



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

# *Diseño y análisis estructural del chasis de una motocicleta de competición*

---

**MEMORIA PRESENTADA POR:**  
*Enrique Berga Colera*

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Convocatoria de defensa: febrero 2017



# Agradecimientos

---

Me gustaría comenzar dando las gracias a mis compañeros y amigos de equipo, que me han acompañado durante el desarrollo de este trabajo, compartiendo conmigo experiencias inolvidables. También agradecer la gran ayuda de mi tutor Francisco Manuel López Esteve, que sin sus conocimientos, ayuda y paciencia habría sido muy difícil de llevar a cabo este trabajo.

Por otro lado quiero agradecer el apoyo y la ayuda recibida por parte de mi hermano, que además ha sido otro compañero de equipo más y ha estado ahí siempre que lo he necesitado. Y por haber compartido conmigo esta maravillosa experiencia que tanto ha significado para mí.

Y por último quiero agradecer a las personas más importantes de mi vida, a mis padres, por el apoyo incondicional, el cariño, la confianza que siempre han depositado en mí, ayudándome, aconsejándome y apoyándome en todas mis decisiones. Por haberme soportado y por seguir haciéndolo durante todos estos años. Por la excelente educación que he recibido, porque sé, que han hecho todo lo que está en sus manos por darme siempre lo mejor.

Por todo esto y por mucho más, gracias.

# Resumen

---

En este trabajo vamos a centrarnos en la propuesta de diseño de un chasis de motocicleta de competición con un motor de 250 cc y motor de cuatro tiempos, dentro del marco del proyecto MotoStudent 2015/2016.

Comenzaremos viendo los aspectos generales más importantes que afectan al diseño y a la fabricación de la estructura del chasis. Esto implica una breve descripción sobre el origen y la evolución de los diferentes tipos de chasis que ha habido a lo largo de la historia de las motocicletas y de las diferentes opciones de materiales disponibles.

Continuaremos, partiendo del chasis elegido y del material que se va a utilizar para su diseño y posterior fabricación, con la descripción de los cálculos y los análisis estructurales necesarios para que el chasis cumpla con los requisitos marcados para la motocicleta.

Finalmente, se expone los resultados obtenidos en cuanto a las tensiones máximas soportadas y las deformaciones.

**Palabras clave:** Chasis, diseño, análisis, motocicleta, MotoStudent.

# Abstract

---

In the present work will focus on the proposal of the design of a racing motorcycle frame with a 250cc four stroke engine, inside of the MotoStudent 2015/2016 project.

First we will see those general aspects more important that affect to the design and fabrication of the frame structure. This implies a brief description about the origin and the evolution of the different types of frames that there has been during the history and the different material options.

Afterwards we continue, with the selected frame and the material that is going to be used to the design, on its following fabrication, with the calculations descriptions and the structural analysis necessary in order to meet the motorcycle marked requirements.

Finally, the results obtained are presented in terms of the maximum supported tensions and the deformations.

**Keywords:** Chasis, design, analysis, motorcycle, MotoStudent.

# Índice

## Contenido

1.	Objeto y objetivos.....	12
1.1.	Ámbito y justificación .....	12
1.2.	Objetivo del proyecto.....	12
2.	Antecedentes.....	13
2.1.	Introducción a los chasis de motocicleta .....	13
2.2.	Historia del chasis .....	13
2.3.	Partes del chasis .....	30
2.4.	Tipos de chasis.....	31
2.4.1.	Chasis tubulares.....	32
2.4.2.	Chasis multi-tubular .....	34
2.4.3.	Chasis tubular compuesto.....	35
2.4.4.	Chasis de viga.....	36
2.4.5.	Chasis monocasco .....	38
2.4.6.	Chasis tipo Omega.....	38
2.5.	Reglamento de la competición MotoStudent.....	39
2.5.1.	Requisitos técnicos de la moto .....	39
2.5.2.	Requisitos generales del diseño.....	39
2.5.3.	Chasis .....	45
3.	Metodología de trabajo.....	46
3.1.	Procedimiento a seguir.....	46
4.	Desarrollo y resultados del trabajo .....	47
4.1.	Elección del tipo de chasis.....	47
4.1.1.	Estudio para la elección del tipo de chasis .....	47
4.1.2.	Selección del chasis .....	48
4.2.	Elección de geometrías .....	49
4.2.1.	Distancia entre ejes.....	49
4.2.2.	Angulo de giro requerido.....	49
4.2.3.	Ángulo de la rueda trasera.....	50
4.2.4.	Efectos de la inercia.....	50
4.2.5.	Avance.....	50

4.2.6.	Ángulo de lanzamiento .....	53
4.2.7.	Anti-Squat.....	55
4.2.8.	Geometría elegida.....	59
4.3.	Análisis de esfuerzos sufridos por la motocicleta.....	60
4.3.1.	Esfuerzos dinámicos .....	60
4.3.2.	Esfuerzos estáticos.....	65
4.4.	Material.....	66
4.4.1.	Tipos de material .....	66
4.4.2.	Elección del tipo de material .....	72
4.5.	Diseño del chasis .....	74
4.5.1.	Software.....	74
4.5.2.	Proceso de modelado .....	74
4.6.	Análisis estructural del chasis.....	95
4.6.1.	Creo Simulate .....	95
4.6.2.	Introducción al método de elementos finitos.....	95
4.6.3.	Pruebas de carga con perfiles de acero Reynolds 631 de 24mm de diámetro y 2mm de espesor .....	96
4.6.4.	Pruebas de carga con perfiles de aluminio 6063-T5 de 20 mm de diámetro y 2 mm de espesor .....	111
4.6.5.	Pruebas de carga con perfiles AL6063-T5 de 30 mm de diámetro exterior y 4 mm de espesor de pared.....	114
4.6.6.	Conclusiones.....	119
4.7.	Fabricación del chasis .....	120
4.7.1.	Fabricación de la pipa de dirección .....	120
4.7.2.	Fabricación de las pletinas principales .....	125
4.7.3.	Fabricación de la estructura tubular.....	132
5.	Presupuesto.....	145
6.	Conclusiones.....	147
Anexo 1	.....	148
Bibliografía.....		149

# Índice de figuras

Figura 1. Velocipedraisidevapor.....	14
Figura 2. Motocicleta de Sylvestre Howard Roper .....	14
Figura 3. Motocicleta hermanos Daimler.....	15
Figura 4. Primera motocicleta fabricada en serie .....	15
Figura 5. Bicicleta con motor de los hermanos Werner .....	16
Figura 6. Motocicleta de los hermanos Werner .....	16
Figura 7. Bastidor de los hermanos Werner .....	17
Figura 8. Primera motocicleta Harley Davidson .....	18
Figura 9. Primera motocicleta Indian.....	18
Figura 10. Nacimiento del Auto sillón (Ciclomotor).....	19
Figura 11. FN Four .....	19
Figura 12. Scott de 1909.....	20
Figura 13. Aparición del sidecar.....	20
Figura 14. Brough Superior.....	21
Figura 15. Mars de 1920.....	21
Figura 16. Triumph Speed Twin 500cc .....	22
Figura 17. Dollar .....	22
Figura 18. BMW R-32 .....	23
Figura 19. Gilera Saturno.....	23
Figura 20. Zundapp K800 .....	24
Figura 21. Vincent HRD Rapid.....	24
Figura 22. Nacimiento de la motocicleta custom .....	25
Figura 23. Lambretta.....	25
Figura 24. Norton Manx 1950 .....	26
Figura 25. Honda CR72.....	26
Figura 26. Ossa de competición .....	27
Figura 27. Norton Challenge .....	27
Figura 28. Honda CB750 .....	28
Figura 29. Superbike década de los 70.....	29
Figura 30. Chasis Antonio Cobas (Doble viga).....	29
Figura 31. Superbike de los años 90.....	30
Figura 32. Partes del chasis.....	31
Figura 33. Chasis Cuna simple cerrado .....	32
Figura 34. Chasis Cuna simple abierto o interrumpido.....	33
Figura 35. Chasis Cuna simple desdoblado.....	33
Figura 36. Chasis Doble cuna.....	34
Figura 37. Chasis multi-tubular .....	35
Figura 38. Chasis tubular compuesto.....	35
Figura 39. Chasis Doble viga perimetral .....	36
Figura 40. Chasis de Doble viga perimetral cerrado .....	37
Figura 41. Chasis Monoviga .....	37
Figura 42. Chasis Monocasco.....	38
Figura 43. Chasis tipo Omega .....	38
Figura 44. Anchura mínima.....	40
Figura 45. Ángulo de inclinación .....	40
Figura 46. Distancia libre al pavimento .....	41
Figura 47. Límite frontal .....	41
Figura 48. Límite posterior .....	42
Figura 49. Anchura del asiento .....	42
Figura 50. Anchura máxima del carenado.....	43
Figura 51. Altura del colín .....	43

Figura 52. Ergonomía .....	44
Figura 53. Ángulo de giro.....	49
Figura 54. Ángulo rueda trasera .....	50
Figura 55. Avance.....	50
Figura 56. Avance real.....	51
Figura 57. Avance positivo.....	51
Figura 58. Ángulo de deriva .....	52
Figura 59. Gráfica de avances .....	52
Figura 60. Ángulos de lanzamiento.....	53
Figura 61. Combinaciones de avance, lanzamiento y ángulo de giro.....	54
Figura 62. Ángulos de lanzamiento exagerados .....	54
Figura 63. Suma de fuerzas Anti-Squat .....	55
Figura 64. Centro Instantáneo de Fuerza IFC.....	56
Figura 65. Ángulo Anti-Squat.....	56
Figura 66. Centro de masas.....	57
Figura 67. Fuerza Anti-Squat.....	57
Figura 68. Ángulo Anti-Squat por debajo del centro de gravedad .....	58
Figura 69. Porcentajes Anti-Squat .....	58
Figura 70. Fuerzas que actúan durante la frenada.....	60
Figura 71. Fuerzas que actúan durante la aceleración.....	62
Figura 72. Fuerzas que actúan en el paso por curva .....	64
Figura 73. Cargas aplicadas .....	65
Figura 74. Geometría básica.....	74
Figura 75. Líneas Anti-Squat .....	75
Figura 76. Líneas Anti-Squat .....	75
Figura 77. Líneas Anti-Squat .....	76
Figura 78. Posición del piñón de ataque .....	76
Figura 79. Montaje de ruedas y horquilla .....	77
Figura 80. Esbozo de la cadena .....	78
Figura 81. Esbozo de la cadena .....	78
Figura 82. Restricción de coincidencia.....	79
Figura 83. Restricción de distancia entre planos.....	79
Figura 84. Restricción angular .....	80
Figura 85. Ensamblaje general .....	80
Figura 86. Colocación del sistema de escape.....	81
Figura 87. Colocación del sistema de escape.....	81
Figura 88. Colocación del sistema de escape.....	82
Figura 89. Distancia del escape al suelo.....	82
Figura 90. Creación de la superficie.....	83
Figura 91. Operación de taladrado.....	83
Figura 92. Extrusión de la pletina izquierda .....	84
Figura 93. Comprobación de espacios.....	84
Figura 94. Operación de simetría con la pletina .....	85
Figura 95. Modificación pletinas.....	85
Figura 96. Extrusión de corte .....	86
Figura 97. Vaciado de las caras internas de las pletinas.....	86
Figura 98. Extrusión de las barras de unión.....	87
Figura 99. Ensamblaje general .....	87
Figura 100. Diseño de las líneas del esqueleto.....	88
Figura 101. Cierre del esqueleto a la pipa de dirección.....	88
Figura 102. Anclaje delantero inferior del motor.....	89
Figura 103. Operación de simetría del esqueleto.....	89
Figura 104. Creación de los perfiles con la herramienta de estructuras .....	90
Figura 105. Operación de simetría de los perfiles .....	90
Figura 106. Esqueleto del sub-chasis .....	91

Figura 107. Simetría del sub-chasis.....	91
Figura 108. Creación de los perfiles del sub-chasis .....	92
Figura 109. Operación de simetría del sub-chasis .....	92
Figura 110. Vista lateral del chasis .....	93
Figura 111. Vista isométrica del chasis.....	93
Figura 112. Ensamblaje general .....	94
Figura 113. Ensamblaje general .....	94
Figura 114. Creo Simulate .....	95
Figura 115. Esqueleto del chasis .....	97
Figura 116. Datos del material .....	98
Figura 117. Aplicación de las fuerzas en la pipa de dirección .....	99
Figura 118. Selección de las restricciones .....	100
Figura 119. Restricciones sobre el modelo .....	100
Figura 120. Fuerzas sobre la pipa de dirección.....	101
Figura 121. Idealización del perfil .....	101
Figura 122. Asignación de secciones.....	102
Figura 123. Secciones creadas.....	102
Figura 124. Idealización de los perfiles .....	103
Figura 125. Volumen de las pletinas .....	103
Figura 126. Uniones rígidas .....	104
Figura 127. Von Misses .....	105
Figura 128. Von Misses .....	105
Figura 129. Deformación máxima .....	106
Figura 130. Deformación máxima .....	106
Figura 131. Cargas y restricciones.....	107
Figura 132. Von Misses .....	107
Figura 133. Von Misses .....	108
Figura 134. Deformación máxima .....	108
Figura 135. Deformación .....	109
Figura 136. Fuerzas sobre la pipa.....	109
Figura 137. Tensión máxima.....	110
Figura 138. Von Misses .....	110
Figura 139. Deformación máxima .....	111
Figura 140. Deformación máxima .....	111
Figura 141. Tensión máxima.....	112
Figura 142. Von Misses .....	112
Figura 143. Deformación máxima .....	113
Figura 144. Deformaciones.....	113
Figura 145. Tensión máxima.....	114
Figura 146. Von Misses .....	114
Figura 147. Tensión máxima.....	115
Figura 148. Von Misses .....	115
Figura 149. Deformación máxima .....	116
Figura 150. Deformación máxima .....	116
Figura 151. Tensión máxima.....	117
Figura 152. Von Misses .....	117
Figura 153. Deformación máxima .....	118
Figura 154. Deformaciones.....	118
Figura 155. Tensión máxima en el paso por curva.....	119
Figura 156. Von Misses .....	119
Figura 157. Barra de aluminio.....	120
Figura 158. Diseño de la pipa de dirección .....	121
Figura 159. Torno .....	121
Figura 160. Diámetro exterior .....	122
Figura 161. Diámetro interior .....	122

Figura 162. Longitud de la pipa de dirección.....	123
Figura 163. Mecanizado de la pipa de dirección .....	124
Figura 164. Aberturas en la pipa de dirección .....	124
Figura 165. Taladros.....	125
Figura 166. Pletina izquierda .....	125
Figura 167. Barras de unión de las pletinas .....	126
Figura 168. Ensamblado de las pletinas .....	126
Figura 169. Pletina izquierda y el motor.....	127
Figura 170. Ensamblaje del conjunto (pletinas, refuerzos de pletinas, motor y basculante).....	127
Figura 171. Ensamblaje del conjunto .....	128
Figura 172. Utilización de gatos.....	129
Figura 173. Ensamblaje completo.....	129
Figura 174. Mecanizado de la pletina derecha.....	130
Figura 175. Pletinas soldadas.....	131
Figura 176. Pletinas soldadas.....	131
Figura 177. Tubo de refuerzo de la pipa de dirección .....	132
Figura 178. Tubo .....	132
Figura 179. Corte circular .....	133
Figura 180. Angulo de mecanizado.....	133
Figura 181. Tubos cortados .....	134
Figura 182. Útil de sujeción de los tubos.....	134
Figura 183. Soldadura de los perfiles del potro .....	135
Figura 184. Perfiles del potro soldados.....	135
Figura 185. Soporte de la pipa de dirección.....	136
Figura 186. Soporte montado de la pipa de dirección .....	136
Figura 187. Presentando los tubos sobre las pletinas.....	137
Figura 188. Cuatro primeros tubos soldados del lateral izquierdo.....	137
Figura 189. Colocación de los dos laterales sobre las pletinas .....	138
Figura 190. Colocación de los tubos sobre las pletinas.....	138
Figura 191. Colocación de la pipa de dirección.....	139
Figura 192. Chasis soldado .....	139
Figura 193. Chasis soldado .....	140
Figura 194. Motor ensamblado .....	140
Figura 195. Horquilla montada.....	141
Figura 196. Horquilla y motor montados .....	142
Figura 197. Deposito posicionado.....	142
Figura 198. Colín presentado.....	143
Figura 199. Carenado frontal presentado.....	143
Figura 200. En el box del circuito prácticamente montada .....	144
Figura 201. Foto del equipo .....	147

# Índice de tablas

Tabla 1. Designación de aleaciones del aluminio.....	70
Tabla 2. Composición química.....	73
Tabla 3. Equivalencias internacionales.....	73
Tabla 4. Propiedades mecánicas.....	73
Tabla 5. Propiedades físicas.....	73
Tabla 6. Radios de plegado.....	73
Tabla 7. Listado de materiales.....	145
Tabla 8. Presupuesto detallado.....	145

# 1. Objeto y objetivos

## 1.1. Ámbito y justificación

Este trabajo surge como consecuencia de la participación de un grupo de estudiantes de la EPSA en la “IV Competición Internacional MotoStudent”.

Dicho evento es un desafío universitario en el que se ha de diseñar y construir una motocicleta desde cero, la cual será puesta a prueba en un evento que se organiza en las instalaciones del circuito de velocidad de MotorLand.

Para llevar a cabo dicho proyecto, es necesario poner en práctica muchos de los conocimientos aprendidos en la universidad: mecánica, electricidad, materiales, organización industrial, electrónica, marketing...

Dentro de este gran proyecto se me ha dado la responsabilidad de diseñar el chasis de la motocicleta.

Para ello, durante los próximos meses tendremos que realizar una gran labor de equipo para desarrollar conjuntamente la motocicleta. Ya que cada integrante del equipo se encarga de una parte de la motocicleta, y si no se trabaja en equipo será imposible de desarrollar el proyecto.

Para el diseño del chasis necesitareé hacer uso del software Creo Parametric, siguiendo estrictamente las limitaciones impuestas por la organización del evento, realizar los cálculos necesarios para comprobar la resistencia del diseño creado, y posteriormente fabricar la motocicleta utilizando para su ensamblaje el motor que suministra la organización, que es un motor Honda CBR 250R de 250 centímetros cúbicos de 4 tiempos con el fin de participar en la competición.

## 1.2. Objetivo del proyecto

El objetivo que se pretende conseguir con la realización de este trabajo consiste en diseñar mediante el software Creo Parametric el mejor chasis posible, con una perfecta relación rigidez/ligereza.

Realizar los análisis estructurales necesarios mediante el software Creo Simulate, para la comprobación de la rigidez estructural.

Y por último, validar el diseño con las acciones planteadas y las pruebas de carga según el reglamento, cumpliendo los criterios de resistencia y rigidez, sin entrar en análisis de fatiga, modelo o absorción de impactos.

## 2. Antecedentes

### 2.1. Introducción a los chasis de motocicleta

El chasis es el elemento principal de la motocicleta, estructuralmente hablando, une mediante la pipa de dirección el conjunto delantero (la rueda delantera) con el basculante (rueda trasera) y soporta todos los elementos mecánicos, manteniendo la geometría y el reparto de pesos con una rigidez adecuada.

El chasis de una motocicleta tiene que cumplir dos funciones básicas: estáticas y dinámicas. Dentro de la función estática, el chasis tiene que soportar el peso del piloto, el motor y la transmisión, y los accesorios necesarios como el depósito de gasolina o de aceite. La función dinámica del chasis es muy importante. El chasis en conjunto con el resto de la parte ciclo tiene que proporcionar una dirección precisa, una buena manejabilidad, un buen agarre y un buen confort.

Para una buena manejabilidad el chasis tiene que resistir esfuerzos de torsión y flexión para así mantener las ruedas en su relación adecuada entre sí, independientemente de las cargas impuestas por la fuerza de transmisión, baches, curvas y en frenada. Esto quiere decir que el eje de dirección tiene que permanecer en el mismo plano que el eje de la rueda trasera, de forma que se mantenga la geometría de dirección en cualquier condición sin verse afectada por posibles deformaciones del chasis.

Además, el chasis tiene que permitir una buena manejabilidad, esto quiere decir, que el piloto con un pequeño esfuerzo físico, debería de ser capaz de poder manejar fácilmente la motocicleta y así evitar la fatiga física.

El confort es muy importante para minimizar la fatiga del piloto y requiere de la utilización de suspensiones para absorber los baches. Todos estos criterios los tiene que cumplir el chasis para poder alcanzar la vida esperada de la motocicleta, sin que se deteriore o se rompa y sin necesidad de ningún tipo de mantenimiento.

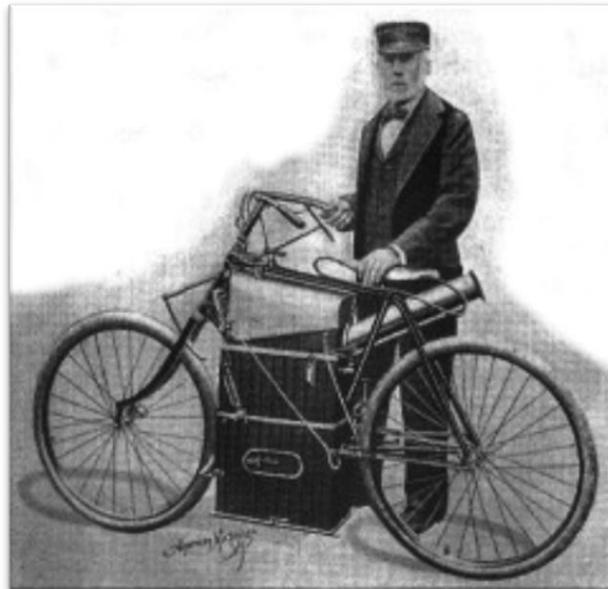
### 2.2. Historia del chasis

Cuando se habla de la primera motocicleta hay que remontarse al año 1818. En París se presentó una máquina formada por una bicicleta a la que habían equipado con una caldera de vapor en la parte trasera, denominada “velocipedraidevapor” (Figura 1).



*Figura 1. Velocipedraisidevapor*

En 1867 Sylvestre Howard Roper de origen estadounidense, creó una máquina (Figura 2) que podría considerarse una motocicleta con un motor de dos cilindros a vapor que funcionaba con carbón.



*Figura 2. Motocicleta de Sylvestre Howard Roper*

En 1885 los alemanes Wilhelm Maybach y Gottlieb Daimler construyeron una motocicleta (Figura 3) de cuadro y cuatro ruedas de madera que estaba propulsada por un motor de combustión interna de cuatro tiempos. El motor no fue diseñado por este par de alemanes, si no que fue inventado por el ingeniero Nikolaus August Otto, el cual por esa época ya era todo un experto en crear y construir motores. El motor de la que es para muchos la primera motocicleta, contenía 0,5 caballos de fuerza y permitía una

velocidad de 18 kilómetros por hora. Que el motor fuera de combustión interna es lo que hace que algunos historiadores consideren a esta máquina como la primera motocicleta de la historia.



*Figura 3. Motocicleta hermanos Daimler*

En el año 1894, los alemanes Hildebrand y Wolfmüller presentan en Múnich la primera motocicleta fabricada en serie (Figura 4), la cual obviamente tenía fines comerciales específicos. Estas motocicletas propiedad de Hildebrand y Wolfmüller se estuvieron produciendo hasta el año 1897.



*Figura 4. Primera motocicleta fabricada en serie*

Ya en 1897 es cuando se ve un claro cambio en la tendencia, y es que a mucha gente empieza a interesarle de verdad este nuevo invento. Esto sucede, cuando aparece en el mercado la motocicleta de los hermanos Eugene y Michel Werner. Estos hermanos, no eran ingenieros ni mecánicos si no que eran dos periodistas de origen ruso quienes decidieron montar un pequeño motor sobre una bicicleta. Al principio lo colocaron de forma horizontal encima de la rueda trasera, luego delante del manillar (Figura 5), con una correa de cuero que lo unía a la rueda delantera.



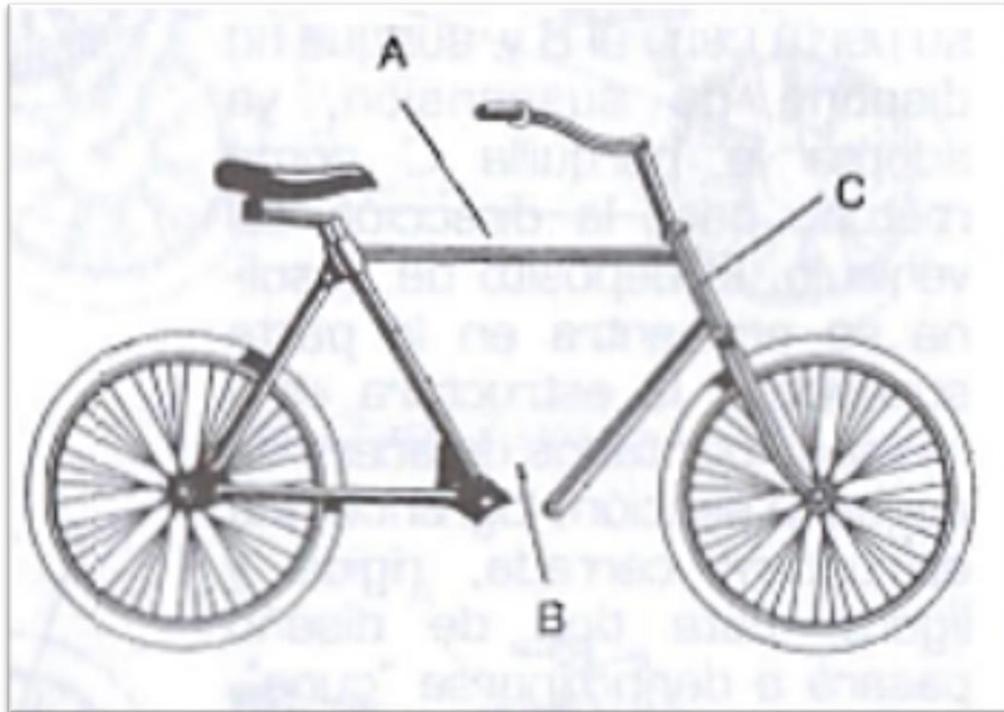
*Figura 5. Bicicleta con motor de los hermanos Werner*

Un año después en 1898, llegaría el verdadero éxito de esta máquina cuando los hermanos Werner empezaron a fabricarla y presentaron esta nueva máquina como motocicleta (Figura 6), este nombre de la marca se extendió y así se empezó a llamar a todos los bicis equipados con motor.



*Figura 6. Motocicleta de los hermanos Werner*

La (Figura 7) muestra el bastidor de los hermanos Werner, probablemente la primera moto con una estructura pionera de las actuales. Básicamente se trata de un bastidor de bicicleta A reforzado que ya instala el motor en su parte central B y, aunque no dispone de suspensión, ya adopta la horquilla C como método para la dirección del vehículo. El depósito de gasolina se encuentra en la parte superior, y la estructura está formada por tubos de acero de pequeña sección, logrando una estructura cerrada, rígida y ligera. Este tipo de diseño pasará a denominarse “cuna”, pudiendo construirse de varias formas, según sea simple o doble, y cerrada completamente o abierta en la zona del motor.



*Figura 7. Bastidor de los hermanos Werner*

Pasado el siglo XIX, durante las dos primeras décadas muchas marcas de motocicletas empezaron a diseñar motos de dos y hasta cuatro cilindros antes de la Primera Guerra Mundial, dejando atrás aquellas máquinas mono-cilíndricas del siglo anterior. Con el avance del diseño y prestaciones de motor y apariencia, las personas también fueron enamorándose de estas máquinas, viendo la comodidad y rapidez que ofrecían.

Entre 1901 y 1906 nace Harley Davidson, el origen de esta mítica marca americana lo encontramos en un pequeño garaje de la localidad de Milwaukee (USA), donde dos amigos de la infancia, Bill Harley y Arthur Davidson, ayudados por los hermanos de este último, Walter y William, los cuatro con experiencia en el sector siderúrgico, empezaron construyendo en 1901 un motor. Tras varias evoluciones y prototipos, consiguieron ponerlo a punto y en 1903 crearon su primera motocicleta completa (Figura 8). La pasión y dedicación de los cuatro fundadores y únicos trabajadores de la marca, les llevó a fabricar 3 motos en 1904 y 5 más en el año

siguiente. Numerosos amigos empezaron a pedirles motocicletas, consiguiendo de este modo en el año 1906 una producción de 15 unidades.



*Figura 8. Primera motocicleta Harley Davidson*

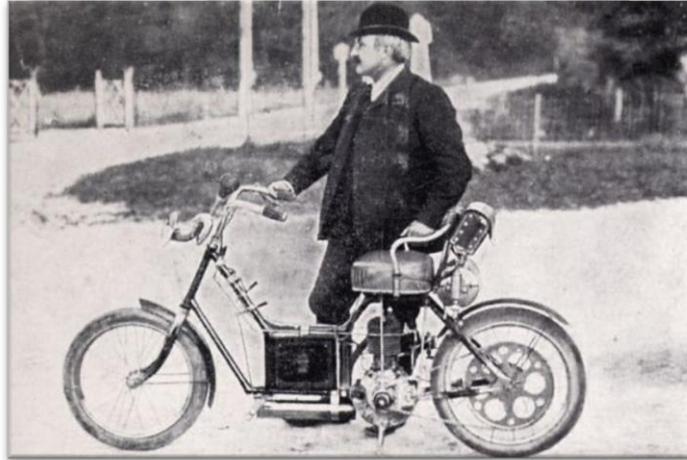
En el año 1901 también nace Indian Motorcycle Manufacturing Company que fue fundada como Hendee Manufacturing Company por George M. Hendee y C. Oscar Hedstrom en Springfield, Massachusetts en 1901, dos años antes que su rival, la legendaria Harley Davidson Motor Company. Hendee y Hedstrom eran ambos corredores de motocicletas. (Figura 9)



*Figura 9. Primera motocicleta Indian*

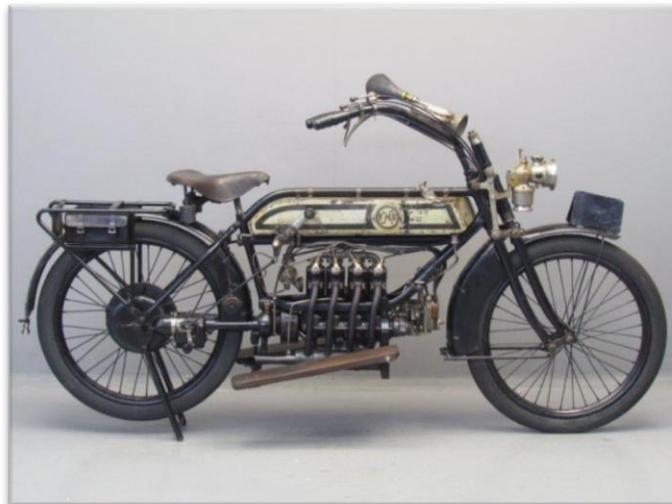
En el año 1902, en Francia aparece el Scooter o ciclomotor, al cual se llamó Auto sillón. (Figura 10) Se trata de una moto unida con un salpicadero de protección, de pequeñas ruedas y con un cuadro abierto que permite al piloto viajar sentado. Este

vehículo fue creado por Georges Gauthier quien lo fabricó en 1914. El desarrollo de la Scooter se hizo fuerte a partir de 1919. Desde el primer momento ha tenido gran popularidad entre los jóvenes, ya que desde su creación ha aparecido una gama amplísima de estos vehículos baratos, ligeros y de fácil manejo.



*Figura 10. Nacimiento del Auto sillón (Ciclomotor)*

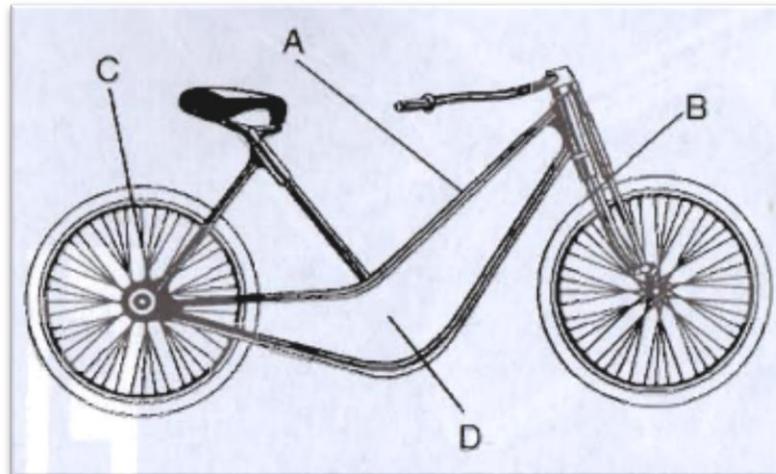
Las máquinas de cuatro cilindros construidas por la empresa belga FN no eran las más rápidas de los primeros años del motociclismo, pero sí se contaban entre las más fiables y sofisticadas. Tuvo un éxito arrollador entre los jóvenes de la época. En el año 1904, nace la FN Four (Figura 11), la cual se convirtió en un auténtico éxito debido a su avanzado diseño, el cual incluía transmisión secundaria por cardán y un chasis simple pero ligero y eficiente. La FN Four fue un auténtico éxito de ventas, aguantó más de dos décadas en producción, durante las cuales se realizaron sucesivos aumentos de cilindrada.



*Figura 11. FN Four*

Con el tiempo la rigidez debe aumentar y los tubos van agrandando su sección, al tiempo que los diseñadores más originales comienzan a innovar formas y diseños. La Scott de 1909 en la (Figura 12) plantea un bastidor A abierto por su parte superior, en

el que el motor realiza una importante función portante. Y hay suspensión delantera B, aunque la rueda trasera todavía mantiene un anclaje fijo C. El motor se sitúa de nuevo en la parte inferior D.



*Figura 12. Scott de 1909*

En 1910 apareció el sidecar (Figura 13), un carro con una rueda lateral que se une a un lado de la motocicleta. Consta de un bastidor de una sola rueda y de una carrocería que protege al pasajero. La motocicleta que lo arrastra, se convierte en un vehículo de tres ruedas y su conducción se controla mediante el giro del manillar, al no poder ejecutarse la basculación. Ya había aparecido años antes pero en bicicletas y con la proliferación de los vehículos llamados utilitarios, además de la prohibición de su fabricación por los gobiernos recientemente, ha desaparecido prácticamente de la circulación.



