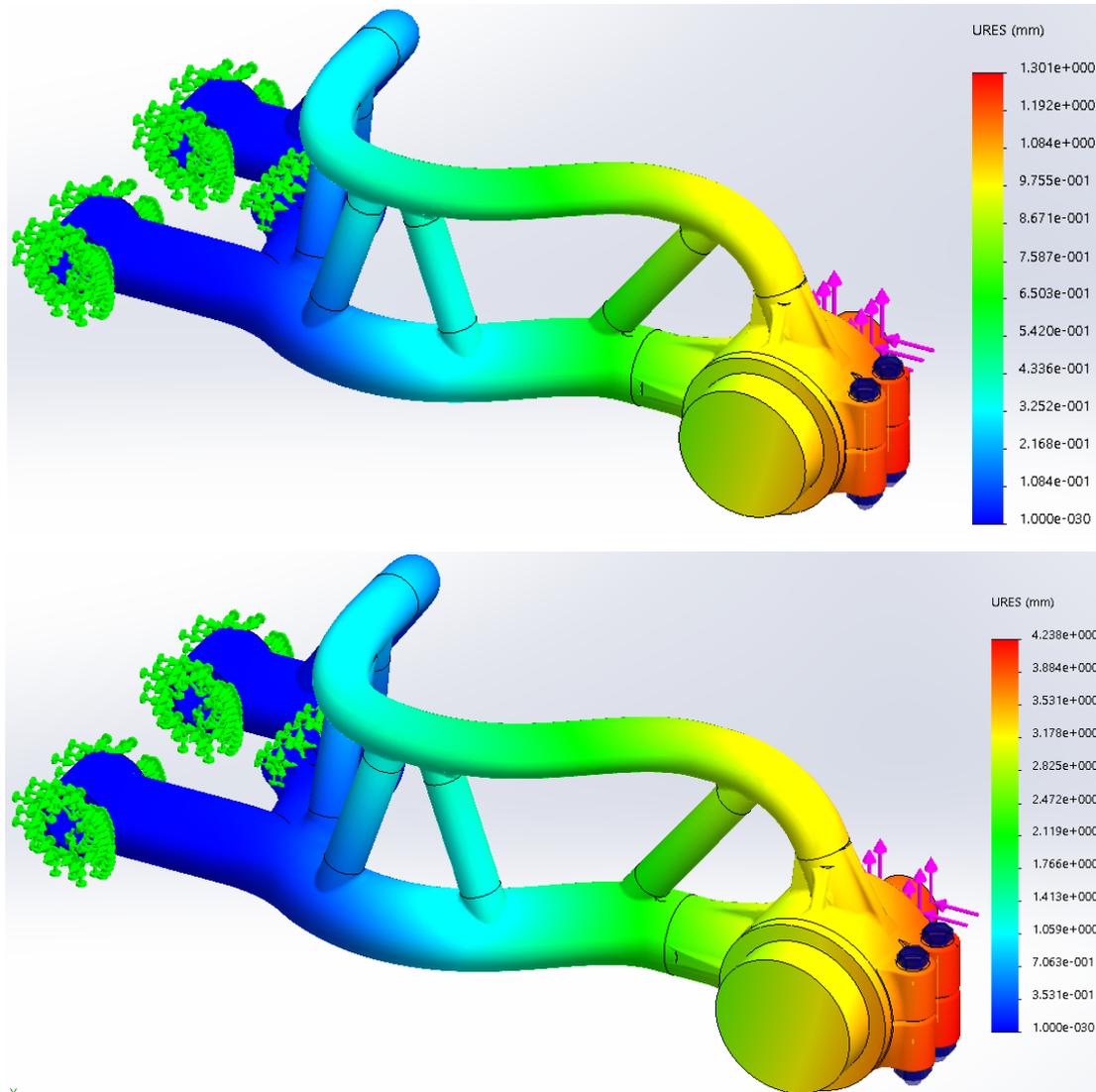


Figura III.83. La imagen superior muestra el diagrama de deformaciones la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.

Este es el estudio donde mejor se puede observar los efectos de la adhesión de la fibra de lino en el basculante. Con el basculante realizado íntegramente con fibra de carbono (imagen superior), se consigue una deformación máxima de 1.3mm, mientras que en el que se ha combinado la fibra de carbono y la fibra de lino se consigue una deformación máxima de 4.2mm. Este resultado refleja claramente que se ha conseguido aumentar la flexibilidad del basculante, pudiendo generar mejores sensaciones a la hora del piloje.

### **III. Desarrollo proyecto**

---

#### **III.8.1.5. Trazado de Factor de Seguridad.**

El coeficiente de seguridad (también conocido como factor de seguridad) es el cociente entre el valor calculado de la capacidad máxima de un sistema y el valor del requerimiento esperado real a que se verá sometido. Por este motivo es un número mayor que uno, indica la capacidad en exceso que tiene el sistema sobre sus requerimientos.

En este sentido, en ingeniería, arquitectura y otras ciencias aplicadas, es común, y en algunos casos imprescindible, que los cálculos de dimensionado de elementos o componentes de maquinaria, estructuras constructivas, instalaciones o dispositivos en general, incluyan un coeficiente de seguridad que garantice que bajo desviaciones aleatorias de los requerimientos previstos, exista un margen extra de prestaciones por encima de las mínimas estrictamente necesarias. Por esto es tan importante poseer un buen factor de seguridad que garantice el correcto funcionamiento del sistema.

En el mundo de la competición todo esto cambia, las situaciones a las que se puede enfrentar un componente se encuentran mucho más limitadas debido a que se rueda en circuito cerrado, donde la pista está totalmente lisa, y el asfalto en perfectas condiciones. Debido a que los factores externos están medianamente controlados, en competición se trabaja con factores de seguridad más bajos, ajustando así las geometrías y pudiendo hacer piezas más optimizadas.

### III. Desarrollo proyecto

A continuación, se mostrará la comparación del factor de seguridad entre el basculante realizado solo con fibra de carbono y el realizado con fibra de carbono más lino.

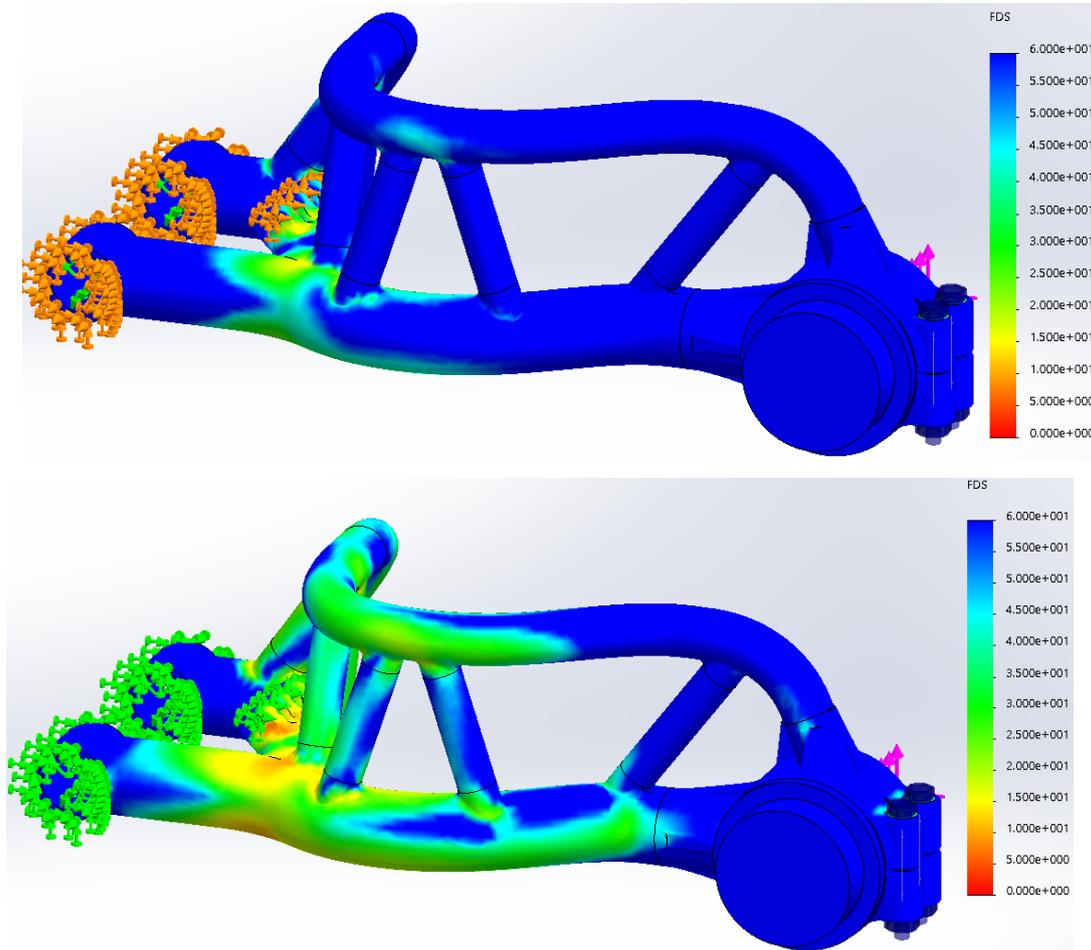


Figura III.84. Comparativa del factor de seguridad entre ambos modelos. La imagen superior muestra la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino

Este apartado es donde posiblemente más perjudicada se viera la opción de la fibra de carbono reforzada con lino, no obstante, los resultados siguen siendo muy aceptables. Para la pieza realizada íntegramente de fibra de carbono se consigue un factor de seguridad de 5, mientras que para el basculante realizado con fibra de carbono y lino el factor de seguridad es de 4. Aunque se haya visto reducido, esto indica que la pieza es totalmente segura, he incluso tiene un gran margen de seguridad ante circunstancias extrañas.

Se puede observar que las zonas más críticas mostradas anteriormente coinciden con las zonas donde más se concentran las tensiones.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.1. HIPÓTESIS 2: DESACELERACION LONGITUDINAL EN LÍNEA RECTA.

Esta situación aparecerá en el momento en que la motocicleta era sometida a un frenazo máximo, únicamente utilizando el freno trasero.

##### III.8.1.1. Aplicación de estados tensionales.

De acuerdo a los cálculos realizados en los apartados anteriores, se ha logrado obtener las cargas generadas sobre el basculante en el momento citado. Serán las mostradas en la siguiente tabla:

$N_r$	1195,6 N
$F$	1912,96 N

Tabla III-26. Valores de tracción máxima.

Estas cargas actúan directamente sobre el eje de la rueda trasera y este transmite las tensiones al basculante, a continuación, se muestra la disposición de las fuerzas en el modelo.

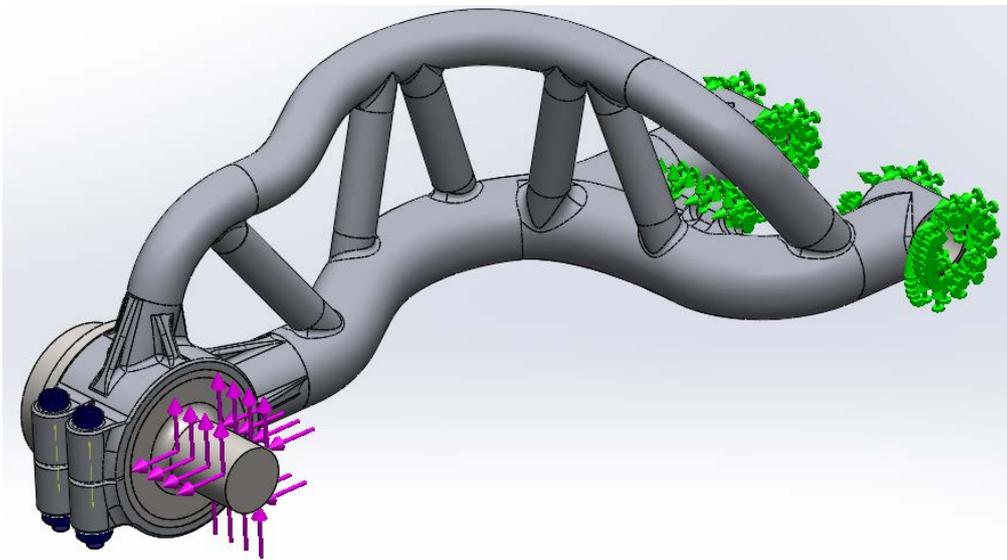


Figura III.85. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 2.

Las flechas en azules representan las fuerzas a las que se encuentra sometido el basculante, las horizontales pertenecen a la carga de tracción negativa ( $F$ ), mientras que las verticales pertenecen a la reacción del peso del conjunto en la rueda trasera ( $N_r$ ). Por otra parte, las flechas verdes simulan las sujeciones, en este caso se encuentran en el amarre de la suspensión y en el amarre al chasis.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.1.2. Análisis de estados tensionales.

Se muestra la comparativa entre ambos materiales bajo las condiciones de la hipótesis 2.

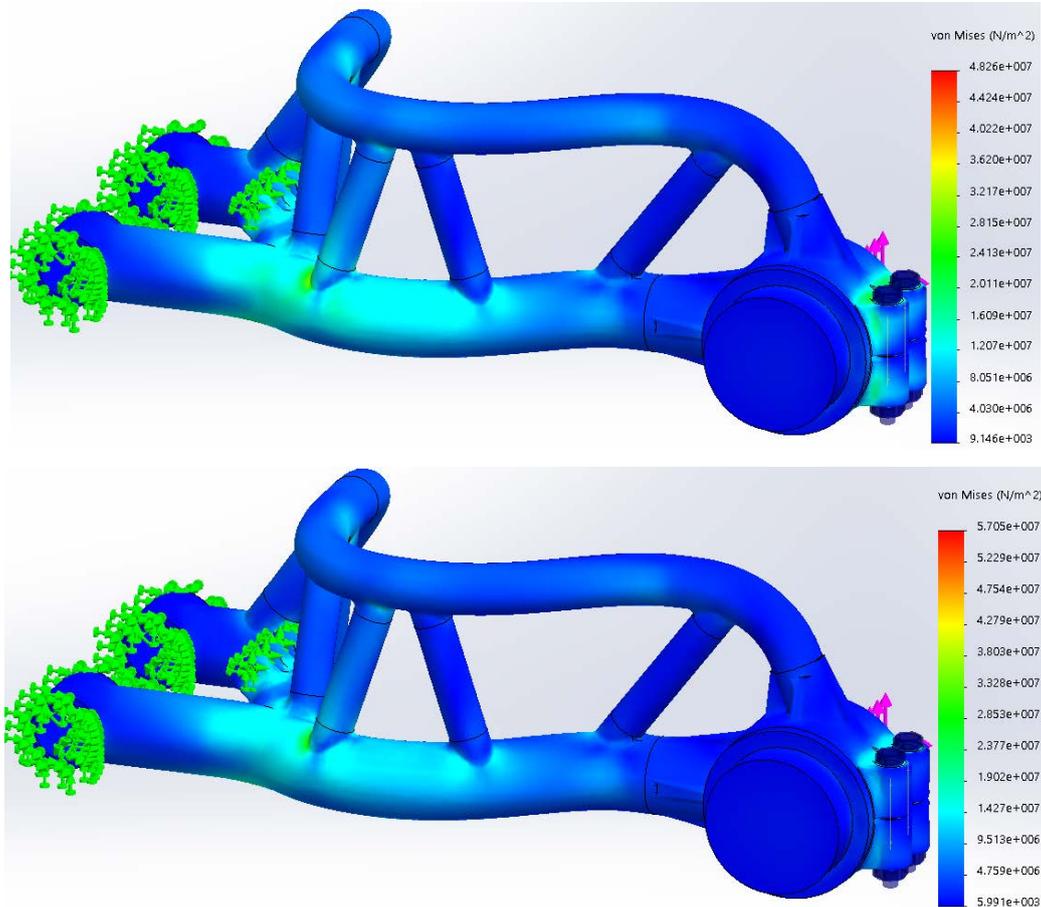


Figura III.86. El modelo superior representa el prototipo de fibra de carbono solamente, el inferior representa el reforzado con lino.

Respetando la tónica del apartado anterior, existen zonas donde gracias a la adhesión de la fibra de lino, las tensiones máximas han disminuido. Para este caso, las áreas serán las mostradas a continuación. En esta hipótesis la pieza trabaja a tracción, con la adhesión del lino, esta resistencia a la tracción se ve mejorada, con lo cual las tensiones se ven reducidas.

### III. Desarrollo proyecto

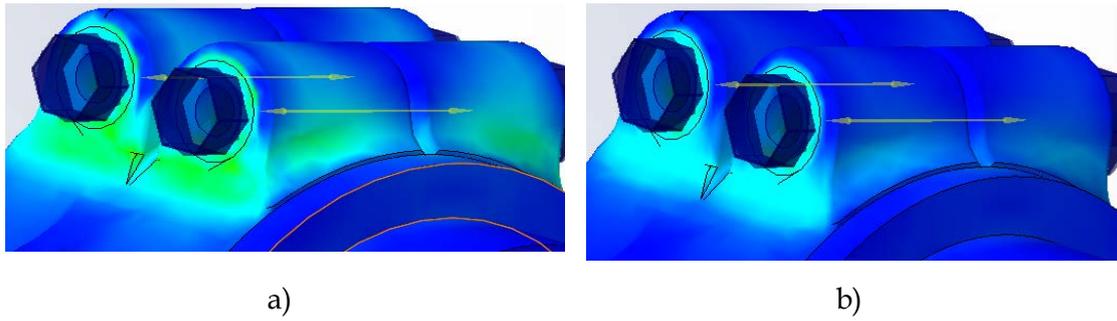


Figura III.87. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de cierre de los tornillos.

Como se puede comprobar en la zona de los tornillos, se consigue reducir las tensiones. Esto es debido a lo comentado anteriormente, esta zona en esta hipótesis se ve sometida a compresión, con lo cual, al mejorar esta característica con el lino, se reducen las tensiones.

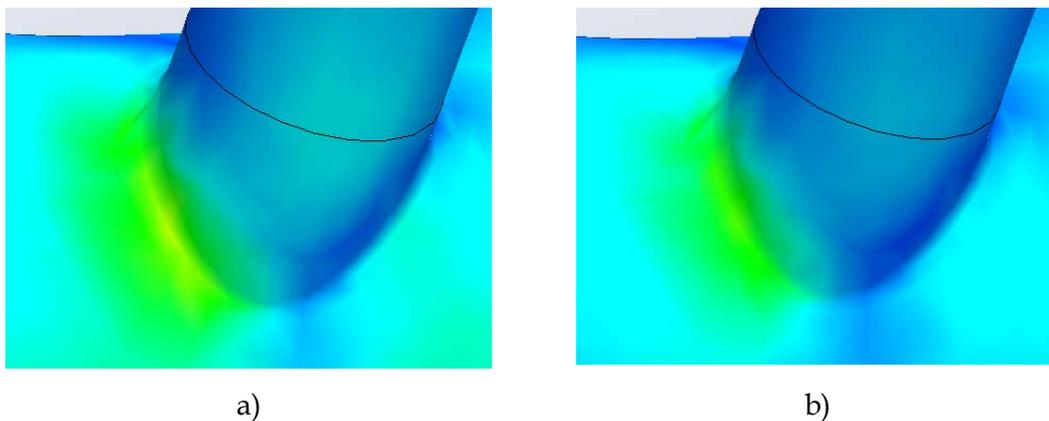


Figura III.88. a) Hace referencia a la pieza realizada solo con fibra de carbono. b) Hace referencia a la pieza realizada con fibra de carbono más lino. Zona de unión entre pilar intermedio y brazo principal.

Aunque las diferencias no sean abismales, todo esto repercute en el mejor comportamiento de la moto, y en las transmisiones de sensaciones al piloto. El basculante juega un gran papel en este aspecto, es él, el que transmite todo lo que pasa en la rueda trasera al conductor.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.1.3. Análisis de deformaciones.

A continuación, se muestra la comparativa de deformación.

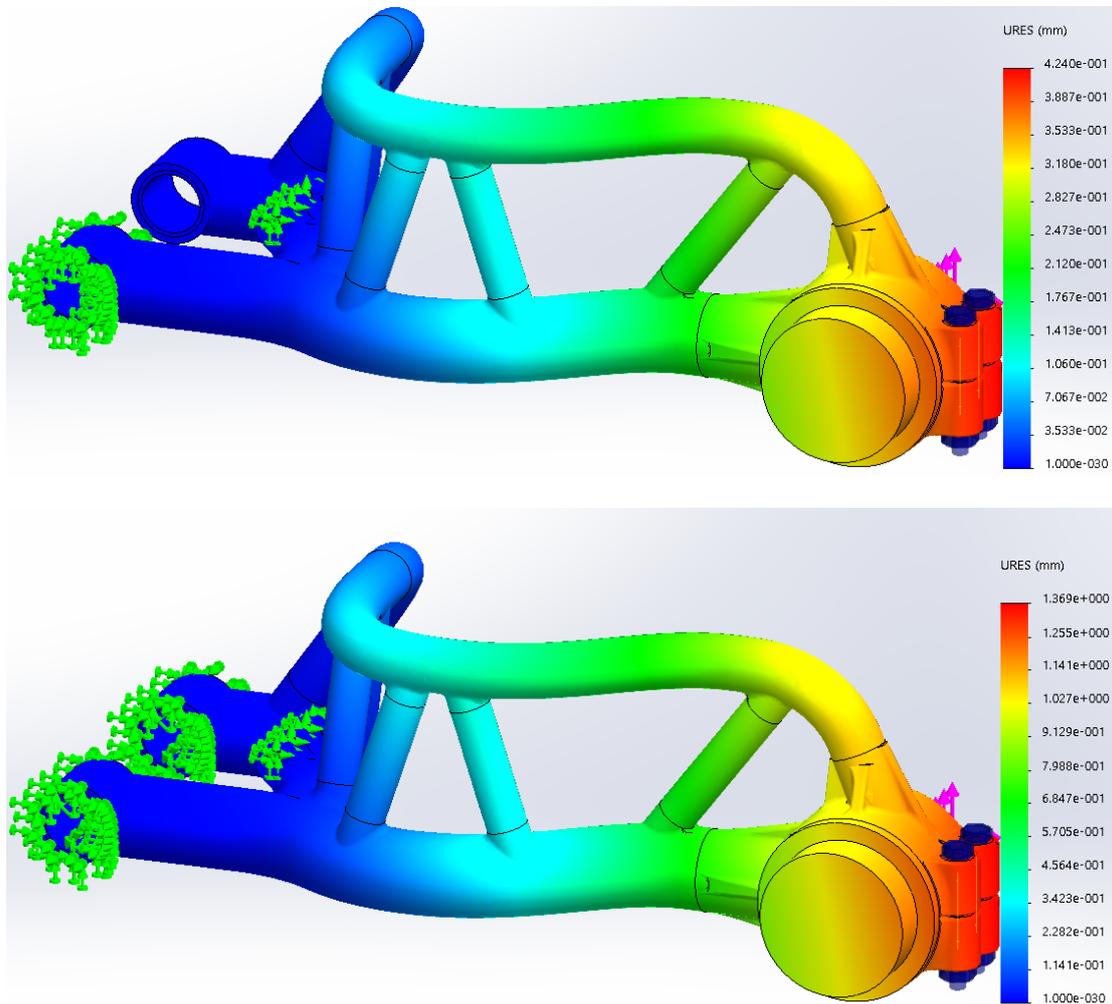


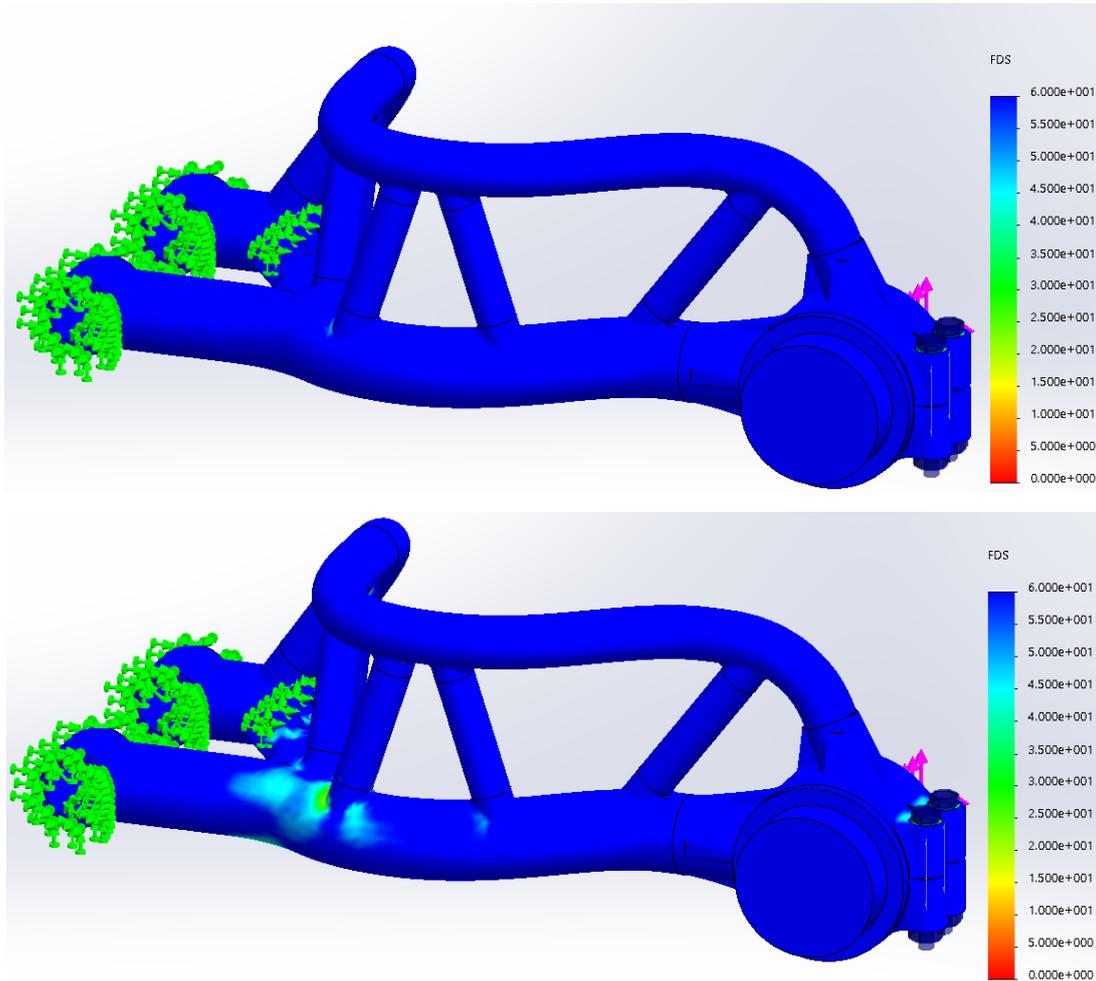
Figura III.89. La imagen superior muestra el diagrama de deformaciones la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.

Para esta hipótesis, se sigue con la tendencia, para la pieza de fibra de carbono aparece una deformación máxima de 0.42mm, mientras que para la pieza de fibra de carbono más lino la deformación máxima es de 1.3mm. Esto es debido al aumento de la flexibilidad del compuesto.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.1.4. Trazado de Factor de Seguridad.

Acto seguido se muestra el trazado del factor de seguridad para esta hipótesis.



*Figura III.90. Comparativa del factor de seguridad entre ambos modelos. La imagen superior muestra la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.*

El factor de seguridad para la pieza de fibra de carbono es de 13, mientras que para la pieza que lleva además lino es de 11. Estos factores son bastante altos, llegando incluso a estar sobredimensionado para piezas de competición, no obstante, aparecen solo para esta hipótesis.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.2. HIPÓTESIS 3: TRAZADO DE UNA CURVA

Esta situación aparecerá en el momento en que la motocicleta se encuentra tomando una curva sin acción del acelerador.

##### III.8.2.1. Aplicación de estados tensionales.

De acuerdo a los cálculos realizados en los apartados anteriores, se ha logrado obtener las cargas generadas sobre el basculante en el momento citado. Serán las mostradas en la siguiente tabla:

$N_{real}$	1437 N
$F_{latr}$	1429 N

Tabla III-27. Cargas durante el trazado de una curva.

Estas cargas actúan directamente sobre el eje de la rueda trasera y este transmite las tensiones al basculante, a continuación, se muestra la disposición de las fuerzas en el modelo.

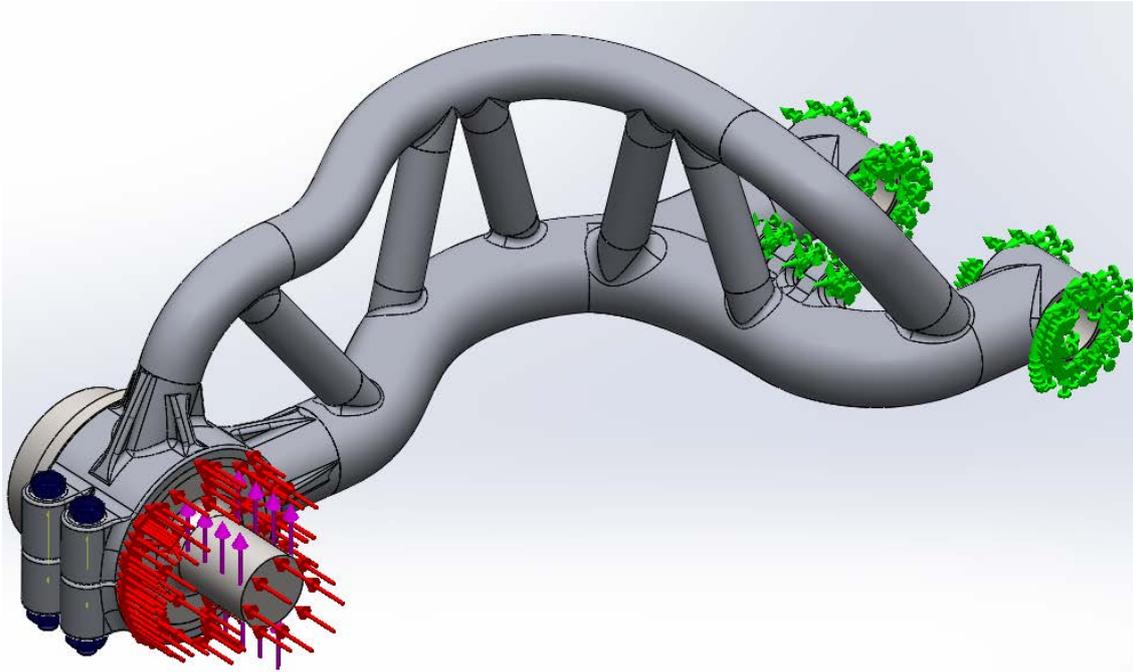


Figura III.91. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 3.

Las flechas en azules representan la fuerza de reacción del peso del conjunto sobre la rueda trasera ( $N_r$ ), mientras que las rojas suponen la carga lateral debida a la curva ( $F_{latr}$ ). Por otra parte, las flechas verdes simulan las sujeciones, en este caso se encuentran en el amarre de la suspensión y en el amarre al chasis.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.2.2. Análisis de estados tensionales curva a derechas.

A continuación, se muestra las tensiones en esta hipótesis cuando la motocicleta se encuentra realizando un giro a derechas. Solo se muestra el resultado para la con el material de fibra de lino y fibra de carbono, debido a que el ensayo realizado con fibra de carbono solamente es prácticamente igual y no aporta información adicional.

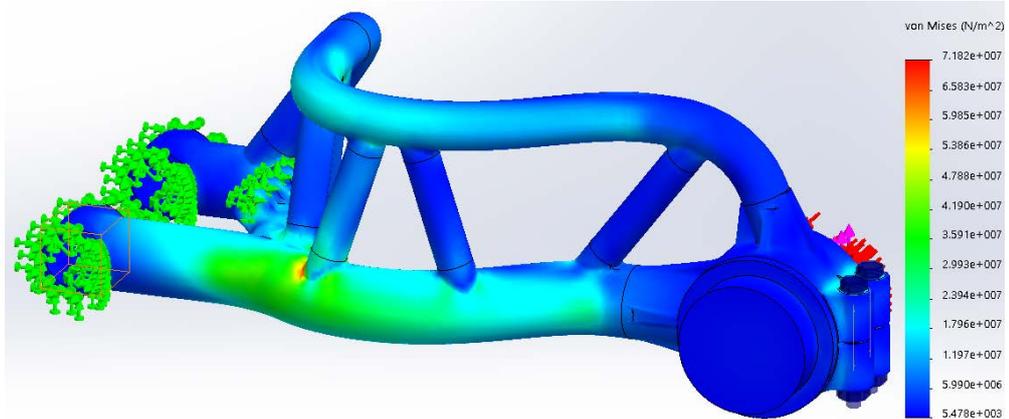


Figura III.92. Vista frontal de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas

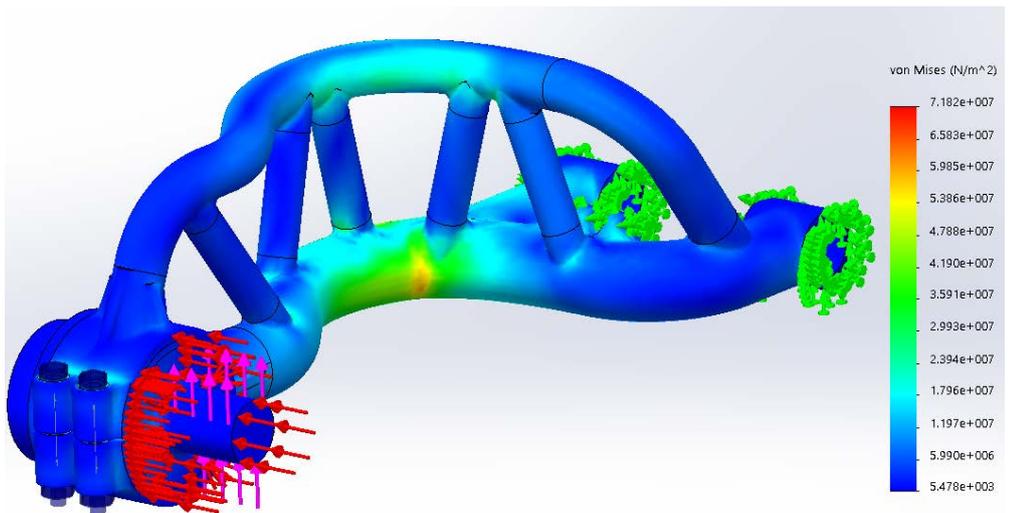


Figura III.93. Vista trasera de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.

Las dos imágenes muestran las zonas donde más se concentran las tensiones en esta hipótesis, en la curva del brazo principal, tanto por su exterior como por su interior. Predomina en la parte interna, donde las fibras sufren grandes esfuerzos a tracción. Esto se debe a que esta es la zona que más sufre al aplicarle cargas laterales generadas cuando la moto se encuentra tumbando.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.2.3. Análisis de estados tensionales curva a izquierdas.

A continuación, se muestra las tensiones en esta hipótesis cuando la motocicleta se encuentra realizando un giro a izquierdas.