*Figura 13. Aparición del sidecar*

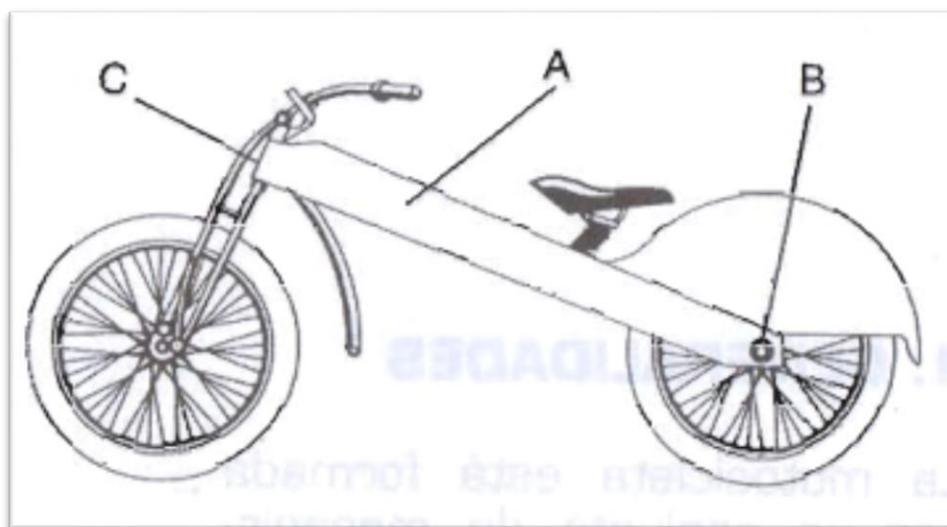
En las décadas de 1920 y 1930, las motocicletas se convirtieron en vehículos que eran cada vez más sofisticados y veloces. Esto les valió la popularidad frente a los demás transportes de la época. Fue en estos años, que aparecieron motocicletas como

la Speed Twin de Triumph y la Brough Superior como la de la (Figura 14). Estas motocicletas de doble cilindro fueron el pistoletazo de salida de las grandes cilindradas.



*Figura 14. Brough Superior*

La (Figura 15), muestra la Mars de 1920 que arroja nuevos conceptos, aunque no sea la primera que los adopta. Los tubos de sección cerrada se cambian por la chapa estampada A, que no plantea tantos problemas de uniones soldadas y dispone de una gran rigidez. Su principal inconveniente es el peso, habitualmente mayor, pero su resistencia, en unos momentos en los que el estado de las carreteras es bastante precario, suele compensar sus defectos. En este chasis, la unión de la rueda trasera B con el anclaje de la suspensión delantera C es prácticamente directo, algo que sólo 60 años más tarde volvería a adquirir una gran importancia. La viga de sección cuadrada forma prácticamente la estructura, de modo que el resto de los elementos se sujetan a ella mediante tirantes.



*Figura 15. Mars de 1920*

Triumph presentó su Speed Twin de 500 centímetros cúbicos como la de la (Figura 16) justo antes de la Segunda Guerra Mundial, pero su influencia se extendió mucho más allá. Gracias a estas innovadoras y bonitas máquinas, los fabricantes británicos dominaron el sector comercial de las motocicletas durante las décadas de 1940 y 1950.



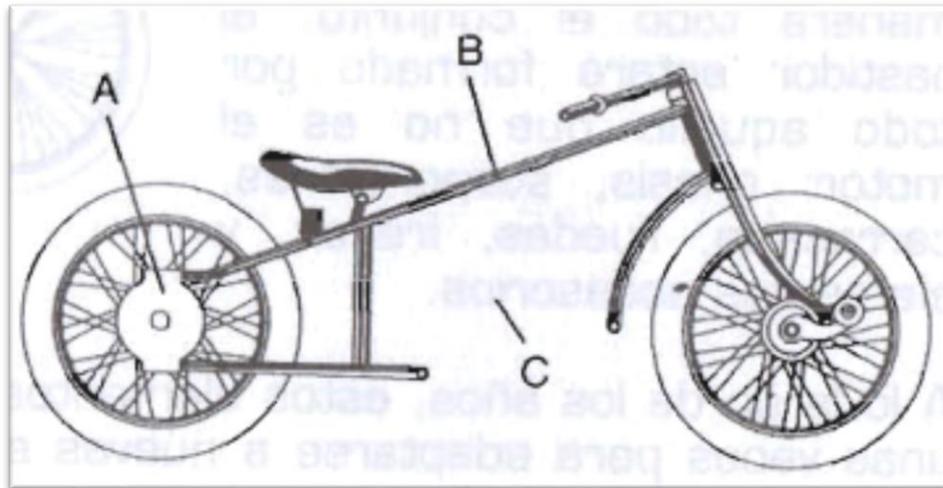
*Figura 16. Triumph Speed Twin 500cc*

En 1923 aparece la primera moto Dollar (Figura 17) en el salón de Paris, con una motorización de 125cc. La primera Dollar comercializada fue en 1924. Ya en 1925 se expande la producción con una Dollar de 175cc, y también en el mismo año se presenta una de 250cc. El 1927 fue un año de grandes cambios para Dollar, la marca se muda de Charenton para instalarse en una nueva fábrica en la población francesa de Joinville-le-Pont.



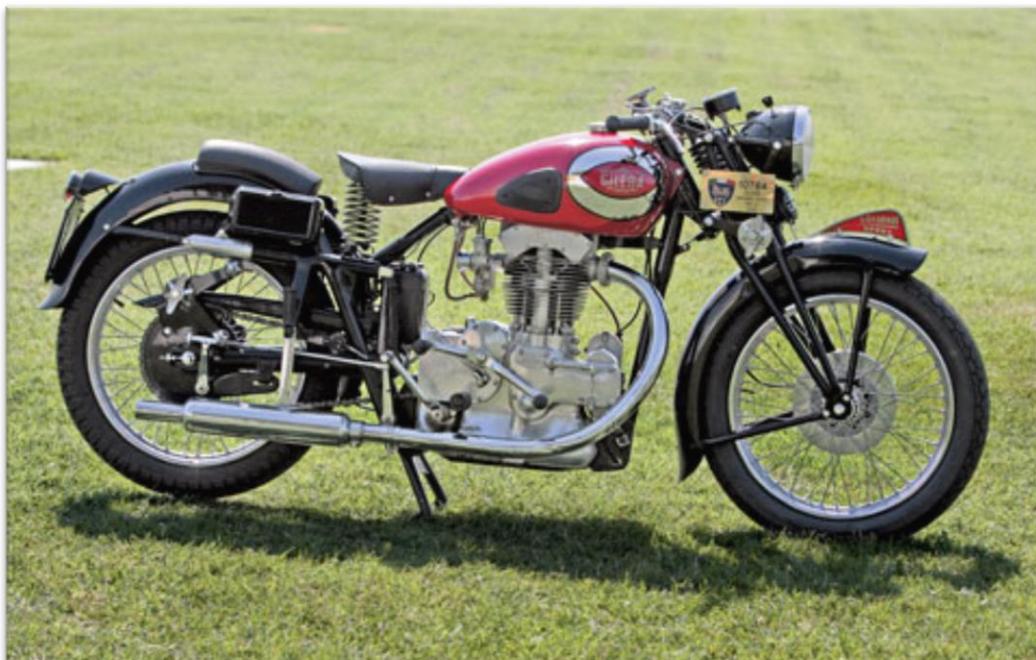
*Figura 17. Dollar*

La BMW R-32 de 1923 (Figura 18), no presenta grandes novedades respecto a lo conocido en ese momento, pero aprovecha el sistema de transmisión A, como elemento resistente, jugando con una gran ligereza y de nuevo utilizando el tubo de acero B, aunque intentando emplear las mínimas cantidades, estudiando los puntos más adecuados. De nuevo el motor situado en la zona C tiene una gran importancia en la función resistente del chasis.



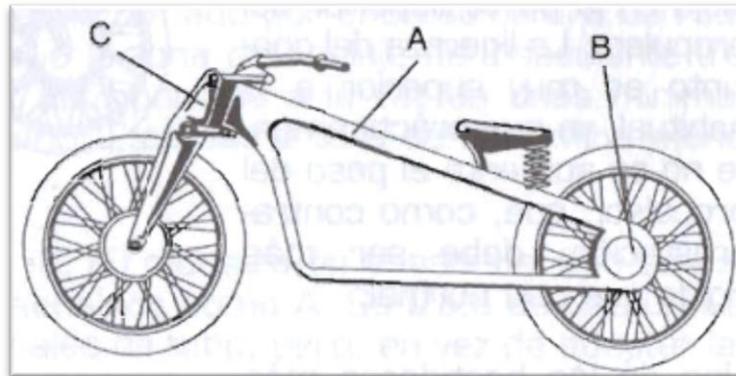
*Figura 18. BMW R-32*

Las mono cilíndricas mantuvieron el tipo gracias a modelos deportivos como la Gold Star de BSA y la Gilera Saturno (Figura 19), las cuales aportaron estilo y rendimiento con lo que supieron equilibrar la balanza, dejando de lado el aburrido formato práctico de la mayoría de los demás modelos.



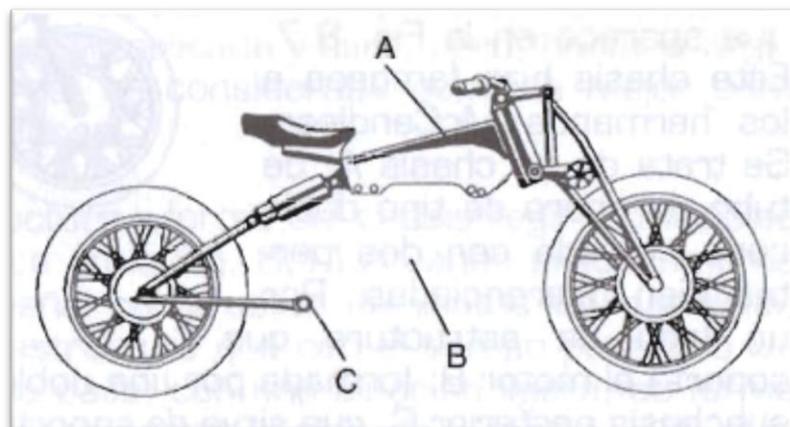
*Figura 19. Gilera Saturno*

En 1934 de nuevo nos encontramos ante un chasis de chapa de acero en la (Figura 20) pero con catorce años de evolución con respecto al anterior. En este caso, es el de la Zundapp K 800, en los prolegómenos de la segunda guerra mundial. La chapa ya no se emplea de manera tan masiva, con el fin de reducir el peso del conjunto. La chapa A se corta y se dobla mediante nuevos procedimientos, y su estructura es aún más dura y rígida. Se siguen las líneas maestras de los bastidores tubulares, rodeando el motor, y, aunque las primeras suspensiones traseras han aparecido hace tiempo, aún no están plenamente implantadas, de modo que el bastidor llega hasta el anclaje del tren posterior B. las suspensiones delanteras van variando, pero todavía no han llegado a la horquilla telescópica que se impondrá después de la segunda guerra mundial.



*Figura 20. Zundapp K800*

A finales de la década de los treinta aparece una motocicleta exclusiva (Figura 21). Está dotada de un nuevo bastidor A tan exclusivo como ella, la Vincent HRD Rapid de 1939. El motor situado en la posición B tiene una función portante muy importante, hasta el punto de que la suspensión trasera está directamente anclada a él por su parte trasera mediante el tirante C. La suspensión delantera también se ancla al motor mediante un pequeño elemento intermedio que se aloja en la parte superior del propulsor. La ligereza del conjunto es muy superior a la habitual, ya que prácticamente no se aumenta el peso del propulsor, que, como contraprestación, debe ser más rígido que uno normal.



*Figura 21. Vincent HRD Rapid*

En 1945 después de volver de la Segunda Guerra Mundial, los soldados estadounidenses parecían descontentos con las motocicletas que eran construidas por Harley Davidson e Indian. Las motos que habían montado en Europa eran más ligeras y más divertidas de conducir. Estos veteranos comenzaron a reunirse con otros exsoldados para volver a experimentar algo de la camaradería que habían vivido estando en servicio. Estos grupos se dieron cuenta de que sus motocicletas necesitaban las modificaciones y opciones que los fabricantes no les proporcionaban. Así nació la motocicleta custom. (Figura 22) Estas marcas además de Vincent tomaban el camino de exaltar las virtudes de las de dos cilindros en V de gran cilindrada.



*Figura 22. Nacimiento de la motocicleta custom*

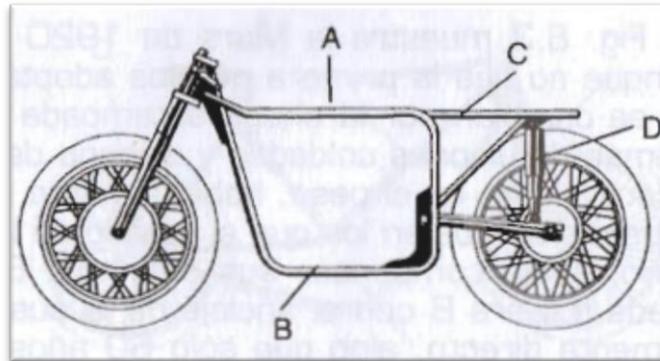
En 1946, sin duda alguna, la Vespa es el scooter más famoso del mundo, el cual fue diseñado por Corradino d'Ascanio. El competidor más fuerte al que se ha enfrentado la Vespa, ha sido la Lambretta (Figura 23), una marca que tiene también origen italiano.



*Figura 23. Lambretta*

Uno de los bastidores más famosos de la historia es sin duda el que equipaba la Norton Manx del año 1950, que aparece en la (Figura 24). Este chasis hizo famosos a

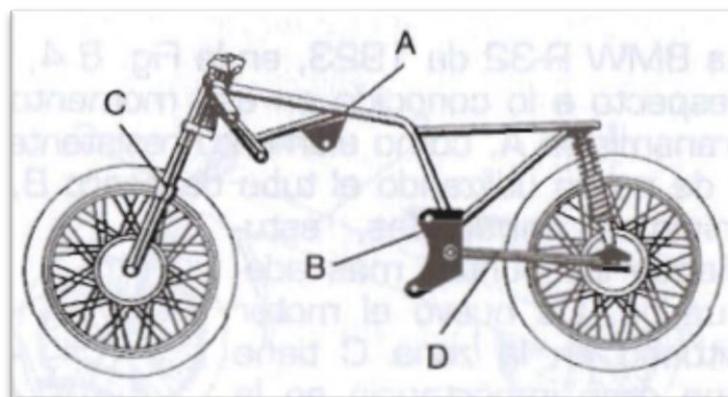
los hermanos McCandless. Se trata de un chasis A, de tubo de acero de tipo doble cuna cerrada con dos partes bien diferenciadas. Por un lado, la estructura que soporta el motor B, formada por una doble cuna cerrada, y por otro un sub-chasis posterior C, que sirve de soporte para el piloto y para la amortiguación posterior D, que se realiza por medio de un sistema de basculante articulado y amortiguadores.



*Figura 24. Norton Manx 1950*

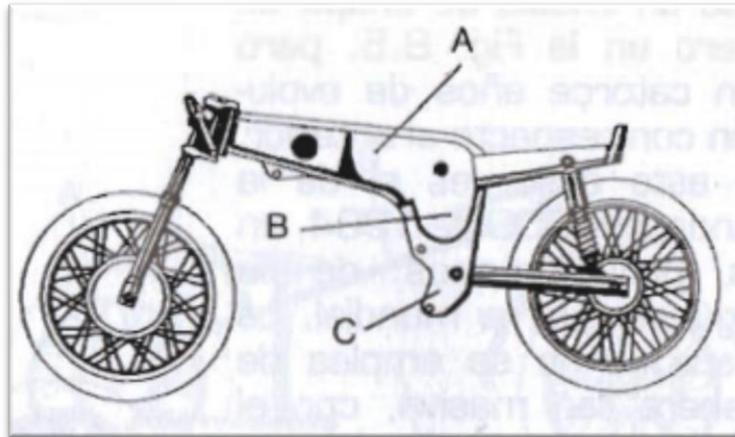
En la década de 1960 la inclusión en el mercado de las motocicletas más destacada fue la de las motos japonesas, modelos como la honda CB450 y la Suzuki T500 combinaban un diseño sofisticado con un rendimiento en muchos casos extraordinario y, además, dieron un primer aviso de las extraordinarias motos que las seguirían.

La competición siempre ha sido uno de los grandes motores de la evolución de las motocicletas, sobre todo desde finales de la segunda guerra mundial, cuando ha alcanzado una gran repercusión publicitaria. El siguiente chasis que muestra la (Figura 25) vuelve a emplear el motor como un elemento estructural importante. Se trata de una Honda CR 72 de 1963 de competición, en la que el chasis A sortea por la parte superior al motor, pero mantiene en su estructura, tanto el anclaje de la suspensión delantera B, como el de la trasera, adoptando ya las suspensiones que se han mantenido durante los últimos años invariables en la mayoría de las motos, la horquilla delantera C y el basculante trasero D.



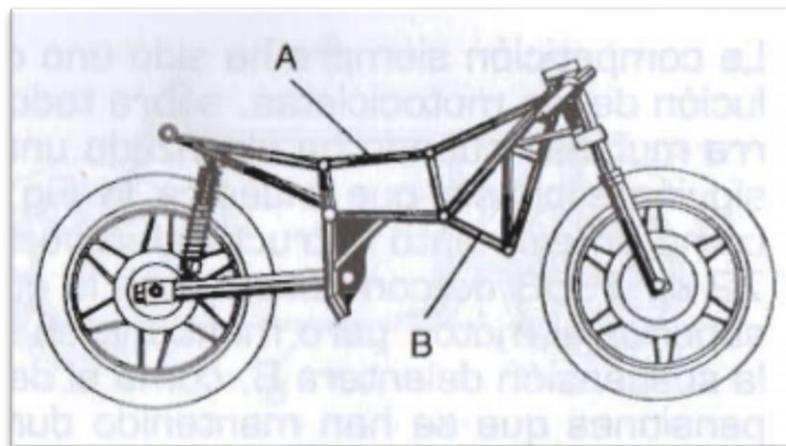
*Figura 25. Honda CR72*

Hasta ahora se han estudiado chasis realizados en chapa, pero no como el de la Ossa de competición de finales de los años 60, de la (Figura 26) que integra además el depósito de gasolina A en la zona media. En este caso, el material deja de ser por primera vez el acero, para ser una aleación de magnesio, un material mucho más ligero que el hierro habitual. Es chasis B es muy rígido, al estar formado por una estructura cerrada en su mayor parte, ya que, salvo la zona de anclaje del basculante trasero C, lo está por completo. Esto permite a la vez de unas mínimas dimensiones, un peso muy liviano. Esta estructura se denomina monocasco.



*Figura 26. Ossa de competición*

La Norton Challenge de la (Figura 27) muestra un chasis del tipo que se ha denominado “multi-tubular” señalado como A. se trata de una derivación de los bastidores tradicionales de tubo, pero, en vez de adoptar las clásicas estructuras de tipo cuna, ancla el motor por la parte superior con numerosos tubos de sección recta B, de modo que los tubo no trabajen con esfuerzos de flexión. De esta manera, se aumenta de manera considerable la rigidez de la estructura, sin que ello represente un mayor peso. Esta estructura es complicada y cara, pero, hasta la llegada de los siguientes bastidores, se consideraba como la mejor para motocicletas de altas prestaciones.



*Figura 27. Norton Challenge*

Las innovaciones de la década de 1970 en el mundo de las motocicletas, empezó en 1969, ya que fue en este año cuando Honda lanzó la CB750 como la de la (Figura 28).



*Figura 28. Honda CB750*

La primera superbike no solo maravilló por su motor de cuatro cilindros en línea, que pronto sería adoptado por las demás marcas japonesas, sino que también hizo gala de un nivel de sofisticación muy superior al de los fabricantes británicos, lo que confirmaba que había comenzado una nueva era.

Al final de la década de los 70, las marcas japonesas habían ofrecido una amplia e increíble diversidad de superbikes, las cuales contaban con dos, tres y seis cilindros. Algunas de esas motocicletas tenían una potencia superior a los 100 CV. Los fabricantes europeos también vieron el potencial del mercado de las motocicletas, y entraron en él con modelos extravagantes y nuevos.

Suzuki presenta la alternativa de tres cilindros. Esta tenía su propia rival de peso medio en la figura de la GT 550 de tres cilindros, que, presentada en 1972, se parecía en diseño y líneas al modelo GF 380. Su motor de 543 cc refrigerado por aire generaba 53 CV que proporcionaban una excelente aceleración y una velocidad máxima cercana a 177 kilómetros por hora.

La gran revolución de la estructura y forma del chasis llegó a principios de los años 80, se experimenta un refinamiento de las superbike, en estos años, la tendencia gira entorno a una mayor potencia y un mayor tamaño (Figura 29).

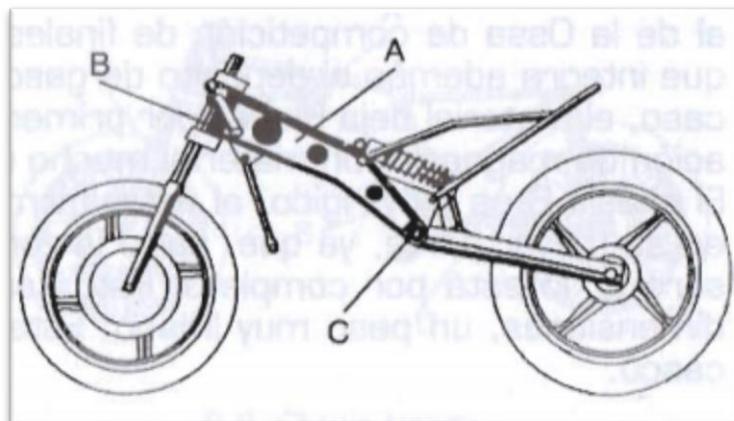


*Figura 29. Superbike década de los 70*

Las primeras estrellas de esa era fueron una variación de lo visto antes: bestias grandes y pesadas, con motor de varios cilindros refrigerado por aire, bastidor de acero tubular y doble amortiguador trasero. Sin embargo, las motos siguientes se refinaron y lograron un mayor rendimiento y potencia adicional.

La nueva raza de superbike contaba con motor de refrigeración por agua, bastidor de aluminio, suspensión trasera por mono amortiguador y carenado aerodinámico.

Yamaha y un pequeño constructor de motos de carreras, Antonio Cobas, presentan esta estructura de aluminio (Figura 30) que con el tiempo pasaría a llamarse de “doble viga”. En este caso, con una aleación ligera, se forma una estructura A, que une directamente la pipa de sujeción de la suspensión delantera B con el eje del basculante trasero C, se consigue una estructura muy rígida y a la vez ligera y sencilla de fabricar. Desde entonces, los bastidores han evolucionado hacia esta estructura, primero engordando las secciones superiores en sus cunas, y, finalmente, eliminando las secciones inferiores o manteniéndolas como soportes del motor únicamente.



*Figura 30. Chasis Antonio Cobas (Doble viga)*

Cuando llegó el final de la década de los 80, la superbike definitiva era una máquina más pequeña, ligera y sofisticada.

En los años noventa (Figura 31), las superbikes mejoraron siendo mucho más rápidas, llegando a alcanzar velocidades de más de 241 kilómetros por hora. El manejo de las máquinas estándar, las producidas en serie, era igual al de las motos de competición de unos años antes. Los avances tecnológicos estaban allí para todos aquellos que podían permitírselos, como los pistones ovalados de Honda o las suspensiones delanteras sin horquilla de Yamaha y Bimota.



*Figura 31. Superbike de los años 90*

A pesar de las innovaciones, muchos usuarios de motocicletas preferían máquinas más convencionales, y por ello la mayoría de las mejores superbikes de la época, eran versiones mejoradas de formatos establecidos, como las bien diseñadas dos cilindros en V de Ducati o las rápidas y ligeras cuatro cilindros japonesas. Para los que buscaban velocidad pura, la mejor que había en el mercado era la aerodinámica de la Hayabusa de Suzuki.

### 2.3. Partes del chasis

Tras haber podido ver una pequeña relación de los chasis empleados a lo largo de la historia, se estudiarán a continuación los que en la actualidad son más comunes en las motocicletas.

La estructura general de un chasis, independientemente de su tipo, es prácticamente invariable en todas. Como se aprecia en la (Figura 32), por una parte tenemos la zona de anclaje de la suspensión delantera A, al ser ésta habitualmente una horquilla telescópica, es un eje que se denomina “pipa de dirección”. Por la propia estructura de la horquilla, este punto se sitúa en la parte delantera, en la parte más alta del chasis. El otro punto de anclaje de la suspensión suele ser el eje del basculante B, que debe combinarse con un soporte para el o los amortiguadores traseros C, e incluso los anclajes de las bieletas de la suspensión trasera D, si es que éstas existen. Estas dos zonas están sometidas a unos grandes esfuerzos, de modo que conviene que

dispongan de la máxima rigidez posible. Además hay que unir ambos anclajes con una estructura E, y aquí es donde la variedad abunda. Los distintos tipos pueden realizarlo con tubos, chapas, vigas gruesas etc..., siendo estos igualmente los materiales empleados para los anclajes. En el dibujo está representado un bastidor de tipo doble viga actual, pero cualquiera de los tipos que se verán con posterioridad, adoptan los mismos principios.

Otros elementos que debe tener el chasis son los anclajes para el motor F, lo suficientemente resistentes como para que no les afecte ni el peso ni las vibraciones. El motor es ocasionalmente parte de la estructura del chasis, ya que, debido a su gran resistencia, puede realizar funciones portantes, permitiendo que el chasis sea más ligero. También hay que sujetar al piloto mediante la estructura G y los diferentes elementos accesorios como el depósito de gasolina y la carrocería en general, así como los accesorios del piloto. Si se incluye el basculante trasero H como un elemento del chasis, hay que señalar que esta pieza está sometida a unos grandes esfuerzos y que debe ser muy resistente. En otros momentos no se realizaban los basculantes siguiendo esta línea, pero con el tiempo han sido uno de los elementos que más se han dimensionado.

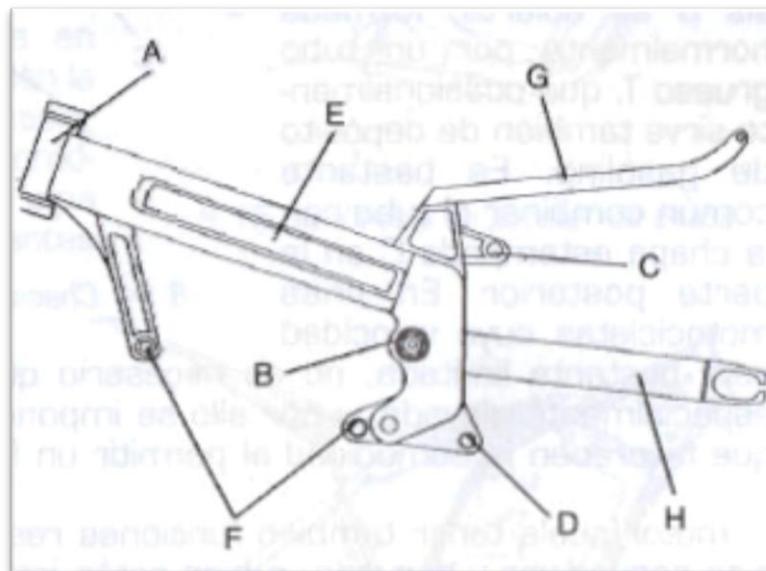


Figura 32. Partes del chasis

## 2.4. Tipos de chasis

A lo largo de la historia se han ideado chasis de muchas formas diferentes y además con el desarrollo de la tecnología se han ido avanzando en las técnicas de fabricación, permitiendo fabricar chasis económicos y resistentes que antes no se podían.

En este apartado se muestran los tipos de chasis más utilizados comercialmente y en competición.

### 2.4.1. Chasis tubulares

Este tipo de chasis se compone principalmente de perfiles tubulares.

#### 2.4.1.1. *Chasis simple cuna cerrado*

El chasis simple cuna cerrado (Figura 33) es aquel que dispone de perfiles en un solo plano vertical que parten desde el cabezal de dirección hasta la zona del eje del basculante, es decir, desciende un solo tubo desde la columna de dirección y pasa por debajo del motor formando una cuna. La estructura, compuesta por tubos soldados, alberga al motor en su interior. El perfil en la parte inferior del chasis es continuo desde el cabezal de dirección hasta la zona del basculante. Se utilizaba en motos no deportivas de bajas prestaciones, ya que la rigidez peso potencia es poco favorable. Actualmente los modelos que se fabrican con este tipo de chasis prácticamente han desaparecido.



*Figura 33. Chasis Cuna simple cerrado*

#### 2.4.1.2. *Chasis simple cuna abierto o interrumpido*

Es una variante del chasis simple cuna cerrado y se diferencia de este porque el perfil en la parte inferior está interrumpido al llegar al motor (Figura 34), siendo este último el que cierra esa zona. En este caso se utiliza el motor como estructura resistente. Estos chasis son muy económicos y son habituales sobre todo en motos de baja cilindrada, 125 y 250cc y en la mayoría de motocicletas trail.



*Figura 34. Chasis Cuna simple abierto o interrumpido*

#### *2.4.1.3. Chasis cuna simple desdoblado*

Es otra variante del chasis simple cuna, en la que del cabezal de dirección descende un único tubo (Figura 35) pero se desdobra delante o debajo del motor, llegando a la zona del eje del basculante trasero en dos tubos. Este tipo de chasis se utiliza habitualmente en motocicletas de campo y trail.



*Figura 35. Chasis Cuna simple desdoblado*

#### 2.4.1.4. Chasis doble cuna

En este caso son dos tubos que descienden desde el cabezal de dirección y pasan por debajo del motor formando una cuna y abrazando al motor por los laterales en su parte inferior, en la zona del cárter, llegando al anclaje del basculante por separado. Estos chasis (Figura 36) son más rígidos que los de simple cuna ya que forman una estructura más sólida. En muchos casos la cuna o parte inferior del chasis va atornillada para facilitar su desmontaje a la hora de introducir el motor. Es usual en motocicletas tipo custom. También era típico de motocicletas de gran cilindraje en los años ochenta.



*Figura 36. Chasis Doble cuna*

#### 2.4.2. Chasis multi-tubular

Este chasis (Figura 37) consiste en dos vigas a cada lado del motor que unen el cabezal de dirección con la zona del eje del basculante trasero pero compuestas por tubos rectos y cortos, colocados a modo de celosía o telaraña. Estos tubos cortos, que suelen ser de secciones circulares y de acero al cromo-molibdeno, le dan una gran

rigidez al chasis. Generalmente estos tubos se diseñan para que solo trabajen a tracción o a compresión. En muchos casos el motor se utiliza adicionalmente como elemento estructural, soportando incluso el anclaje directo del basculante trasero. Este tipo de chasis es muy característico de Ducati.



*Figura 37. Chasis multi-tubular*

#### 2.4.3. Chasis tubular compuesto

Este chasis reúne el tipo tubular y por lo general en la parte posterior donde ajusta el basculante es de fundición de aluminio (Figura 38). Puede ser ensamblado, pegado o atornillado y reúne lo liviano de la estructura tubular y la resistencia del aluminio dando como resultado un chasis muy sólido y liviano. El motor está suspendido generalmente y permite tener un mejor centro de gravedad, aunque lo deja expuesto a los golpes. Es un chasis típico de Benelli.



*Figura 38. Chasis tubular compuesto*

## 2.4.4. Chasis de viga

### 2.4.4.1. Chasis doble viga perimetral

Este tipo de chasis es el más utilizado en motos deportivas (Figura 39). La estructura que conforma este tipo de chasis se define perfectamente por su nombre, está formada por dos vigas de elevada sección, una a cada lado del motor, que parten del cabezal de dirección y acaban en la zona del eje del basculante. Las vigas abrazan perimetralmente al motor, por su parte superior suelen ser generalmente de aleaciones de aluminio. Además, incorporan soportes inferiores para anclar el motor.

En algunos casos se incorporan aberturas en las vigas para el paso de aire hacia la admisión.

Estos chasis pueden ser fabricados por fundición, laminación o extrusión, o por combinación de estos métodos.

El cabezal de dirección y la zona del anclaje del basculante son las zonas que sufren mayores esfuerzos, por ello son zonas que generalmente se suelen fabricar mediante fundición.



*Figura 39. Chasis Doble viga perimetral*

### 2.4.4.2. Chasis doble viga perimetral cerrado

Es una variante del chasis de doble viga, el cual apareció con anterioridad.

En este caso, además de disponer de las dos vigas que abrazan al motor en su zona superior por los laterales, parten otros dos tubos del cabezal de dirección hacia la zona inferior del motor y al basculante, haciendo de cuna y con sección muy inferior que las de la doble viga.

Este tipo de chasis se utilizaba en motocicletas deportivas de los años 90 (Figura 40).



*Figura 40. Chasis de Doble viga perimetral cerrado*

#### *2.4.4.3. Chasis monoviga o de espina central*

Podría considerarse como un tipo de chasis tubular en el que el tubo que discurre por la parte superior toma mayor protagonismo, con mayores dimensiones y llega a ser prácticamente una viga. El motor ya no se rodea en la parte inferior por la cuna, sino que queda colgado bajo el perfil tubular o espina central del chasis (Figura 41).

Este monoviga dispone de unos soportes laterales para permitir anclar el motor.



*Figura 41. Chasis Monoviga*

#### 2.4.5. Chasis monocasco

Es el que Vespa ha utilizado durante muchos años (Figura 42). El chasis monocasco auto-portante de chapa estampada hace las funciones de chasis y a la vez de carrocería. Es una técnica que se utiliza mucho en los diseños de automóvil (carrocería autoportante).

Es un tipo de chasis muy inusual en otros modelos de motocicletas, sin embargo lo utiliza alguna moto deportiva como la Kawasaki ZX12R, fabricado en aleación de aluminio, en el que el chasis conforma además parte de la caja de admisión.



*Figura 42. Chasis Monocasco*

#### 2.4.6. Chasis tipo Omega

Es un chasis inusual, la Bimota Tesi (Figura 43) es un ejemplo de un modelo que dispone de este tipo de chasis.

Se denomina así por su parecido con la última letra del alfabeto griego. La horquilla delantera tiene una forma más similar a un basculante aunque permitiendo el giro para cambiar de dirección.

Adicionalmente se utilizan estructuras de entramados tubulares para soportar el cabezal de dirección.



*Figura 43. Chasis tipo Omega*

Una vez vistos los tipos de chasis más comunes, cabe indicar que los más destacables debido a su mayor utilización son los chasis de doble viga, los de simple cuna desdoblada y los de doble cuna.

## 2.5. Reglamento de la competición MotoStudent

A continuación se van a explicar los puntos más importantes del reglamento técnico al que nos tenemos que ceñir durante el proceso de diseño y fabricación del chasis.

### 2.5.1. Requisitos técnicos de la moto

Las motos presentadas para competir en MotoStudent deben ser prototipos de fabricación propia.

El diseño y fabricación de los prototipos presentados deben atenerse a la normativa impuesta en el reglamento, para poder participar en las fases puntuables de la competición.

Los prototipos deberán mantener todas las especificaciones requeridas en el Reglamento Técnico durante todas las pruebas del evento final.

Cualquier incumplimiento de los requisitos técnicos y restricciones deberán ser corregidos y volverse a inspeccionar antes de que la moto pueda participar en cualquier prueba del evento.

### 2.5.2. Requisitos generales del diseño

#### 2.5.2.1. Dimensiones

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando los requisitos básicos expuestos a continuación.

#### 2.5.2.2. Ancho

La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares (Figura 44) debe ser de 450mm.

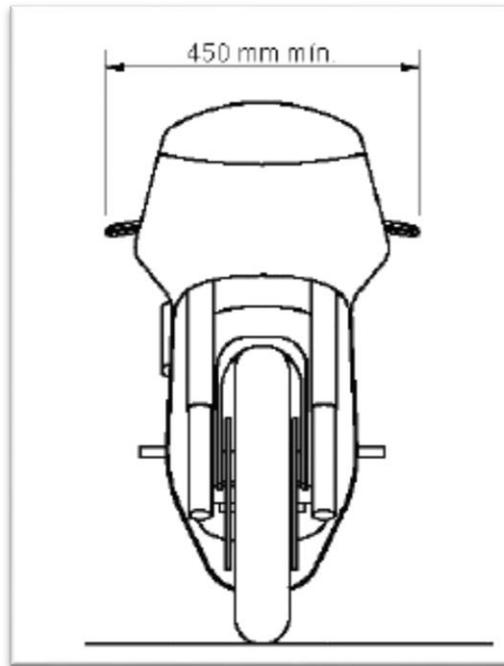


Figura 44. Anchura mínima

### 2.5.2.3. Ángulo de inclinación

El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser  $50^\circ$  (Figura 45). Dicha medición se realizará con la motocicleta descargada (es decir, sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento.

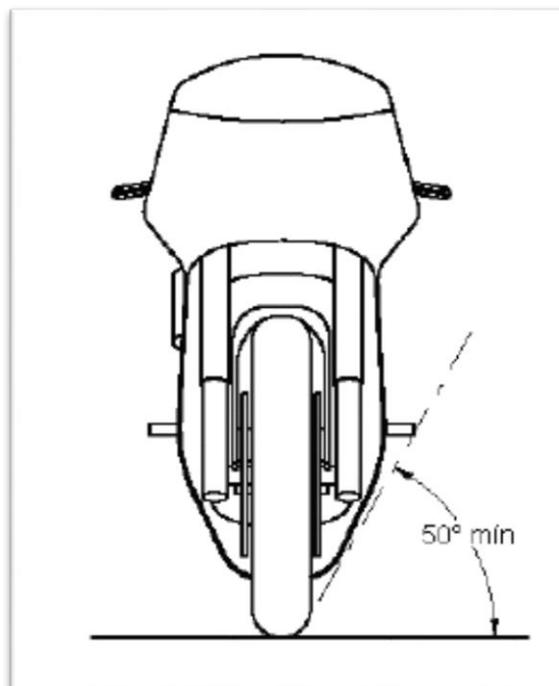


Figura 45. Ángulo de inclinación

#### 2.5.2.4. Distancia libre

La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100mm (Figura 46) en cualquier situación de compresión de suspensiones o reglajes de geometrías.

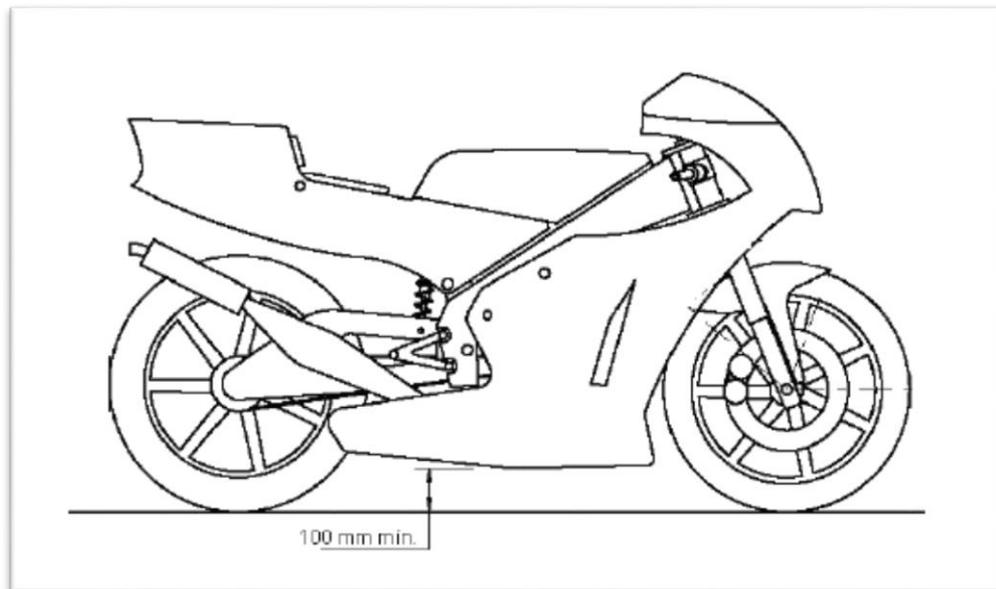


Figura 46. Distancia libre al pavimento

#### 2.5.2.5. Límite frontal

Ningún elemento de la motocicleta podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero (Figura 47).

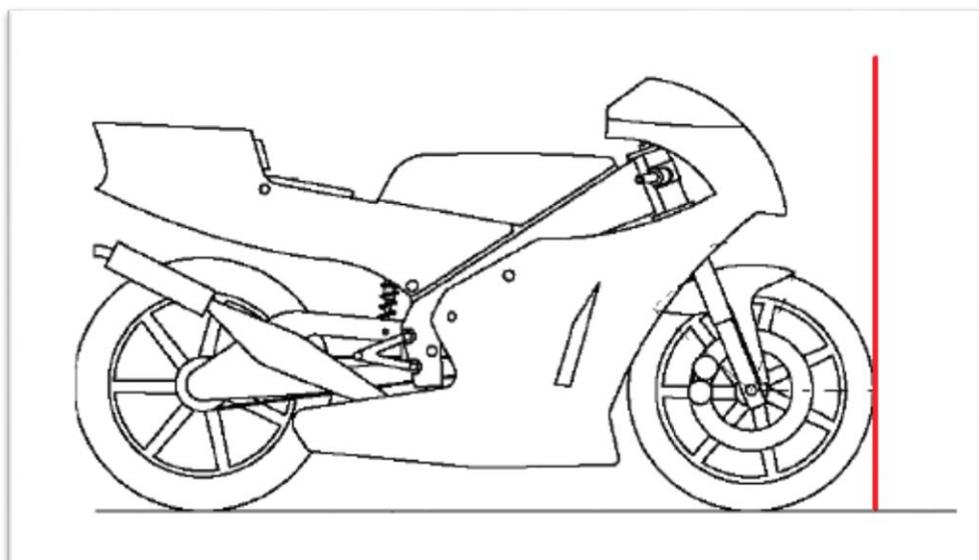


Figura 47. Límite frontal

### 2.5.2.6. Límite posterior

Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero (Figura 48).

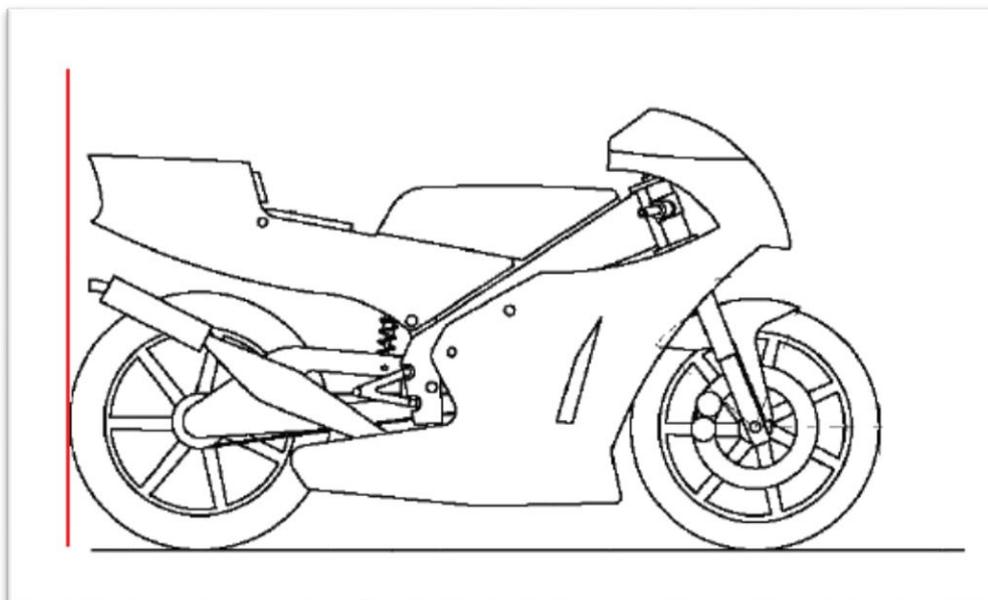


Figura 48. Límite posterior

### 2.5.2.7. Distancia neumáticos

Los neumáticos deberán tener una distancia mínima de 15mm a cualquier elemento de la motocicleta, exceptuando las llantas, en toda posición de la misma y para cualquier reglaje de geometría.

### 2.5.2.8. Anchura asiento

La anchura máxima del asiento no debe rebasar los 450mm (Figura 49). No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia atrás, excepto el sistema de escape.

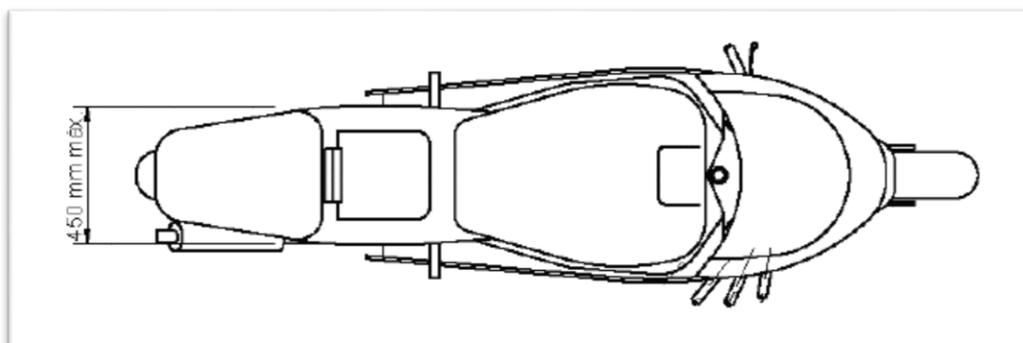


Figura 49. Anchura del asiento

### 2.5.2.9. Carenado

La anchura máxima del carenado será de 600mm (Figura 50).

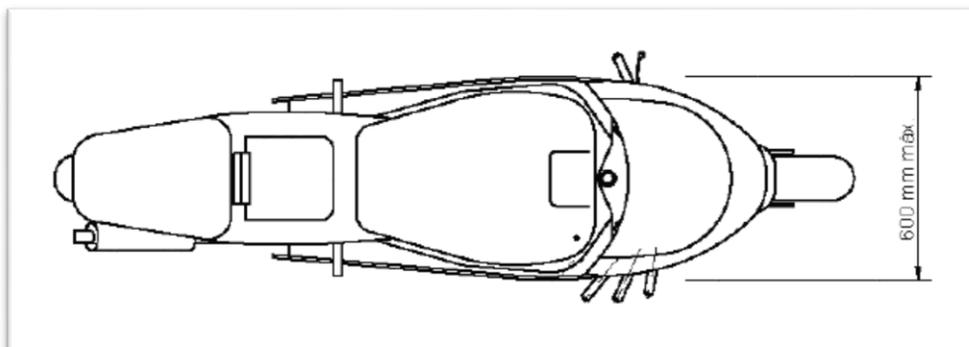


Figura 50. Anchura máxima del carenado

### 2.5.2.10. Altura colín

Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150mm (Figura 51).

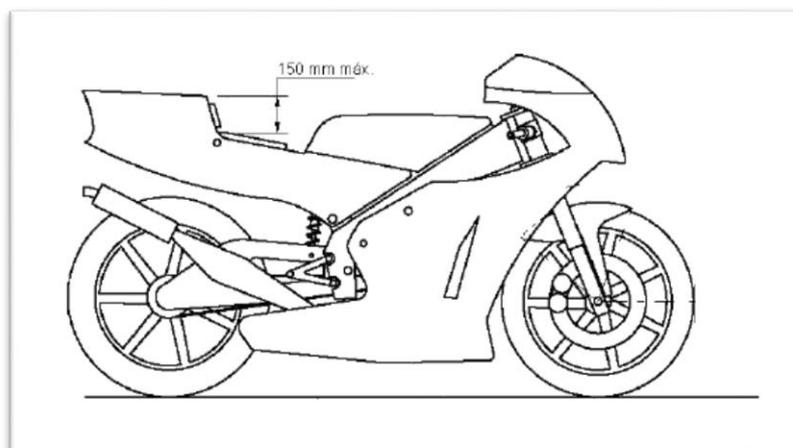


Figura 51. Altura del colín

### 2.5.2.11. Peso

El peso mínimo total de la motocicleta sin piloto será de 95Kg para ambas categorías, incluyendo todos los líquidos que pudieran ser necesarios para el funcionamiento de la moto. Debe incluirse un mínimo de combustible de 1 litro.

En cualquier momento del Evento, el peso total de la motocicleta debe estar por encima del peso mínimo.

Durante la verificación técnica final, al término de la Fase MS2, las motocicletas elegidas serán pesadas en las condiciones en las que finalicen la carrera, y el límite de peso establecido debe ser tomado en esta condición. Nada puede ser añadido a la motocicleta, incluido cualquier tipo de líquido.

Durante las sesiones de entrenamiento, los pilotos pueden ser llamados para controlar el peso de sus motocicletas. En cualquier caso el piloto debe cumplir con esta solicitud.

El uso de lastre tanto móvil como fijo está permitido para alcanzar el peso mínimo. Dicho lastre debe ser declarado a los comisarios técnicos durante las verificaciones previas.

El lastre móvil deberá ir correctamente sujeto al chasis, de forma que no pueda desprenderse del conjunto en caso de choque o caída. Puede ser instalado mediante bridas o atornillado.

#### 2.5.2.12. Ergonomía

El diseño de la moto deberá estar dentro de unos límites de ergonomía que correspondan a un piloto de estatura y peso medios.

Está permitida la instalación de elementos de mando regulables para mejorar la ergonomía y comodidad del piloto.

Los elementos y símbolos reflejados en el cuadro de instrumentos y mandos, así como las indicaciones del display deben ser perfectamente legibles en la posición normal de conducción.

Tomando el percentil de tallas P95 (que comprende el 95% de la población), la posición de pilotaje de una motocicleta deportiva estándar, en posición normal de conducción (No en posición de máxima velocidad), está comprendida por los siguientes ángulos (Figura 52):

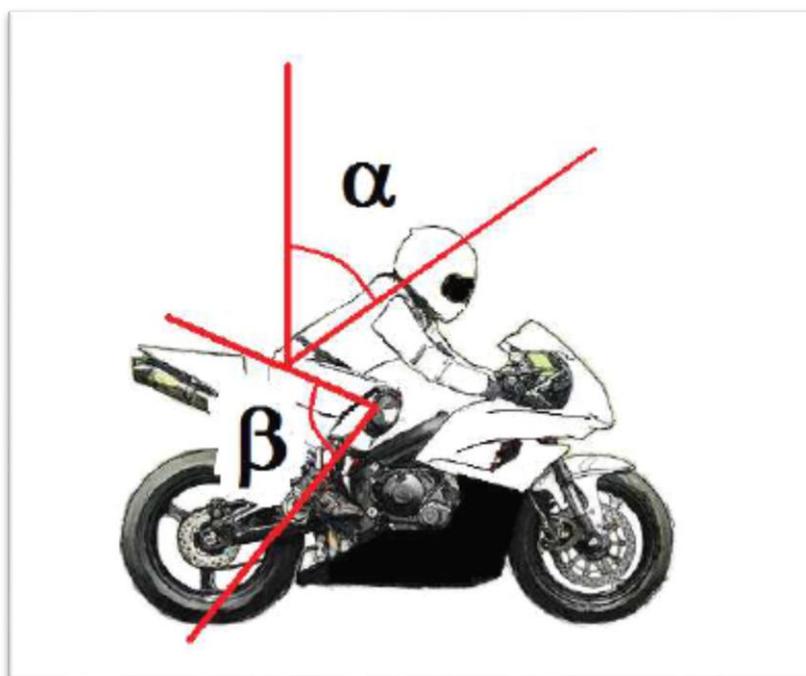


Figura 52. Ergonomía

Donde:

- $\alpha$ : Ángulo de la espalda con la vertical. Para una motocicleta deportiva se recomiendan ángulos entre  $19^\circ$  y  $40^\circ$ .
- $\beta$ : Ángulo de flexión de rodillas. Para una motocicleta deportiva se recomiendan ángulos entre  $65^\circ$  y  $77^\circ$ .

### 2.5.3. Chasis

#### 2.5.3.1. *Objetivo*

No se permite el uso de un chasis comercial, ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo novedoso de fabricación propia.

Se engloba en este artículo el chasis principal, el sub-chasis y el basculante.

No hay limitaciones en el tipo de diseño de chasis, basculante o sub-chasis, siempre y cuando el resultado cumpla con la normativa impuesta en el presente Reglamento.

#### 2.5.3.2. *Materiales*

No está permitido fabricar el chasis en titanio ni aleaciones de titanio. Respecto al resto de materiales no se impone ningún tipo de restricción.

# 3. Metodología de trabajo

## 3.1. Procedimiento a seguir

El procedimiento pasa por, recopilar información acerca de los diferentes tipos de chasis en el mercado, tanto comerciales como de competición, para la correcta elección del chasis que mejor se adapte a nuestras necesidades, teniendo en cuenta las limitaciones económicas, estructurales impuestas por la organización del evento y de fabricación.

Calcular los esfuerzos que sufrirá la motocicleta estáticos, ya sea peso del piloto o las cargas que recibirá en el banco de pruebas del evento. O los esfuerzos dinámicos que necesitará soportar en el circuito. Estos serán esfuerzos de frenada, en paso por curva y en aceleración.

Recopilar información acerca de los materiales disponibles para su fabricación y elegir el que más se adapte a nuestras necesidades.

Diseñar mediante el software Creo Parametric el chasis, para después hacer un análisis estructural de las condiciones de carga y dependiendo de los resultados obtenidos, hacer modificaciones en el diseño del chasis en caso de necesidad y obtener así el mínimo peso de éste con la mayor rigidez y resistencia posibles.

# 4. Desarrollo y resultados del trabajo

## 4.1. Elección del tipo de chasis

A la hora de elegir y construir un chasis hay que tener en cuenta que lo más importante es conseguir un buen balance entre rigidez y ligereza.

Hay que decir, que un chasis muy pesado es más complicado de manejar debido a las inercias mayores que el piloto tiene que controlar requiriendo un mayor esfuerzo físico y por lo tanto sufrirá una mayor fatiga física. En cuanto a la rigidez, un chasis excesivamente rígido es contraproducente ya que puede comportarse de una forma inesperada en determinadas circunstancias. Un ejemplo de ello es el paso de Valentino Rossi por Ducati, se quejaba de esto mismo.

### 4.1.1. Estudio para la elección del tipo de chasis

En el estudio para la elección del tipo de chasis hay que tener muy en cuenta diferentes factores que serán decisivos a la hora de llevar a cabo la fabricación de un buen chasis.

El chasis va orientado exclusivamente al uso en competición utilizando un pequeño motor de 250 centímetros cúbicos y 4 tiempos por lo que va a tener que soportar cargas bastante elevadas.

#### 4.1.1.1. Rigidez

Debido a los esfuerzos que tendrá que soportar el chasis necesitamos que tenga una buena rigidez para que mantenga la geometría. Deberá de resistir las cargas puntuales que sufrirá sin alcanzar el punto de deformación plástica.

Tenemos que conseguir diseñar un chasis lo más rígido posible ya que además tendrá que soportar todos los elementos de la motocicleta y el peso del piloto. Y Si es posible evitar que se deforme en el caso de que sufra alguna caída.

#### 4.1.1.2. Peso

El objetivo es el de conseguir un chasis lo más ligero posible dado que se trata de una motocicleta de competición, y como el resto de equipos utilizan el mismo motor el peso será un factor decisivo que diferenciará unos prototipos del resto. Tenemos un peso mínimo que cumplir en el caso de estar por debajo habrá que lastrar la motocicleta en ciertos lugares lo más bajo posibles para alcanzar el peso deseado manteniendo bajo el centro de gravedad.

#### *4.1.1.3. Accesibilidad*

La accesibilidad es un punto muy importante a la hora de elegir el tipo de chasis ya que se trata de una moto para competición en la cual necesitaremos tener un rápido y fácil acceso a todos los elementos que componen la motocicleta, tanto para cambiar reglajes como para solventar cualquier avería rotura o incluso sustitución de piezas en caso de caídas.

#### *4.1.1.4. Material*

El material que necesitamos tiene que tener una buena rigidez y ser además lo más ligero posible para obtener un chasis ágil y estable. El problema con el que nos encontramos a la hora de la elección es el precio, el presupuesto del que disponemos es escaso por lo que nos va a limitar a la hora de elegir un material u otro.

#### *4.1.1.5. Fabricación*

En cuanto a la fabricación tendremos que evaluar si el método de fabricación es viable o no, ya que como hemos mencionado el presupuesto del que disponemos es limitado y además tenemos que elegir un método que podamos realizar con la herramienta de la que disponemos y que seamos capaces de manejar con nuestros conocimientos y habilidades.

### **4.1.2. Selección del chasis**

En resumen, debemos conseguir una buena rigidez, pero sin dejar de lado conseguir la mayor ligereza posible, para facilitar la maniobrabilidad y la agilidad del piloto, así como reducir la fatiga de este durante su uso.

Tras valorar todos los factores anteriormente mencionados, se llegó a la conclusión de que el chasis que mejor se adaptaba a nuestras necesidades y limitaciones era el de tipo tubular compuesto, ya que combina la ligereza de la estructura tubular con la rigidez que le aportan las pletinas laterales, siendo posible su fabricación con las herramientas a las que teníamos acceso.

#### *4.1.2.1. Ventajas del chasis tubular compuesto*

Este tipo de chasis es fácil de fabricar y además con un precio no muy elevado, y tenemos la ligereza de la estructura tubular con la rigidez que aporta las pletinas laterales.

#### *4.1.2.2. Inconvenientes del chasis tubular compuesto*

Un posible inconveniente en este tipo de chasis en comparación con el resto es la gran cantidad de puntos de soldadura que se necesitan para la unión de todos los tubos por lo que habrá una gran cantidad de puntos en los que se generarán tensiones que pueden provocar fisuras.

## 4.2. Elección de geometrías

Después de haber elegido el tipo de chasis que vamos a fabricar, hay que elegir la geometría general que va a tener la motocicleta, porque el chasis puede tener muchas posibilidades de diseño dentro de un mismo tipo.

Hay que determinar diferentes cotas geométricas antes de empezar a diseñar, para seguir un guión establecido.

Los factores geométricos que deberemos tener en cuenta son los siguientes:

- Distancia entre ejes.
- Avance.
- Lanzamiento.
- Anti-Squat.

### 4.2.1. Distancia entre ejes

La distancia entre los ejes de las ruedas tiene grandes efectos pero, en general, cuanto mayor es la distancia, mayor es la estabilidad direccional y mayor el esfuerzo necesario para negociar las curvas. Existen tres razones para esto.

### 4.2.2. Angulo de giro requerido

Para una curva dada, con una mayor distancia entre ejes, la motocicleta necesita un mayor grado de giro de la rueda delantera hacia el interior de la curva como se muestra en la siguiente figura. Es por ello que se necesitan más esfuerzos para negociar las curvas. Por otro lado, una posible flexión de la rueda delantera por un bache, tendrá un menor efecto en la estabilidad direccional (Figura 53).

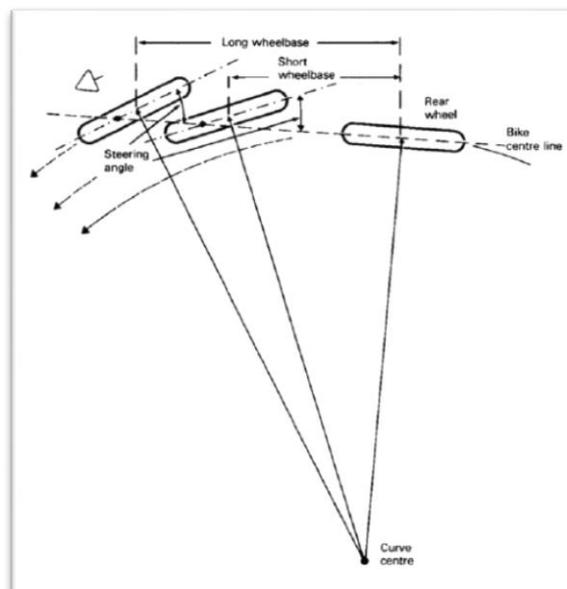


Figura 53. Ángulo de giro

### 4.2.3. Ángulo de la rueda trasera

Para una determinada flexión lateral, el ángulo de la rueda trasera con respecto a la dirección de avance es más pequeña con una mayor distancia entre ejes, esto mejoraría la estabilidad direccional (Figura 54).

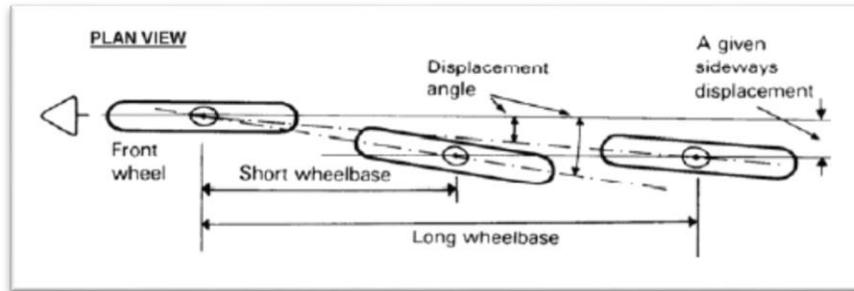


Figura 54. Ángulo rueda trasera

### 4.2.4. Efectos de la inercia

La distancia entre ejes tiene un efecto directo sobre la transferencia de carga durante una frenada o una aceleración. Para una altura dada del centro de gravedad, una mayor distancia entre ejes supondrá una menor transferencia de pesos. Además para una mayor distancia entre ejes la moto se volverá más estable, pero será más difícil a la hora de moverla, debido al aumento de los momentos de inercia de los planos de cabeceo y guiñada.

### 4.2.5. Avance

El avance es la distancia entre el centro de la huella de contacto del neumáticos y el punto en el cual el eje de dirección intersecta con el suelo (Figura 55). Sin embargo, resultaría más lógico medir el avance como la distancia entre la huella de contacto del neumático y el eje de dirección en ángulo recto con respecto a ese eje (Figura 56). El avance real es aproximadamente el 90% del avance en el suelo.

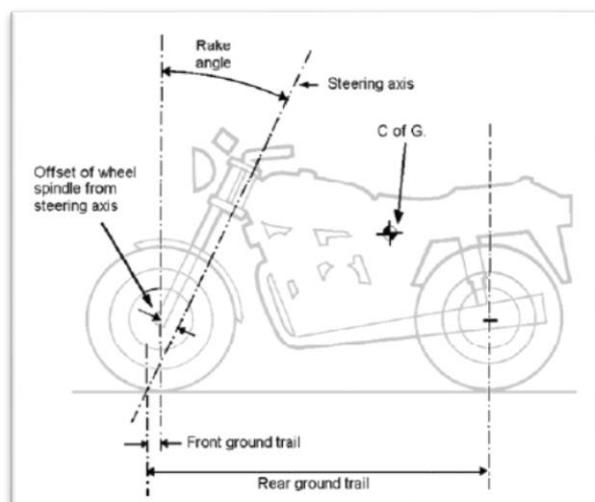


Figura 55. Avance

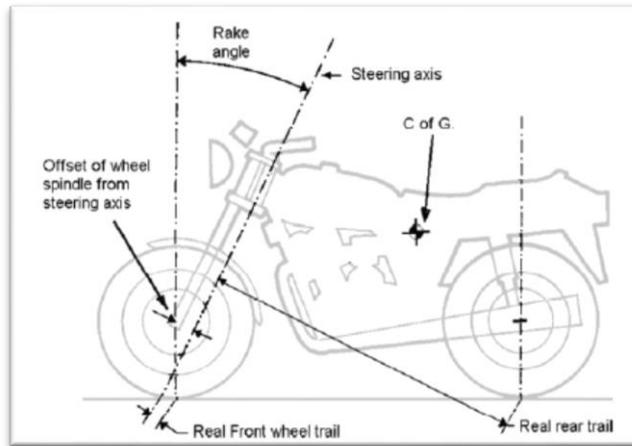


Figura 56. Avance real

La principal función del avance es la de dotar a la motocicleta de una cierta estabilidad direccional, aunque también es importante en el inicio de la fase de inclinación. Podemos ver tanto en las ruedas delanteras como en las traseras que tocan el suelo por detrás del punto donde el eje de dirección lo hace, y eso provoca un efecto de autocentrado en ambas ruedas. Este avance hace que cualquier fuerza que se genere sobre el neumático cree un momento alrededor del eje de dirección que es precisamente el que ayuda a conducir la moto. Existirán dos tipos de avances.

- Avance positivo (Figura 57): es aquel en el que la huella de contacto queda por detrás del eje de dirección, generando un momento corrector que girará la dirección de forma que ayude a la rueda a ir en la dirección deseada. Por ellos si la dirección se girara por algún motivo imprevisto, el avance positivo se encargaría de corregirlo de inmediato proporcionando estabilidad.

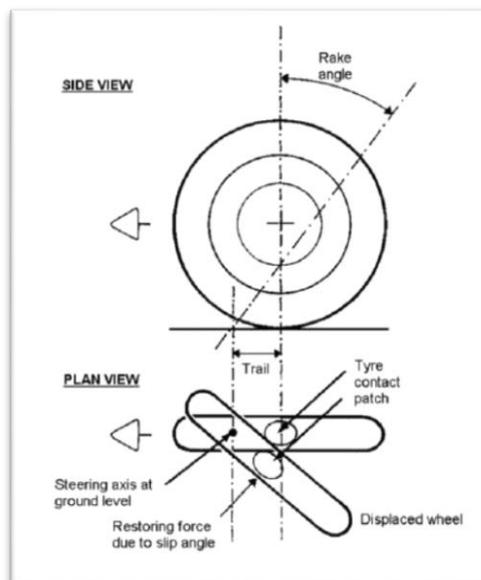


Figura 57. Avance positivo

- El avance negativo es aquel en el que la huella del contacto de la rueda queda por delante del eje de dirección, creando un momento que reforzaría la perturbación inicial y convertiría a la motocicleta en direccionalmente inestable.

La rueda trasera tiene un avance mucho mayor, pero aun así la rueda delantera es mucho más determinante. Y esto se debe al ángulo de deriva de la rueda trasera ya que en la rueda trasera será mucho menor (Figura 58).

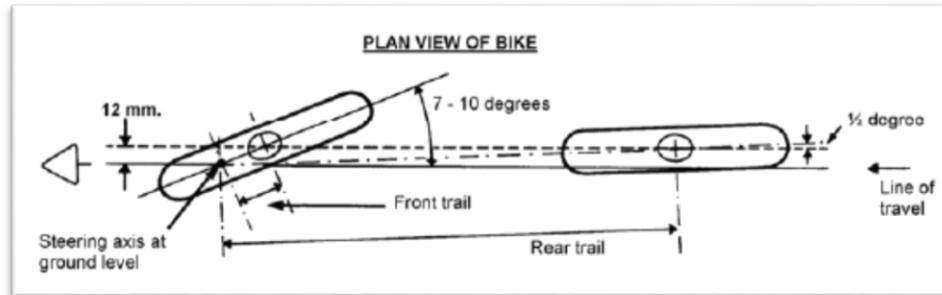


Figura 58. Ángulo de deriva

En la rueda delantera los avances más típicos oscilan entre los 50-100mm, y en el caso de la rueda trasera oscilan entre los 1300-1500mm. Haciendo pequeñas variaciones de los avances se pueden provocar grandes cambios en la estabilidad de la motocicleta. Además en función del grado de inclinación de la motocicleta, el ángulo de giro o el radio del perfil del neumático, los avances varían.

La siguiente gráfica (Figura 59) muestra diferentes combinaciones en función del ángulo de inclinación y los grados de giro de la dirección, la zona delimitada de gris corresponde a las situaciones en las que es improbable que sucedan.

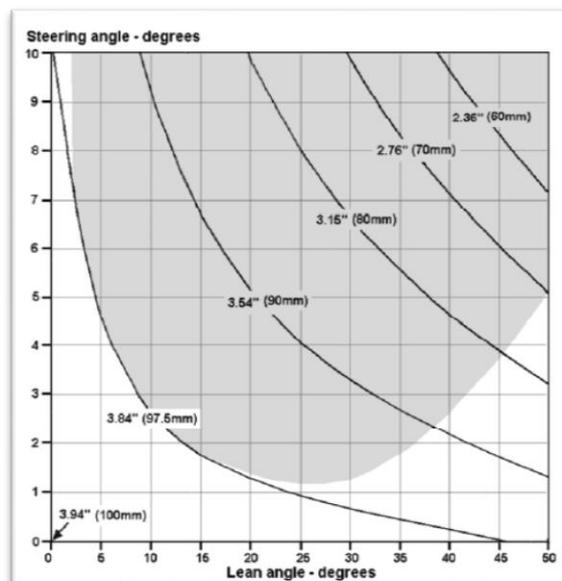


Figura 59. Gráfica de avances

La conclusión que podemos extraer de todo esto es que a mayor avance, aumentamos el momento y obtenemos mayor estabilidad en línea recta pero la motocicleta tendrá menor agilidad en curva. Y a menor avance menor momento y la moto pierde estabilidad en línea recta pero gana agilidad en el paso por curva.

#### 4.2.6. Ángulo de lanzamiento

El ángulo de lanzamiento es el ángulo que forma la pipa de dirección con la normal de la rueda delantera. Este ángulo es el que determina el avance que tendrá la rueda delantera. Años atrás los ángulos oscilaban entre los 23° y los 30°. Pero actualmente los ángulos utilizados en la mayoría de las motos deportivas oscilan entre los 20° y los 23°, antes considerados inestables.

En las últimas décadas había una tendencia de mover el peso de la moto hacia el tren delantero. Y lo hacían modificando la posición del piloto, llevándoselo hacia delante. Pero esto es más fácil de conseguir con la pipa de dirección más adelantada y un ángulo de lanzamiento menor.

En la imagen de la izquierda se muestra un sistema convencional, en la imagen central ángulo de lanzamiento cuando no existe descentramiento y en la imagen de la derecha un ángulo de lanzamiento de 0° que proporciona un descentramiento negativo (Figura 60).

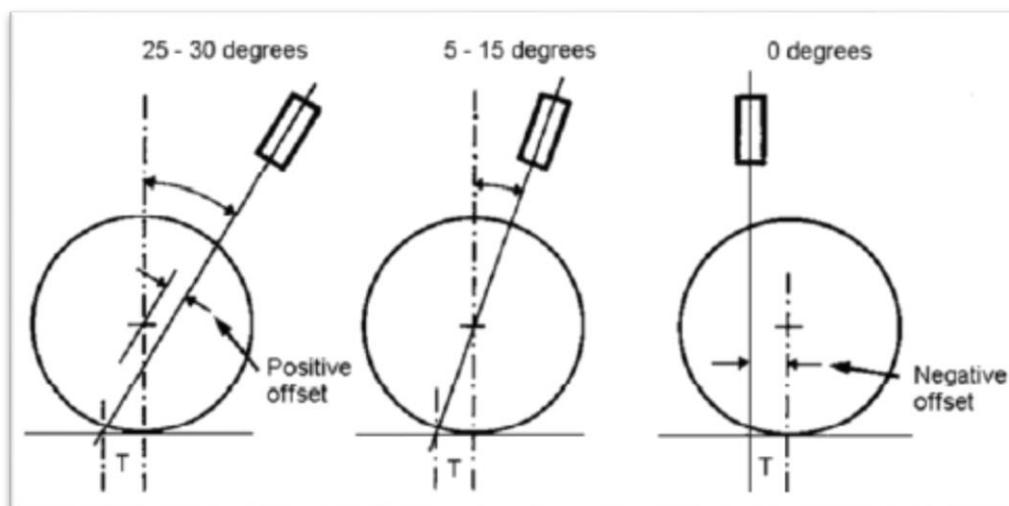


Figura 60. Ángulos de lanzamiento

Actualmente en competición se utilizan pipas de dirección de geometría variable mediante el uso de excéntricas para modificar el ángulo de lanzamiento. En nuestro caso vamos utilizar una pipa de dirección de este tipo por lo que podremos variar tanto el avance como el ángulo de lanzamiento de la motocicleta.