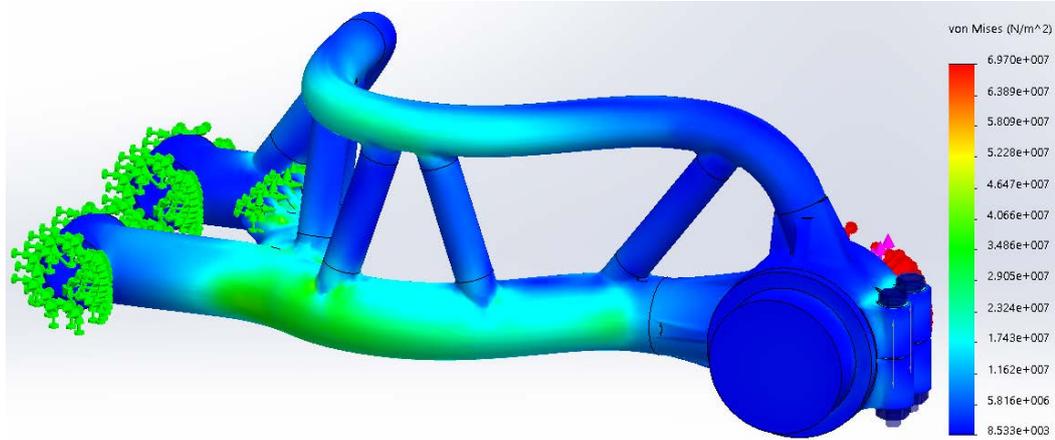


Figura III.94. Vista frontal de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a izquierdas.

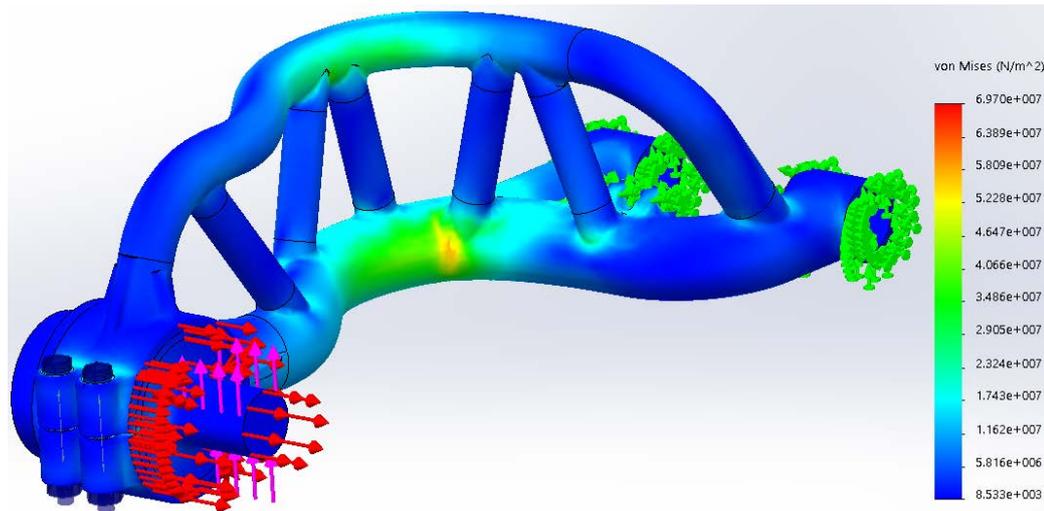


Figura III.95. Vista frontal de distribución de las tensiones en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a izquierdas.

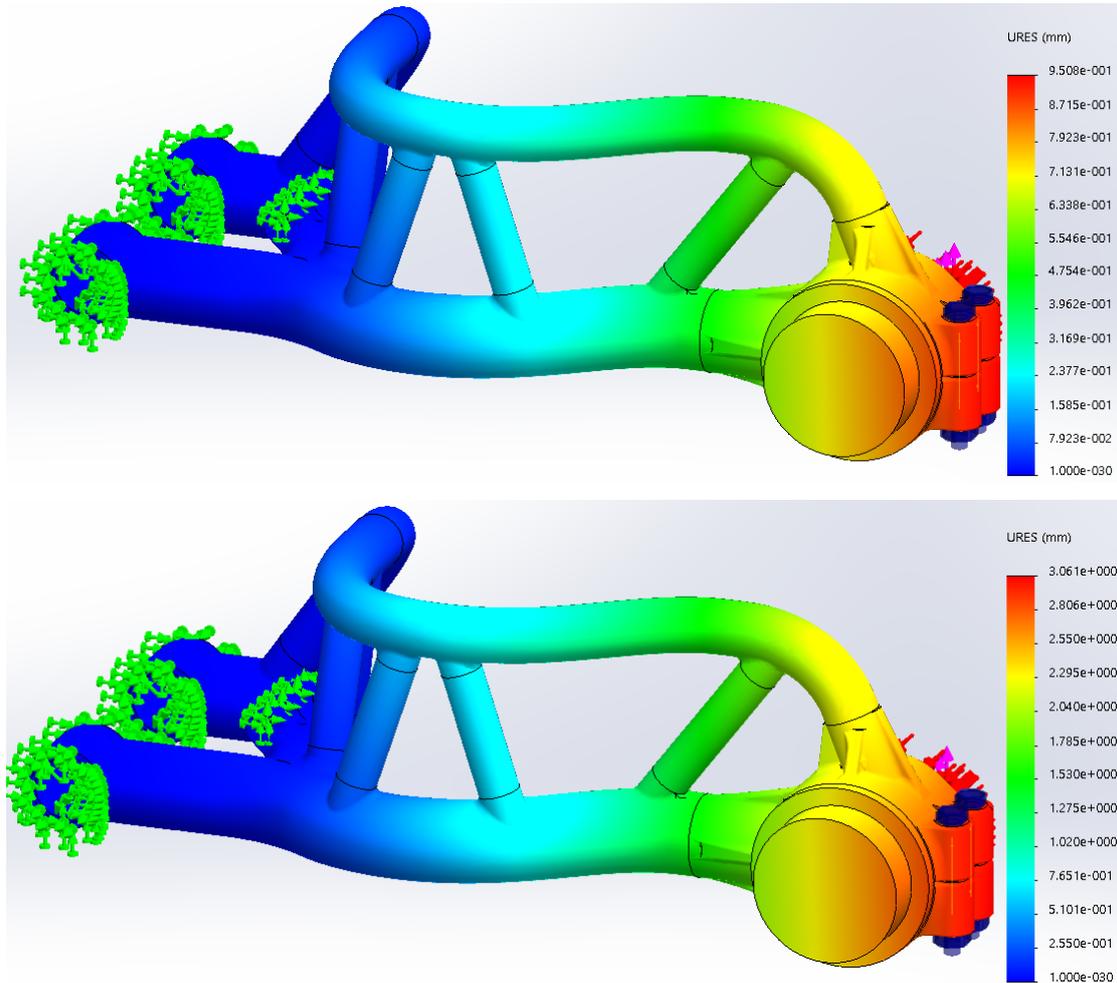
Como se puede observar el diagrama de tensiones es muy similar tanto si la curva se realiza a derechas como a izquierdas. La zona que más sufre se sitúa en el interior de la curva del brazo principal. Esto se debe a que los pilares cumplen su función y restringen los movimientos del brazo principal creando una estructura muy sólida.

Debido a su similitud, el resto de estudios se realizarían suponiendo que la moto se encuentra girando a la derecha.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.2.4. Análisis de deformaciones.

A continuación, se muestra la diferencia de desplazamiento entre materiales.



*Figura III.96. La imagen superior muestra el diagrama de deformaciones la pieza realizada íntegramente en fibra de carbono, la inferior representa la pieza con la fibra de lino.*

Con la aplicación de la fibra de lino se consigue mejorar también en este caso la flexibilidad del basculante durante el trazado de una curva. En el caso en el que se utiliza fibra de carbono solamente se consigue una deformación máxima de 0.95mm, mientras que con la adhesión de la fibra de lino, la flexibilidad se ve aumentada y pasa a tener una deformación máxima de 3mm.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.2.5. Trazado de Factor de Seguridad.

Acto seguido se muestra el trazado del factor de seguridad para esta hipótesis.

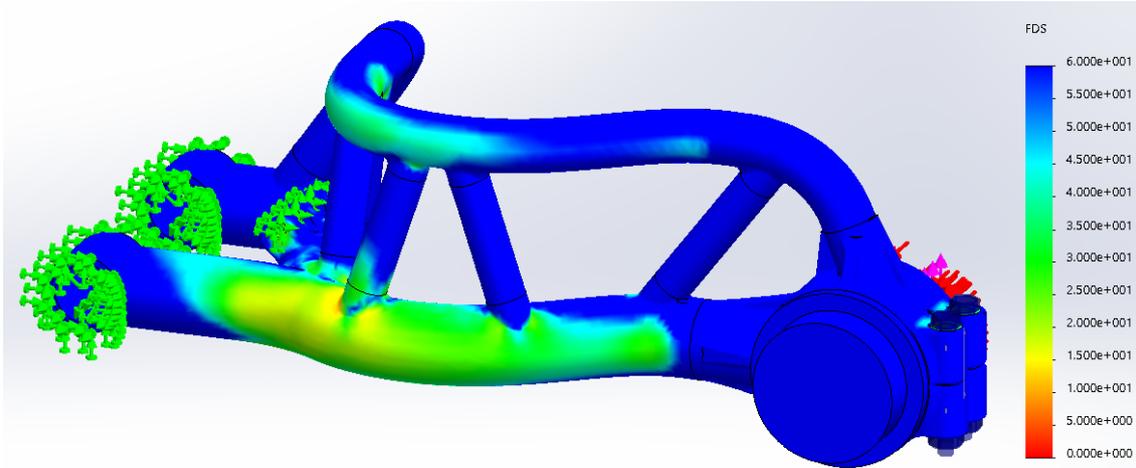


Figura III.97. Vista frontal de distribución del factor de seguridad en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.

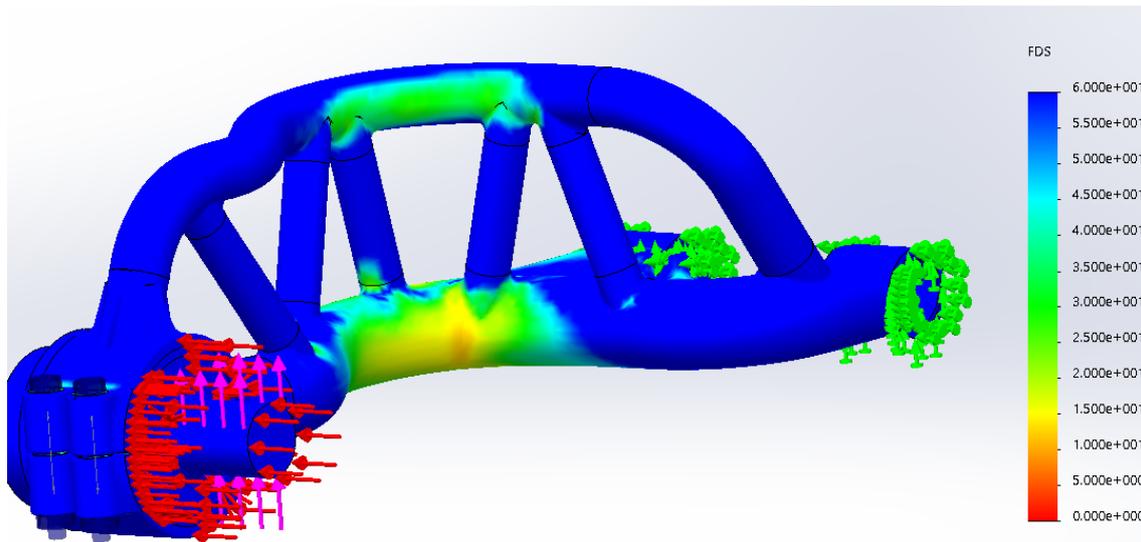


Figura III.98. Vista trasera de distribución del factor de seguridad en la pieza realizada con la combinación de las dos fibras en el trazado de una curva a derechas.

Para este supuesto el factor de seguridad mínimo es de 8, y aparece en el interior del brazo principal, coincidiendo con la zona de máxima concentración de tensiones.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.3. HIPÓTESIS 4: FUERZAS COMBINADAS.

Esta situación aparecerá en el momento en que la motocicleta se encuentra tomando una curva y además acelerando al máximo.

##### III.8.3.1. Aplicación de estados tensionales.

De acuerdo a los cálculos realizados en los apartados anteriores, se ha logrado obtener las cargas generadas sobre el basculante en el momento citado. Serán las mostradas en la siguiente tabla:

Fuerza de empuje (S)	2391 N
Fuerza resultante ( $N_r$ )	1437 N
Fuerza lateral máxima (Flat)	1429 N

Tabla III-28. Cargas durante el trazado de una curva.

Estas cargas actúan directamente sobre el eje de la rueda trasera y este transmite las tensiones al basculante, a continuación, se muestra la disposición de las fuerzas en el modelo.

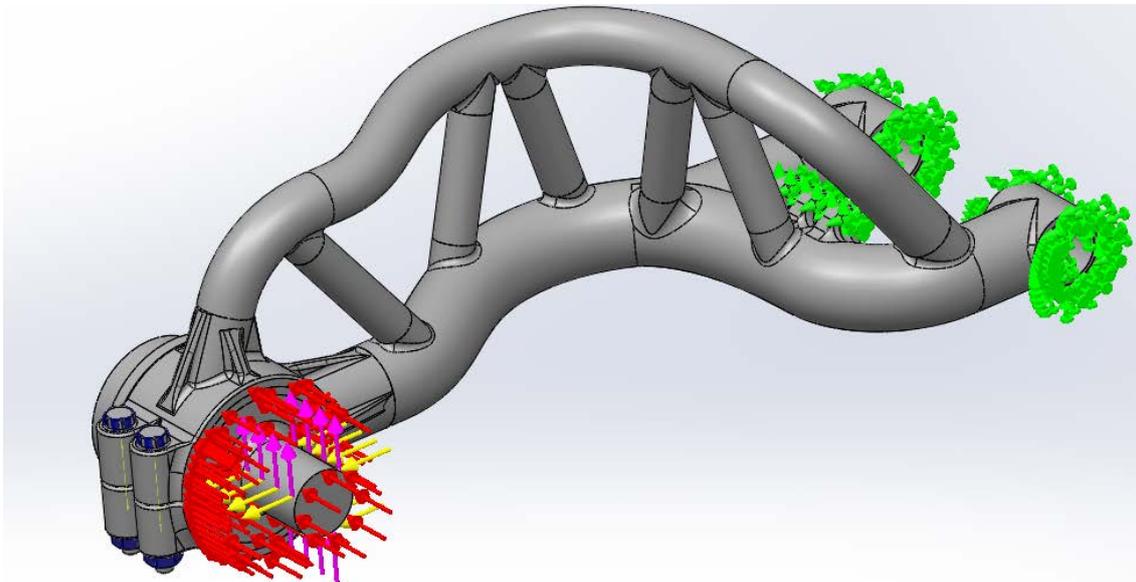


Figura III.99. Fuerzas y sujeciones que actúan sobre el basculante en la hipótesis 3.

Las flechas en azules representan la fuerza de reacción del peso del conjunto sobre la rueda trasera ( $N_r$ ), mientras que las rojas suponen la carga lateral debida a la curva ( $F_{lateral}$ ), y las amarillas representan las fuerzas de empuje debidas a la aceleración (S). Por otra parte, las flechas verdes simulan las sujeciones, en este caso se encuentran en el amarre de la suspensión y en el amarre al chasis.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.3.2. Análisis de estados tensionales.

A continuación, se muestra las tensiones de Von Mises que sufrirá la pieza en estas condiciones.

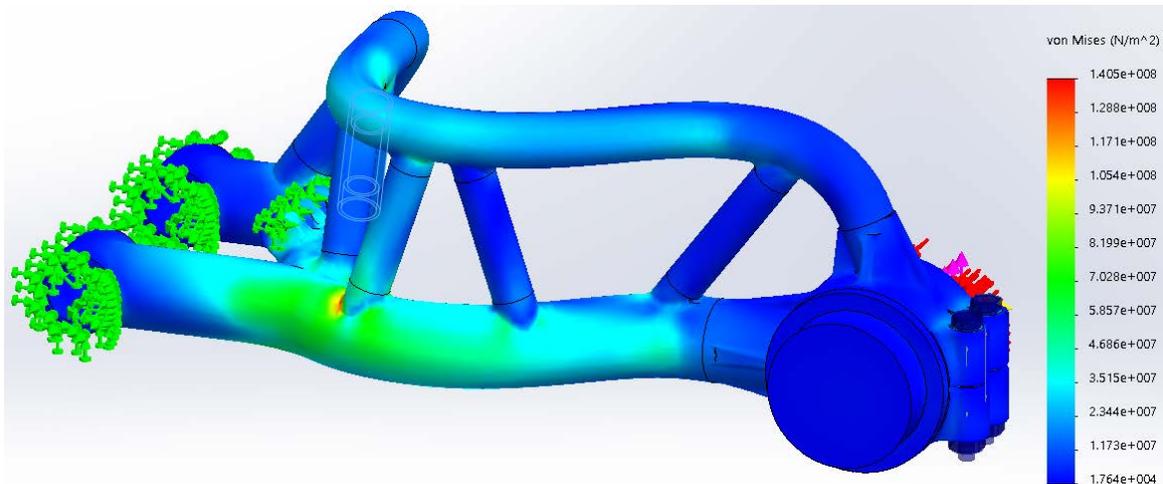


Figura III.100. Diagrama de tensiones para la pieza reforzada con lino.

Se analiza únicamente el caso en el que la pieza está reforzada con lino y fibra de carbono debido a que se ha comprobado que los resultados son muy similares.

#### III.8.3.3. Análisis de deformaciones.

A continuación, se muestra la comparativa del trazado de deformación obtenido.