A continuación (Figura 61), se muestra una gráfica en la que se puede ver las combinaciones posibles de avance, lanzamiento y ángulo de giro de la dirección con un ángulo de giro máximo de 80°. En la zona gris podemos ver cuáles de ellas darán como resultado un avance negativo.

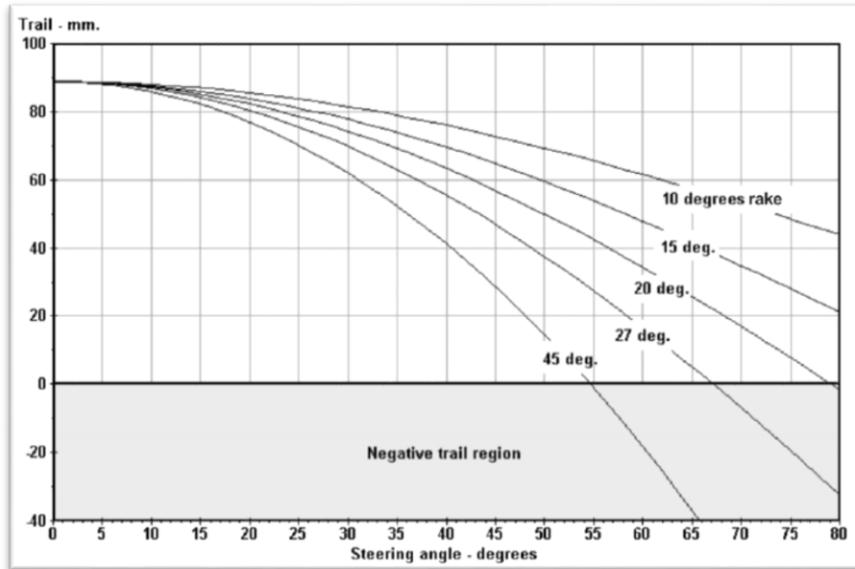


Figura 61. Combinaciones de avance, lanzamiento y ángulo de giro

También hay que tener en cuenta que con una motocicleta en posición vertical y avance positivo, la pipa bajará en función del ángulo de giro de la dirección. A mayor ángulo de lanzamiento, mayor caída. Este efecto tiende a trabajar en contra del efecto autoalineante del lanzamiento, ya que para volver a girar el manillar hasta la posición de línea recta, hay que levantar el considerable peso que soporta la pipa de dirección. Todo esto se observa mejor con un ángulo de lanzamiento exagerado de  $90^\circ$  (Figura 62).

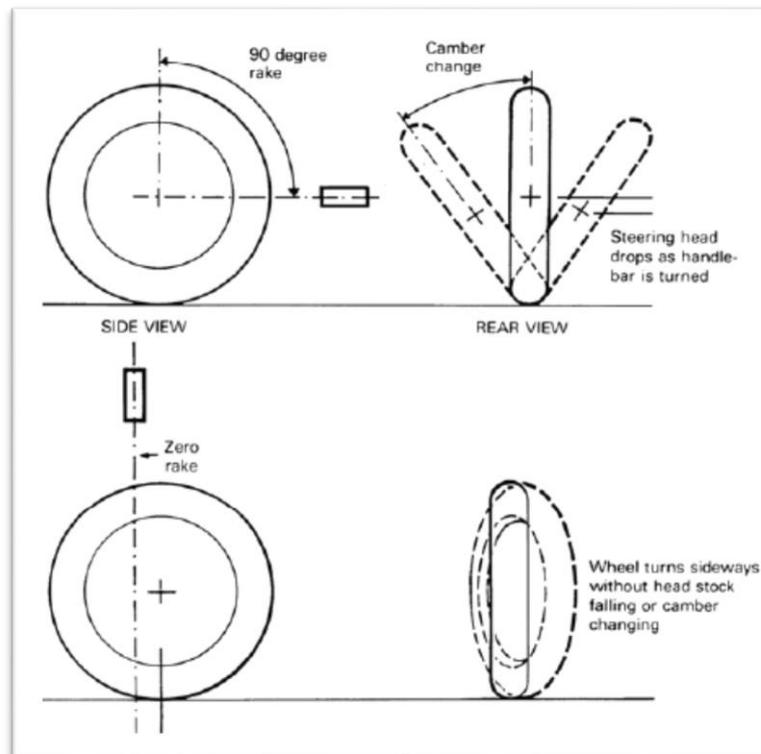


Figura 62. Ángulos de lanzamiento exagerados

#### 4.2.7. Anti-Squat

El anti-squat son una serie de líneas de fuerza que la geometría de la motocicleta debe cumplir para evitar que la rueda delantera tienda a levantarse del asfalto en los instantes de máxima aceleración.

Cuando la motocicleta acelera, la masa suspendida es empujada por el basculante y al mismo tiempo es estirada por la cadena. Ambas fuerzas pueden ser descompuestas en componentes verticales y horizontales. La suma de las fuerzas horizontales corresponde a la fuerza de la aceleración (Figura 63).

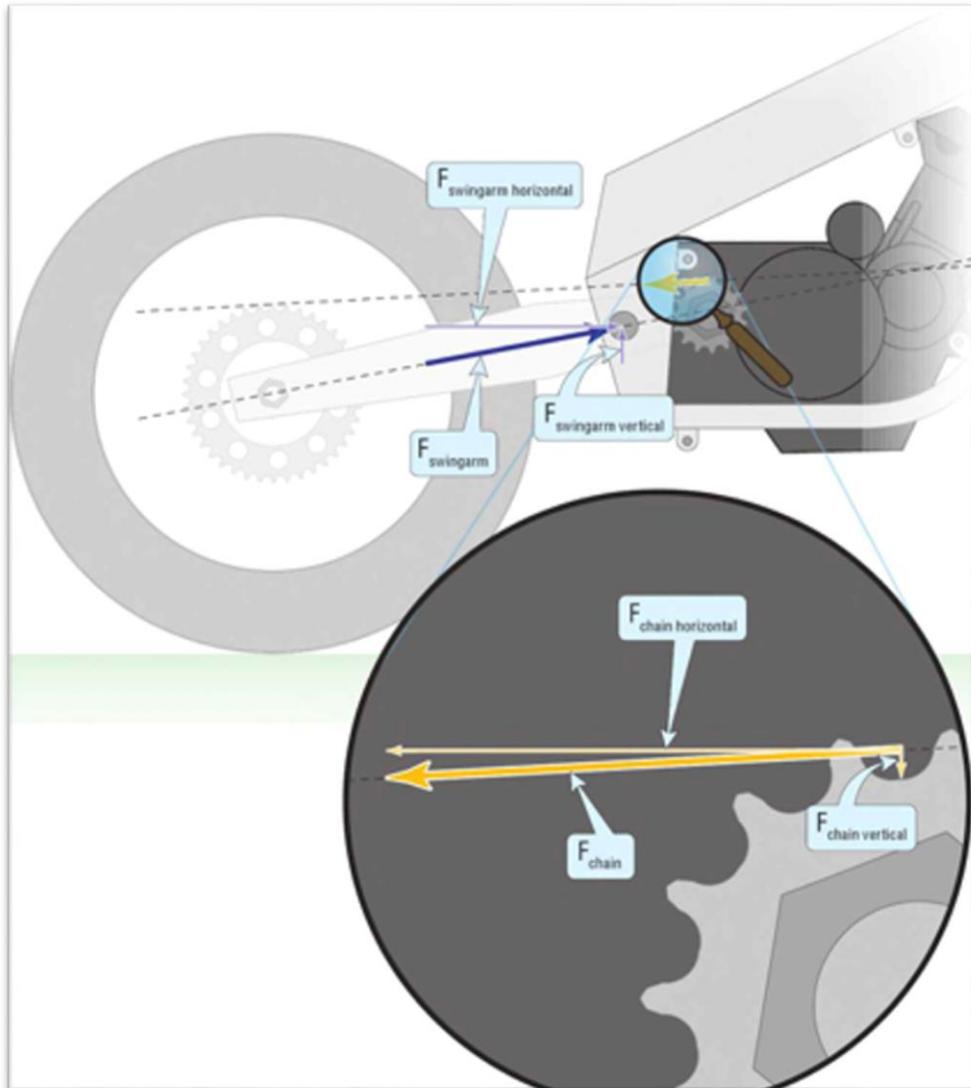


Figura 63. Suma de fuerzas Anti-Squat

El centro instantáneo de fuerza (IFC) está localizado en la intersección del eje del basculante y la cadena (Figura 64). El ángulo de anti-squat va desde el centro del contacto de la rueda trasera con el asfalto y pasa por el centro instantáneo de fuerza. A mayor ángulo, mayor anti-squat (Figura 65).

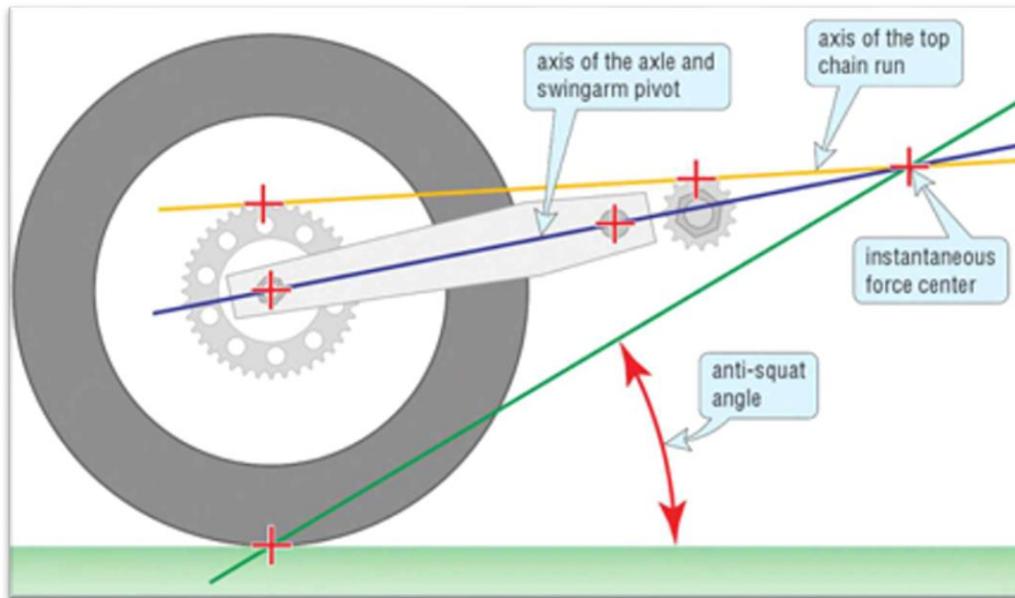


Figura 64. Centro Instantáneo de Fuerza IFC

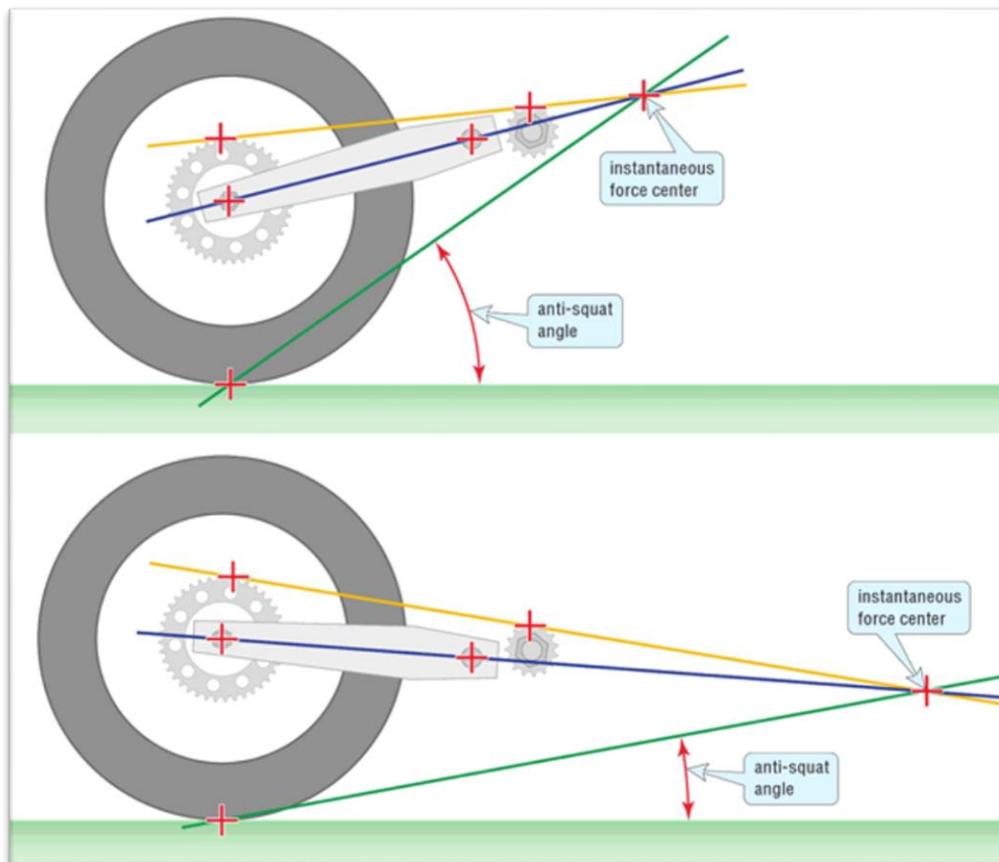


Figura 65. Ángulo Anti-Squat

Arbitraria y realísticamente hemos elegido como nuestro centro de masas (CG) la mitad de distancia entre ejes en vertical y la mitad de distancia entre ejes en horizontal

(Figura 66). Si aceleramos con 1g, la rueda delantera se levantará y en ese instante la carga se transferirá por completo a la suspensión trasera. Para separar estas fuerzas de la suspensión necesitamos soportar este extra de carga con la fuerza anti-squat (Figura 67).

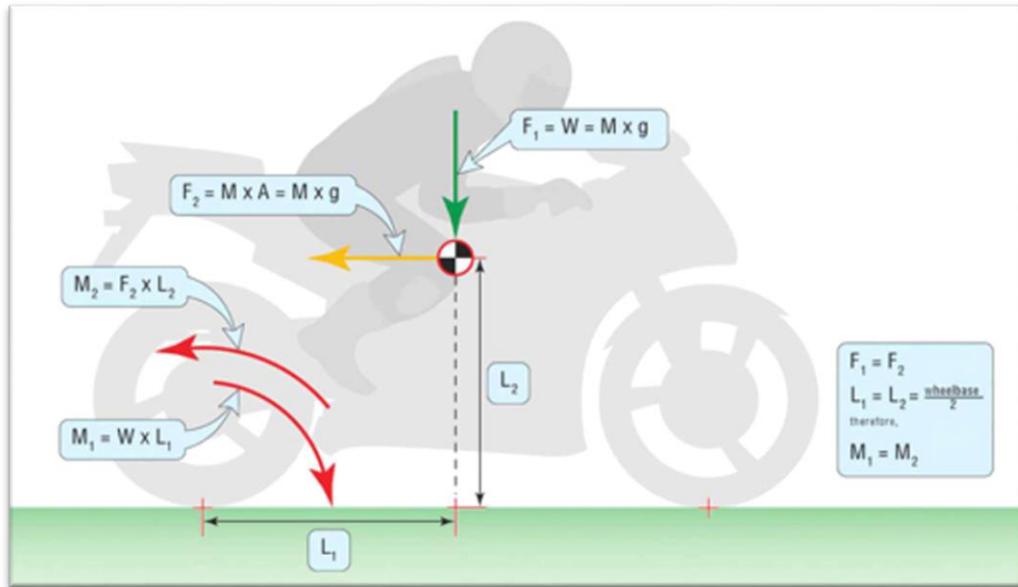


Figura 66. Centro de masas

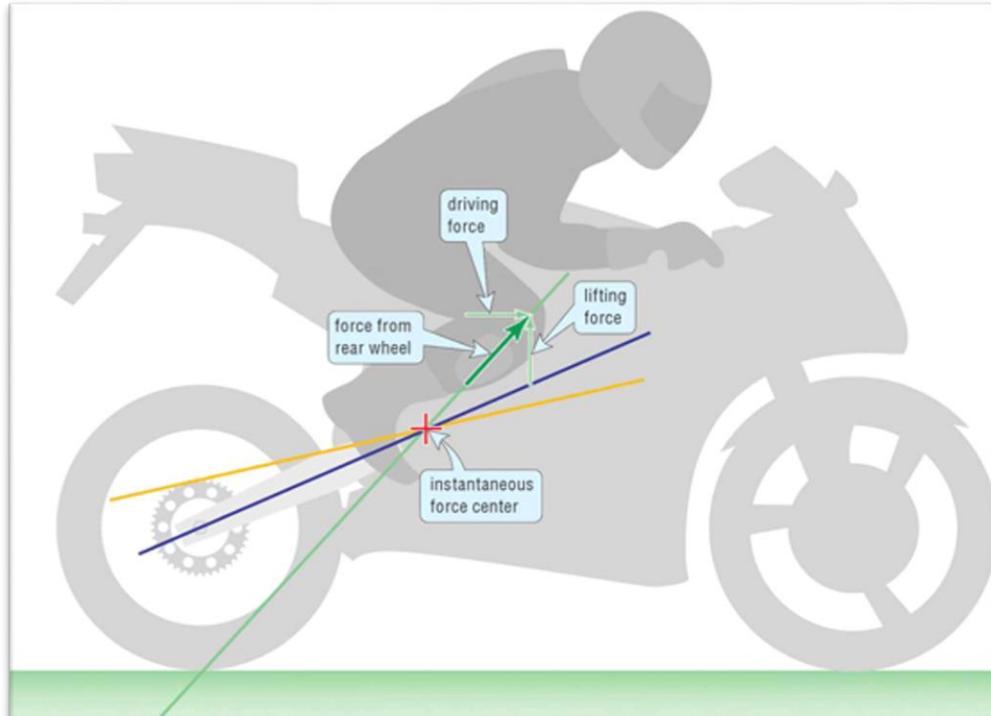


Figura 67. Fuerza Anti-Squat

Cuando el ángulo de anti-squat está por debajo del CG, la componente de elevación vertical disminuye (Figura 68).

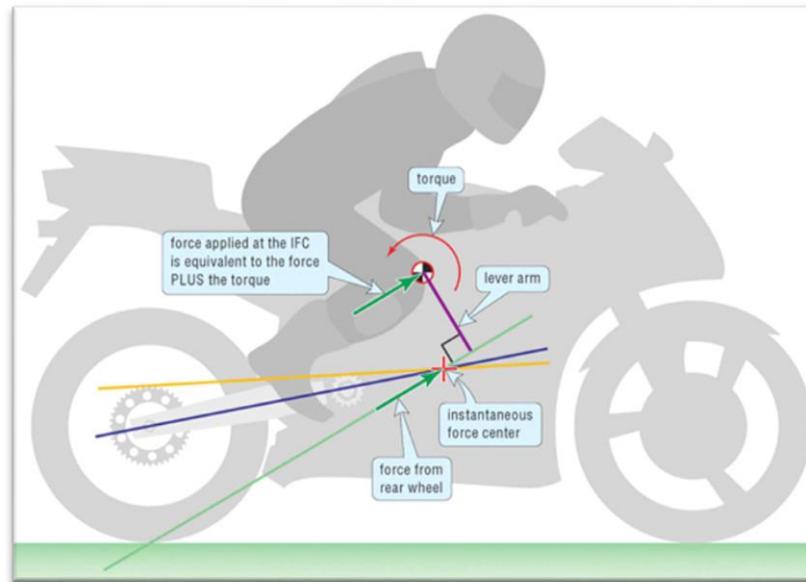


Figura 68. Ángulo Anti-Squat por debajo del centro de gravedad

Si la línea anti-squat pasa por el CG, este tendrá el doble de anti-squat que necesitamos y lo llamaremos 200% anti-squat. La línea del 100% anti-squat tendrá la mitad de la pendiente. Para la distribución del 50/50 de peso hemos elegido, la línea del 100% anti-squat cortaría una línea vertical que sube del eje delantero a la altura del CG (Figura 69).

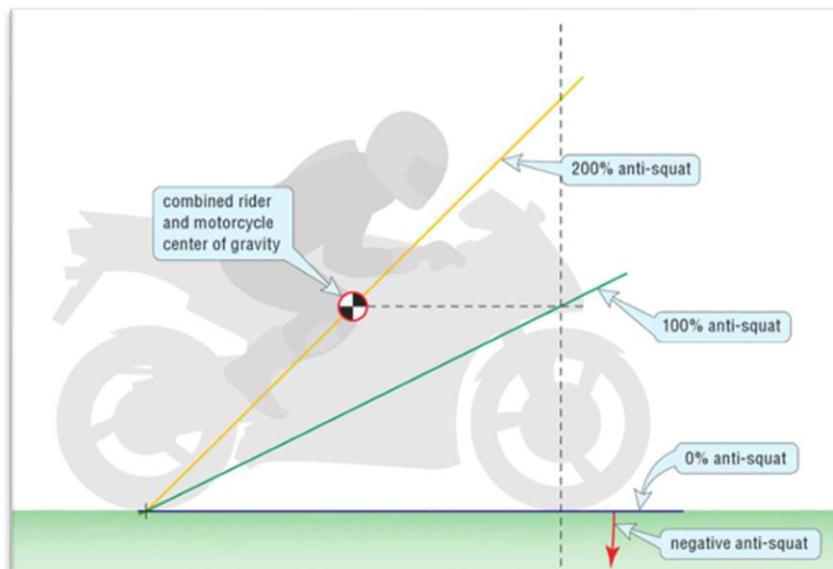


Figura 69. Porcentajes Anti-Squat

#### 4.2.8. Geometría elegida

Una vez vistos todos los parámetros geométricos hay que decir que no existe un diseño perfecto, y que existen pequeñas variaciones en cuanto a geometrías entre los fabricantes más importantes de motocicletas del mundo. Por eso nos vamos a basar en los principales modelos de motocicletas deportivas de baja cilindrada del mercado.

A continuación se muestran la distancia entre ejes y los ángulos de lanzamiento de los diferentes modelos.

- Aprilia RS 125
  - 1345 mm
  - 23°
- Yamaha YZF R125
  - 1355 mm
  - 23°
- Derbi GPR 125
  - 1355 mm
  - 23°
- Cagiva Mito 125
  - 1375 mm
  - 22°50'
- Honda NSF 250R
  - 1245 mm
  - 22°36'

Se puede observar como tenemos prácticamente las mismas geometrías en todos los modelos.

El ángulo de lanzamiento oscila alrededor de los 23° en todas.

Y en cuanto a la distancia entre ejes, se observan más diferencias pero todas están comprendidas entre los 1245 mm y los 1375 mm.

Teniendo todo esto en cuenta hemos decidido la siguiente geometría básica:

- **Distancia entre ejes:** 1360 mm
- **Ángulo de lanzamiento:** 24°

Aunque hay que decir que esta geometría no va a ser invariable porque como anteriormente se ha mencionado montaremos un sistema de excéntricas en la pipa de la dirección para poder variar estas cotas y así poder ajustar la motocicleta en función de las necesidades de las pruebas, ya sean éstas de agilidad en la ginkana o de velocidad en el trazado de MotorLand.

### 4.3. Análisis de esfuerzos sufridos por la motocicleta

Necesitamos realizar un análisis de los esfuerzos que sufrirá el chasis en diferentes situaciones de rodaje. Estos análisis son necesarios para definir la geometría de la motocicleta antes de comenzar con el diseño del mismo mediante el software CREO PARAMETRIC. Para ello necesitamos definir unas hipótesis, y puesto que no disponemos de equipo de telemetría para la toma de datos y existe un gran número de variables desconocidas, estos datos se van a suponer.

Para cada análisis vamos a considerar el caso límite de cargas que tendrá que soportar la motocicleta.

#### 4.3.1. Esfuerzos dinámicos

##### 4.3.1.1. Fuerzas soportadas en frenada máxima con el freno delantero

La hipótesis de frenada máxima, es la situación más exigente con el bastidor ya que es la más repetida en el uso habitual en competición.

Se va a realizar un ensayo utilizando solo el equipo delantero ya que es el más exigente en cuanto a cargas con el chasis.

En este caso solo se utiliza el equipo de frenado delantero para que el momento producido en la pipa de dirección sea lo más grande posible. Si se utilizase también el freno trasero se reduciría el momento aplicado por la horquilla en la pipa de dirección.

Vamos a analizar el instante anterior en el que la rueda trasera tiende a perder el contacto con el asfalto, por lo que la fuerza normal  $N_2$  la despreciamos (Figura 70).

Calcularemos la fuerza máxima que se generará con un coeficiente de fricción del neumático con el asfalto de 1,2 ya que el asfalto es el de un circuito y los neumáticos utilizados son unos Dunlop de tipo slick fabricados para uso exclusivo en competición, por lo que proporcionan un gran agarre. También vamos a hacer una estimación con la masa del conjunto motocicleta-piloto que será de 180 Kg.

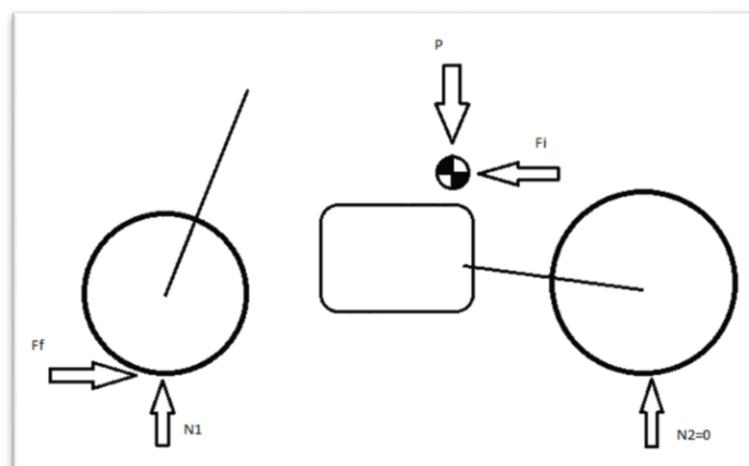


Figura 70. Fuerzas que actúan durante la frenada

$$\sum Fy = 0$$

$$N_1 - P = 0$$

La fuerza normal  $N_1$  es igual al peso de la motocicleta:

$$N_1 = 180 * 9.81 = 1766(N)$$

$$\sum Fx = 0$$

$$Fi - Ff = 0$$

La fuerza de la inercia  $Fi$  es igual a la fuerza de fricción  $Ff$ :

$$Fi = Ff$$

La fuerza que genera la inercia de la motocicleta es igual a la masa de esta por la desaceleración durante la frenada:

$$Ff = m * a$$

La fuerza de fricción es igual a la normal multiplicada por el coeficiente de fricción:

$$Ff = N_1 * \mu$$

$$Ff = 2119(N)$$

Obtenemos que con una masa de conjunto moto-piloto de 180 Kg y un coeficiente de fricción de 1,2 la fuerza máxima que se genera sobre el neumático delantero sin que este deslice sobre el asfalto es de 2119 N.

Sustituimos la fuerza de fricción y la masa de la motocicleta:

$$2119 = 180 * a$$

$$a = 2119/180$$

$$a = 11,7(m/s^2)$$

La deceleración límite máxima que alcanzará la motocicleta con los valores utilizados y suponiendo que el equipo de frenado utilizado sea capaz de lograr esa fuerza de frenado, será de  $11,7m/s^2$ .

El resultado de las fuerzas derivadas de esta hipótesis, es un momento torsor aplicado en la horquilla, que tiene como resultante para nuestro estudio dos fuerzas iguales y de sentido contrario, aplicadas en los extremos de la pipa de dirección. El sentido de la fuerza en la parte superior de la pipa será el mismo que el de la marcha, mientras que en el extremo inferior, el sentido de la fuerza será contrario.

#### 4.3.1.2. Análisis de fuerzas en aceleración máxima

En este caso vamos a considerar el instante exacto en el que la rueda delantera tiende a perder el contacto con el asfalto (Figura 71).

Para analizar las fuerzas que soporta la motocicleta durante la máxima aceleración vamos a hacer el mismo supuesto que en el caso anterior, buscaremos el límite en el que el neumático no desliza y el coeficiente de fricción que consideraremos será de 1,2.

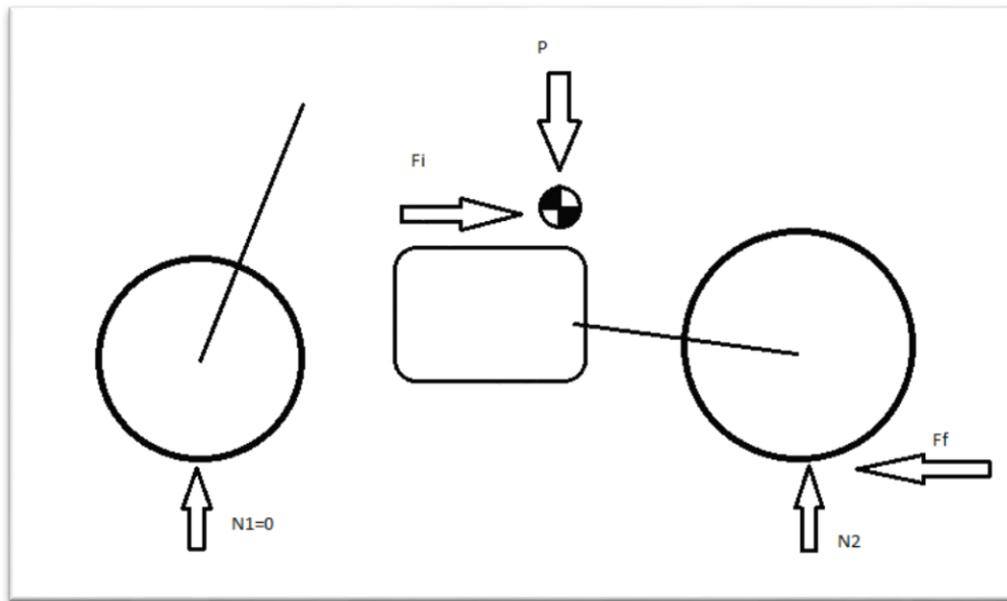


Figura 71. Fuerzas que actúan durante la aceleración

$$\sum F_y = 0$$
$$N_2 - P = 0$$

La fuerza normal  $N_2$  es igual al peso de la motocicleta:

$$N_2 = m * g$$

Sustituyendo los valores de masa y gravedad obtenemos el resultado de la fuerza normal  $N_2$ :

$$N_2 = 1766(N)$$
$$\sum F_x = 0$$
$$F_f - F_i = 0$$

La fuerza de fricción  $F_f$  es igual a la fuerza de la inercia  $F_i$ :

$$F_f = F_i$$

La fuerza de fricción es igual a la normal  $N_2$  multiplicada por el coeficiente de fricción:

$$F_f = N_2 * \mu$$

$$F_f = 2119(\text{N})$$

Sustituyendo la fuerza de fricción  $F_f$  y la masa de la motocicleta obtenemos la aceleración que sufrirá la motocicleta.

$$a = 2119/180$$

$$a = 11,77\text{m/s}^2$$

Como hemos mencionado antes, buscamos los casos límites que podría llegar a soportar una motocicleta y después dimensionar el chasis. Sabemos que un motor de 250cc y cuatro tiempos nunca podrá alcanzar esta aceleración.

#### 4.3.1.3. Fuerzas soportadas en curva

Para este cálculo vamos a suponer diferentes datos de partida. Los datos los vamos a sacar del libro de John Robinson "Motocicletas Chasis". La inclinación de la motocicleta será de  $45^\circ$ , el radio de giro de la curva será de 30.4 metros y la velocidad de 17.2 m/s.

Tenemos cuatro fuerzas principales (Figura 72), si hacemos la suma vectorial de la fuerza normal  $N$  y la fuerza de fricción  $F_f$  y la suma vectorial de las fuerzas peso  $P$  y fuerza centrípeta  $F_c$ , estos vectores resultantes estarán alineados tanto en la rueda delantera como en la trasera. Pero el punto de aplicación de fuerza entre los neumáticos y el asfalto estará desplazado del centro del neumático debido a la inclinación de la motocicleta. Este efecto lo compensa el piloto descolgándose de la motocicleta en el paso por curva, desplazando el centro de gravedad y provocando así un esfuerzo de torsión.



Figura 72. Fuerzas que actúan en el paso por curva

Se calcula la fuerza P:

$$P = m * g$$

$$P = 180 * 9.81$$

$$P = 1766N$$

La fuerza normal N es igual a la fuerza peso P por lo tanto:

$$N = P$$

$$N = 1766N$$

La fuerza centrípeta es igual a:

$$F_c = \frac{m * v^2}{r}$$

$$F_c = 960N$$

Calculo del momento torsor provocado por el descentramiento de las fuerzas al inclinar la motocicleta:

$$F_t = \sqrt{F_c^2 + N^2}$$

$$F_t = 1964N$$

$$M = F_t * 0.07$$

$$M = 137Nm$$

#### 4.3.2. Esfuerzos estáticos

##### 4.3.2.1. Verificación de seguridad en banco

La moto se someterá a un proceso de verificaciones en banco mediante una serie de pruebas detalladas a continuación.

##### 4.3.2.1.1. Banco de ensayo

Se someterá a la moto a una serie de fuerzas horizontales y verticales en un banco de ensayos para comprobar la rigidez del chasis, correcto ensamblaje, geometrías y trabajo de suspensiones.

Se aplicarán sobre la moto las siguientes fuerzas:

- Carga horizontal progresiva en rueda delantera: 300Kg
- Carga vertical progresiva sobre el asiento: 250Kg

Estas cargas se aplicarán sucesivamente 2 veces consecutivas y se verificará que la medida es repetitiva en cuanto a deformación con un error entre medidas inferior a un 10% y que no aparece ningún tipo de fallo o fisura en los componentes estructurales o elementos de unión.