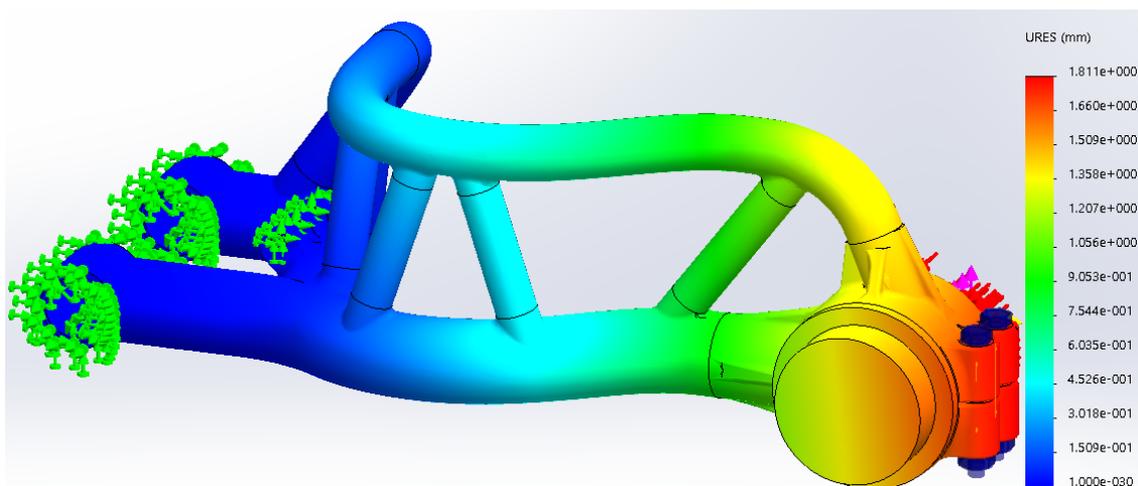


Figura III.101. Deformación máxima para la pieza realizada con composite reforzado con fibra de carbono.

### III. Desarrollo proyecto

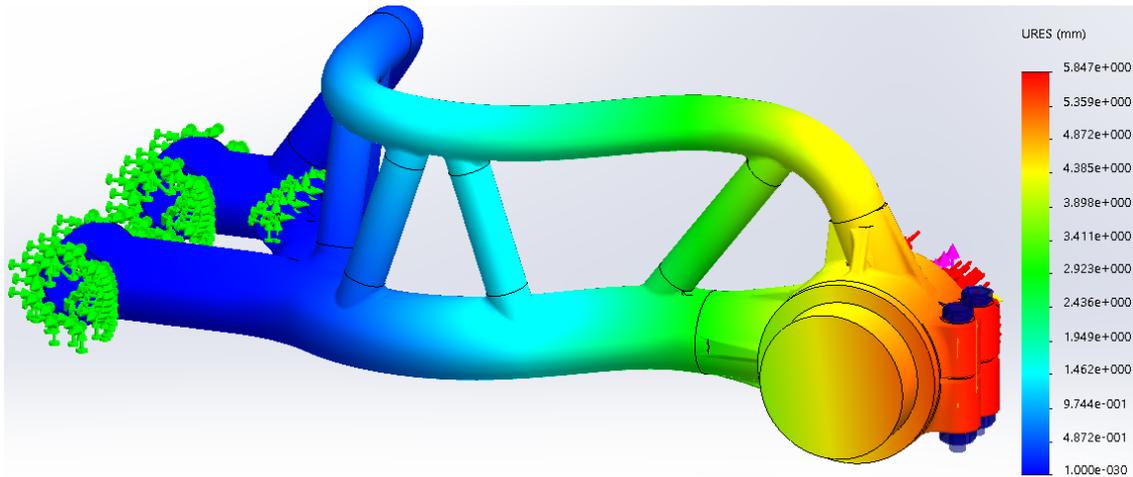


Figura III.102. Trazado de deformación máxima para la pieza elaborada con fibra de carbono reforzado con lino.

En este supuesto también se observa la mejora en cuanto a flexibilidad, pasando de una deformación máxima de 2mm a una de 5mm. Se constata el papel flexibilizante de la fibra de lino.

#### III.8.3.4. Trazado de Factor de Seguridad.

Acto seguido se muestra el trazado del factor de seguridad para esta hipótesis.

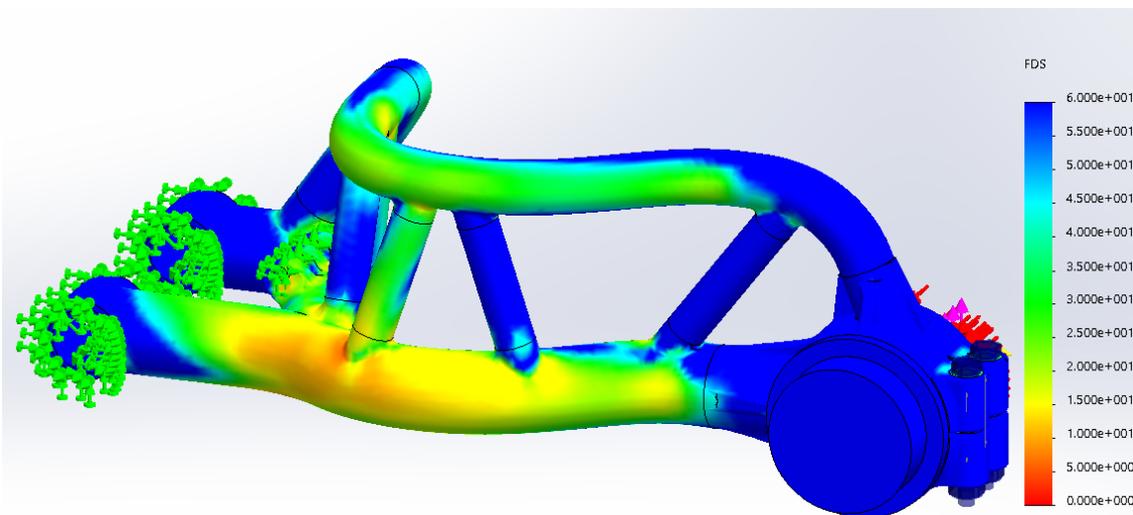


Figura III.103. Factor de seguridad para la hipótesis 3.

El valor del factor de seguridad para esta hipótesis y para el basculante realizado con fibra de carbono y lino será de 4.5, un valor totalmente aceptable para competición.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.4. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DEL DISEÑO.

En este apartado se mostrará como los cambios realizados el basculante a lo largo de su diseño han aportado mejoras estructurales en el mismo y por consiguiente un mejor comportamiento. Se comparará a continuación el diseño del primer prototipo con el definitivo que es como más se apreciarán los cambios.

##### III.8.4.1. Estados tensionales.

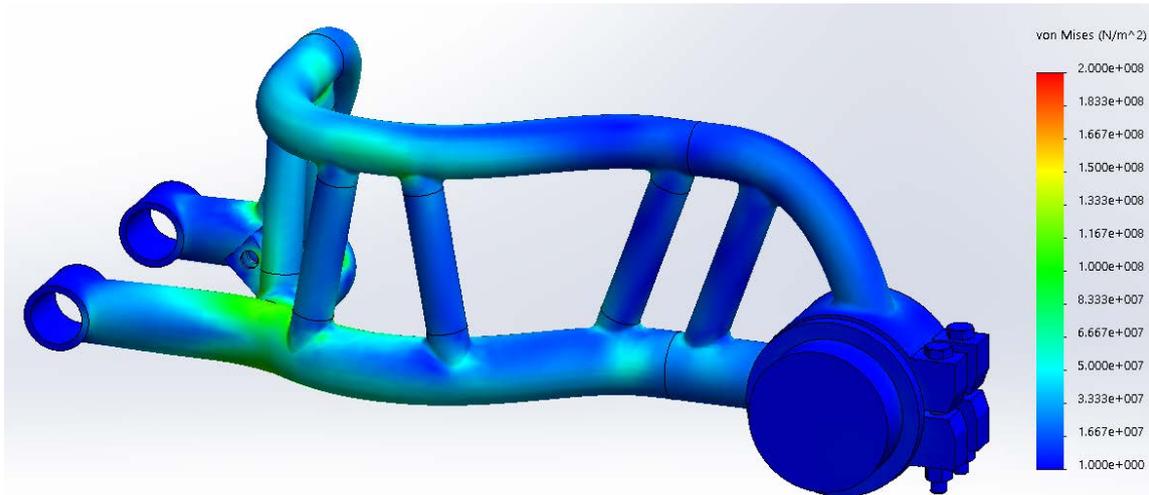


Figura III.104. Diagrama de tensiones en el prototipo 1.

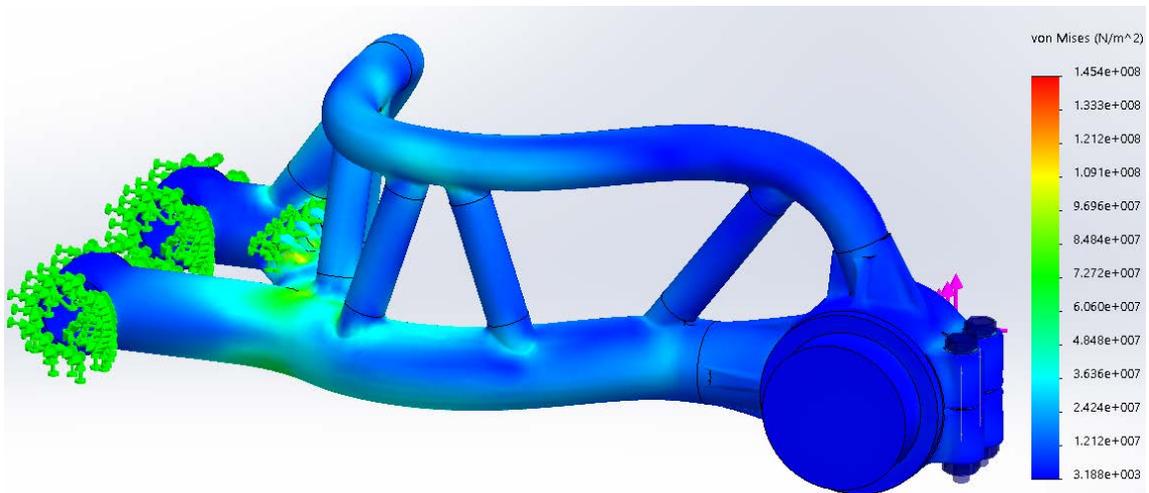


Figura III.105. Diagrama de tensiones del prototipo definitivo.

Se observa pues de las imágenes que se consiguen reducir las tensiones máximas en gran medida, de  $2e^8 \text{ N/m}^2$  a  $1.4e^8 \text{ N/m}^2$ . También se observa una distribución más uniforme de las tensiones alrededor de todo el brazo, no obstante, donde más se aprecia esta reducción es en las siguientes zonas:

### III. Desarrollo proyecto

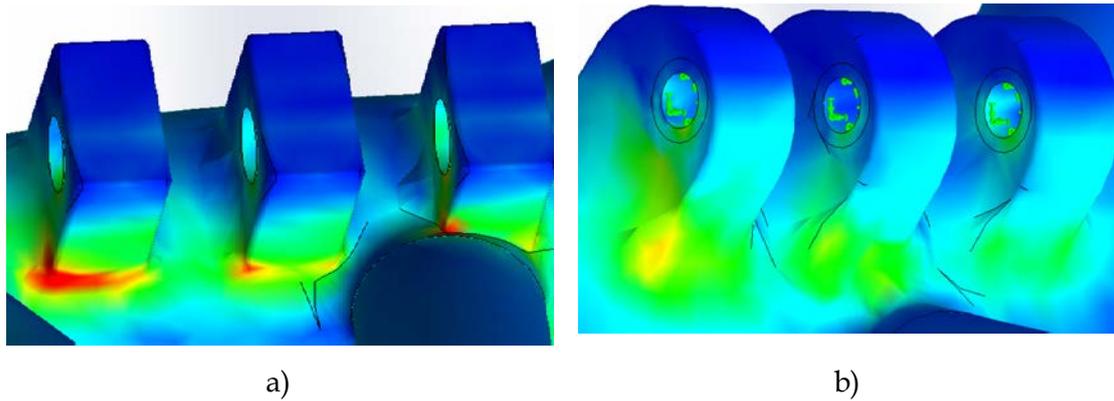


Figura III.106. a) Primer diseño del amarre de la ruda. b) diseño definitivo del amarre de la ruda

En este caso, tras redondear las aristas y cambiar de posición los pilares, se consigue una reducción muy notable de la concentración de tensiones en esta zona. En cualquier diseño se intenta evitar aristas vivas, debido a que son concentradores de tensiones potenciales.

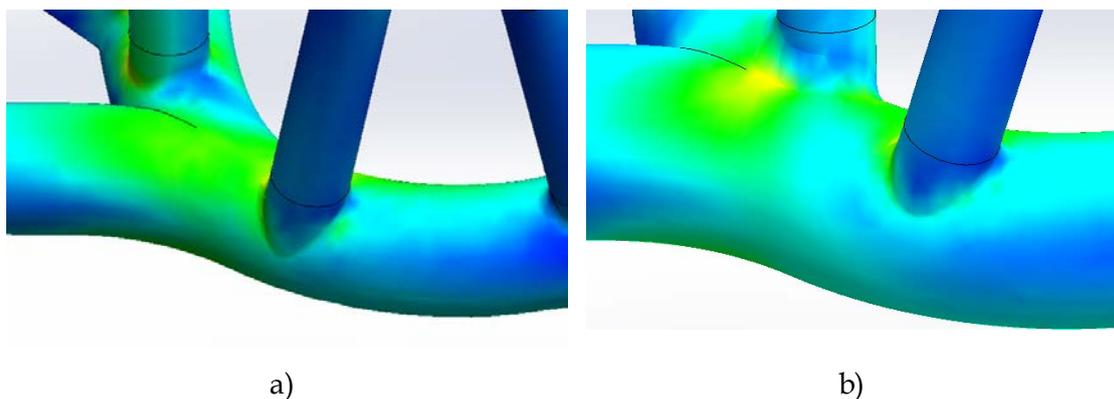


Figura III.107. a) Primer diseño de los pilares intermedios. b) diseño definitivo de los pilares intermedios.

Para estos componentes de vital importancia se optó por cambiar y aumentar la inclinación, para poder contrarrestar las deformaciones generadas por los esfuerzos de tracción y de compresión que se ve sometida la motocicleta. Todos los pilares intermedios del basculante han sufrido este amentado de inclinación y los resultados son muy gratificantes.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.4.2. Desplazamientos.

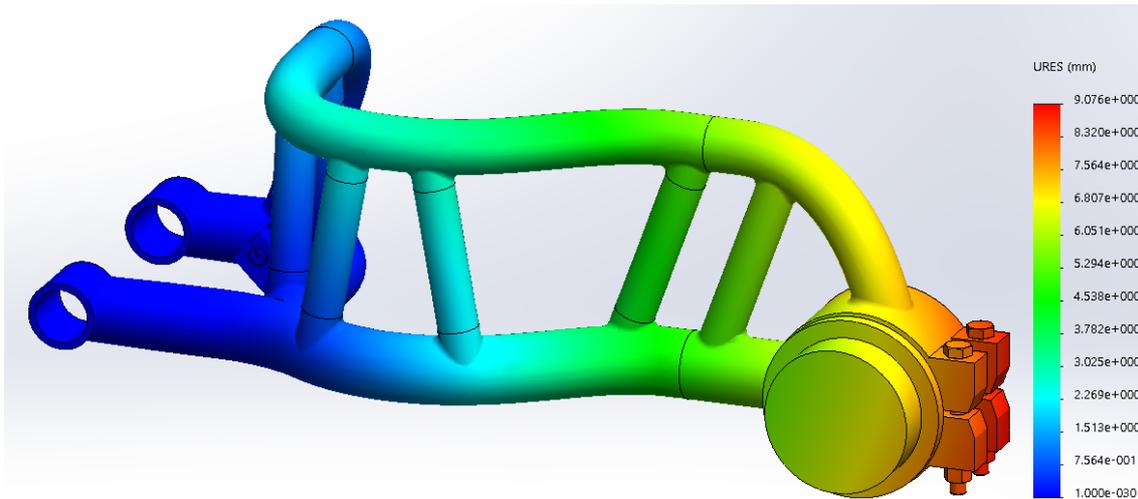


Figura III.108. Diagrama de deformación del prototipo 1.

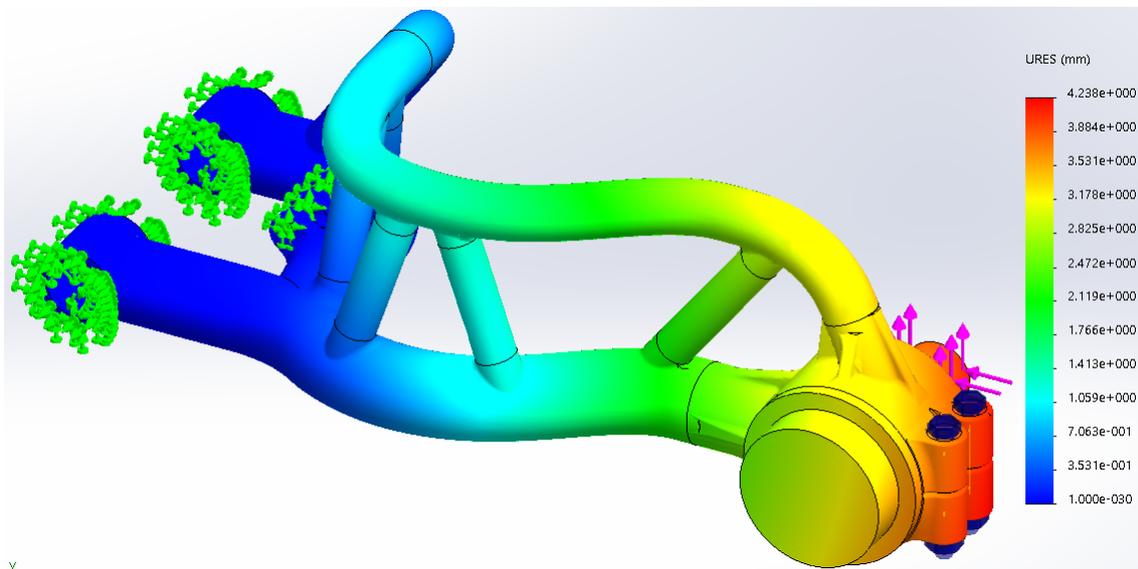


Figura III.109. Diagrama de deformación del prototipo definitiva.

Como se puede apreciar es este campo ha aparecido una gran mejoría, se pasa de una deformación máxima de 9 mm, a menos de la mitad 4.2mm. Esto se debe a todos los cambios introducidos y por el nuevo diseño del amarre de la rueda, mucho más simplificado y resistente en el prototipo definitivo. Eliminando el brazo de refuerzo y reforzando con nervios los cilindros donde se anclan el brazo inferior y el brazo superior.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.8.4.3. Factor de seguridad.

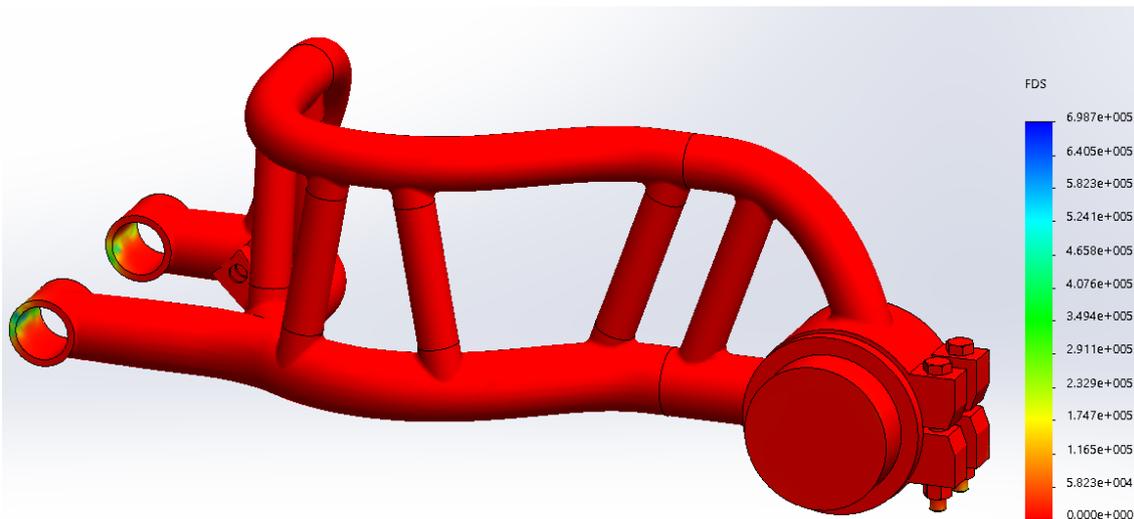


Figura III.110. Diagrama del factor de seguridad para el prototipo 1.

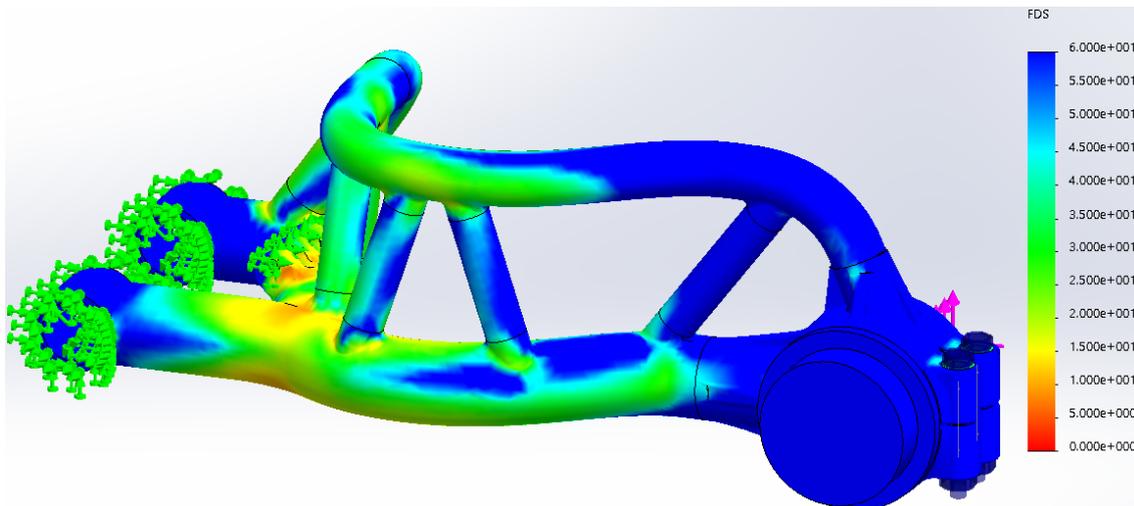


Figura III.111. Diagrama del factor de seguridad para el prototipo definitivo.

Esta es una de las pruebas irrefutables de que el modelo propuesto ha sufrido una gran mejoría, se pasa de un factor de seguridad de 1.5 a uno de 4. Esto informa que todas y cada una de las mejoras introducidas han ayudado a otorgarle a la pieza mayor seguridad y un mejor comportamiento.

## III.9. DISEÑO FINAL.

Tras todo el análisis realizado sobre el basculante, el cual incluye, el estudio de las cargas que actúan en una motocicleta, la detección de los escenarios más desfavorables, el análisis del material compuesto reforzado con fibra de vidrio, el estudio de los procesos de fabricación, etc. Se ha llegado a una conclusión final, del cual se puede afirmar que mediante la adhesión de la fibra de lino se consigue mejorar el comportamiento del basculante cuando el neumático empieza a degradarse, aumentando su flexibilidad.

Algunos de los aspectos más significativos de este diseño y que cabe remarcar son los siguientes:

El basculante está diseñado para una motocicleta de competición, la cual requiere un excelente rendimiento en circuito, donde los costes se han dejado de lado debido a que muchos en este mundo los presupuestos de los equipos son altísimos.

Aparte de aprovechar las fantásticas propiedades flexibles del lino, se realiza una pequeña introducción al concepto 'ecodiseño' el cual intenta integrar materiales naturales con procesos de explotación bajos y que además se puedan reciclar fácilmente. El lino es una fibra que cumple a la perfección con estas características ecológicas.

Para esta pieza se ha optado por el modelo monobrazo, debido a que como se ha explicado presenta un mejor comportamiento estructural frente al de doble brazo, no obstante, el de doble brazo está más estandarizado, esto es debido a su fácil fabricabilidad.

Para conseguir la rigidez estructural adecuada, se ha optado por la implementación de un brazo principal, reforzado por otro superior secundario y unido entre sí por una serie de pilares intermedios inclinados, que restringen las deformaciones y aportan estabilidad. Además, cabe decir que, en las uniones entre los pilares intermedios y el brazo principal, y en la sujeción de la suspensión, se ha aumentado la cantidad de material, simulando la implementación de más capas de fibra en las zonas críticas y reforzándola. Esto se ha realizado aumentando el radio de redondeo en las uniones, debido a que el Solid Works trabaja con un número de capas constante para cada pieza y no permite añadir más capas en una zona únicamente. Existen softwares

### III. Desarrollo proyecto

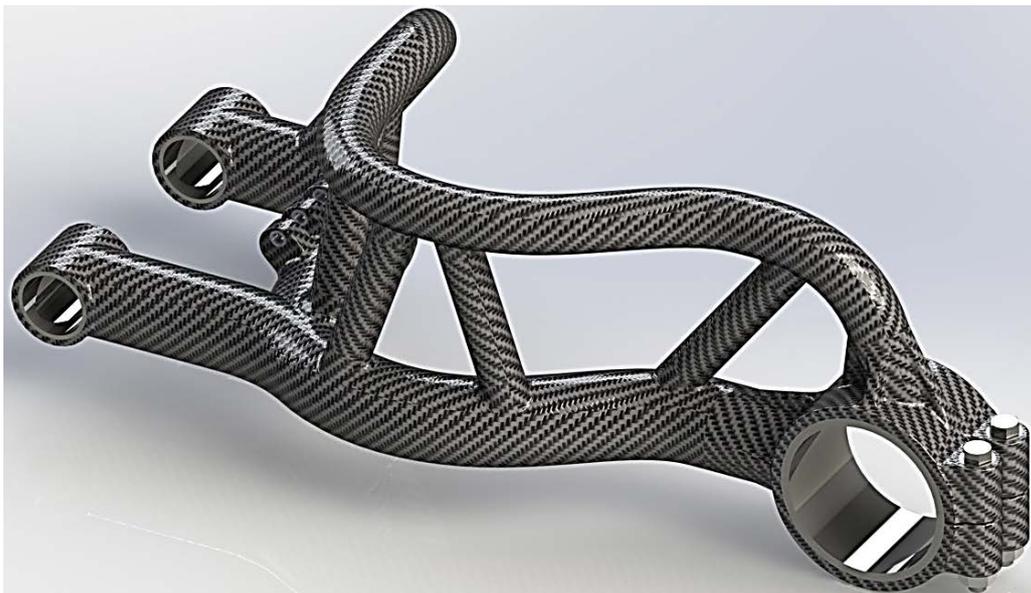
---

más especializados que sí que permiten estos estudios, pero su accesibilidad es casi imposible, ya que están desarrollados para las marcas en concreto y sus licencias son excesivamente caras.

Para evitar problemas de fricción con la fibra de carbono, se ha decidido integrar en el diseño de algunas piezas, como el amarre de la suspensión y el amarre al chasis, una serie de cilindros de acero, evitando así problemas de desgaste y pudiendo acoplar uniones atornilladas. Cabe recalcar que este tipo de sinergias se utilizan por ejemplo en el basculante de la **Ducati Superleggera**, constituida prácticamente en fibra de carbono, en el diferencial del **Alra Romeo Quadrifoglio**, en los chasis de súper deportivos como el **Koenigseg**, **Ferrari FX70**, etc.

La fibra de carbono reforzada con lino, es la base de este magnífico componente, este material unifica las excelentes propiedades estructurales de la fibra de carbono con la flexibilidad del lino, dando una solución al problema que presentan los basculantes de fibra de carbono, la rigidez. Además, se ha obtenido una pieza realmente ligera de tan solo 2.2 Kg de peso, en contra de los casi 20Kg que posee el mismo elemento realizado en acero. Esto no solo repercute en un aumento de la reacción potencia-peso, sino también en una reducción de combustible.

A continuación, se muestra una imagen del resultado final real del basculante si se fabricara arreglo al diseño, esto es solo un Renderizado, no obstante, se aproxima a la realidad.



*Figura III.112. Basculante Definitivo.*

## III.10. FABRICACIÓN.

Una vez seleccionado el material para la fabricación el basculante, basándose pues, en sus principales características de ligereza y alta resistencia, es muy importante la elección de un proceso de fabricación que respete en todo momento el material elegido, en este caso la fibra de carbono.

Debido a que la fibra de carbono es un material que presenta una compleja procesabilidad, de entrada, se pueden descartar bastantes procesos, quedando únicamente los específicos para este tipo de material que, para piezas complejas, como es el caso, se suelen llevar a cabo de manera manual.

Con lo cual, el proceso elegido para la realización del basculante, debe garantizar, en primer lugar, la obtención de la geometría deseada para la pieza, y, en segundo lugar, respetar las propiedades de la fibra, ya que es de vital importancia el comportamiento de la pieza.

Otro aspecto a tener en cuenta, es el del volumen de producción, siendo este un factor determinante a la hora de descartar procesos. Así pues, como se ha comentado en todo el trabajo, esta pieza está enfocado para una serie limitada de motocicletas, no se pretende realizar a gran escala, simplemente en tandas de pequeña producción.

Tras este primer filtrado, se llega a la conclusión mostrada, el moldeado por pre impregnado de vejiga, siendo este el más utilizado en la realización de chasis de bicicletas y en multitud de vehículos deportivos, es un método muy desarrollado, con el cual se consiguen resultados increíbles. No obstante, se mostrarán otros procesos que según el Ces Edupack, podrían incluirles, pero que por factores de tolerancias y acabado superficial se han desestimado.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.10.1. MOLDEO POR TRANSFERENCIA DE RESINA (RTM).

##### III.10.1.1. Definición.

El moldeo por transferencia de resina (RTM) permite fabricar formas complejas en composites reforzados por fibras sin incurrir en altos costes de utillaje. Emplea un molde cerrado, con dos o más partes, normalmente de polímeros reforzados con vidrio o aleaciones ligeras, con puntos de inyección y agujeros de ventilación para permitir que el aire se escape. El refuerzo se corta en

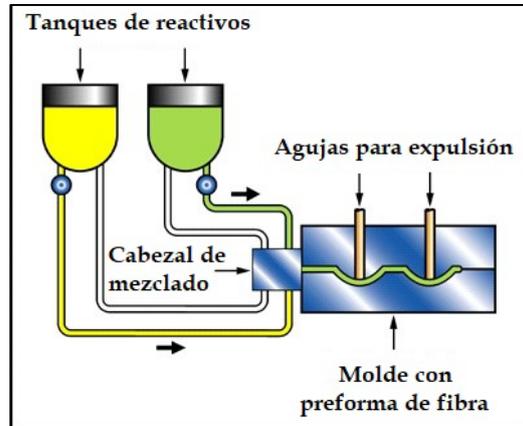


Figura III.113. Esquema de funcionamiento

patrones adaptados a la pieza, y se coloca en el molde junto con los añadidos y accesorios necesarios. Posteriormente, se cierra el molde y se inyecta la resina termoestable, a baja presión (aproximadamente 2MPa) a través de un cabezal en el que se mezclan endurecedor y resina. En el molde se realiza el curado a temperatura ambiente. La fluidez de la resina junto a la baja presión de inyección permite que la vida útil de la maquinaria sea larga y el proceso de bajo coste.

Con este método de fabricación se pueden realizar piezas, como las mostradas en el siguiente esquema.

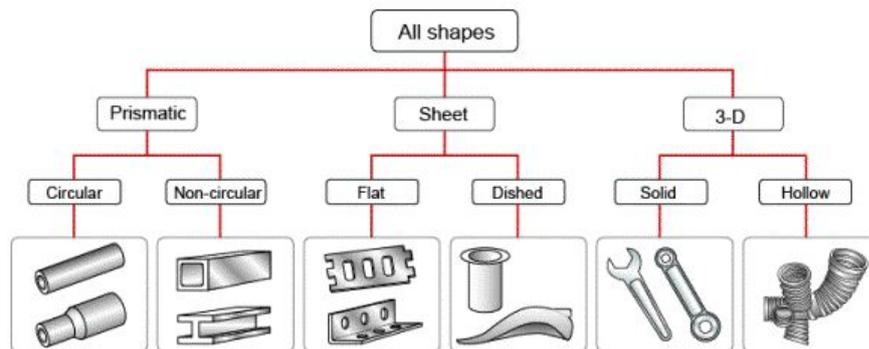


Figura III.114. Esquema de los tipos de piezas que se pueden realizar por este método de fabricación.

En cuanto a los atributos físicos y de calidad viene determinados por la siguiente tabla.

### III. Desarrollo proyecto

---

Atributos físicos y de calidad		
Rango de masas	0.8 - 50	Kg
Rango de espesores	2 - 6	mm
Tolerancia	0.25 - 1	mm
Rugosidad	0.25 - 1.6	$\mu\text{m}$

Tabla III-29. Tabla de los aspectos físicos y de calidad del proceso de fabricación.

Las principales propiedades de este método de fabricación son:

- Tolerancias dimensionales bajas.
- Rapidez en el conformado
- Mal acabado superficial.
- Problemas de arrastre de la fibra.
- Moldes reutilizables.

Como se puede observar, presenta ventajas e inconvenientes como todos los procesos, no obstante, será rechazado para la fabricación del basculante, ya que en este es primordial un buen rango de tolerancias, un buen acabado superficial y sobretodo se quiere evitar problemas estructurales derivados de deformaciones en la fibra, por todo esto es rechazo.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.10.2. MOLDEO POR TRANSFERENCIA DE RESINA ASISTIDA POR VACÍO (VARTM).

##### III.10.2.1. Definición.

El moldeo por transferencia de resina asistida por vacío (VARTM) es un proceso de fabricación con bajo coste en utillaje para grandes formas complejas de materiales compuestos. El refuerzo se coloca en el molde en forma de capas de tejidos secos. Estos son cubiertos por una capa flexible y todo el conjunto es succionado a vacío. En este momento, la resina es liberada y aspirada en la bolsa por el vacío, fluyendo a través del tejido e impregnándolo, para luego curar.

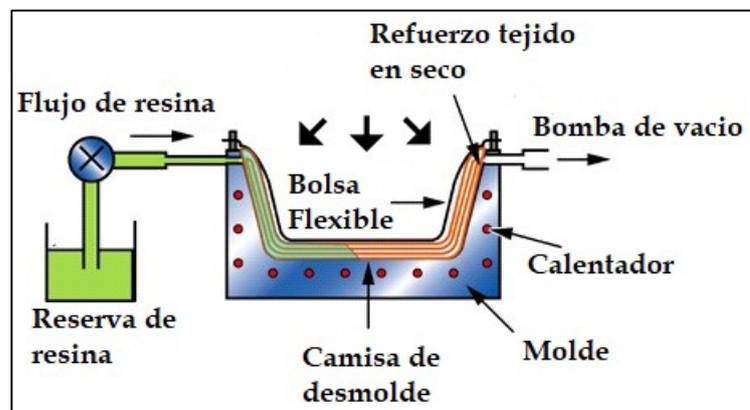


Figura III.115. Esquema del proceso de fabricación.

Con este método de fabricación se pueden realizar piezas, como las mostradas en el siguiente esquema.

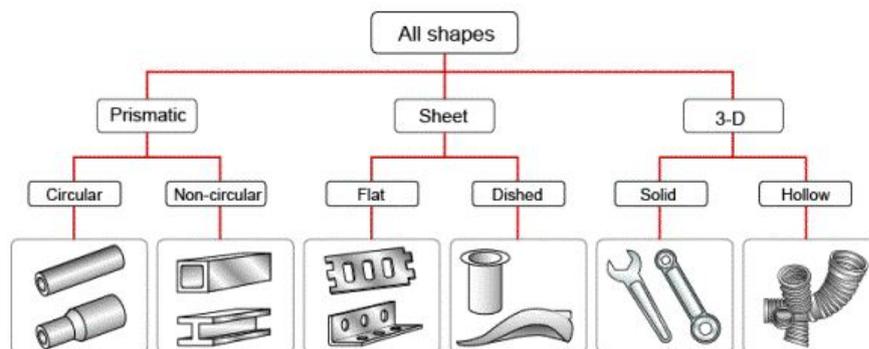


Figura III.116. Esquema de los tipos de piezas que se pueden realizar por este método de fabricación.