Descripción gráfica de la prueba (Figura 73):

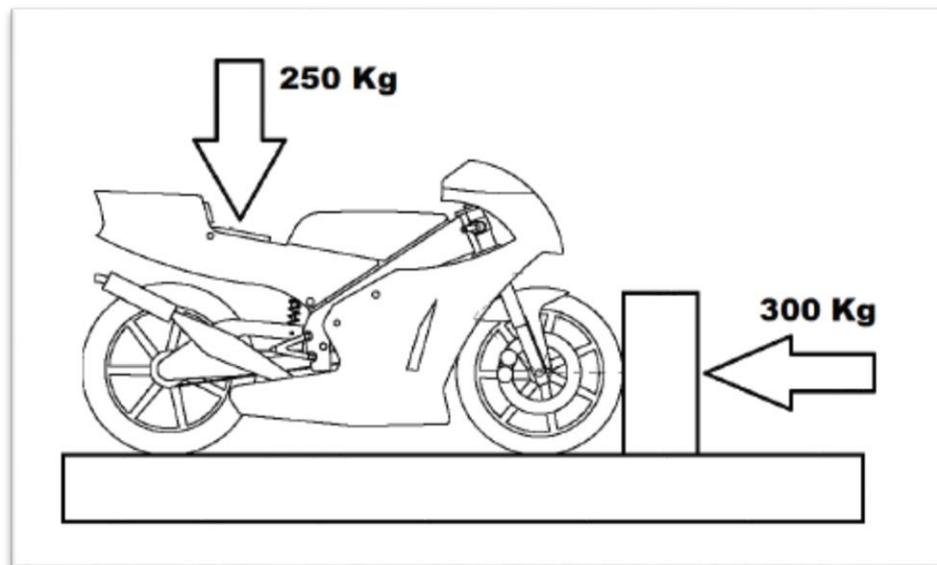


Figura 73. Cargas aplicadas

Carga vertical sobre el asiento del piloto:

$$250(Kg) * 9.81\left(\frac{m}{s^2}\right) = 2452.5(N)$$

Si repartimos la carga sobre las dos ruedas al 50% obtenemos una fuerza de 1226N sobre cada una.

Carga horizontal sobre la rueda delantera:

$$300(Kg) * 9.81 \left(\frac{m}{s^2}\right) = 2943(N)$$

#### 4.4. Material

Existen muchos materiales diferentes a la hora de elegir con cual fabricar el chasis de una motocicleta. Para la elección hay que tener en cuenta las características de cada uno de ellos.

- Rigidez
- Densidad
- Resistencia
- Vida de fatiga
- Costes del material
- Procesos o métodos de unión necesarios

El tipo de chasis más sencillo de fabricar para su uso en una motocicleta es el de tipo tubular.

##### 4.4.1. Tipos de material

###### 4.4.1.1. Acero

El acero es una aleación (combinación o mezcla) de Hierro (Fe) y Carbono (C), la cantidad de carbono puede variar entre el 0.03% y el 2.14%.

Además en función de los tratamientos térmicos a los que sea sometido, varía sus propiedades.

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia.

El acero ofrece diferentes resultados en función de la presencia o ausencia de otros metales. Los efectos de la aleación son los siguientes:

- Mayor resistencia y dureza
- Mayor resistencia al impacto
- Mayor resistencia al desgaste
- Mayor resistencia a la corrosión
- Mayor resistencia a altas temperaturas
- Penetración de temple (aumento de la profundidad a la cual el acero puede ser endurecido)

Los tipos de aleaciones y características que cada una modifica son las siguientes:

#### 4.4.1.1.1. Aceros al Níquel

El Níquel evita la corrosión del acero, mejora la resistencia a la tracción y su tenacidad.

#### 4.4.1.1.2. Aceros al Cromo

El Cromo aumenta su dureza y una mayor penetración del temple, por lo que pueden ser templados al aceite.

#### 4.4.1.1.3. Aceros al Aluminio

El aluminio se utiliza para preservar al acero de la oxidación.

#### 4.4.1.1.4. Acero al Azufre

En los aceros comerciales, el azufre se mantiene generalmente por debajo del 0.05%. Este metaloide se combina con el hierro para formar sulfuro de hierro (FeS). Con la presencia del azufre se mejora la maquinabilidad, esto se debe a la presencia de inclusiones sulfurosas más numerosas, que hacen pedazos las rebabas, reduciendo de esta manera el desgaste de la herramienta (facilitando ser trabajado mediante cortes).

#### 4.4.1.1.5. Acero al Boro

El acero al boro se obtiene mediante el agregado de una pequeña cantidad de boro al acero. El acero es una aleación de hierro y carbono que contiene otros elementos de aleación, los cuales le confieren propiedades mecánicas específicas para su utilización en la industria metalmecánica. Aunque el carbono es el elemento básico a añadir al hierro, otros elementos como el boro, según su porcentaje, ofrecen características específicas para determinadas aplicaciones, como herramientas, cuchillas, soportes, etc.

El boro logra aumentar la capacidad de endurecimiento cuando el acero está totalmente desoxidado. Una pequeña cantidad de boro (0.001%) tiene un efecto marcado en el endurecimiento del acero, ya que también se combina con el carbono para formar los carburos que dan al acero características de revestimiento duro.

#### 4.4.1.1.6. Acero al Cobre

El cobre mejora la resistencia a la corrosión del acero.

#### 4.4.1.1.7. Acero al Manganeso

Este material posee una incomparable capacidad de endurecimiento por deformación plástica y por ello es utilizado en aplicaciones donde se requiere resistencia al impacto y contra la abrasión. El material es unifásico y presenta una estructura austenítica capaz de elevar su dureza desde 180 hasta 900 Brinell sin presentar transformación martensítica (TRIP). Su composición química permite que el mecanismo

de endurecimiento sea únicamente la acumulación de dislocaciones por absorción de energía y por esta razón, las propiedades del material evolucionan localmente permitiendo las piezas adquieren una superficie dura manteniendo su centro tenaz.

#### 4.4.1.1.8. Acero al Molibdeno

El aporte de molibdeno le confiere al acero un mayor endurecimiento y penetración al temple, mejora la tenacidad y las propiedades mecánicas a altas temperaturas y reduce la fragilidad. Se usa en los aceros estructurales, en las partes principales de máquinas, herramientas, ferrocarriles, chasis de vehículos, tractores, aviones y en general en aquellos equipos que necesitan dureza, alta resistencia a la tensión, al impacto y a la fatiga del material.

#### 4.4.1.1.9. Acero al Silicio

Se emplea como desoxidante y actúa como endurecedor en el acero de aleación. Cuando se adiciona a aceros de muy baja cantidad de carbono, produce un material frágil con baja pérdida por histéresis y alta permeabilidad magnética. El silicio se usa principalmente, junto con otros elementos de aleación como manganeso, cromo y vanadio, para estabilizar los carburos.

#### 4.4.1.1.10. Acero al Titanio

Esta aleación se caracteriza por una excelente resistencia a la corrosión y además aumenta la resistencia a altas temperaturas.

#### 4.4.1.1.11. Acero al Tungsteno

Esta aleación se utiliza sobretodo en material para herramientas de alta velocidad como sierras o taladros que sufren altas temperaturas de fricción. Este brinda al acero de una gran dureza y una alta resistencia al desgaste.

#### 4.4.1.1.12. Acero al Vanadio

El vanadio da una buena resistencia a la corrosión y mejora la tenacidad del acero. Se utiliza en aceros para herramientas ya que le brinda de una gran dureza y aumenta la resistencia al impacto y a la fatiga.

#### 4.4.1.1.13. Ventajas del Acero

- Resistencia: el acero tiene una alta resistencia tanto a la compresión como a la tracción.
- Elasticidad: su comportamiento es prácticamente linealmente elástico, cumpliendo con la ley de Hooke hasta cierto punto donde los esfuerzos ya son considerables.

- Tenacidad: tiene una gran tenacidad debido a la enorme capacidad de absorción de energía.
- Ductilidad: es un material muy dúctil. Esto dota al acero con la capacidad de deformarse considerablemente antes de entrar en un estado plástico o de rotura.

#### 4.4.1.1.14. Inconvenientes del Acero

El acero tiene dos grandes inconvenientes:

- Corrosión: este es el principal inconveniente del acero y es que cuando se encuentra a la intemperie este se corroe con facilidad.
- Peso: es un material bastante pesado para su uso en competición.

#### 4.4.1.2. Aluminio

En estado puro, el aluminio es un metal blanco y plateado. Es un material de baja densidad, conductividad eléctrica, punto de fusión y resistente a la corrosión. Estas características lo convierten en un material idóneo para multitud de aplicaciones.

Es un material que requiere una elevada cantidad de energía para su obtención, pero que requiere un coste muy bajo para su reciclado.

Es un material ligero maleable y dúctil que puede ser mecanizado fácilmente y apto para la fundición.

Se oxida muy rápidamente al entrar en contacto con el oxígeno y forma una capa superficial denominada alúmina que lo protege de la corrosión.

##### 4.4.1.2.1. Aleaciones de Aluminio

En función de la aleación se obtienen diferentes características.

**Serie 1000:** El aluminio se presenta casi en su forma pura (99%). Es muy empleado en la fabricación de remates de fachadas, de paneles, en recubrimientos para láminas asfálticas, en cierres y defensas, etc.

**Serie 2000:** Proporción del 2% al 8% de Cobre (Cu). Este tipo de aluminio posee una gran resistencia mecánica. Este nunca es aplicado en la construcción. Con un tratamiento T6 adquieren una resistencia a la tracción de 442 MPa, que lo hace apto para su uso en estructuras de aviones.

**Serie 3000:** Proporción del 1,82 de Manganeseo (Mn), refuerza el aluminio y le da una resistencia a la tracción de 110 MPa. Se utiliza para fabricar componentes con un buen comportamiento frente al mecanizado.

**Serie 4000:** Proporción del 1,65% de Silicio (Si), estos poseen baja fusión y son muy empleados en la fabricación de paneles arquitectónicos para fundición.

**Serie 5000:** Proporción del 10% de Magnesio (Mg), es muy resistente a la corrosión marina y tiene excelente soldabilidad. Es muy empleado en la elaboración de

perfiles extraídos, y los grupos del 5003 es muy usado en la fabricación de perfiles soldables. Posee carga de rotura a la tracción entre 120 y 435 N/mm<sup>2</sup>.

**Serie 6000:** Proporción del 0,5% Magnesio (Mg) y 0,5% Silicio (Si), la aleación que representa los 6063 es muy útil en la elaboración de perfiles extraídos para emplearse en la carpintería de exteriores de obras.

En la (Tabla 1) se ven las diferentes designaciones de las aleaciones de aluminio.

*Tabla 1. Designación de aleaciones del aluminio*

Familia de aluminio	Designación
Aluminio puro, 99% mínimo	1xxx
Aluminio-Cobre	2xxx
Aluminio-Manganeso	3xxx
Aluminio-Silicio	4xxx
Aluminio-Magnesio	5xxx
Aluminio-Magnesio-Silicio	6xxx
Aluminio-Zinc	7xxx
Otros elementos, Al-Sn, etc.	8xxx

#### 4.4.1.2.2. Ventajas del aluminio

- Ligereza: el aluminio debido a su baja densidad es un material muy ligero.
- Durabilidad y resistencia a la corrosión.

#### 4.4.1.2.3. Inconvenientes del aluminio

- Resistencia a la tracción: el aluminio puro tiene una baja resistencia a la tracción. Esto significa que no se necesita mucha fuerza para romperla cuando se estira o se tira. Sin embargo, las aleaciones de aluminio rápidamente con otros elementos, tales como cobre, zinc y manganeso. Estas diversas aleaciones a menudo tienen una mayor dureza y resistencia a la tracción.
- Soldadura: el aluminio presenta dificultad a la hora de soldar. Y con otros materiales la unión tiene que hacerse mediante tornillos o remaches.
- Energía: la producción de aluminio requiere una gran cantidad de energía.

#### 4.4.1.3. Fibra de Carbono

La fibra de carbono es una fibra sintética constituida por finos filamentos de 5–10 µm de diámetro y compuesto principalmente por carbono.<sup>1</sup> Cada fibra de carbono es la unión de miles de filamentos de carbono. Se trata de una fibra sintética porque se fabrica a partir del poliacrilonitrilo. Tiene propiedades mecánicas similares al acero y es

tan ligera como la madera o el plástico. Por su dureza tiene mayor resistencia al impacto que el acero.

La principal aplicación es la fabricación de materiales compuestos, en la mayoría de los casos —aproximadamente un 75%— con polímeros termoestables. El polímero es habitualmente resina epoxi, de tipo termoestable aunque también puede asociarse a otros polímeros, como el poliéster o el viniléster.

#### 4.4.1.3.1. Propiedades

- Muy elevada resistencia mecánica, con un módulo de elasticidad elevado.
- Baja densidad, en comparación con otros materiales como por ejemplo el acero.
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura, conservando su forma, sólo si se utiliza matriz termoestable.

#### 4.4.1.3.2. Precio

Las razones del elevado precio de los materiales realizados con fibra de carbono se deben a varios factores:

- El refuerzo, fibra, es un polímero sintético que requiere un caro y largo proceso de producción. Este proceso se realiza a alta temperatura -entre 1100 y 2500 °C- en atmósfera de hidrógeno durante semanas (o incluso meses) dependiendo de la calidad que se desee obtener, ya que pueden realizarse procesos para mejorar algunas de sus características una vez que se ha obtenido la fibra.
- El uso de materiales termoestables dificulta el proceso de creación de la pieza final, ya que se requiere de un complejo utillaje especializado, como el horno autoclave.

#### 4.4.1.3.3. Ventajas

- Tiene unas propiedades mecánicas muy buenas.
- Es un material muy ligero.

#### 4.4.1.3.4. Inconvenientes

- El principal inconveniente es el elevado coste.

#### 4.4.2. Elección del tipo de material

Según la normativa de MotoStudent 2016, solo existe una restricción del uso a materiales referidos a la fabricación del chasis. No se puede utilizar el titanio ni las aleaciones de éste.

Para llevar a cabo la fabricación del chasis de la motocicleta, elegimos en un primer momento acero Reynolds 531, pero tras los análisis estructurales decidimos cambiar al aluminio Magnesio Silicio 6063-T5.

##### 4.4.2.1. *Aplicaciones y usos*

Esta aleación debido a su gran facilidad de extrusión, obtiene características mecánicas adecuadas, un correcto aspecto de superficie y buen coloreado. Al anodizarse tiene múltiples aplicaciones. El aluminio aleación magnesio silicio 6063 se utiliza en perfiles de carpintería metálica, manillas, pomos, herrajes, sillas de terraza.

##### 4.4.2.2. *Tratamientos térmicos*

Esta aleación ha recibido los siguientes tratamientos térmicos:

- Puesta en solución: 520° C + - 5° C. de 0,5 a 1 hora.
- Temple en agua fría (40° C máx.). Rápido.
- Maduración: Estado T4, 8 días mínimo 20° C.
- Maduración artificial: Estado T6, 8 horas a 170 °C +-5 C o 6 horas a 185°C +-5° C.
- Recocido: 1. a 2 horas a 380° - 420° C, seguido de enfriamiento lento. Obtención de piezas forjadas: 350° a 500° C.

##### 4.4.2.3. *Soldabilidad*

- Este material tiene una buena soldabilidad a la llama y al arco bajo gas argón.
- Y una muy buena soldabilidad por resistencia eléctrica y por braseado.

##### 4.4.2.4. *Mecanizado*

- Tiene una regular fragmentación de la viruta (en el estado T5).
- Y un muy buen brillo de superficie (en el estado T5).

#### 4.4.2.5. Composición química

Tabla 2. Composición química

%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros	Al
Min.Max	0,30 0,60	0,10 0,30	0,10	0,30	0,40 0,60	0,05	0,15	0,20	0,15	Resto

#### 4.4.2.6. Equivalencias internacionales

Tabla 3. Equivalencias internacionales

USA	ESPAÑA	FRANCIA	ALEMANIA	G.B	SUECIA	SUIZA	CANADA	ITALIA
A.A.	U.N.E.	AFNOR	DIN(1712-1725)	B.S.	S.I.S.	VSM	ALCAN	UNI
6063	L-3441 38.337	A-GS	AlMg4SiO,5 3.3206	H9	4103	Extrudal	50 S	3569

#### 4.4.2.7. Propiedades mecánicas

Tabla 4. Propiedades mecánicas

ESTADO	Carga de rotura Rm N/mm <sup>2</sup>	Límite elástico Rp 0.2 N/mm <sup>2</sup>	Alargamiento 5,65 V So	Resistencia de la Cizalladura N/mm <sup>2</sup>	Dureza	
					Brinell(HB)	Vickers
T4	150	90	22	-	42	-
T5	220	170	14	140	65	-

#### 4.4.2.8. Propiedades físicas

Tabla 5. Propiedades físicas

Módulo elástico N/mm <sup>2</sup>	Peso específico gms/cm <sup>3</sup>	Temperatura de fusión °C	Coefficiente de dilatac. lineal (20°-100°) 10 <sup>-6</sup> / °C	Conductividad térmica w/m °C	Resistencia eléctrica Micro Ohm cm.	Conduct. eléctrica % IACS
69.000	2,70	580-650	23,5	170	3,6	- 0,86

#### 4.4.2.9. Radios de plegado

Tabla 6. Radios de plegado

Estado	Coef	0'4-0'8 m/m	0'8-1'6 m/m	1'6-3'2 m/m	3'2-4'8 m/m	4'8-6 m/m	6-10 m/m	10-12 m/m
T4	K	-	-	-	-	-	-	-
T5	K	-	-	-	-	-	-	-
-	K	-	-	-	-	-	-	-

La elección de esta aleación la hemos hecho en base a las limitaciones económicas y de fabricación debido a la disponibilidad de los equipos de soldadura y mecanizado a los que tenemos acceso. Además cumple con las características mecánicas que necesitamos, para soportar las fuerzas a las que va a estar sometido el chasis, siendo un material bastante más ligero que el acero convencional.

## 4.5. Diseño del chasis

### 4.5.1. Software

Para el diseño del chasis utilizamos el software de modelado 3D Creo Parametric 3.0 M070.

### 4.5.2. Proceso de modelado

#### 4.5.2.1. Geometría básica

Para comenzar con el modelado, lo primero que necesitamos es tener clara la distancia entre ejes, los diámetros de los neumáticos, la inclinación de la dirección y la inclinación aproximada del basculante, así como la longitud de este último para dibujar un primer esbozo sobre el que trabajar utilizando las reglas del anti-squat (Figura 74).

Dibujamos un esbozo sencillo que contenga, dos circunferencias con el diámetro exterior de los neumáticos, cuyos centros estén separados 1360 mm, ya que esa será nuestra distancia entre ejes. También dibujaremos una línea de 600 mm que representará la horquilla de dirección y otra línea que representará el basculante. El ángulo de inclinación de la horquilla será de  $24^{\circ}$  con respecto a la vertical y el del basculante será de  $9^{\circ}$  con respecto a la horizontal.

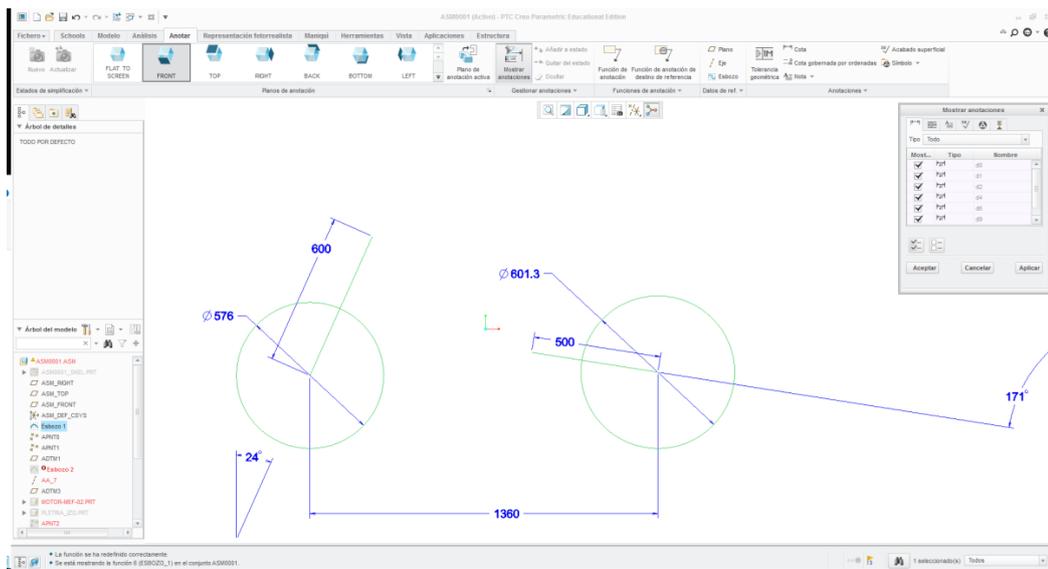


Figura 74. Geometría básica

Una vez dibujado dicho esbozo con las geometrías básicas, hay que crear la línea horizontal del centro de gravedad teórico, esta se situará a una altura con un valor igual a la mitad de la distancia entre ejes, es decir, si la distancia entre ejes es de 1360 mm, el centro de gravedad y la línea horizontal que pasa por él, la situaremos a 680 mm del suelo.

También dibujaremos la línea de referencia vertical que pasa por el punto de contacto del neumático delantero con el suelo, la línea de referencia pasante por el eje del basculante y la línea de referencia pasante por el eje de dirección (Figura 75).

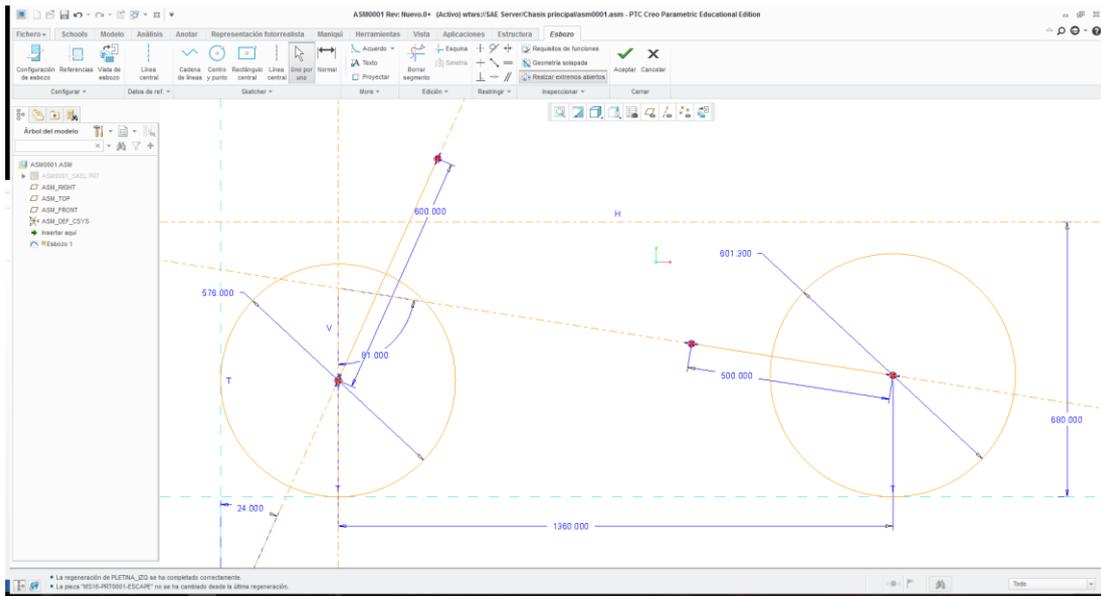


Figura 75. Líneas Anti-Squat

Ahora dibujamos las líneas restantes del anti-squat. Una de ellas es la que va desde el punto de contacto del neumático trasero con el suelo, hasta el cruce de la línea vertical del neumático delantero dibujada anteriormente, con la línea horizontal del centro de gravedad teórico (Figura 76). Para poder colocar esta línea en su sitio correspondiente, antes tenemos que dibujar dos puntos. El primer punto va situado en la tangente del neumático trasero con el suelo, y el otro punto va colocado en el cruce de la línea vertical del eje delantero, con la línea horizontal del centro de gravedad.

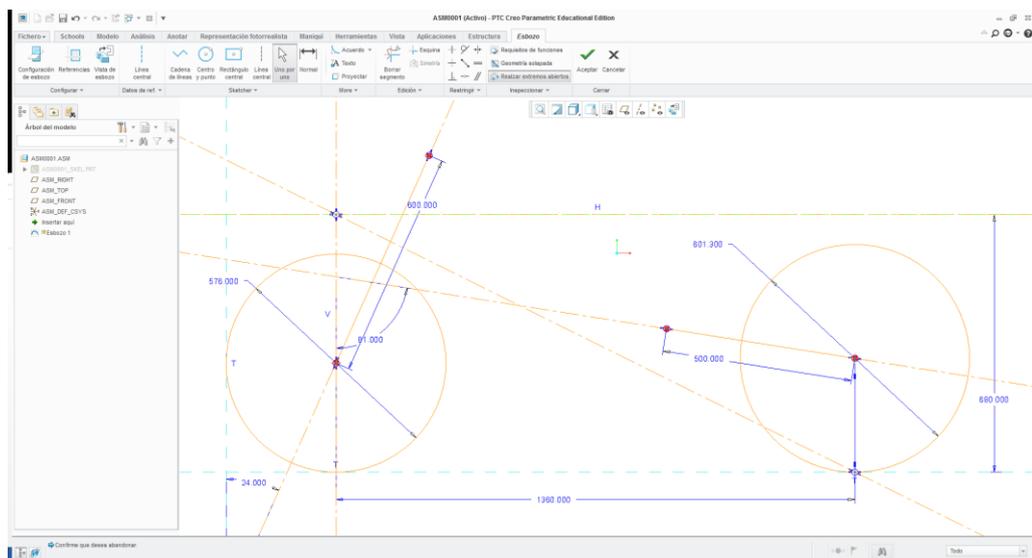


Figura 76. Líneas Anti-Squat

Y ahora hay que dibujar la última línea, esta línea será tangente a la corona y al piñón de ataque y además pasará por el punto en el que se cortan las dos líneas de

anti-squat ya dibujadas. Por ello, creamos un punto en la intersección de las dos líneas dibujadas previamente. También necesitamos dibujar la corona, y hacer una línea tangente a ésta y que pase por el punto que acabamos de crear (Figura 77. **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

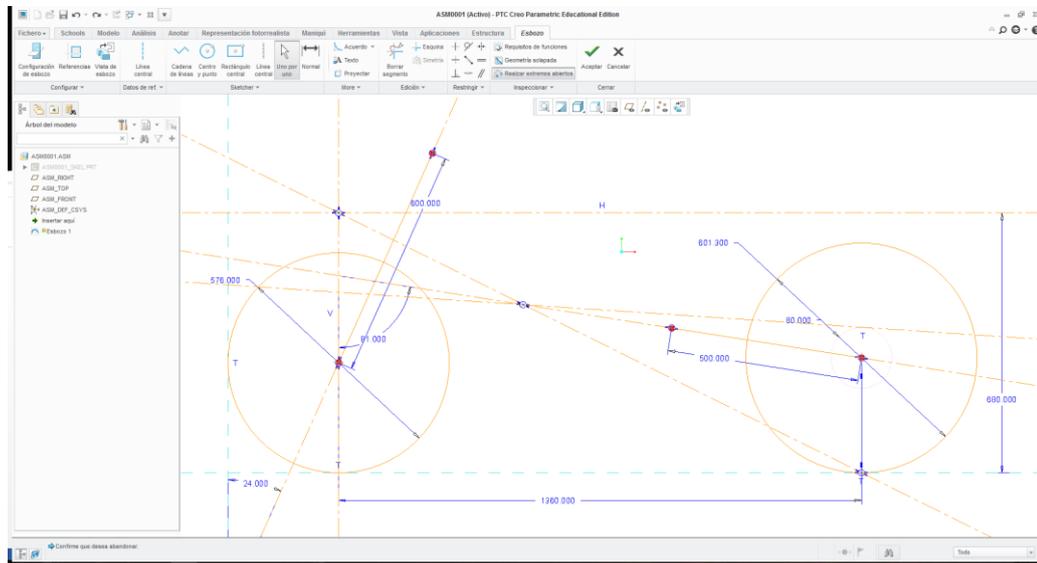


Figura 77. Líneas Anti-Squat

Ahora ya tenemos el sistema con un 100% anti-squat para evitar que la rueda delantera pierda el contacto con el asfalto en el momento de máxima aceleración.

Sobre esta última línea que hemos dibujado, hay que crear el piñón de ataque, siendo este tangente a la línea y pudiendo deslizarlo sobre esta para buscar la posición más idónea para el motor (Figura 78).

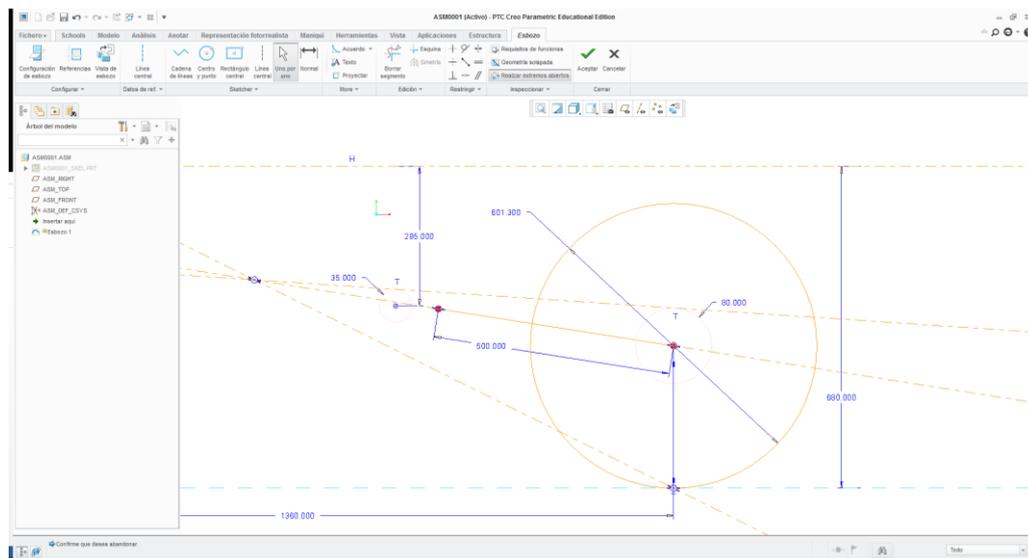


Figura 78. Posición del piñón de ataque

En el caso de que queramos hacer alguna modificación de la geometría básica de la motocicleta, habiendo seguido este procedimiento no será necesario modificar

manualmente el resto de componentes y geometrías, ya que todo lo que se haya diseñado a posteriori se modificará automáticamente ajustándose a la geometría básica.

#### 4.5.2.2. Montaje de componentes

Muchos de los componentes de la motocicleta como las ruedas o el sistema de suspensión delantero, se habían modelado previamente a la creación de la geometría básica, por lo que ahora tan solo necesitamos montar los componentes en su posición. En la (Figura 79) aparecen las dos ruedas y la suspensión delantera.

Para la colocación correcta de estos componentes, necesitamos hacer coincidentes el plano FRONT de la geometría básica con los planos FRONT tanto de las ruedas como de la suspensión.

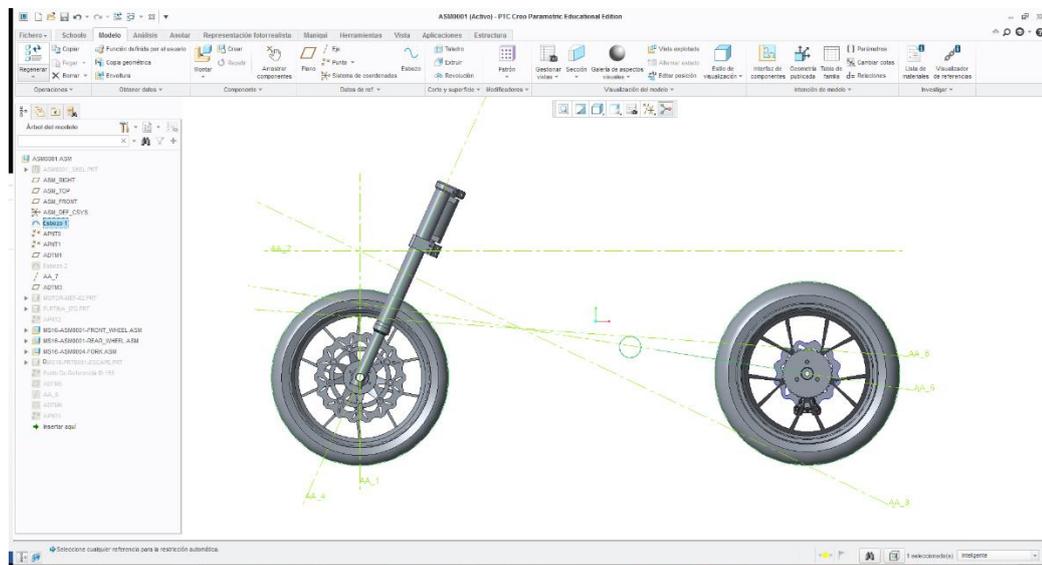


Figura 79. Montaje de ruedas y horquilla

#### 4.5.2.3. Montaje del motor

El motor es uno de los componentes que nos impone la organización del evento. Además nos suministra el modelado del motor en CAD, para que podamos diseñar la moto a partir de la geometría del motor y sus anclajes.

A la hora de montar el motor, no podemos hacer coincidir el plano FRONT de este, con el plano FRONT de la geometría, ya que la cadena de la transmisión quedaría muy separada de la rueda, no trabajaría en un solo plano y esta se saldría durante la marcha. Por lo que antes, tenemos que dibujar la línea de cadena en el plano correspondiente, partiendo desde la corona de la rueda trasera (Figura 80), (Figura 81).

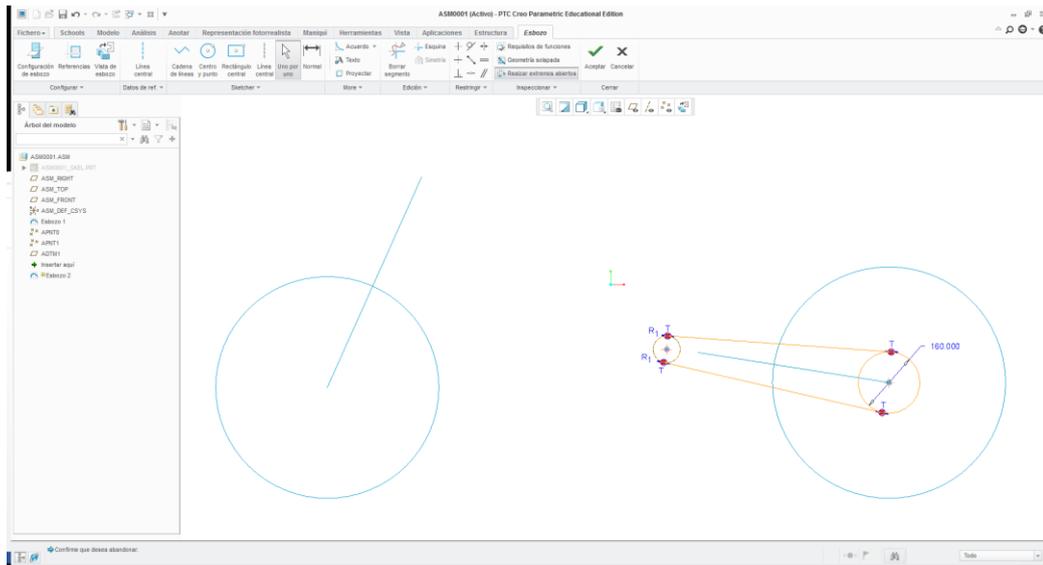


Figura 80. Esbozo de la cadena

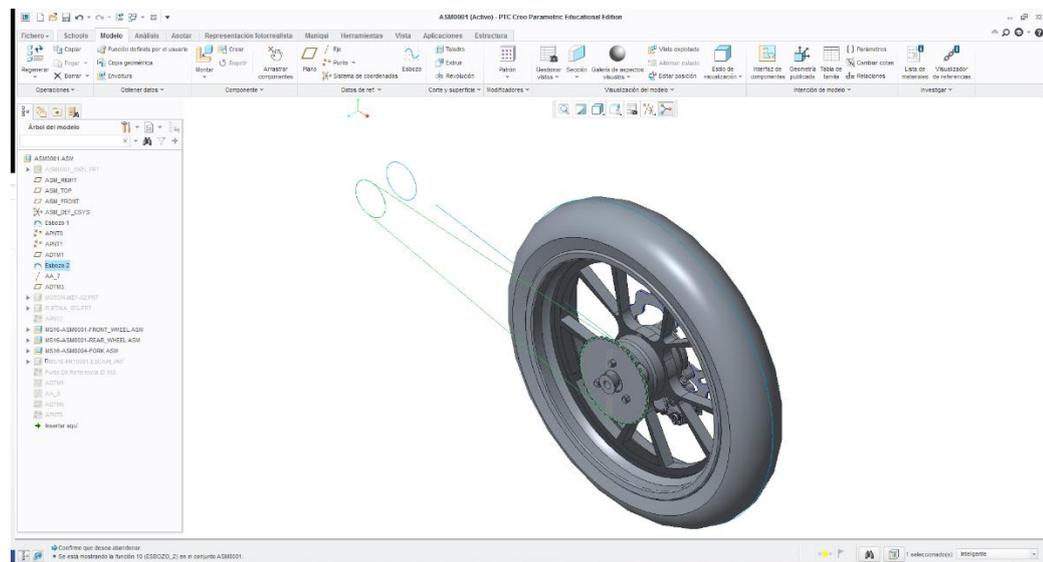


Figura 81. Esbozo de la cadena

Una vez dibujada la línea de cadena ya podemos colocar el motor.

Al ser un motor comercial (Honda CBR 250R), nos encontramos con problemas a la hora de diseñar un chasis estrecho y ligero para ser más aerodinámico, puesto que el motor está diseñado para ser montado en un chasis más ancho no concebido para su uso en competición.

Para montarlo correctamente necesitamos crear tres restricciones.

- Restricción coincidente del eje que pasa por la salida de la transmisión del motor, con el eje de la circunferencia que representa el piñón de ataque (Figura 82).

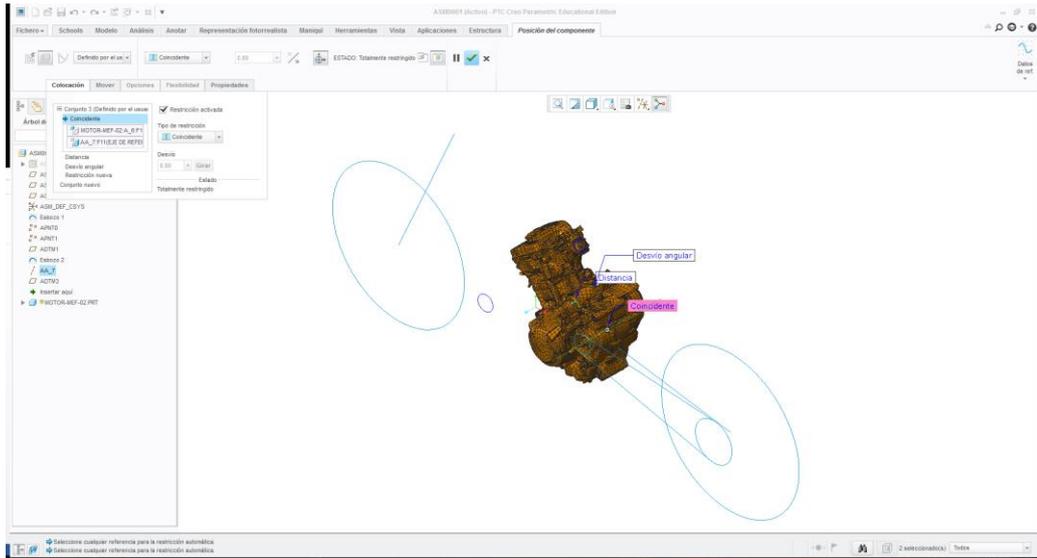


Figura 82. Restricción de coincidencia

- Restricción de distancia del plano FRONT del esbozo con el plano DTM4 del motor, ajustándolo para que la línea de cadena coincida con la localización del piñón de ataque del motor (Figura 83).

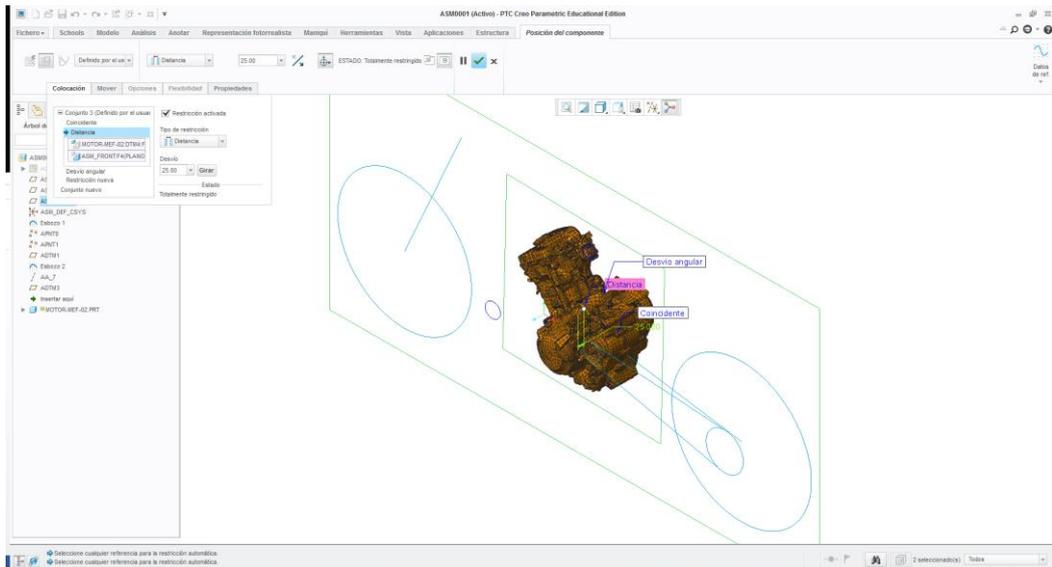


Figura 83. Restricción de distancia entre planos

- Restricción de desvío angular del plano DTM7 del motor con el plano TOP del esbozo inicial, dándole 127° de inclinación (Figura 84).

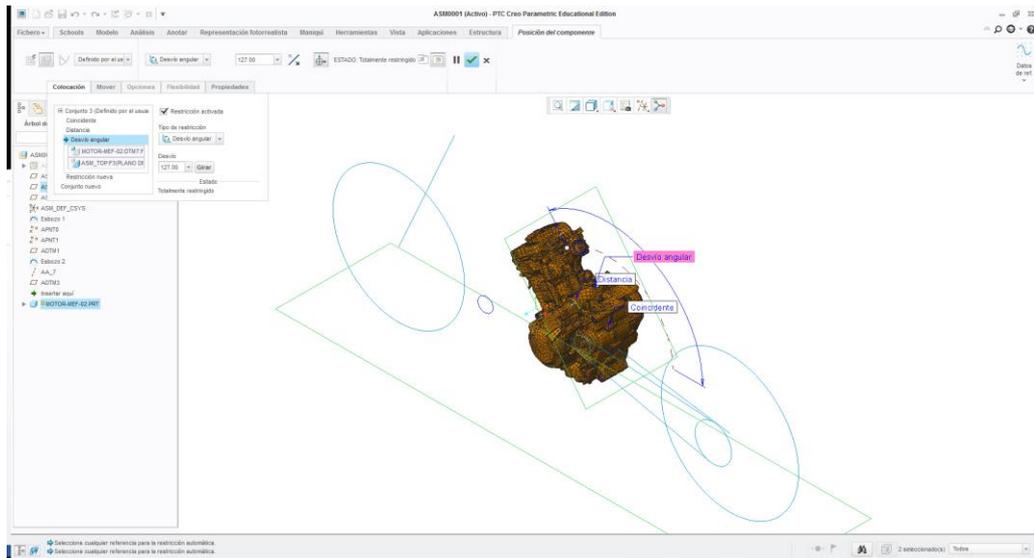


Figura 84. Restricción angular

La posición del motor con respecto al FRONT del esbozo viene determinada por la línea de cadena que va del piñón de ataque a la corona de la rueda, quedando este muy desplazado a la derecha como podemos ver a continuación, dificultando posteriormente el diseño de un chasis estrecho y reducido con la finalidad de competir (Figura 85).

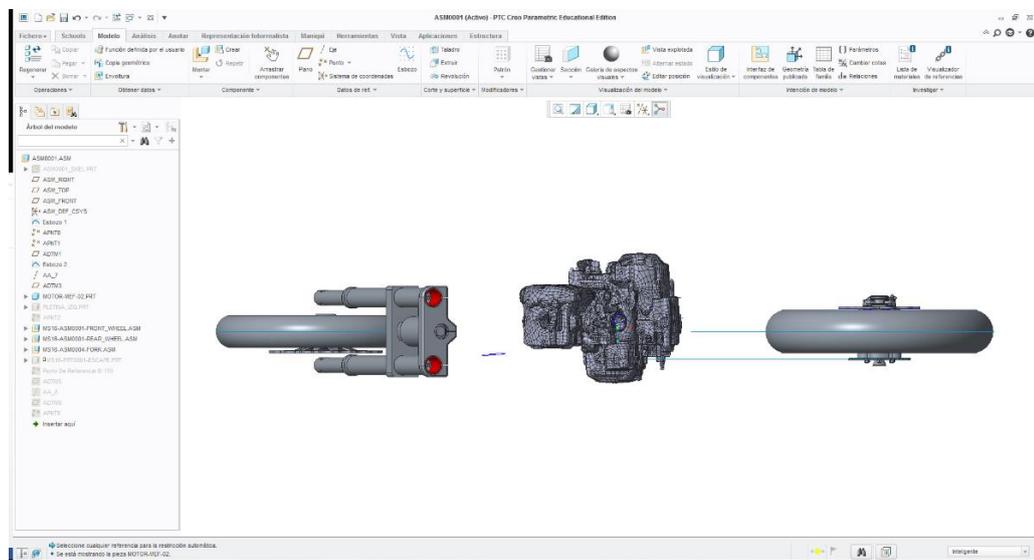


Figura 85. Ensamblaje general

#### 4.5.2.4. Montaje del sistema de escape

Antes de comenzar a diseñar el chasis, decidimos modelar de una forma sencilla el sistema de escape utilizando cilindros. Esto se hizo para comprobar que no hay componentes que estén en contacto, que la altura mínima de cualquier componente respecto al suelo es la correcta y no tengamos que subir o bajar el motor y con ello toda

la distribución de la geometría (Figura 86), (Figura 87), (Figura 88). Porque no olvidemos que la posición viene definida por el anti-squat anteriormente dibujado.

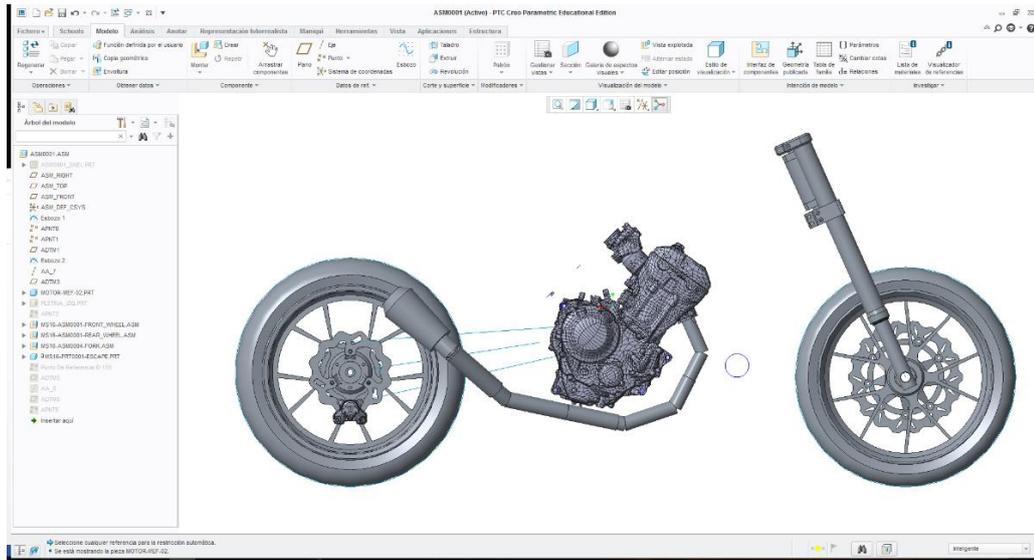


Figura 86. Colocación del sistema de escape

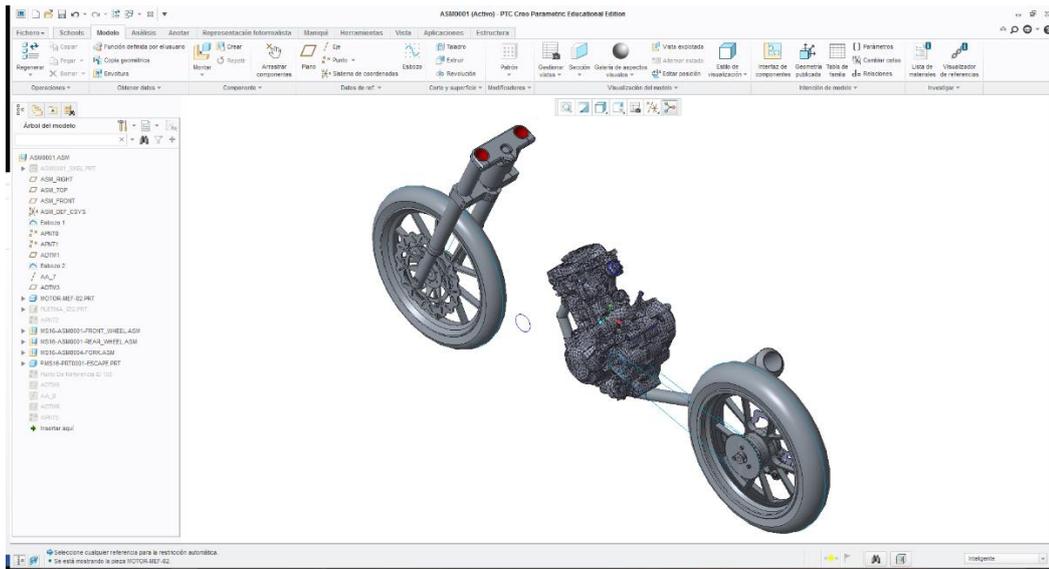


Figura 87. Colocación del sistema de escape

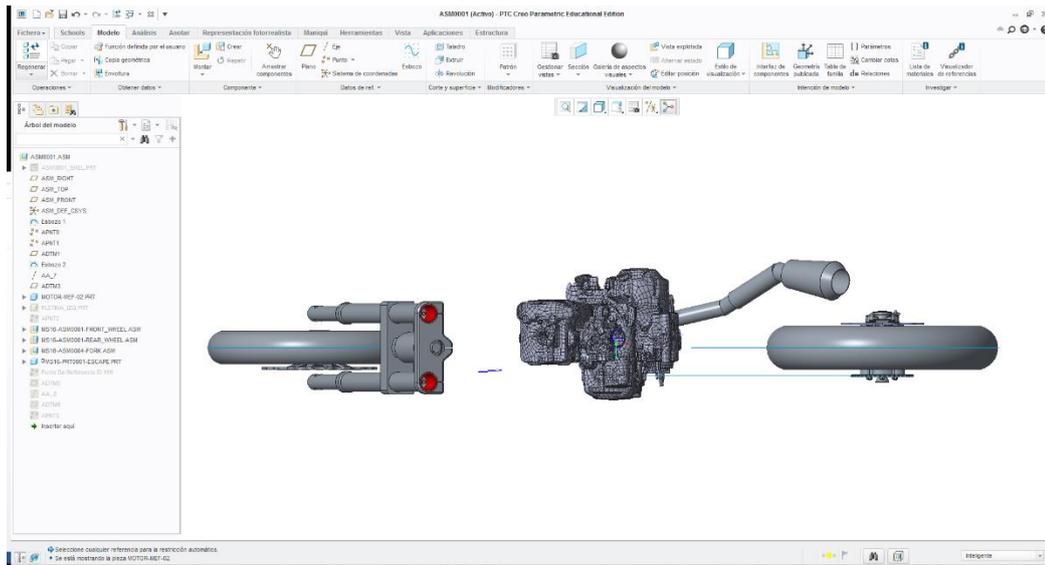


Figura 88. Colocación del sistema de escape

En las imágenes anteriores verificamos la distancia de la parte inferior del escape con respecto al suelo, siendo esta de 152,579 mm (Figura 89), por lo que tenemos un margen de 52 mm para montar la quilla con respecto al escape, siendo la distancia mínima entre el suelo y cualquier componente de la motocicleta excepto las ruedas de 100 mm.

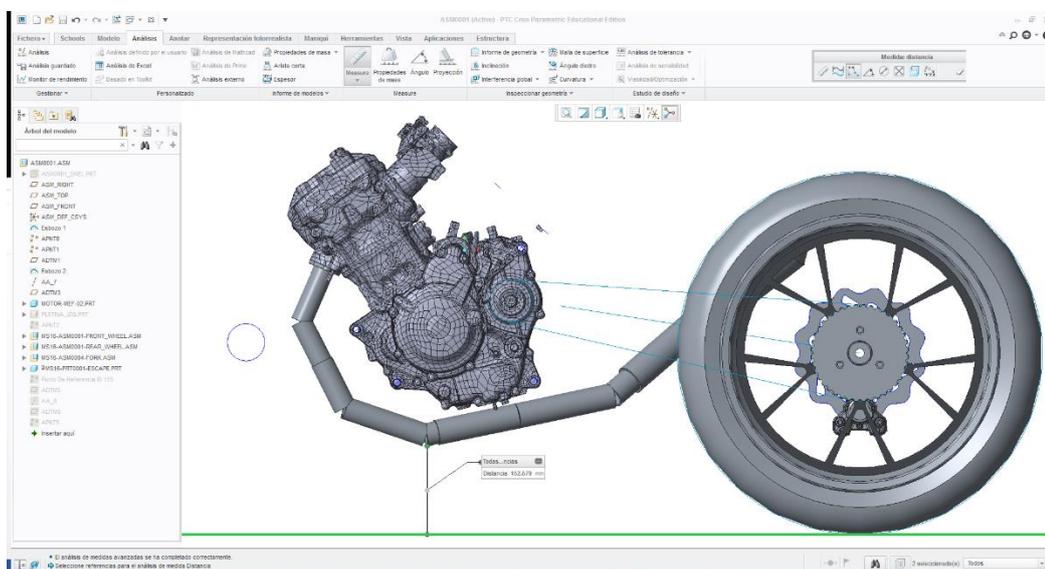


Figura 89. Distancia del escape al suelo

#### 4.5.2.5. Pletinas principales

Para comenzar con el diseño del chasis, tenemos que crear un modelo de esqueleto, que es lo que utilizaremos para el posterior análisis estructural. Diseñamos las pletinas laterales, sobre las que irá anclado el motor por la parte trasera, el basculante y otros componentes como las estriberas, depósito de expansión del freno trasero...

Se crearon unas pletinas con un espesor de 40mm a las que posteriormente se les realizó un vaciado

Creamos un plano paralelo al FRONT del esbozo inicial a la distancia a la que queremos diseñar la pletina.

Una vez creado el plano, sobre este mismo esbozamos una superficie sencilla de manera que abarque los dos anclajes posteriores del motor y el basculante (Figura 90).

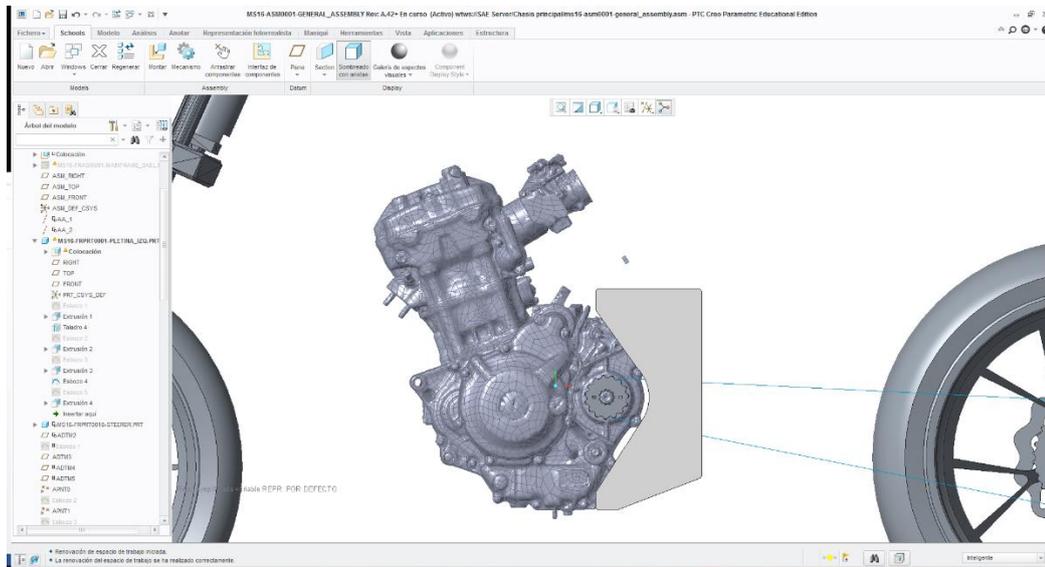


Figura 90. Creación de la superficie

Se realizaron unos taladros para los orificios por los que pasarán el eje del basculante y los dos anclajes posteriores del motor (Figura 91).

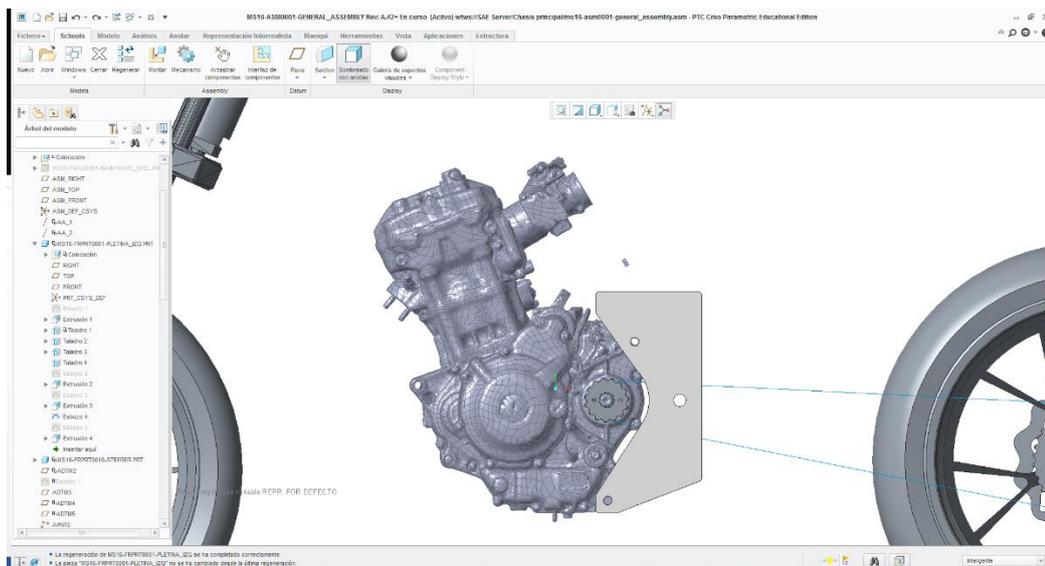


Figura 91. Operación de taladrado

Una vez terminado el esbozo de la pletina utilizamos las operaciones extrusión y extrusión de corte para darle volumen a la pieza y hacer el vaciado de la cara posterior respectivamente. Y así de esta forma comprobar si alguna zona de la pletina está a interferencia con cualquier elemento del motor (Figura 92), (Figura 93), además se puede observar como tampoco interfiere con la línea de la cadena.

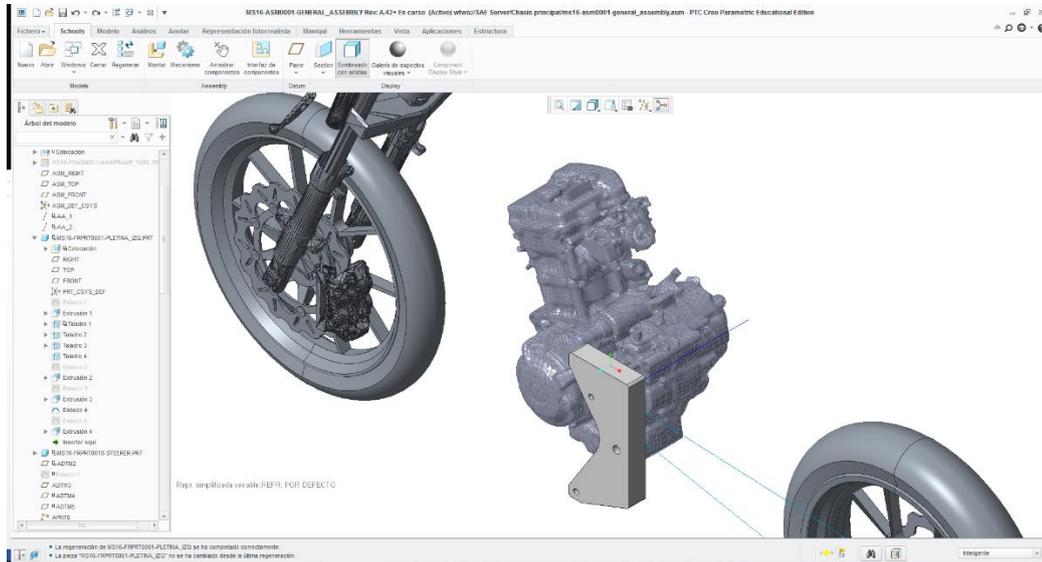


Figura 92. Extrusión de la pletina izquierda

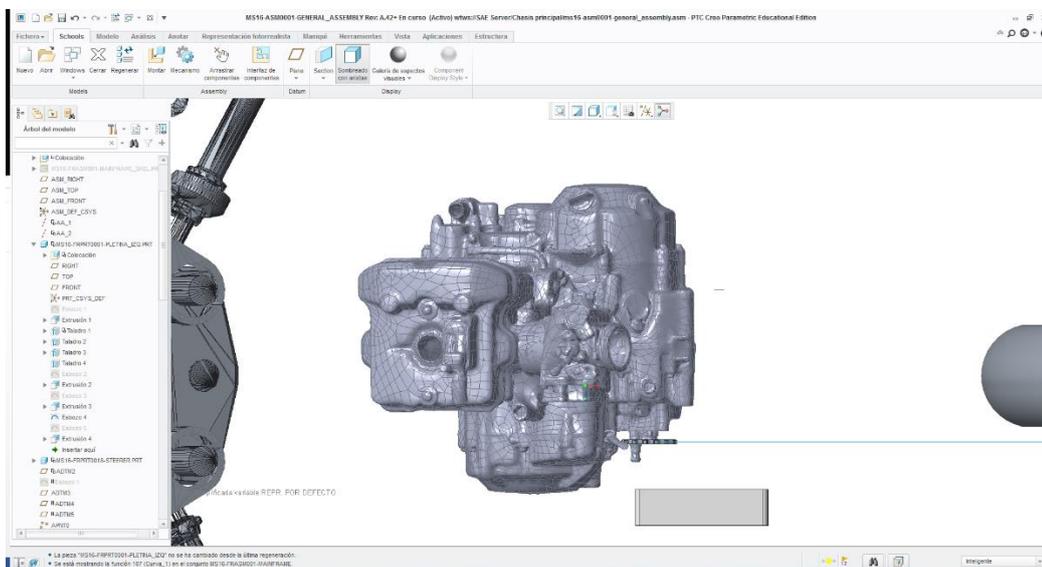


Figura 93. Comprobación de espacios

Una vez comprobado que no tiene contacto con ningún componente, hacemos una simetría para verificar lo mismo pero en el lado opuesto (Figura 94).

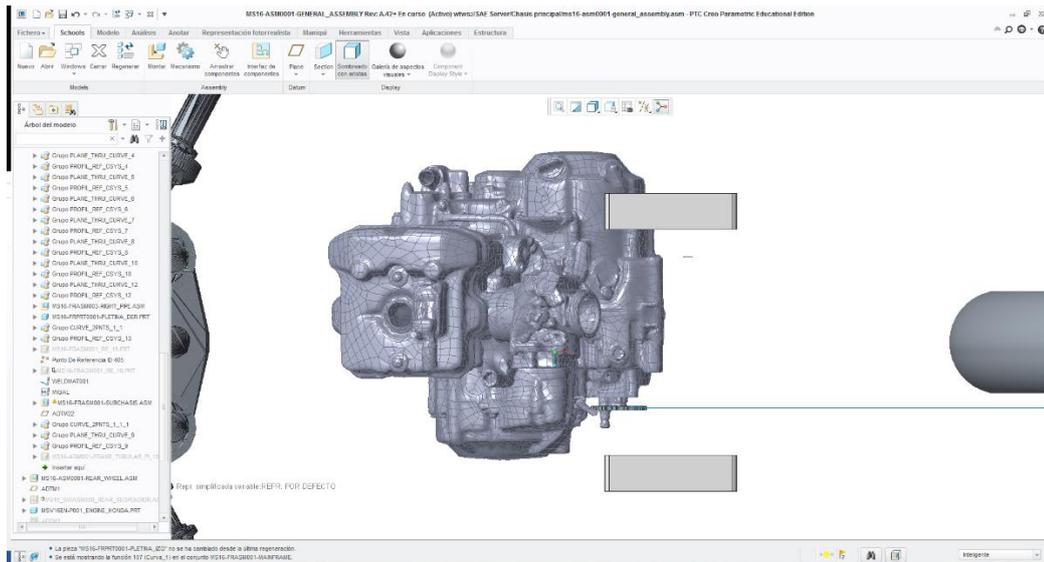


Figura 94. Operación de simetría con la pletina

Al realizar la simetría nos dimos cuenta que una zona de la pletina derecha estaba en contacto con el motor, por lo que tuvimos que modificarlas ligeramente.

Rebajamos ligeramente la zona, de manera que la pletina se adaptaba perfectamente a la forma del motor (Figura 95).

Además, aprovechamos para rebajar las zonas sobre las que apoyarán tanto los anclajes del motor, como el eje del basculante (Figura 96).

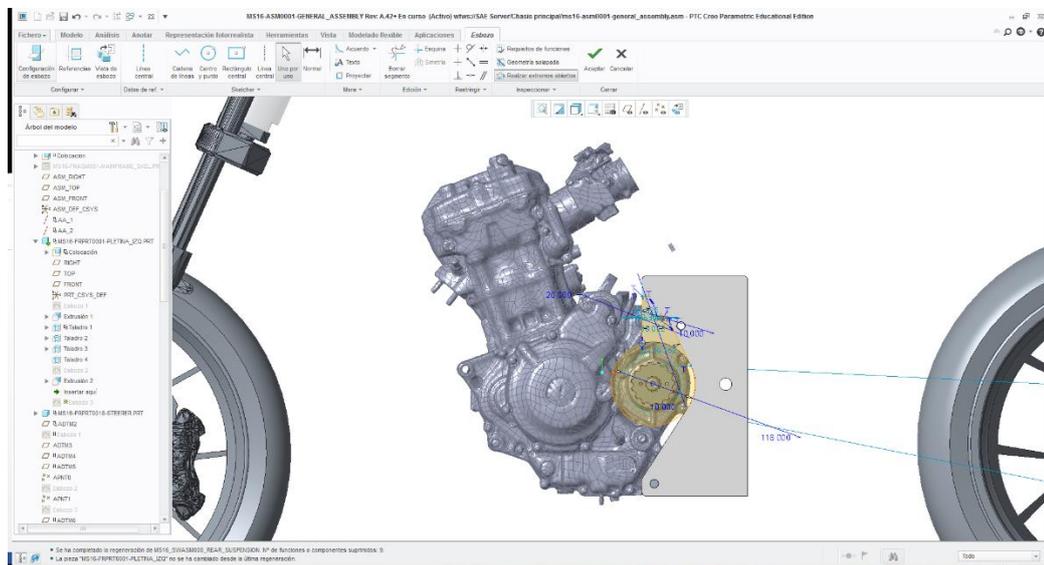


Figura 95. Modificación pletinas

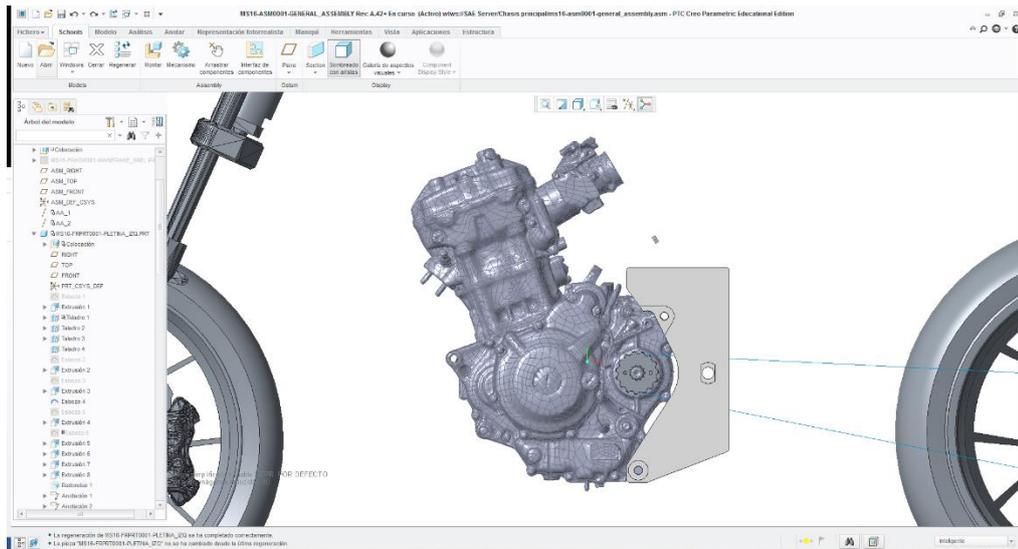


Figura 96. Extrusión de corte

Con las pletinas ya modeladas, realizamos un vaciado por la cara interior de cada pletina para reducir el peso.

Además, se decidió utilizar la función de redondeado para todas las esquinas de la pieza y así facilitar la fabricación de ésta, evitando tener que buscar una herramienta específica para dichas condiciones y además abaratando el coste de fabricación (Figura 97).