En cuanto a los atributos físicos y de calidad viene determinados por la siguiente tabla.

### III. Desarrollo proyecto

---

Atributos físicos y de calidad		
Rango de masas	0.5 - 600	Kg
Rango de espesores	1 - 20	mm
Tolerancia	0.3 - 1	mm
Rugosidad	1 - 2.4	$\mu\text{m}$

Tabla III-30. Tabla de los aspectos físicos y de calidad del proceso de fabricación.

Las principales ventajas de este proceso son las siguientes:

- Tolerancias dimensionales bajas.
- Rapidez en el conformado
- Mal acabado superficial.
- Problemas de arrastre de la fibra.
- Moldes reutilizables.
- Dificultad para realizar piezas circulares.

Como se puede observar, este proceso de fabricación permite mejores tolerancias que el anterior y además un mejor rango de espesores, no obstante, el acabado superficial es mucho peor al anterior, además de que las piezas que se pueden realizar con este proceso son de carácter más plano que circulares o complejas, con lo cual, este no sería un buen candidato para la fabricación del basculante.

### III. Desarrollo proyecto

#### III.10.3. MOLDEADO POR PREINPREGNADO DE VEJIGA.

Este método se basa en la incorporación de capas de material compuesto, ya impregnado con la resina, sobre una vejiga de plástico con la forma de la pieza a realizar, acto seguido esta es introducida en el interior de un molde hembra presurizado con la forma de la pieza final, la vejiga se hincha a grandes presiones y el conjunto es introducido en un horno para su cocción a unos 180° durante 30 minutos, adquiriendo así la fibra la forma exacta del molde.

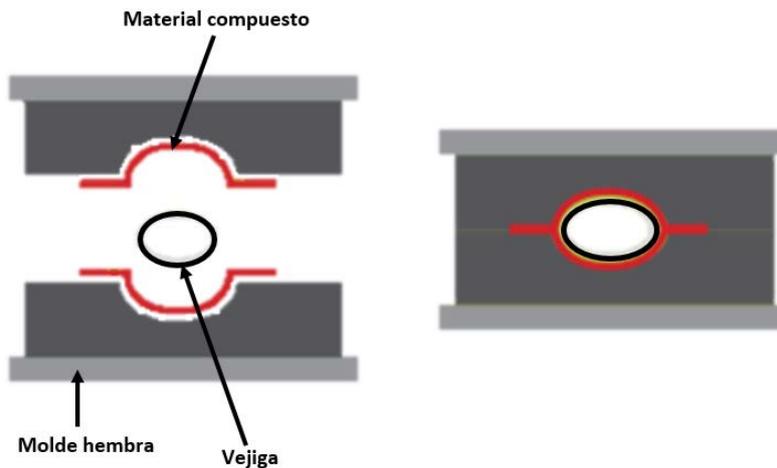


Figura III.117. Esquema de funcionamiento de moldeo por vejiga.

Este método de fabricación es el utilizado para conformar los cuadros de las bicicletas de fibra de carbono, la disposición de las fibras depende completamente del diseño, siendo necesario cortar patrones para después poder colocarla, respetando en todo momento la dirección establecida de la fibra, por ello este proceso suele realizarse en una cadena de producción, pero de manera manual.

La imagen siguiente muestra el cuadro de una bicicleta realizado por este método y una vejiga.



Figura III.118. a) Cuadro de bicicleta en el molde. c) Vejiga de conformado y molde.

### III. Desarrollo proyecto

---

Las ventajas principales de este proceso son las siguientes:

- Control preciso de tolerancias.
- Excelente acabado.
- Ciclos de cocción cortos.
- La vejiga es reutilizable
- Eliminación del aire y perfecta compactación de las fibras.

Otra ventaja de vital importancia es que permite la adición de componentes metálicos en el molde, generando así combinaciones de piezas metálicas con piezas realizadas en material compuesto, esto se utiliza para crear piezas que poseen rodamientos o apoyos.

Mediante la aplicación de adhesivos rígidos y una posterior cocción, es posible unir varios componentes formados por material compuesto, pudiendo crear piezas complejas y con un comportamiento estructural excelente. No obstante, esto requiere de un proceso de lijado, pulido y encerado, para reducir al máximo los concentradores de tensiones, generar una unión perfecta entre las piezas y conseguir un acabado superficial excelente.



Figura III.119. a) Basculante Ducati Superleggera. b) Cuadro de fibra de carbono BH.

En la imagen anterior se observa por un lado el basculante de la Ducati Superleggera fabricado íntegramente en fibra de carbono donde se pueden observar los elementos metálicos combinados, y por otro lado se encuentra un cuadro de una bicicleta realizado en fibra de carbono también con elementos metálicos.

Para finalizar decir que este será el método de fabricación elegido para el basculante diseñado en este proyecto, debido a todas las ventajas comentadas y además de que este es el más utilizado en la fabricación de piezas complejas en material compuesto para vehículos como, bicicletas o motocicletas, con lo cual está muy desarrollado. Las grandes marcas de este ámbito lo usan con grandes resultados,

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.11. ESTUDIO ECONÓMICO.

Tras haber seleccionado el proceso de fabricación más adecuado para la fabricación del basculante, se procede a planificar el estudio económico de la pieza sobre los costes del proceso de producción.

Los parámetros que se analizarán para conocer el coste final de la pieza serán los siguientes:

Recursos	Símbolo	Unidad
<b>Materiales:</b> Incluyen consumibles	$C_m$	\$/kg
<b>Capital:</b> Coste de las herramientas	$C_t$	\$
Coste del equipamiento	$C_c$	\$
<b>Generales:</b> Gastos generales, coste laboral, administrativo, rentabilidad ...	$C_{oh}$	\$/hr
<b>Energía:</b> Coste de la energía	$C_e$	\$/hr
<b>Información:</b> Tasa de pagos	$C_i$	\$/año

Tabla III-31. La tabla muestra todos los factores que influyen en el precio final del producto.

Antes de empezar, es necesario indicar algunas hipótesis de partida. La primera hipótesis es que ya se dispondrá tanto de la maquinaria, como del establecimiento para la fabricación del mismo, se asume que la empresa podría ser Ducati, que desea implementar este modelo de basculante a su última súper motocicleta.

Factores como, el coste de los moldes, costes de la mano de obra, que en esta pieza es bastante alto ya que gran parte del proceso es manual, costes energéticos, de material etc. Se tendrán en cuenta a la hora de realizar dichos cálculos.

No se debe olvidar que estos costes son orientativos, debido a que algunos de los valores tomados para los cálculos han sido supuestos en base a comparativas con productos similares y a que obtenerlos es de gran dificultad.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.11.1. COSTES DE MATERIAL.

El primer factor a tener en cuenta es el relacionado con el coste del material  $C_m$ , si se piensa en la producción de un componente con una masa ( $m$ ), expresada en kilogramos, afectado por el factor de desperdicio ( $f$ ), el primer condicionante del precio del producto vendrá dado por la ecuación.

$$C_1 = \frac{m * C_m}{(1 - f)}$$

El precio del material compuesto en fibra de carbono, teniendo en cuenta la resina es de 37 €/Kg. Se utilizará un factor de desperdicio de material de 0.2, asumiendo que a la hora de cortar la fibra se optimizará al máximo y se desperdiciará la mínima cantidad de material posible.

Debido a que el basculante está compuesto por varias piezas, se calculará el importe para cada una de las piezas, y luego el total.

##### 1. Brazo principal.

Esta pieza posee un peso de 0.92 Kg.

$$C_{m.1} = \frac{0.92 * 37}{(1 - 0.2)} = 42€$$

##### 2. Brazo superior.

Esta pieza pose un peso de 0.34 Kg.

$$C_{m.2} = \frac{0.34 * 37}{(1 - 0.2)} = 15.7€$$

##### 3. Amarre rueda.

Esta pieza posee un peso de 0.36 Kg.

$$C_{m.3} = \frac{0.36 * 37}{(1 - 0.2)} = 16.7€$$

##### 4. Pilares interiores.

Esta pieza posee un peso de 0.036 Kg, habiendo 5 pilares.

$$C_{m.4} = 5 * \frac{0.036 * 37}{(1 - 0.2)} = 8.3€$$

### III. Desarrollo proyecto

---

Tras los cálculos realizados, el coste total del material, será la suma de todas las piezas.

$$C_{mT} = 82,7 \text{ €}$$

Si se tiene en cuenta una partida de mil basculantes, el precio total de fibra de carbono sería:

$$C_{MT} = 82,7 \text{ €}$$

#### III.11.2. COSTE DEL LOS MOLDES.

En primer lugar, se realizará un presupuesto aproximado del diseño de los moldes, materiales, mecanizado y montaje y ajuste para hacerse una idea del coste de fabricación del molde. Existen muchos factores que pueden hacer variar el precio final del molde, como imprevistos, tiempos de mecanizado, cambios de planes de producción etc. Por ello los costes serán aproximados.

Para poder calcular de la manera más aproximada el precio del molde, se dividirá en varias fases:

- Diseño del molde.
- Material y Mecanizado.
- Tratamientos térmicos.
- Montaje y ajuste.

A continuación, serán explicados.

##### III.11.2.1. Diseño del molde.

Esta es la primera parte del proyecto, y engloba la proyección, dibujo virtual en programas de CAD.

Se supone que es un ingeniero el encargado del diseño, mediante software de CAD, este debe realizar un total de 9 moldes, 6 para los pilares intermedios, 1 para el amarre de la rueda, otro para el brazo principal y otro para el brazo secundario. El salario del ingeniero vendrá estimado por las horas de trabajo, sabiendo el salario mínimo establecido por convenio en la **Disposición 542 del BOE número 15 de 2017 (4)** es de 9,17€/horas.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### 1. Brazo principal.

Para esta pieza se supone un total de 16 días, con una jornada laboral de 8 horas/días.

$$C_{D.1} = 16 \text{ días} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} * 9,17 = 1173,76\text{€}$$

#### 2. Brazo secundario.

Para esta pieza se supone un total de 14 días, con una jornada laboral de 8 horas/días.

$$C_{D.2} = 14 \text{ días} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} * 9,17 = 1027,04\text{€}$$

#### 3. Amarre rueda.

Esta pieza posee una geometría compleja y se supondrá un total de 30 días a 8 horas/días.

$$C_{D.3} = 30 \text{ días} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} * 9,17 = 2200,8\text{€}$$

#### 4. Pilares interiores.

Estas piezas son las más simples, ya que se tratan de cilindros huecos básicos, se supondrán para cada cilindro 10 días de trabajo, en jornadas de 8 horas/días.

$$C_{D.4} = 6 * 10 \text{ días} * 8 \frac{\text{horas}}{\text{días}} * 9,17 = 4401,6\text{€}$$

El coste total del diseño de todas las piezas sería la suma de los costes individuales:

$$C_{D.T} = 8803\text{€}$$

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.11.3. COSTE DE LAS VEGIJAS.

Encontrar algo de información sobre el coste de las vejigas de pre impregnado ha sido una tarea muy complicada, de la cual no se han logrado extraer muchos frutos. Debido a esto se pondrá un precio aproximado a cada vejiga, teniendo en cuenta que son piezas totalmente personalizadas, que deben resistir grandes presiones, y además aguantar las altas temperaturas. Así pues, los precios intuidos serán los siguientes:

**1. Brazo principal.**

Se ha estimado un precio de 1500€, debido a que es la pieza más compleja.

**2. Brazo secundario.**

Para esta pieza se supone un precio de 1250€

**3. Amarre rueda.**

Debido a la complejidad de esta pieza se presupone un precio de 1500€

**4. Pilares interiores.**

Estas piezas son las más simples con lo cual se supondrá un precio de 500€ para cada una.

$$C_{v,4} = 8 * 500 = 4000€$$

El coste total del diseño de todas las piezas sería la suma de los costes individuales:

$$C_{v,T} = 9.300€$$

### III. Desarrollo proyecto

#### III.11.4. MATERIAL Y MECANIZADO DEL MOLDE.

La elección del material adecuada para configurar los moldes que darán formas a los componentes es una tarea de vital importancia. El material debe de ser resistente a la corrosión, debido a que entrará en contacto con productos químicos que pueden oxidarlo, como las resinas o los activadores, además debe poseer un buen mecanizado para lograr sin problemas la forma deseada. Por todo esto se elige el Acero Inoxidable.

Debido a que es complejo deducir el coste de fabricación de los moldes, se realizará un diseño básico del mismo en el Solid Works, a lo que después se le aplicará la herramienta de cálculos de costes

Del programa Ces Edupack se obtiene que el acero inoxidable posee un coste de 5 €/Kg y la tarifa del taller de 30 €/h.

##### III.11.4.1. Brazo principal.

El diseño del molde realizado para esta pieza presenta el siguiente aspecto.

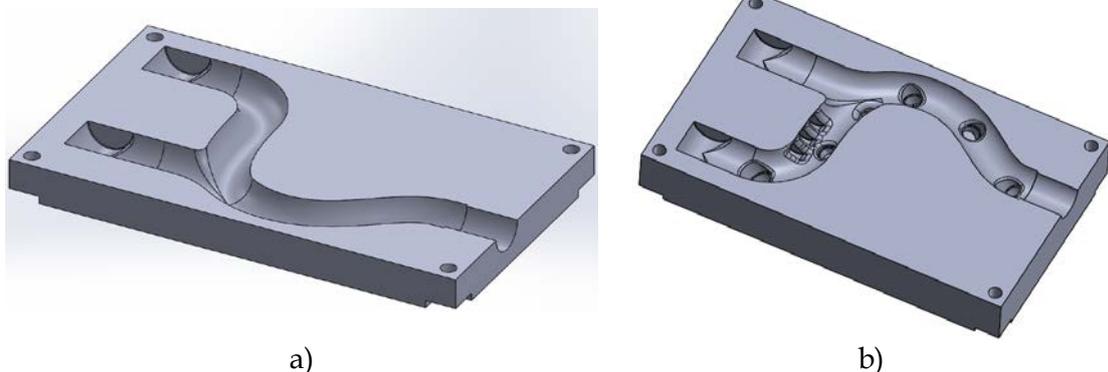


Tabla III-32. a) Representa el molde de la parte inferior de la pieza. b) Representa el molde de la parte superior de la pieza.

##### a. Pieza A:

El coste referente a la pieza A del molde se encontrará alrededor de los 580 €/pieza.

##### b. Pieza B:

El coste referente a la pieza B del molde se encontrará alrededor de los 749 €/pieza.

$$C_{MT.1} = 580 + 749 = 1329\text{€}$$

### III. Desarrollo proyecto

#### III.11.4.2. Brazo secundario.

El diseño del molde realizado para esta pieza presenta el siguiente aspecto.

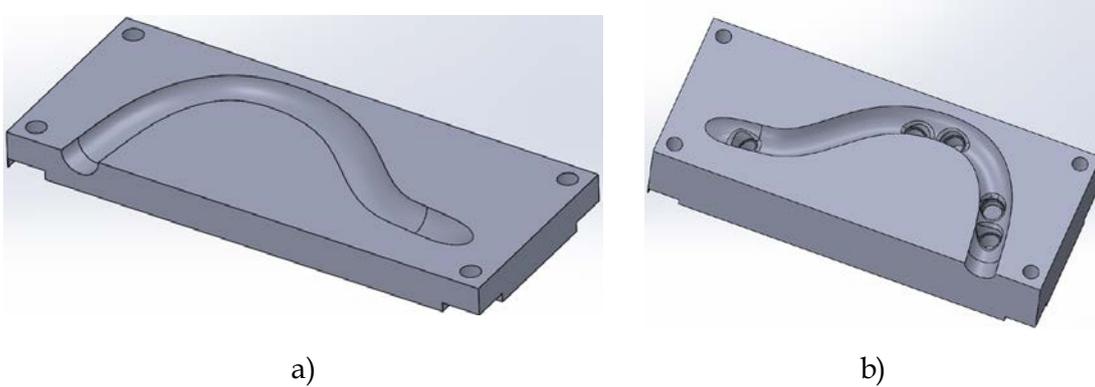


Tabla III-33. Representa el molde de la parte inferior de la pieza. b) Representa el molde de la parte superior de la pieza.

#### c. Pieza A:

El coste referente a la pieza A del molde se encontrará alrededor de los 255 €/pieza.

#### d. Pieza B:

El coste referente a la pieza B del molde se encontrará alrededor de los 453 €/pieza.

$$C_{MT.2} = 255 + 453 = 708\text{€}$$

#### III.11.4.3. Amarre rueda.

El diseño del molde realizado para esta pieza presenta el siguiente aspecto.

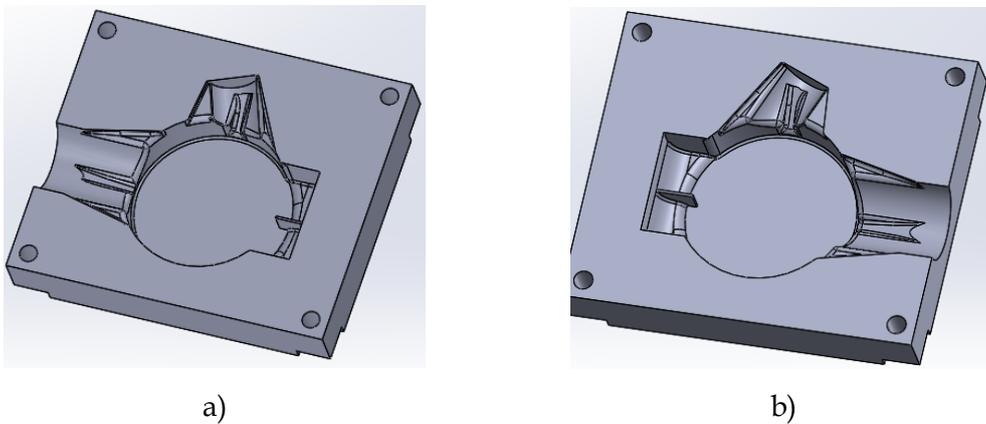


Tabla III-34 Representa el molde de la parte inferior de la pieza. b) Representa el molde de la parte superior de la pieza.