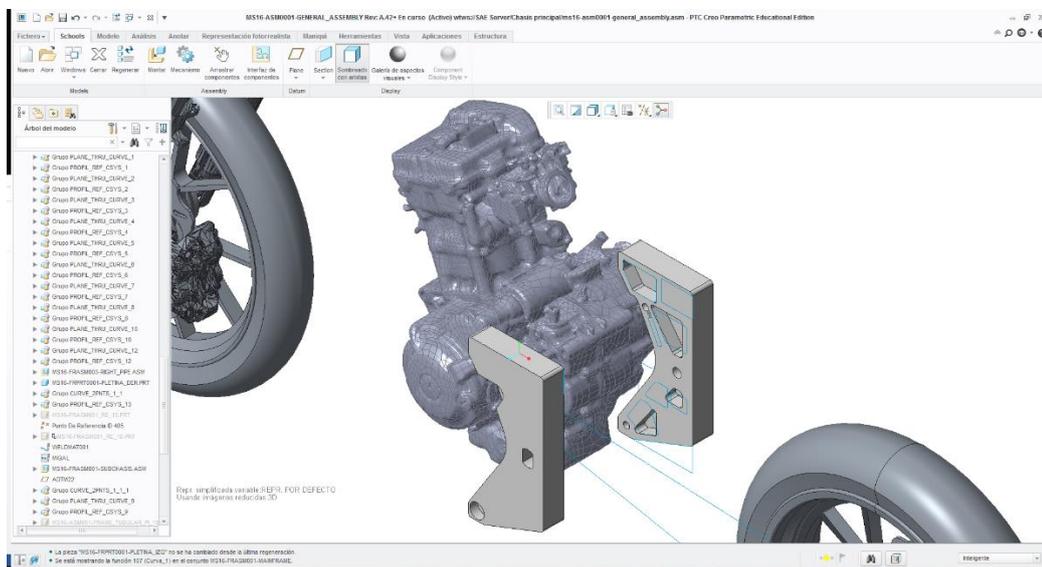


Figura 97. Vaciado de las caras internas de las pletinas

Por último, unimos ambas pletinas por dos barras rectangulares de aluminio para rigidizar el sistema (Figura 98).

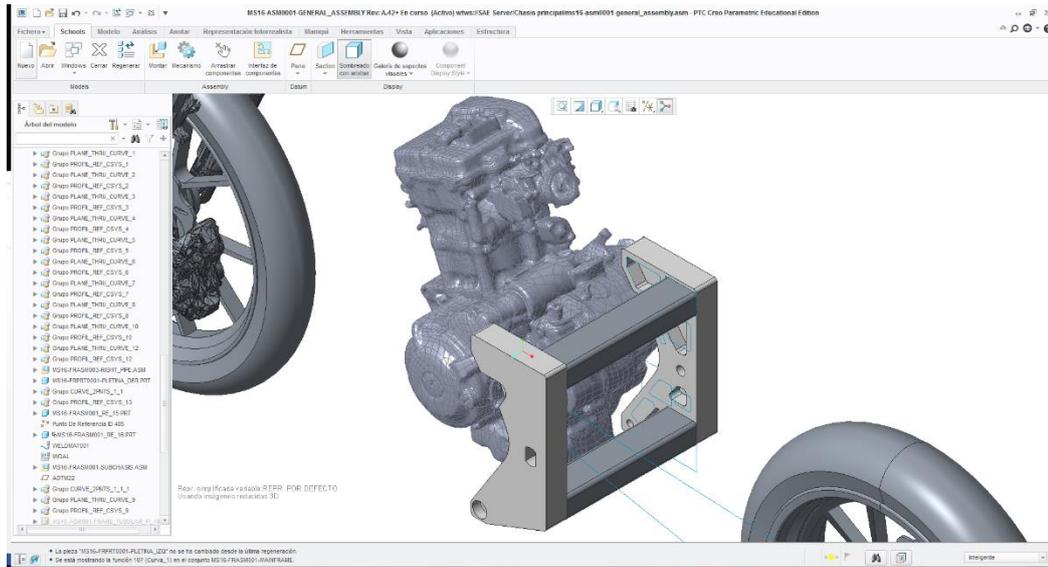


Figura 98. Extrusión de las barras de unión

#### 4.5.2.6. Estructura tubular

Ya tenemos la base para poder diseñar la estructura tubular principal (Figura 99).

Para el chasis utilizamos perfiles cilíndricos de diámetro exterior de 30 mm e interior de 24 mm.

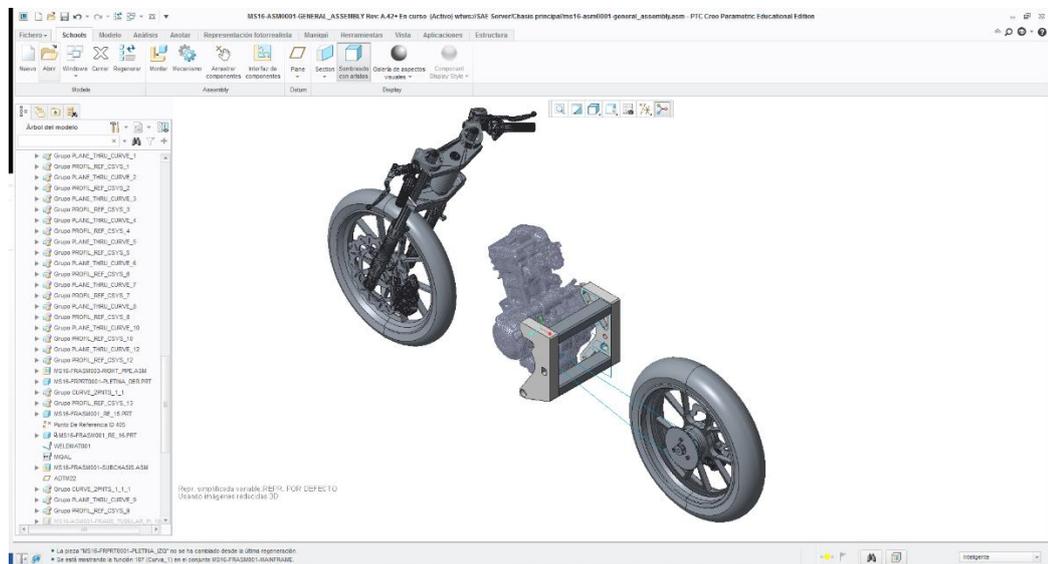


Figura 99. Ensamblaje general

Continuamos creando un plano paralelo al plano FRONT del esbozo general y que pase por el plano medio de la pletina izquierda.

Con el plano ya creado, esbozamos la celosía lateral que se fijará mediante unión soldada a la pletina lateral. En la parte delantera inferior, la celosía irá atornillada mediante un eje al bloque motor (Figura 100).

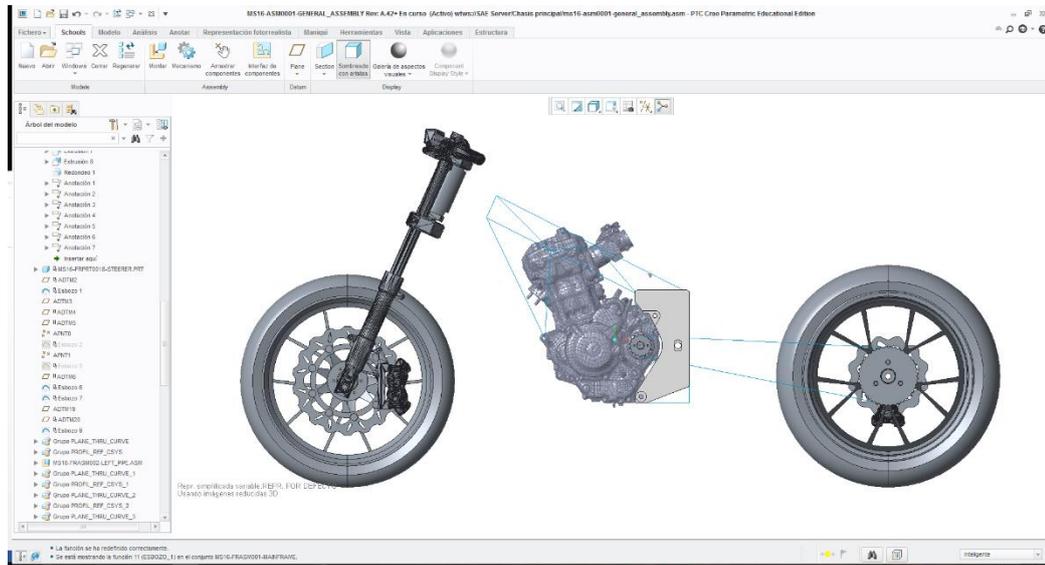


Figura 100. Diseño de las líneas del esqueleto

A continuación, creamos otro plano que contenga el eje de la pipa de dirección y la línea paralela de la celosía de la estructura tubular.

Una vez creado este plano, dibujamos la celosía para acabar de unir la pletina y el motor con la dirección de la motocicleta (Figura 101).

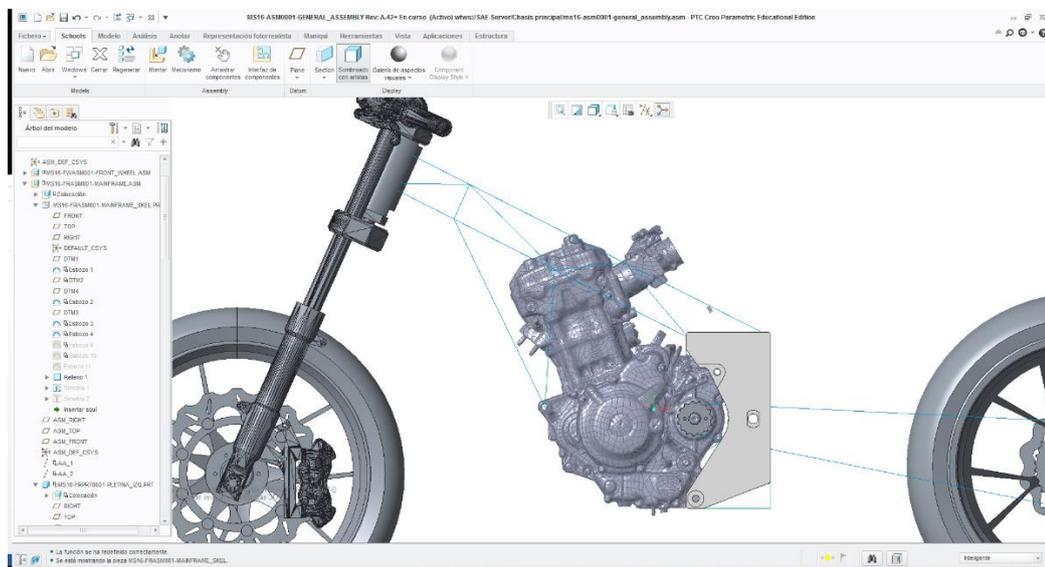


Figura 101. Cierre del esqueleto a la pipa de dirección

Por último, para terminar el lateral izquierdo unimos el extremo de la celosía en voladizo con el anclaje frontal del motor (Figura 102).

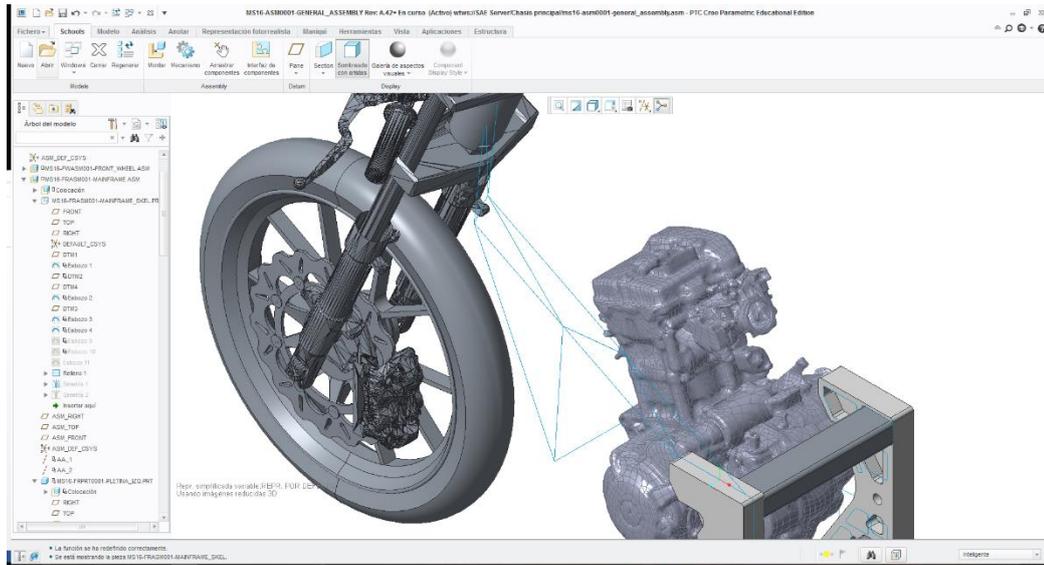


Figura 102. Anclaje delantero inferior del motor

A continuación, realizamos una simetría para revisar que no hay ninguna pieza que esté en contacto con la estructura lineal del chasis (Figura 103).

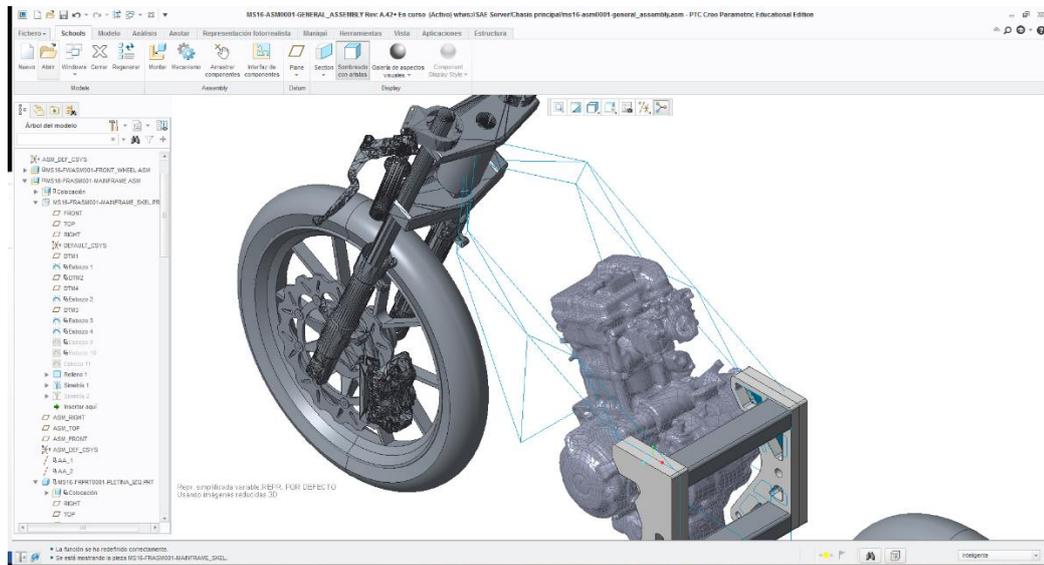


Figura 103. Operación de simetría del esqueleto

Con la simetría creada, comprobamos que todo encaja, pero de momento solo tenemos líneas y lo que necesitamos es ver si con los tubos tendremos hueco suficiente para montar el motor o tendremos problemas.

Mediante el módulo de estructura incluido en Creo Parametric, podemos elegir un perfil predeterminado, con las características que necesitamos y así evitar la operación manual de extrusión de todos los tubos.

Elegimos la ruta (Estructura/Perfiles) y elegimos el perfil de diámetro exterior de 30 mm con un espesor de 3 mm.

Una vez elegido el perfil, tan solo hay que seleccionar las líneas del esqueleto una por una y el módulo automáticamente crea los perfiles (Figura 104).

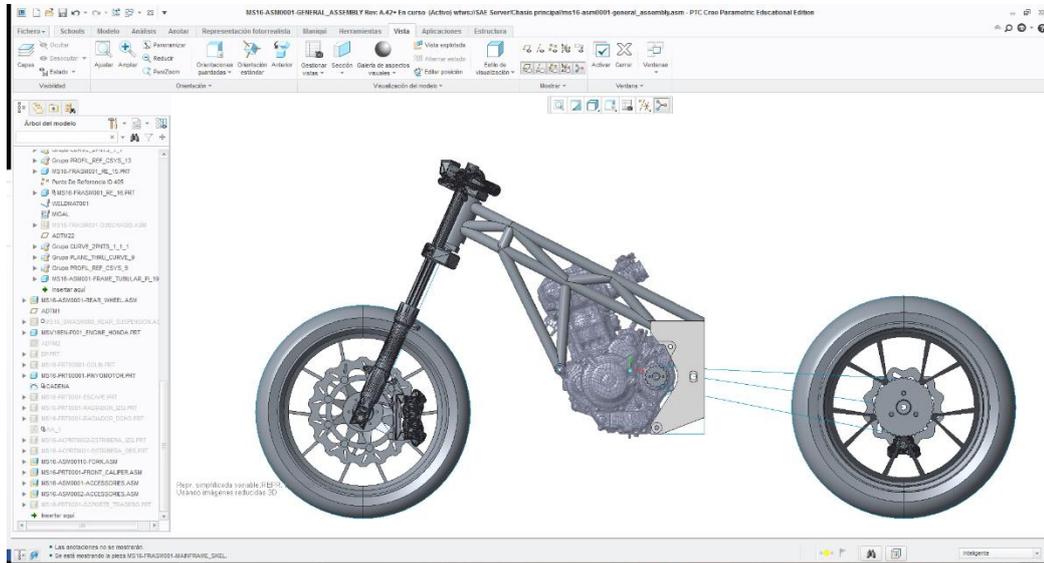


Figura 104. Creación de los perfiles con la herramienta de estructuras

Esta misma operación la realizamos con la simetría (Figura 105).

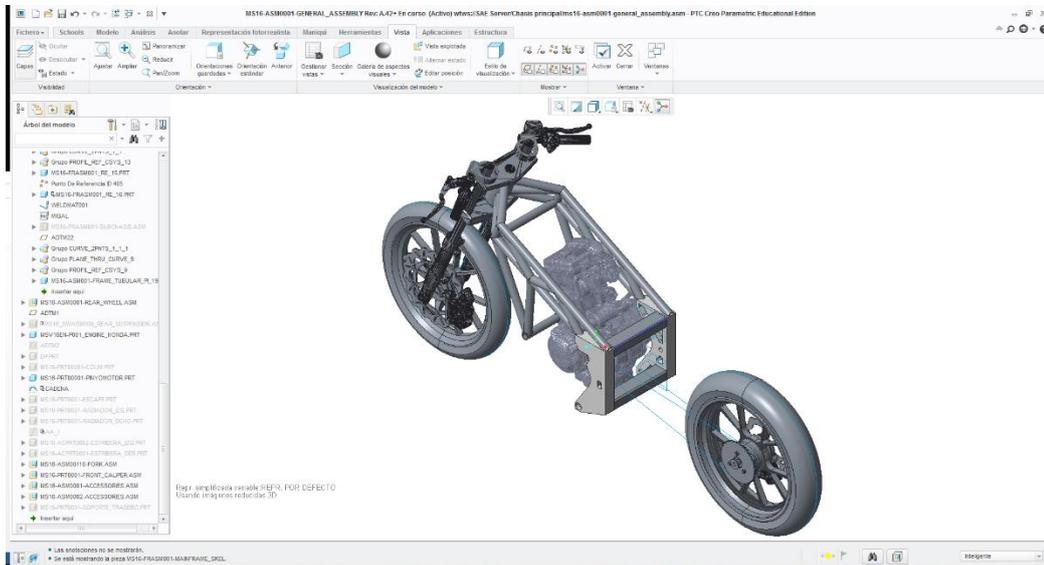


Figura 105. Operación de simetría de los perfiles

Al terminar de modelar los tubos verificamos que no hubiese ningún contacto entre componentes y que el motor se podría desmontar y montar una vez soldado el chasis.

Ya tenemos el chasis principal, pero para hacer el análisis estructural necesitamos modelar el sub-chasis, ya que uno de los ensayos estáticos consiste en

aplicar una carga sobre el asiento del piloto y necesitamos tenerlo en cuenta por su influencia en la transmisión de cargas.

Se procede del mismo modo que en la realización del chasis. En primer lugar tenemos que crear los planos necesarios para realizar los esbozos. Con los planos ya creados dibujamos las líneas del esqueleto del sub-chasis (Figura 106).

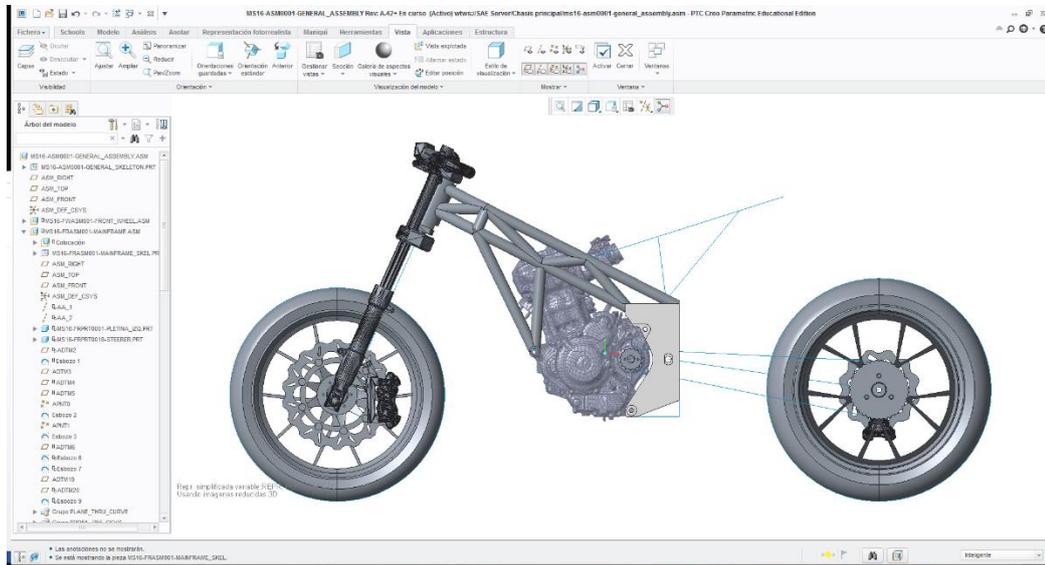


Figura 106. Esqueleto del sub-chasis

Y una vez terminado el esbozo del lateral izquierdo del sub-chasis hacemos una simetría tal cual hicimos con el chasis principal (Figura 107).

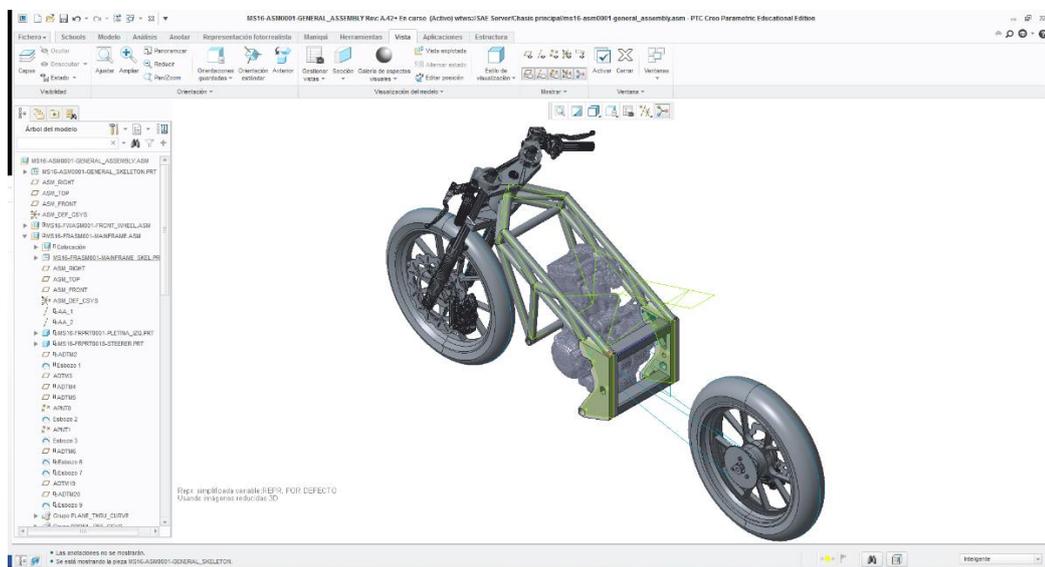


Figura 107. Simetría del sub-chasis

Volvemos a utilizar el módulo de estructura para crear las extrusiones de los tubos viéndose el resultado en las siguientes (Figura 108) e (Figura 109).

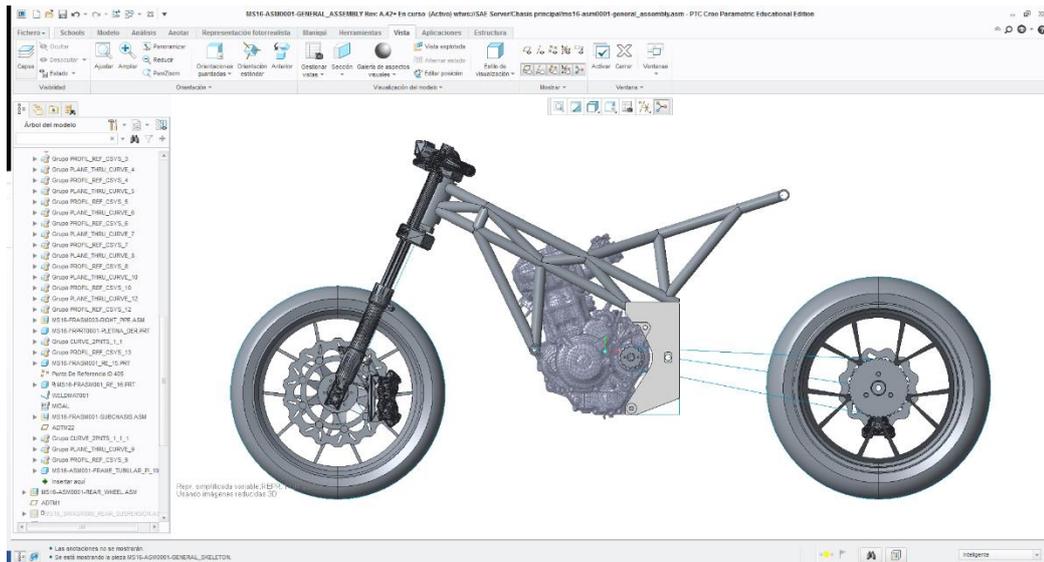


Figura 108. Creación de los perfiles del sub-chasis

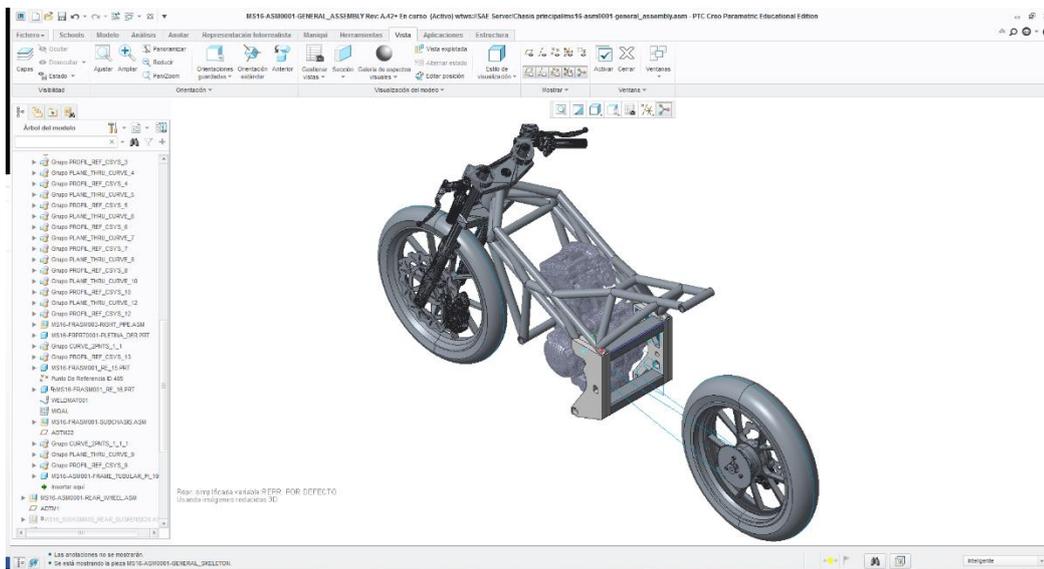


Figura 109. Operación de simetría del sub-chasis

Ya tenemos el chasis y el sub-chasis terminados en las dos siguientes ilustraciones (Figura 110) y (Figura 111), vemos el resultado definitivo sin ningún otro elemento adicional.

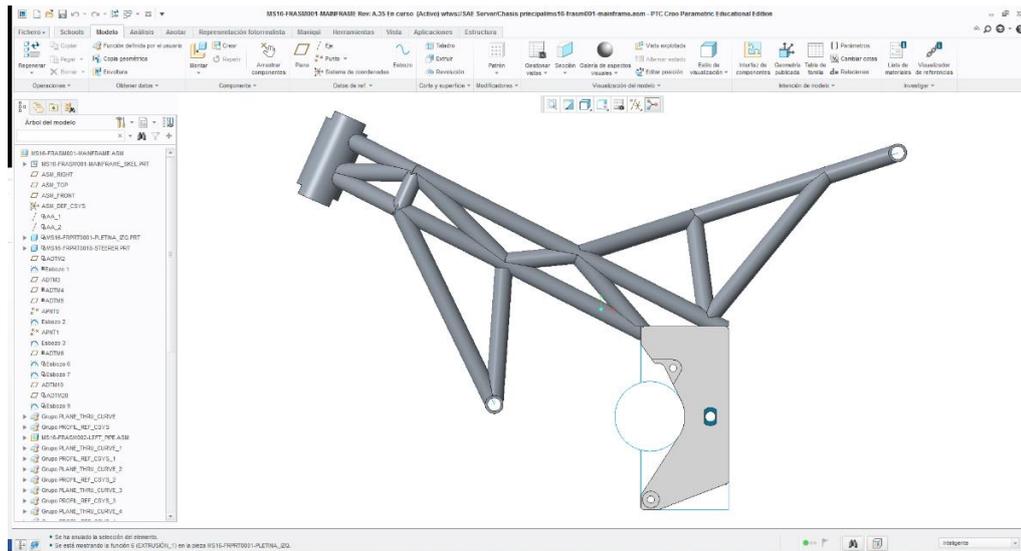


Figura 110. Vista lateral del chasis

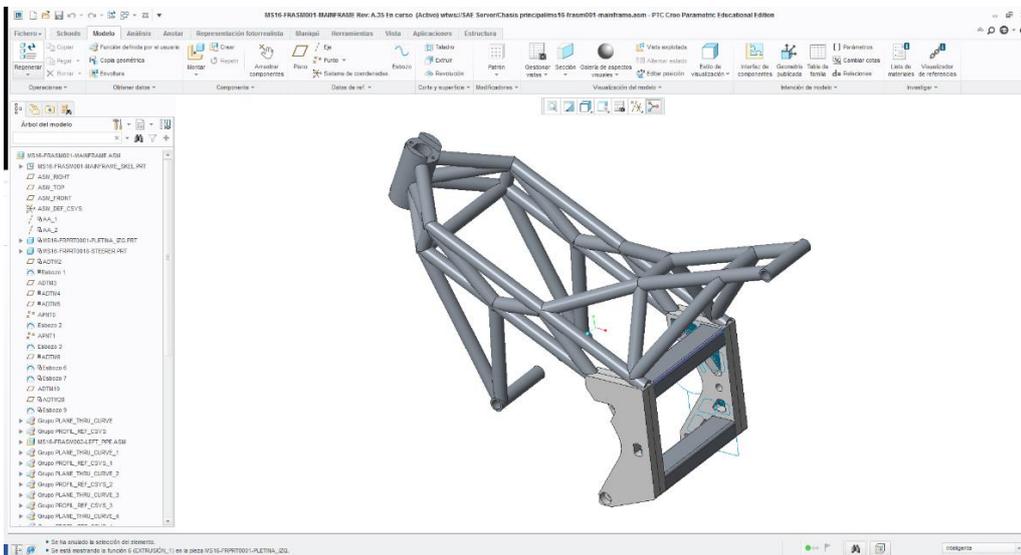


Figura 111. Vista isométrica del chasis

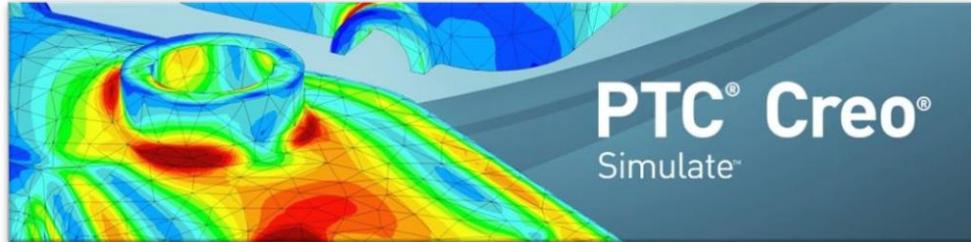
Añadiendo al ensamblaje el resto de componentes modelados por los compañeros el diseño queda de la siguiente manera (Figura 112), (Figura 113).



## 4.6. Análisis estructural del chasis

### 4.6.1. Creo Simulate

Para llevar a cabo el análisis estructural del chasis utilizamos un software muy potente de la misma compañía PTC, el Creo Simulate (Figura 114).



*Figura 114. Creo Simulate*

Con este programa informático se pueden hacer estudios sobre análisis estructurales, térmicos y de vibraciones con un conjunto completo de prestaciones de análisis de elementos finitos que permiten analizar y validar los prototipos antes de crear las piezas.

### 4.6.2. Introducción al método de elementos finitos

El método de los elementos finitos (MEF) ha adquirido una gran importancia en la solución de problemas ingenieriles, físicos, etc., ya que permite resolver casos que hasta hace poco tiempo eran prácticamente imposibles de solucionar por métodos matemáticos tradicionales. Esta circunstancia obligaba a realizar prototipos, ensayarlos e irrealizando mejoras de forma iterativa, lo que traía consigo un elevado coste tanto económico como en tiempo de desarrollo.

El MEF permite realizar un modelo matemático de cálculo del sistema real, más fácil y económico de modificar que un prototipo. Sin embargo no deja de ser un método aproximado de cálculo debido a sus hipótesis básicas. Los prototipos, por lo tanto, siguen siendo necesarios, pero en menor número, ya que el primero puede acercarse bastante más al diseño óptimo.

La idea general del método de los elementos finitos es la división de un continuo en un conjunto de pequeños elementos interconectados por una serie de puntos llamados nodos. Las ecuaciones que rigen el comportamiento del continuo regirán también el del elemento. De esta forma se consigue pasar de un sistema continuo (infinitos grados de libertad), que es regido por una ecuación diferencial o un sistema de ecuaciones diferenciales, a un sistema con un número de grados de libertad finito cuyo comportamiento se modela por un sistema de ecuaciones, lineales o no.

En cualquier sistema a analizar podemos distinguir entre:

- Dominio: Espacio geométrico donde se va a analizar el sistema.
- Condiciones de contorno: Variables conocidas y que condicionan el cambio del sistema (cargas, desplazamientos, temperaturas, voltaje, focos de calor, etc.).