### III. Desarrollo proyecto

---

#### e. Pieza A:

El coste referente a la pieza A del molde se encontrará alrededor de los 243€/pieza.

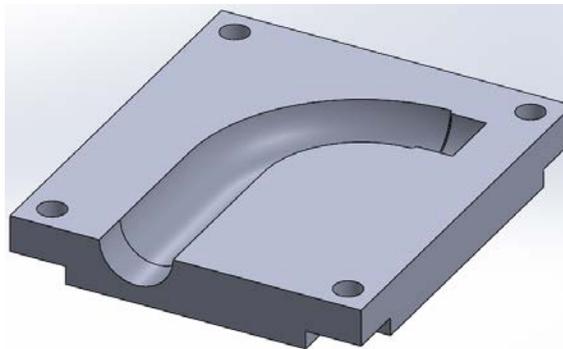
#### f. Pieza B:

El coste referente a la pieza B del molde se encontrará alrededor de los 243 €/pieza.

$$C_{MT.3} = 243 + 243 = 486\text{€}$$

#### III.11.4.4. Unión Codada.

El diseño del molde realizado para esta pieza presenta el siguiente aspecto.



*Figura III.120. Medio molde del codo que une el basculante principal con el superior.*

Debido a que la otra parte del molde es exactamente igual a la mostrada en la imagen, solo se enseñará esta media parte.

El coste de fabricación de esta pieza será de 174 €/pieza, debido a que son dos partes:

$$C_{MT.4} = 174 + 174 = 348\text{€}$$

#### III.11.4.5. Pilares intermedios.

Son cinco los pilares intermedios que dispone este basculante, siendo prácticamente todos de la misma longitud, con lo cual se calculará el precio para una parte del molde únicamente y después se multiplicará por diez, ya que cada pieza está formada por dos partes.

### III. Desarrollo proyecto

---

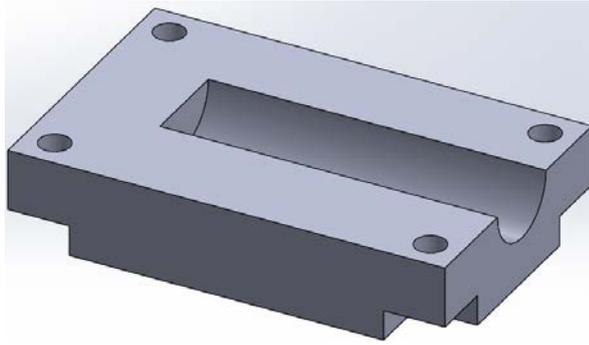


Figura III.121. Parte del molde para la realización de los pilares intermedios.

El coste de esta pieza será de 85€/pieza

$$C_{MT.5} = 85 * 10 = 850\text{€}$$

#### III.11.4.6. Coste total.

El coste total del material y de la fabricación de los moldes, necesarios para conformar el basculante diseño, será la suma de los costes individuales de cada componente:

$$C_{MT.T1} = 1329 + 708 + 486 + 348 + 850 = 3721\text{€}$$

Este sería el coste perteneciente únicamente al material y al mecanizado de los moldes en un taller estándar, a este precio se le sumará 800 de posibles tratamientos térmicos realizados al acero para hacerlo más resistente, como templados revenidos o nitrurados. Por último le aplicaremos un 20% de margen al precio.

$$C_{MT.T} = 5265\text{€}$$

### III. Desarrollo proyecto

---

#### III.11.5. COSTE DEL CONSUMO ENERGÉTICO DEL PROCESO.

Para conocer el coste del consumo energético del proceso, es necesario conocer el tiempo de trabajo de la maquinaria. Para el supuesto se tendrá en cuenta el tiempo que tarda en cerrarse el molde, el tiempo de hinchado de las vejigas, el tiempo de curado de las resinas y el tiempo de curado del adhesivo.

La potencia generada por cada máquina exactamente, es desconocida, no obstante observando proyectos similares, se puede llegar a hacer una aproximación.

En cuanto a los tiempos de ciclo, estos se saben gracias a los documentales que existen sobre el conformado de piezas en fibra de carbono.

Los datos con los que se va a trabajar serán los siguientes:

PROCESO	Cierre del molde	Inyección del aire	Curado de resina
TIEMPO	15s	10s	3600s

*Tabla III-35. Tiempo de trabajo.*

### III. Desarrollo proyecto

---

Una vez conocidos el tiempo empleado por cada máquina, se procede a estimar, el consumo energético de cada una de las máquinas.

MAQUINA	Prensa	Inyectora	Horno
KWh	7.5 KWh	1KWh	3KWh
CONSUMO/CICLO	0.03125 KW	0.00277 KW	3 KW

Tabla III-36. Tabla del consumo en KW de cada máquina por ciclo de trabajo.

Una vez calculado esto, se procede a obtener el coste en euros, para ello se considera el precio estándar del KWh ofrecido por la empresa Iberdrola.

$$0.123855 \frac{\text{€}}{\text{Kwh}} * (7.5 \text{ Kwh}) + (1\text{Kwh}) + (3\text{Kwh}) = 1.42433\text{€/h}$$

Para obtener el coste por ciclo, habrá que dividir por el tiempo de ciclo en horas.

$$\frac{1.42433\text{€}}{h} + 1.0h = 1.424\text{€}$$

Debido a que para el conformado total de la pieza se necesitan 9 piezas, el coste energético referido a una sería de:

$$C_e = 12.81 \text{ €}$$

#### III.11.6. COSTE DE LA MANO DE OBRA.

Debido a la complejidad del proceso de impregnación de la fibra de carbono, este debe realizarse de manera manual, con lo cual se pensará en una persona que realiza el pre-impregnado de las piezas del basculante en la vejiga. Con lo cual se estudia el coste de contratación de una persona por basculante.

Para la determinación del coste relacionado con el operario se extrae de la **Disposición 542 del BOE número 15 de 2017** el salario mínimo que puede percibir una persona, que son 4.38 €/h.

Teniendo en cuenta que el operario deberá ser contratado para el impregnado de las fibras, que se estimará un tiempo de 1 hora para todos los componentes, y para el control de los procesos anteriores, el coste de será de:

$$4.39 \frac{\text{€}}{h} * (1 + 0.5069) = 6.6\text{€}$$

### III. Desarrollo proyecto

---

Por otra parte, también será necesario otro operario que se encargue de unir las piezas del basculante con el adhesivo epoxi y que controle el proceso de curado del mismo. Pensando en un operario correctamente formado, se supondrá un tiempo de 2 horas para unir la pieza.

$$4.39 \frac{\text{€}}{\text{h}} * (2 + 0.5069) = 6.6\text{€}$$

El coste de la mano de obra por basculante será de:

$$C_{MO} = 11\text{€}$$

#### III.11.7. COSTE FINAL.

Este será el coste total de fabricación de la primera pieza del basculante, debido a que, en las piezas venideras, algunos costes como el de los moldes, desaparecerán debido a que ya se han comprado.

Este coste vendrá definido por la suma de todos los costes anteriores, y será:

$$\begin{aligned} C_T &= C_{MT} + C_{D.T} + C_{MT.T} + C_{MO} + C_e + C_{V.T} = \\ &= 82.7 + 8803 + 5265 + 25.27 + 11 + 9300 = \end{aligned}$$

$$C_T = 23.487\text{€}$$



## **IV. APÉNDICES**

# APÉNDICES



## IV. Apéndices

---

### IV.1. BIBLIOGRAFÍA

FOALE, T. *Comportamiento dinámico y diseño de un chasis. El arte y la ciencia*. 2006: El autor. En el apartado 'III.4 Estudio y definición de estados tensionales' la gran mayoría de conceptos teóricos se encuentran extraídos del libro citado.

ALONSO, J. *Técnicas del automóvil, chasis*. Madrid: Paraninfo. 2018

RUIZ LARA, M (2012). *Diseño, calculo y dimensionamiento del chasis, basculante y sistema de suspensión trasera de una motocicleta de competición*. Proyecto fin de carrera. Navarra. Universidad Politécnica de Navarra.

RUBIO ALONSO, H. COLLANTES GIL, A. (2012). *Pre-diseño de basculante y selección para la suspensión de una motocicleta de competición*. Proyecto fin de carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

JAREÑO NÚÑEZ, A. (2013). *Diseño de basculante de una motocicleta de competición y análisis a fatiga*. Proyecto fin de carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

GARCIA GARCIA, I. (2012). *Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para MotoStudent*. Proyecto fin de carrera. Cartagena: Universidad Politécnica Cartagena.

RUBIO ALONSO, H. COLLANTES GIL, A. (2012). *Pre-diseño de basculante y selección para la suspensión de una motocicleta de competición*. Proyecto fin de carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.

RUIZ FERNANDEZ, H. (2016). *Diseño del basculante de una motocicleta de competición. Proyecto fin de carrera*. Cantabria: Escuela técnica superior de ingenieros industriales y de telecomunicación.

ALCALA VERGARA, D. (2014). *Diseño, cálculo y fabricación del bastidor para un prototipo de competición*. Proyecto fin de carrera. Cataluña: Escuela técnica superior de ingeniería.

## IV. Apéndices

---

AGUILERA TUREGANI, D (2011). *Diseño de un basculante trasero para motocicleta*.  
Barcelona: Universidad politécnica de Cataluña.

FIM. *World Championship grand prix regulations*. 2018

Motor pasión moto.com, Jesús Martín (2017), *Los nueve basculantes más sexis* :  
<<https://www.motorpasionmoto.com/naked/te-gustan-los-rasgos-exoticos-pues-aqui-tienes-los-9-basculantes-monobrazo-mas-sexis>>

Motor pasión moto, Jesús Martín (2018), *Honda busca la perfección en MotoGP y añade a sus pruebas un nuevo basculante de fibra de carbono*.  
<<https://www.motorpasionmoto.com/motogp/honda-busca-la-perfeccion-en-motogp-y-anade-a-sus-pruebas-un-nuevo-basculante-de-fibra-de-carbono>>

Moto1pro.com, Pol Puchol (2016), *Tipos de basculantes de motos*:  
<<http://www.moto1pro.com/reportajes-motos/tipos-de-basculante-de-moto-monobrazo-o-doble>>

As.com, Francisco Chuvieco Álvarez (2018), *Basculantes de fibra de carbono, mejora con futuro en moto GP*:  
<[https://as.com/motor/2018/03/27/motociclismo/1522136124\\_162792.html](https://as.com/motor/2018/03/27/motociclismo/1522136124_162792.html)>

ARDANUY, M. *Aplicaciones de las fibras naturales en los textiles de uso técnico*. 2010:  
Universidad de Cataluña. Barcelona

Botanical.com, *Fibra de lino*:  
< <https://www.botanical-online.com/fibralino.htm>>

Fibra de carbono.com. *¿Qué es la fibra de carbono?*  
<<http://www.fibradecarbono.es/articulos/que-es-fibra-carbono/>>

Carbonsystem.com. *Fibra de carbono: estructura y propiedades*:  
<<http://carbosystem.com/fibra-de-carbono-2/>>

## **IV. Apéndices**

---

### **IV.2. NORMATIVA.**

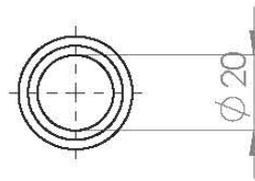
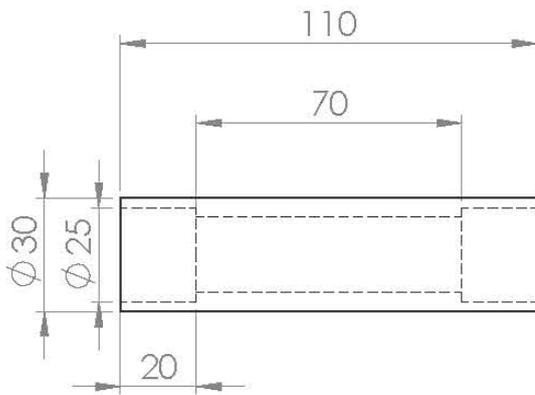
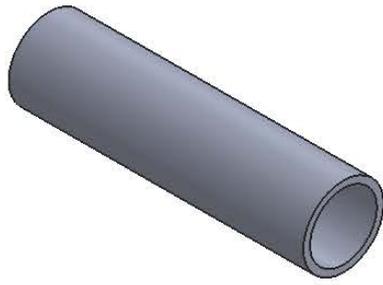
**Normativa Europea N°168/2013 relativa a la homologación de vehículos de dos o tres ruedas.**

**Fim World Championship grand prix regulations 2018**

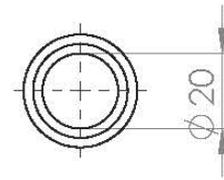
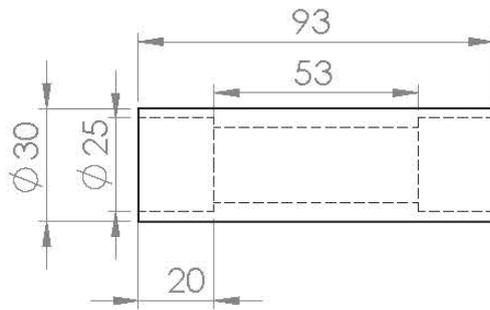
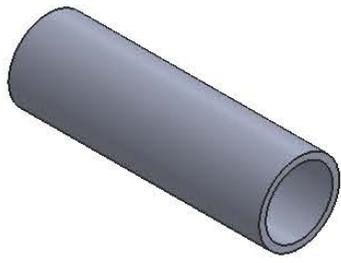
## **IV. Apéndices**

---

### **IV.3. PLANOS ACOTADOS.**



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: Lijado, pulido y vamizado	UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
NOMBRE		FIRMA	FECHA	TÍTULO:
DIBUJ.	Javier Molina Bellver		07/06/2018	Pilar intermedio 1
VERIF.				
APROB.				
FABR.				
CALID.				
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono			N.º DE DIBUJO	
PESO:			ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 9
			Dibujo 1	A4



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:  
 Lijado, pulido y  
 varnizado

UNIVERSIDAD:



UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Javier Molina Bellver		07/06/2018
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:  
**Pilar intermedio 2**

N.º DE DIBUJO

Dibujo 2

A4

MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono

PESO:

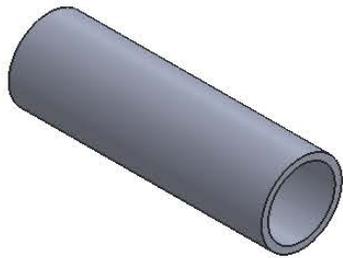
ESCALA:1:2

HOJA 2 DE 9

4 3 2 1

F

F

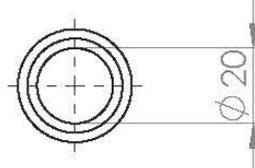
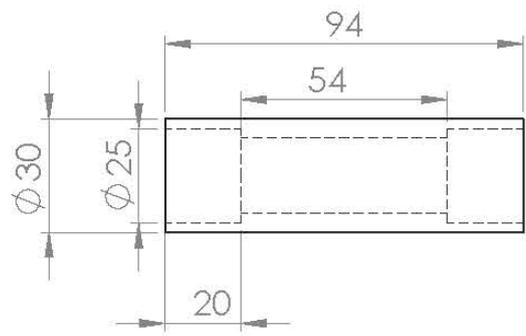


E

E

D

D



C

C

B

B

A

A

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:  
 Lijado, pulido y  
 vamizado



	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Javier Molina Bellver		07/06/2018
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

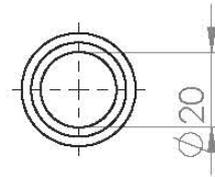
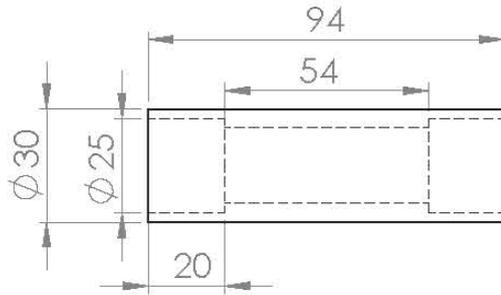
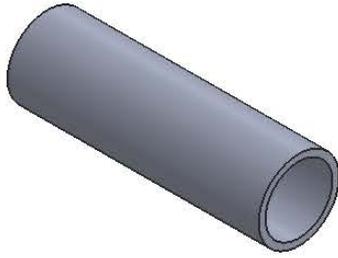
TÍTULO:  
**Pilar intermedio 3**

N.º DE DIBUJO  
**Dibujo 3** A4

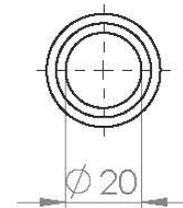
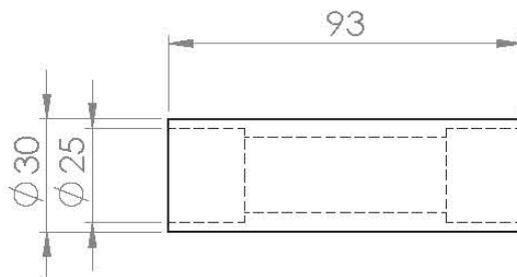
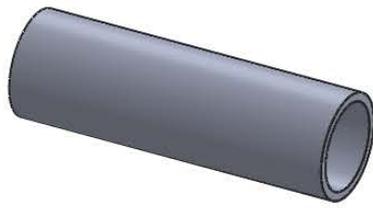
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono

PESO: ESCALA:1:2 HOJA 3 DE 9

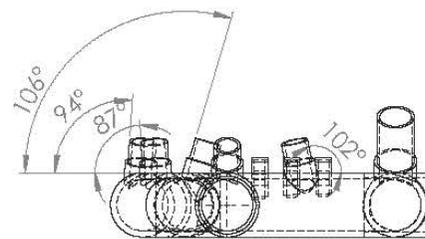
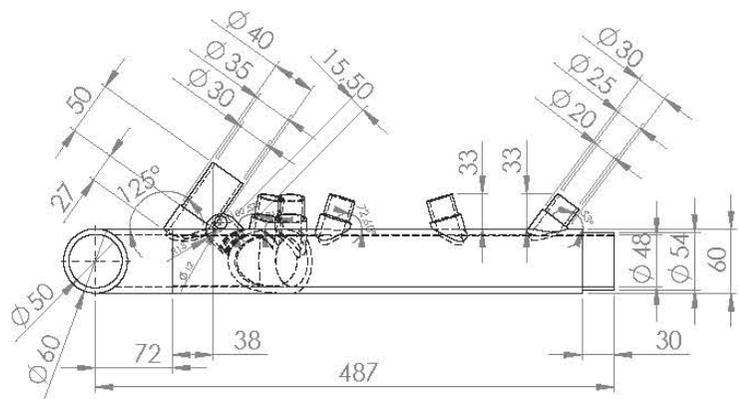
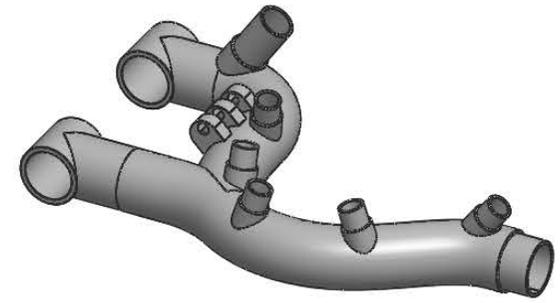
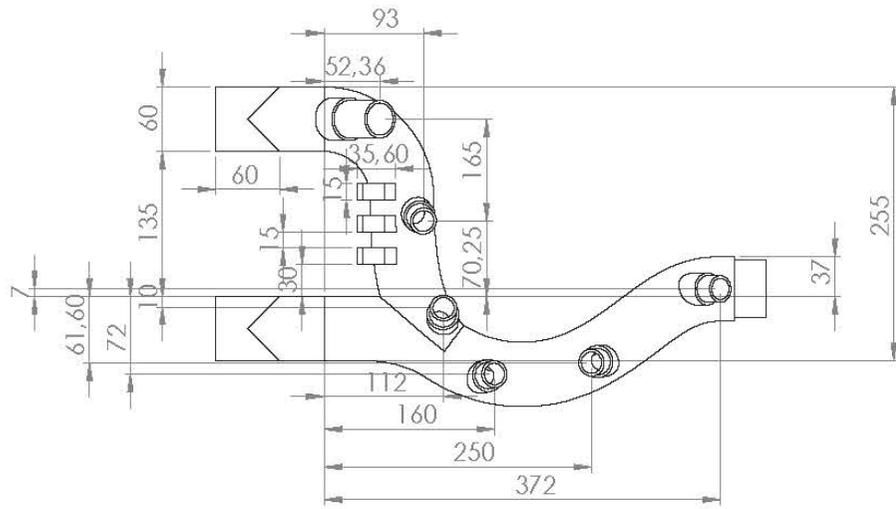
4 3 2 1



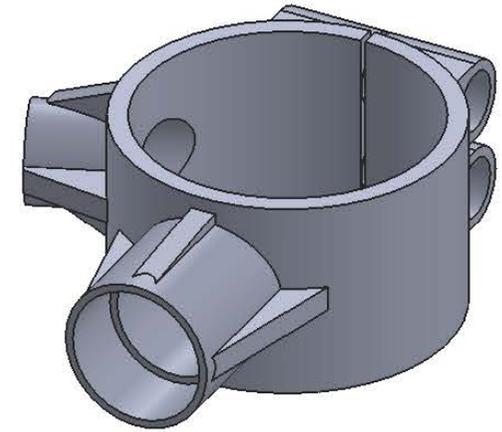
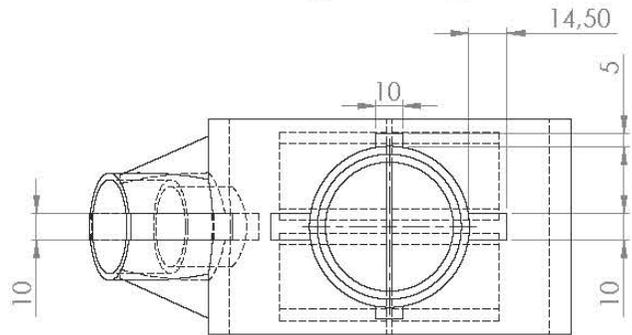
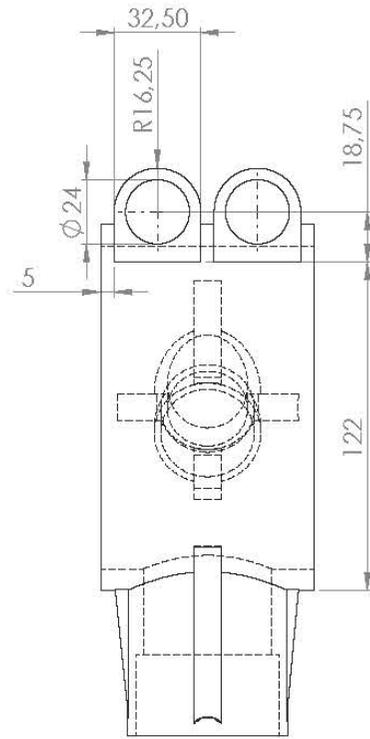
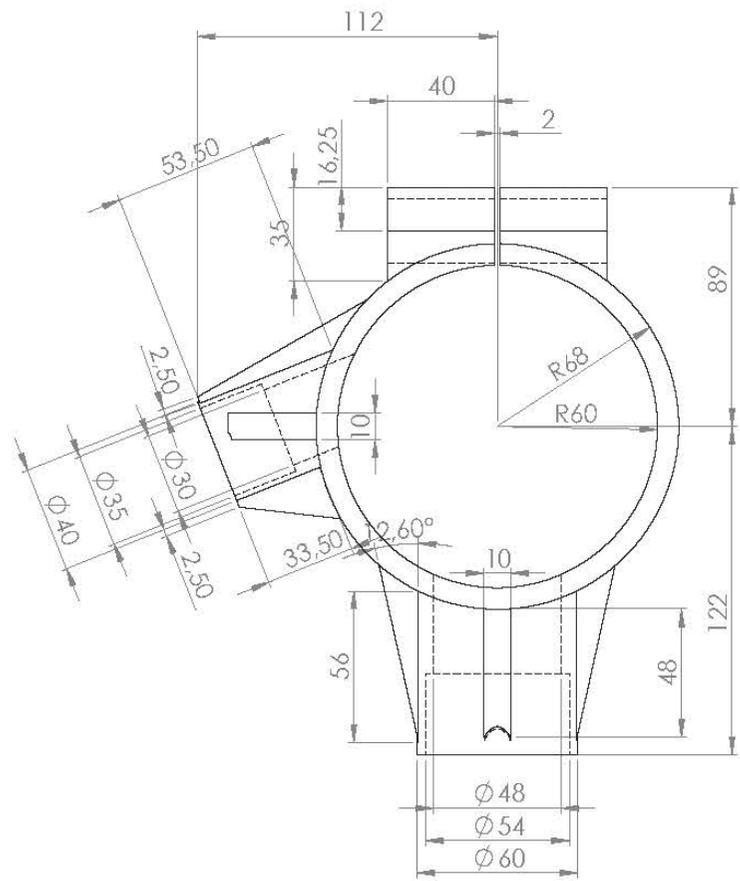
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: <b>Lijado, pulido y          varnizado</b>	UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT          POLITÈCNICA          DE VALÈNCIA</b>		
NOMBRE: Javier Molina Bellver		FIRMA:	FECHA: 07/06/2018	TÍTULO: <b>Pilar intermedio 4</b>	N.º DE DIBUJO: <b>Dibujo 4</b>	A4
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono			ESCALA: 1:2	HOJA 4 DE 9		
PESO:						



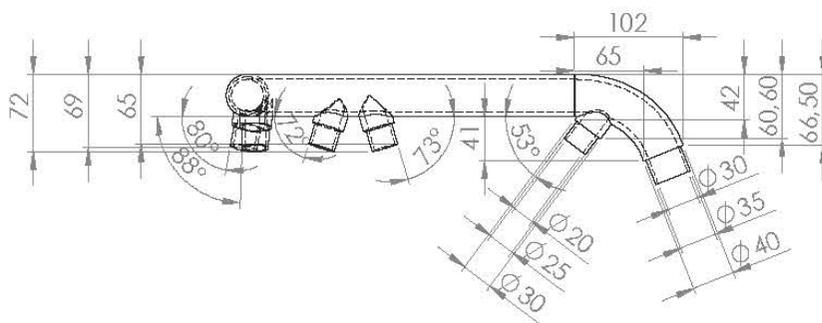
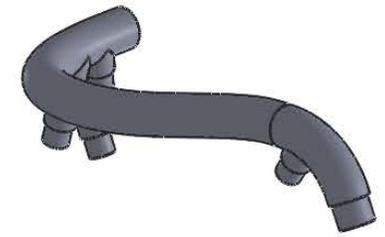
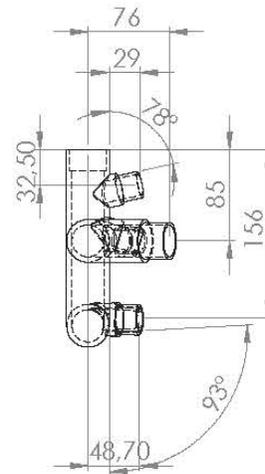
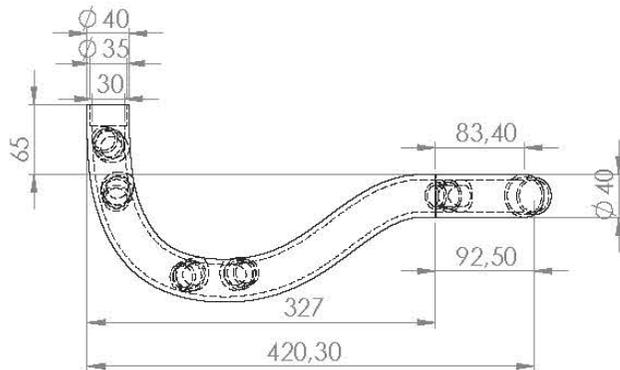
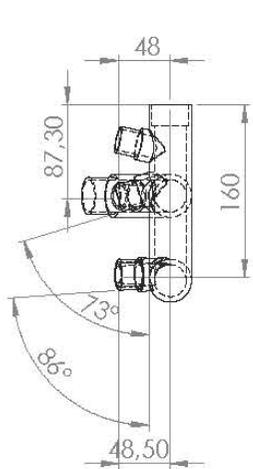
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO: <b>Lijado, pulido y          vamizado</b>	UNIVERSIDAD:  <b>UNIVERSITAT          POLITÈCNICA          DE VALÈNCIA</b>		
NOMBRE: Javier Molina Bellver		FIRMA:	FECHA: 07/06/2018	TÍTULO: <b>Pilar intermedio 5</b>	N.º DE DIBUJO: <b>Dibujo 5</b>	A4
DIBUJ.						
VERIF.						
APROB.						
FABR.						
CALID.						
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono			ESCALA: 1:2	HOJA 1 DE 9		
PESO:						



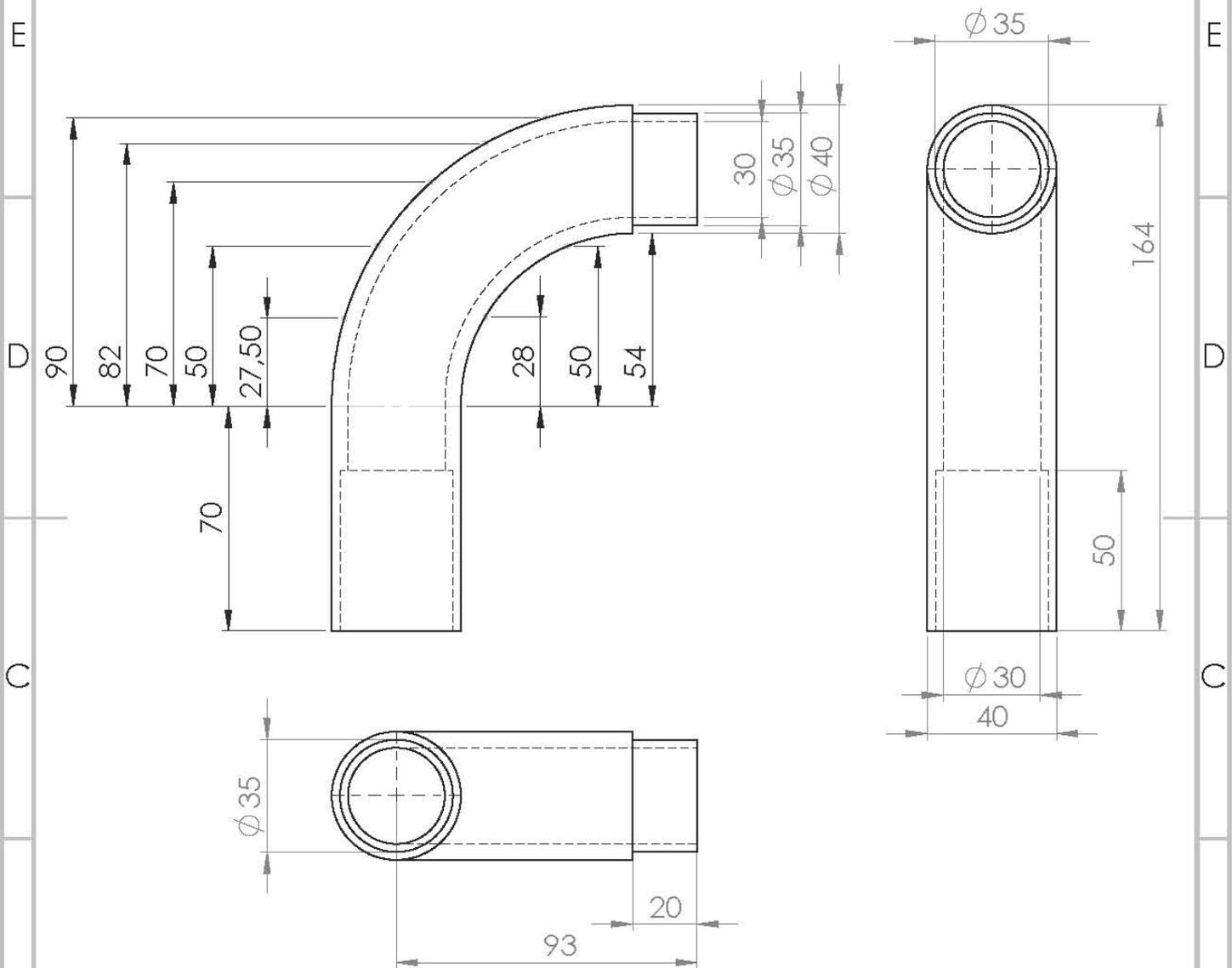
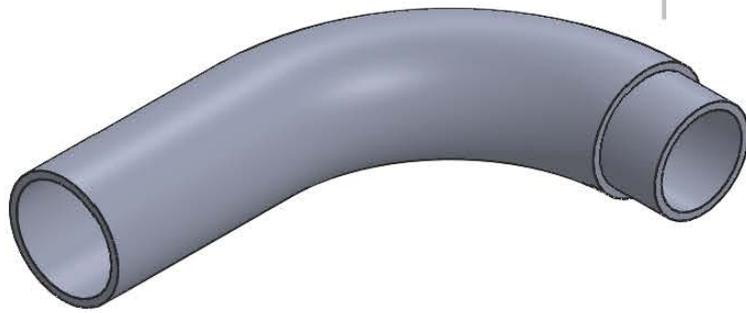
Radio de acuerdo de 5mm. Las aristas interiores de cilindros, no llevarán. Los acoples para los pilares internos poseen las mismas				Todas las cotas en mm a no ser que se exprese lo contrario.		ACABADO: Lijado, pulido y varnizado		UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
TITULO:	NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:					
DISEÑ.	Javier Molina Bellver		07/06/2018	Brazo principal					
VERIF.									
APROB.									
FABR.									
CAUID.									
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono				Nº DE DIBUJO		Dibujo 6			
PESO:				ESCALA: 1:5		HOJA 6 DE 9			
						A3			



Radio de acuerdo de 5 para toda la pieza. Las aristas interiores de cilindros, no llevarán.		Todas las cotas en mm a no ser que se exprese lo contrario.		ACABADO: Lijado, pulido y vanizado		UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA	
NOMBRE		FIRMA		FECHA		TÍTULO:	
DIBUJ.: Javier Molina Bellver				07/06/2018		Amarre rueda	
VERIF.:						Nº DE DIBUJO	
APROB.:						Dibujo 7	
FABR.:						A3	
CALID.:						ESCALA: 1:2	
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono		PESO:		ESCALA: 1:2		HOJA 7 DE 9	



Radio de acuerdo de 5 para toda la pieza. Las aristas interiores de cilindros, no llevarán.		Todas las cotas en mm a no ser que se exprese lo contrario.		ACABADO: Lijado, pulido y varnizado	UNIVERSIDAD:  UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
NOVEMBRE		FIRMA		TÍTULO:	
DIBUJ.: Javier Molina Bellver		FECHA: 07/06/2018		Braço secundario	
VERIF.:				Nº DE DIBUJO:	
APROB.:				Dibujo 8	
FABR.:				A3	
CALID.:				ESCALA:1:5	
MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo de fibra de carbono		PESO:		HOJA 8 DE 9	



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:  
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM  
 ACABADO SUPERFICIAL:  
 TOLERANCIAS:  
 LINEAL:  
 ANGULAR:

ACABADO:  
 Lijado, pulido y  
 varnizado

UNIVERSIDAD:



UNIVERSITAT  
 POLITÈCNICA  
 DE VALÈNCIA

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Javier Molina Bellver		07/06/2018
VERIF.			
APROB.			
FABR.			
CALID.			

TÍTULO:

Pilar acodado

N.º DE DIBUJO

Dibujo 9

A4

MATERIAL: Resina epoxy con refuerzo  
 de fibra de carbono

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 9 DE 9