- Incógnitas: Variables del sistema que deseamos conocer después de que las condiciones de contorno han actuado sobre el sistema (desplazamientos, tensiones, temperaturas, etc.).

El dominio se divide mediante puntos (en el caso lineal), mediante líneas (en el caso bidimensional) o superficies (en el tridimensional) imaginarias, de forma que el dominio total en estudio se aproxime mediante el conjunto de porciones (elementos) en que se subdivide. Los elementos se definen por un número discreto de puntos (nodos), que conectan entre sí los elementos. Sobre estos nodos se materializan las incógnitas fundamentales del problema. En el caso de elementos estructurales estas incógnitas son los desplazamientos nodales, ya que a partir de estos podemos calcular el resto de incógnitas que nos interesen: tensiones, deformaciones, etc. A estas incógnitas se les denomina grados de libertad de cada nodo del modelo. Los grados de libertad de un nodo son las variables que nos determinan el estado y/o posición del nodo.

Planteando la ecuación diferencial que rige el comportamiento del continuo para el elemento, se llega a fórmulas que relacionan el comportamiento en el interior del mismo con el valor que tomen los grados de libertad nodales. Este paso se realiza por medio de unas funciones llamadas de interpolación, ya que estas 'interpolan' el valor de la variable nodal dentro del elemento.

El problema se formula en forma matricial debido a la facilidad de manipulación de las matrices mediante ordenador. Conocidas las matrices que definen el comportamiento del elemento (en el caso estructural serán las llamadas matrices de rigidez, amortiguamiento y masa, aunque esta terminología ha sido aceptada en otros campos de conocimiento) se ensamblan y se forma un conjunto de ecuaciones algebraicas, lineales o no, que resolviéndolas nos proporcionan los valores de los grados de libertad en los nodos del sistema.

Para el análisis por elementos finitos, al programa además se le debe indicar un material, en nuestro caso se hicieron varias pruebas con diferentes materiales. El programa viene con unos materiales predeterminados, en los que no pudimos encontrar los materiales que nosotros seleccionamos para las pruebas, por lo que tuvimos que crear los materiales a partir de las características físicas que nos proporcionó el fabricante.

#### 4.6.3. Pruebas de carga con perfiles de acero Reynolds 631 de 24mm de diámetro y 2mm de espesor

El chasis va a ser sometido a diferentes cargas durante su uso en circuito, por lo que hay que intentar reproducir estos esfuerzos con la máxima exactitud posible. Por otro lado también se va a someter a una serie de verificaciones previas y estáticas para determinar si la motocicleta es apta o no apta para ser utilizada en un circuito. Estas pruebas de carga estáticas se realizarán en el propio circuito en el banco que tienen preparado para ello, donde se revisará minuciosamente cada detalle del chasis, como por ejemplo las soldaduras. Aquí revisarán si tras la aplicación de las cargas el chasis sufre alguna deformación plástica, o se genera algún frente de grieta. En cualquiera de estos casos, la motocicleta no sería apta para competir.

A continuación, se muestra las diferentes simulaciones que se llevaron a cabo tratando de representar todos los estados tensionales que sufrirá el chasis en las diferentes situaciones de carga.

#### 4.6.3.1. Carga horizontal de 300Kg aplicada sobre el neumático delantero

Para el primer análisis vamos a configurarlo conforme a la prueba de esfuerzo en estático que tendrá que soportar la moto en las verificaciones técnicas. Esta consiste en la aplicación de una carga sobre el neumático delantero de 300Kg, teniendo la rueda trasera fija, de manera que comprimirá la motocicleta.

Antes de efectuar el análisis hay que definir una serie de características y propiedades para poder realizar el análisis estructural, como son: el material, las cargas y restricciones, las idealizaciones, el mallado...

##### 4.6.3.1.1. Características para el modelado

En primer lugar se ha de guardar una copia del modelo de esqueleto únicamente con los elementos unidimensionales (los perfiles) y bidimensionales (las pletinas). (Figura 115).

El motivo principal del uso de este tipo de elementos, en vez de utilizar los sólidos, es el de facilitar el análisis estructural.

Al importar estos elementos simples, se reduce mucho el número de nodos necesarios para el posterior análisis. Esto facilita mucho las cosas al equipo informático. De la otra forma habría sido muy complicado realizar los análisis, debido a que nuestros equipos no están preparados para este tipo de estudios.

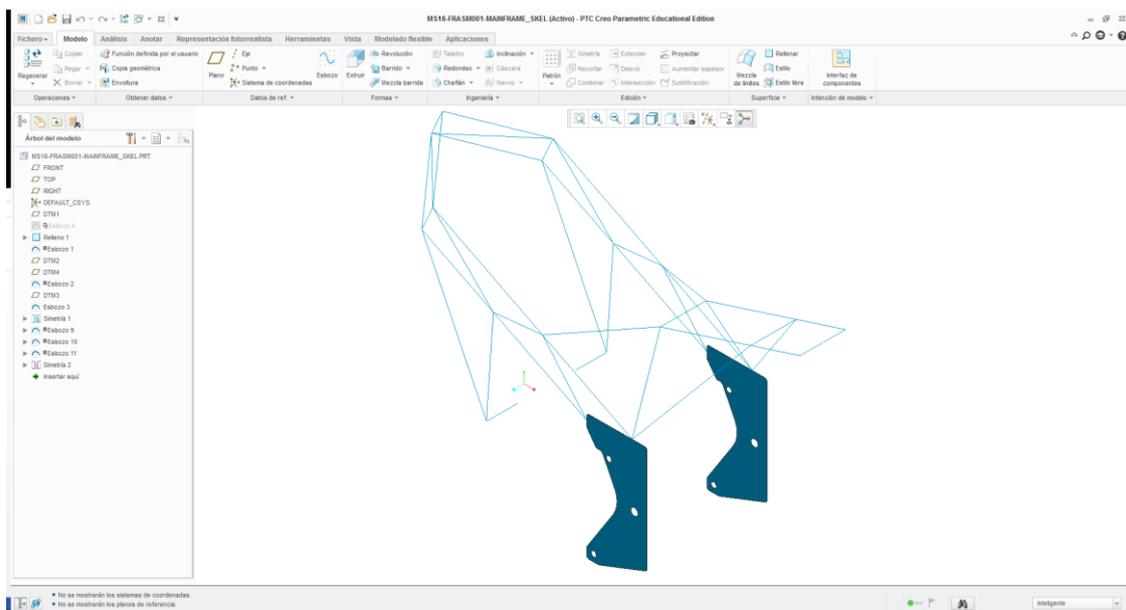


Figura 115. Esqueleto del chasis

#### 4.6.3.1.2. Material

Se necesita asignar un tipo de material con sus propiedades. Estas propiedades fueron suministradas por el proveedor del material. Para ello hacemos clic en nuevo material y rellenamos la tabla con las propiedades del material (Figura 116).

El material con el que se realizó el primer análisis fue el acero del tipo Reynolds 631.

Definición de material

Nombre: REYNOLDS 631

Descripción:

Densidad: 7.78 g/cm<sup>3</sup>

Aspecto visual | Definido por el usuario

Estructural | Térmico | Miscelánea

Simetría: Isótropo

Respuesta de tensión-deformación: Lineal

Coficiente de Poisson: 0.34

Módulo de Young: 205939 MPa

Coef. de expansión térmica: /C

Amortiguación de mecanismos: sec/mm

Límites de material

Límite elástico en tracción: 650 MPa

Límite de resistencia a la tracción: 800 MPa

Límite de resistencia a la compresión: kPa

Criterio de rotura: Ninguno

Fatiga: Ninguno

Aceptar Cancelar

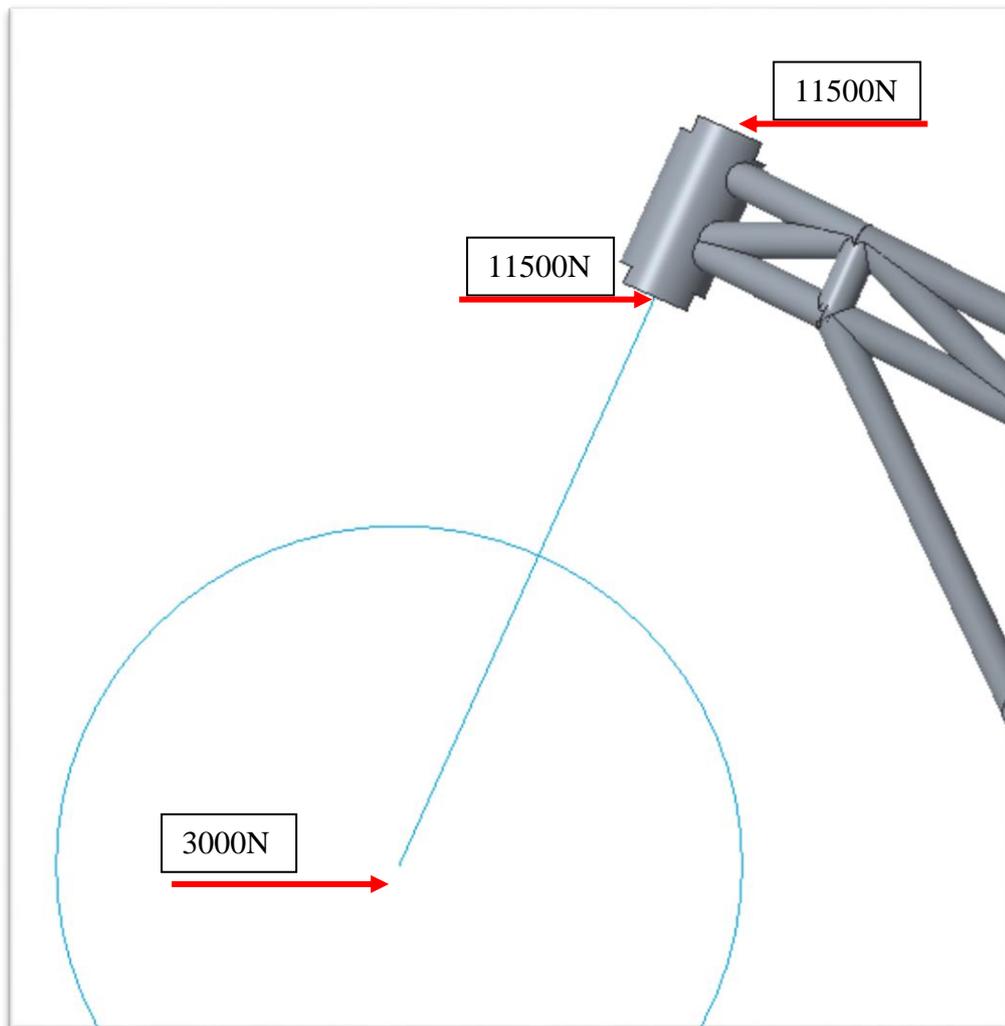
Figura 116. Datos del material

#### 4.6.3.1.3. Restricciones y cargas

Para el primer análisis vamos a configurarlo conforme a la prueba de esfuerzo en estático que tendrá que soportar la moto en las verificaciones técnicas. Esta consiste en la aplicación de una carga sobre el neumático delantero de 300 kg, teniendo la rueda trasera fija, de manera que comprimirá la motocicleta.

La fuerza horizontal de 3000 N que incide sobre el neumático delantero, hay que trasladarla sobre la pipa de dirección.

Esta fuerza provoca un par de fuerzas iguales y de sentido contrario en los extremos de la pipa de dirección. El sentido de la fuerza del extremo superior es igual al sentido de la marcha, y la fuerza del extremo inferior tiene sentido contrario al de la marcha. Esta fuerza de 3000 N genera un momento de 1562 Nm en el punto medio de la pipa de dirección. Para calcular las fuerzas que inciden sobre los extremos superior e inferior de la pipa, sabiendo que la pipa mide 150 mm, hacemos una suma de momentos cuyo resultado es de 11500 N, esta fuerza incidirá tanto en el extremo superior como en el extremo inferior (Figura 117).



*Figura 117. Aplicación de las fuerzas en la pipa de dirección*

En el menú de Creo Simulate seleccionamos la pestaña de Displacement, en el menú que se despliega seleccionamos Edges/Curves en el apartado de referencias y pinchamos sobre la circunferencia por la que pasa el eje del basculante, ya que queremos restringir el movimiento en este punto. Esta operación se tiene que hacer con ambas pletinas (Figura 118).

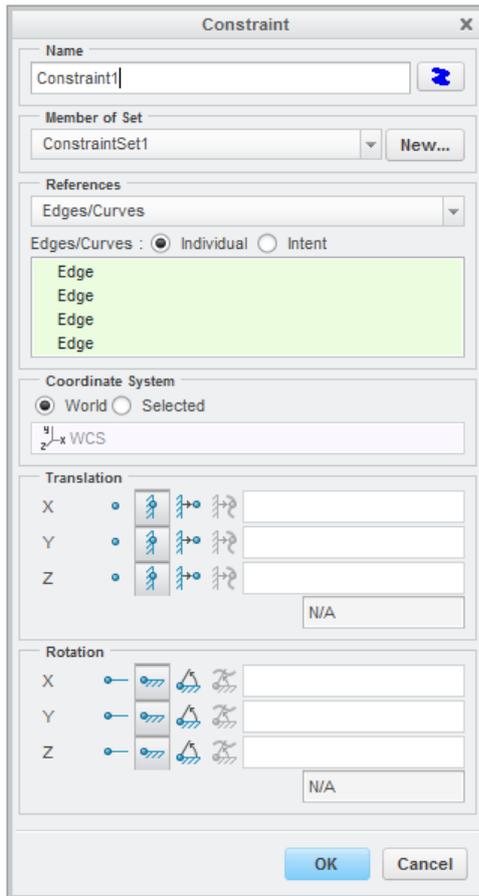


Figura 118. Selección de las restricciones

Así es como quedará la configuración de las restricciones (Figura 119).

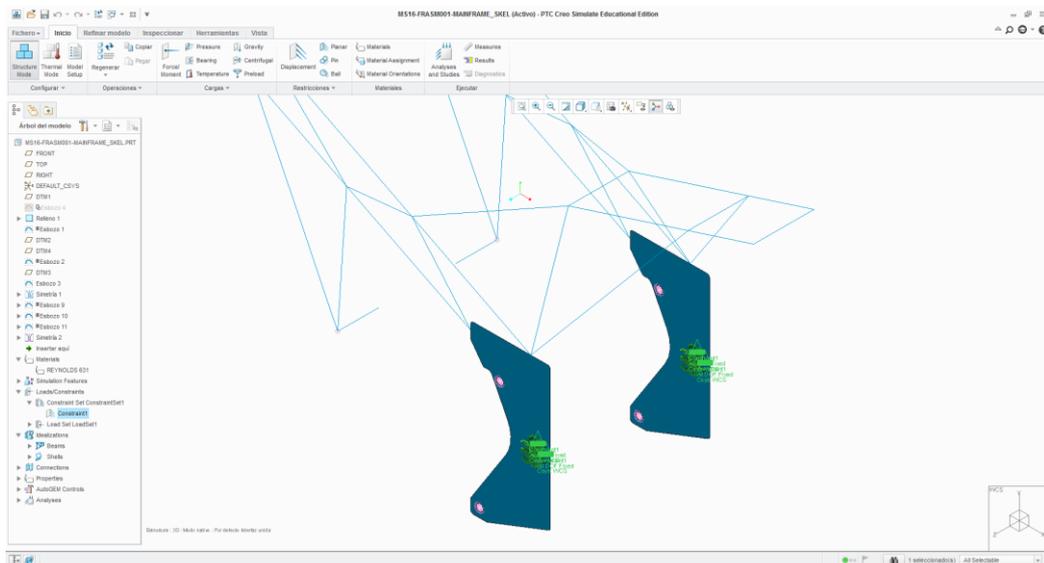


Figura 119. Restricciones sobre el modelo

Ahora se añaden las fuerzas que actúan sobre los extremos de la pipa de dirección (Figura 120).

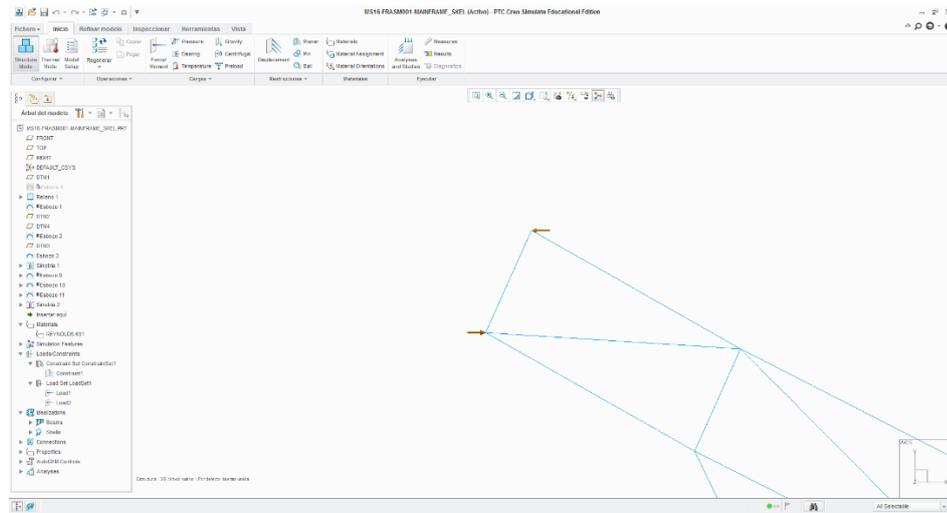


Figura 120. Fuerzas sobre la pipa de dirección

#### 4.6.3.1.4. Idealizaciones

Hasta este momento estábamos trabajando únicamente con el esqueleto, es decir, tan solo teníamos una serie de líneas sin volumen, o una superficie en el caso de las pletinas.

Para poder llevar a cabo el análisis del modelo, es necesario darle volumen al esqueleto utilizando las características de los perfiles con los que luego se fabricarán. Así como el espesor de fabricación a las pletinas laterales. Para ello se utiliza la herramienta de idealización de Creo Simulate (Figura 121).

Introducimos los valores de los tubos, en nuestro caso para el primer análisis utilizamos un diámetro exterior de los perfiles de 24 mm y un diámetro interior de 20 mm.

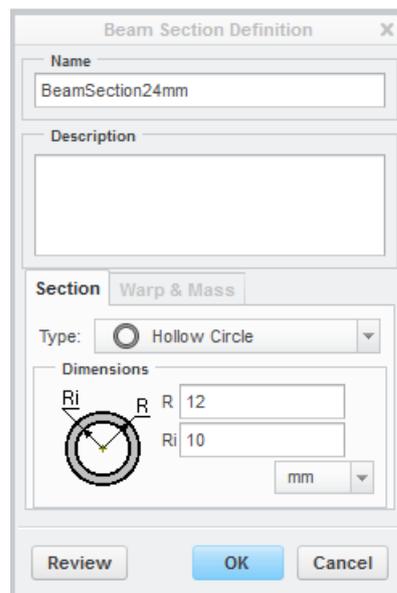


Figura 121. Idealización del perfil

Con el tamaño de los perfiles ya definido, hay que seleccionar los Edges/Curves a los que queremos asignar la sección de los perfiles antes creada y el tipo de material elegido (Figura 122).

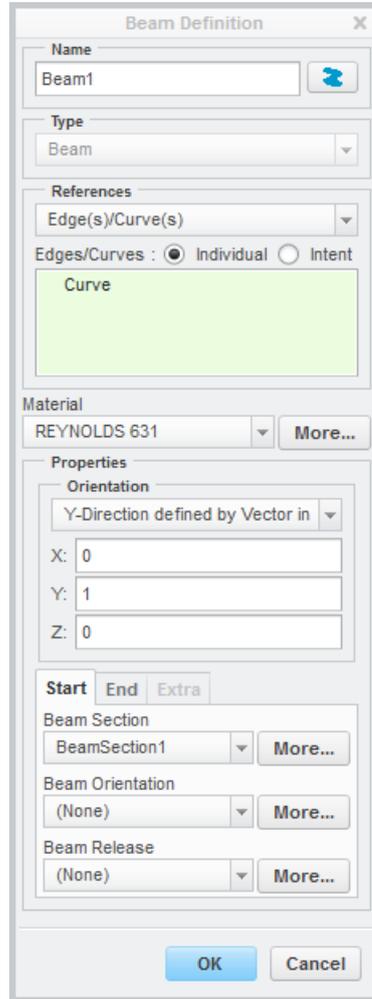


Figura 122. Asignación de secciones

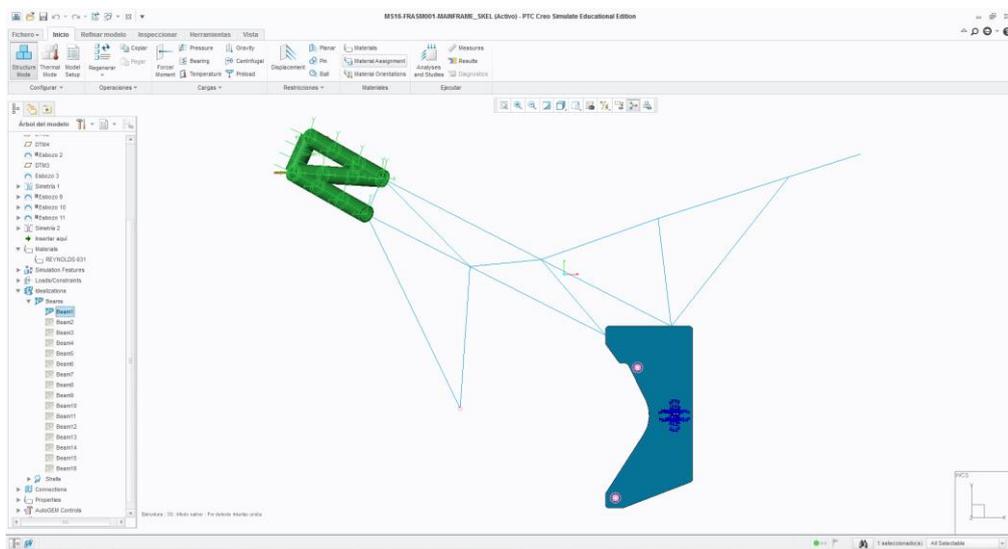


Figura 123. Secciones creadas

Esta operación hay que realizarla con todas las líneas del modelo (Figura 124).

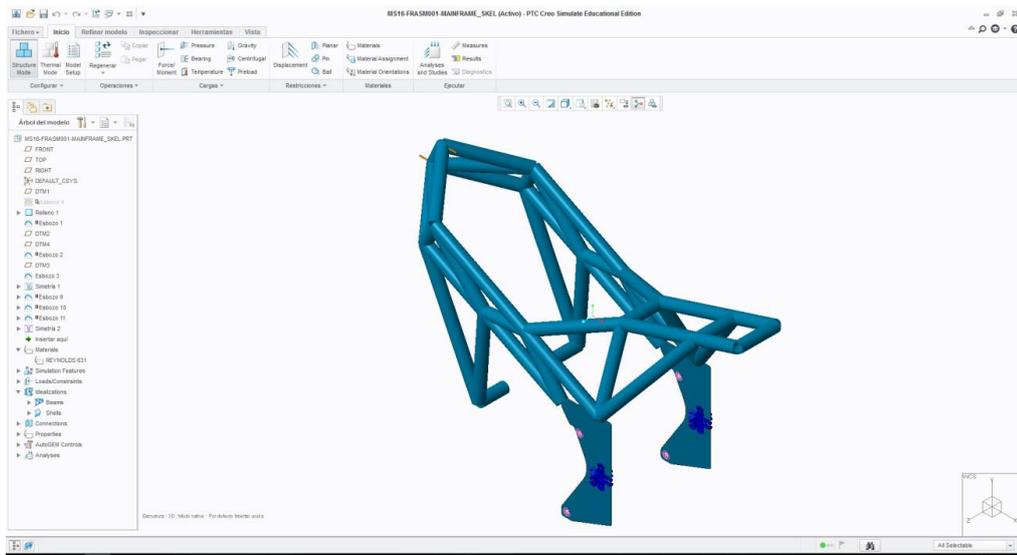


Figura 124. Idealización de los perfiles

El siguiente paso consiste en dar propiedades de volumen a las pletinas del mismo modo que con los tubos, pero en este caso utilizando la función SHELLS.

Seleccionamos las dos superficies de las pletinas, le damos un espesor de 30 mm y le asignamos el material.

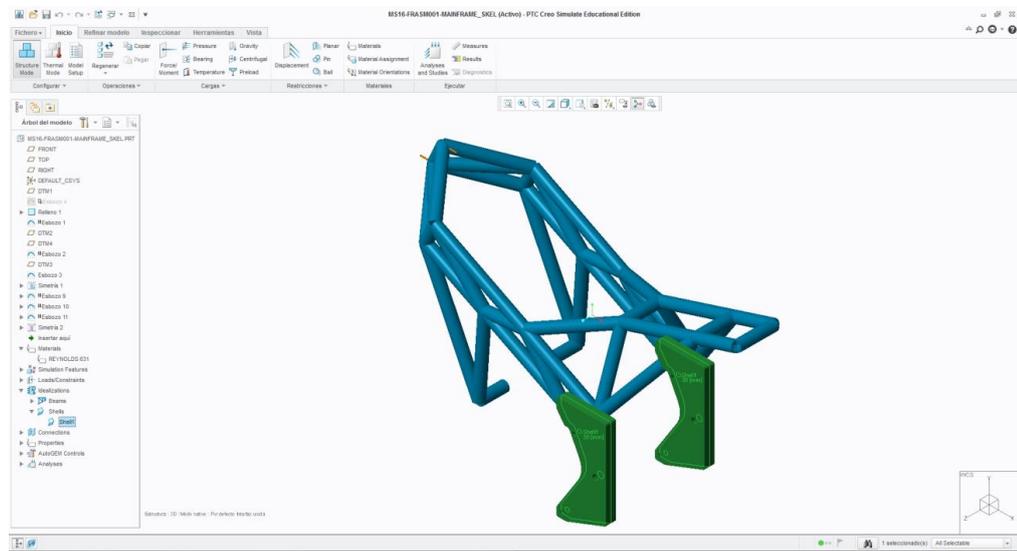


Figura 125. Volumen de las pletinas

#### 4.6.3.1.5. Uniones rígidas

Puesto que el componente ensamblado más importante que llevará el chasis es el motor y actuará como parte de este aumentando la rigidez, es necesario realizar una serie de uniones rígidas, que unan los puntos de anclaje del motor en las pletinas con el punto de anclaje del motor por la parte delantera con los tubos.

Para esto se utiliza la herramienta de Rigid Links del menú de Conexiones. Simplemente tendremos que seleccionar los anclajes de las pletinas y los anclajes de la parte frontal y aceptar, automáticamente el programa crea una unión rígida (Figura 126).

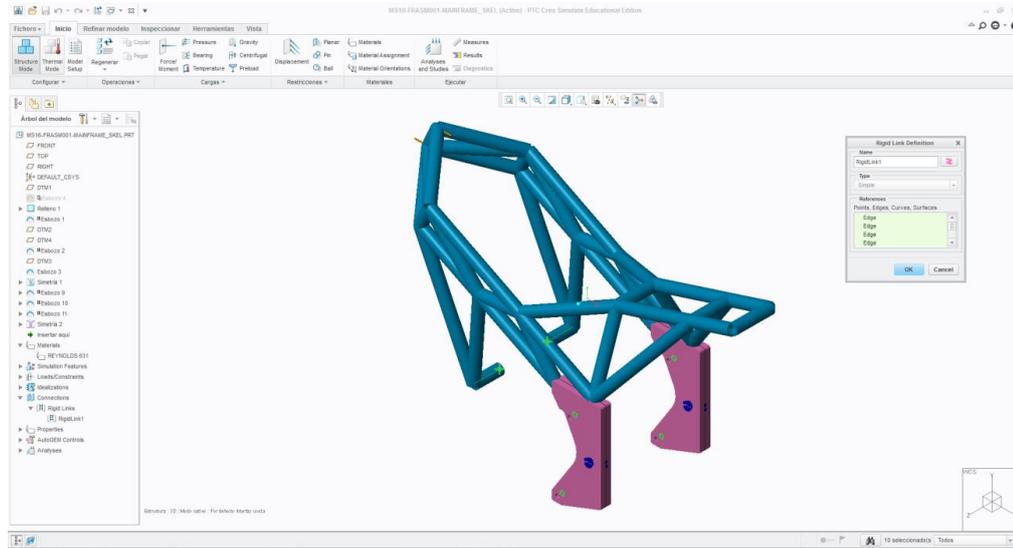


Figura 126. Uniones rígidas

#### 4.6.3.1.6. Mallado

El último paso antes de correr el análisis estructural, es el del mallado de la estructura, sin este mallado es imposible de efectuar dicho análisis.

Creo Simulate tiene una función de mallado automático llamada AutoGem.

Simplemente pinchamos sobre la pestaña, nos preguntará si se desea crear un mallado, se pincha que sí y automáticamente lo genera.

#### 4.6.3.1.7. Análisis y resultados

Con todos los pasos anteriores terminados, ahora se ejecuta el análisis del modelo. Y a continuación se realiza un pequeño análisis de los resultados.

- Tensión de von Mises

La tensión de von Mises más alta se genera en la zona de unión de los tubos con las pletinas, y esta es de 191 MPa (Figura 127).

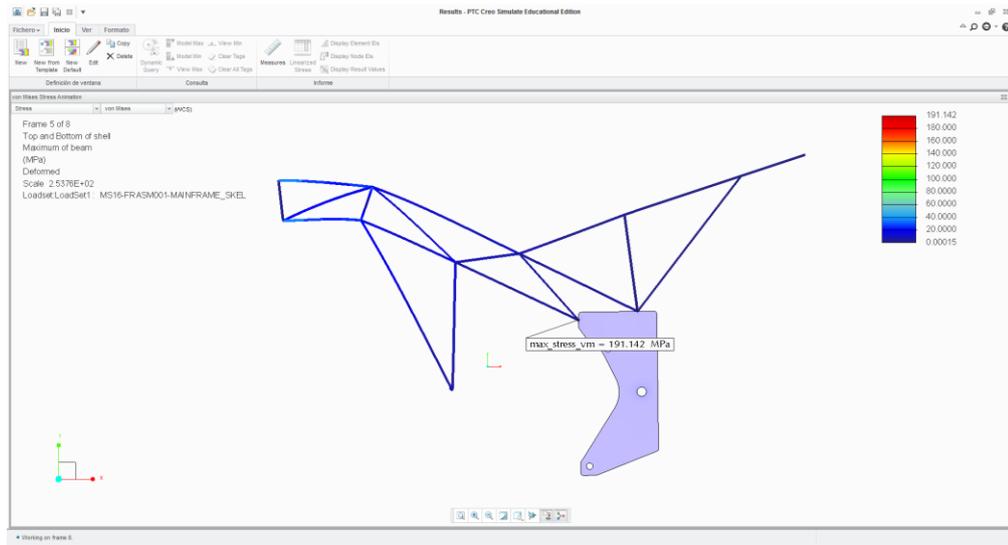


Figura 127. Von Misses

En la siguiente (Figura 128) se puede observar como las tensiones en ambos lados del chasis son iguales. Esto era de esperar ya que el chasis es simétrico.

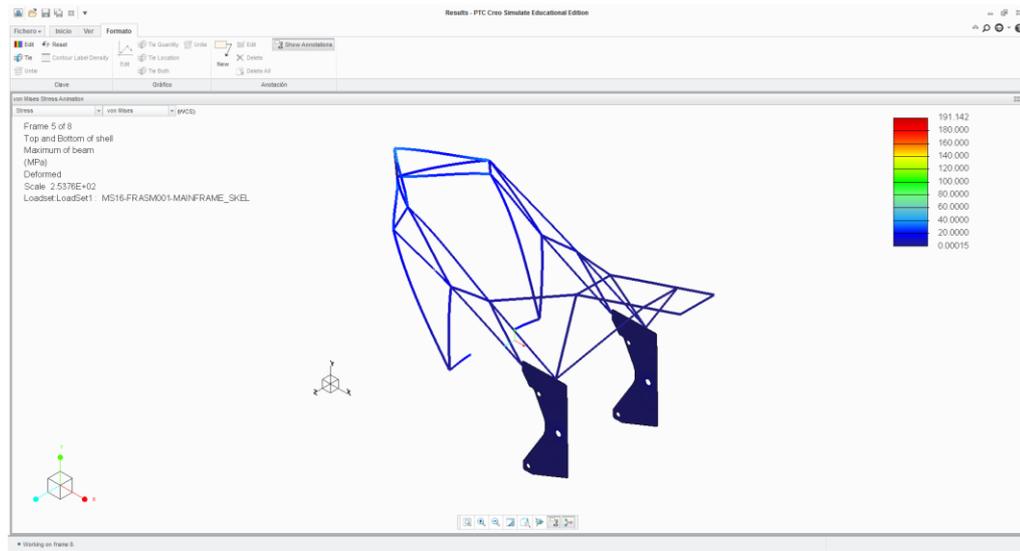


Figura 128. Von Misses

- **Deformación**

La siguiente hoja de resultados muestra la deformación máxima que sufrirá el chasis en milímetros. Como era de esperar, la máxima deformación se ve reflejada en la pipa de dirección. El valor de deformación máxima es de 0.37222 mm (Figura 129), esto quiere decir que la deformación en la zona más crítica que es la pipa de dirección sufrirá una deformación de menos de medio milímetro.

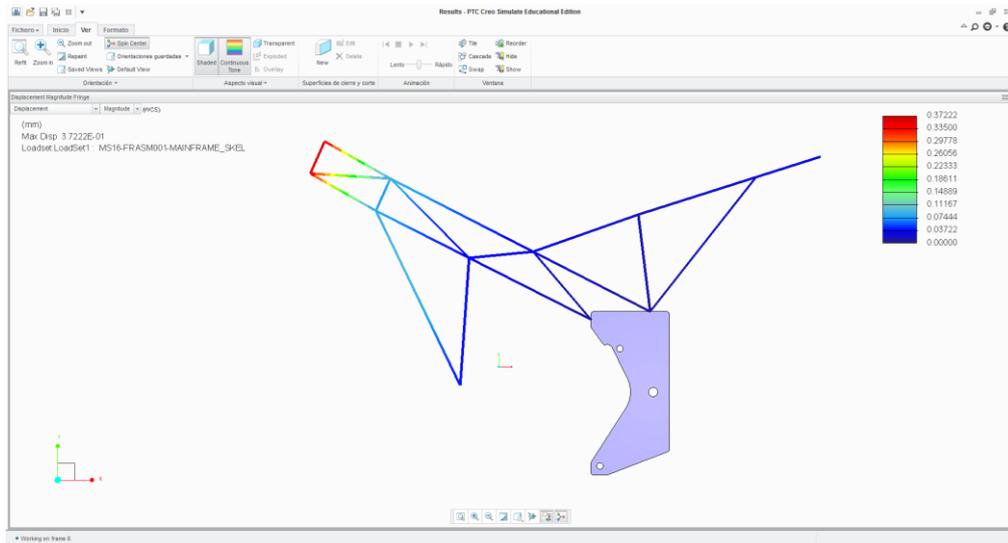


Figura 129. Deformación máxima

130). E igual que antes, la deformación en ambos lados del chasis es simétrica (Figura

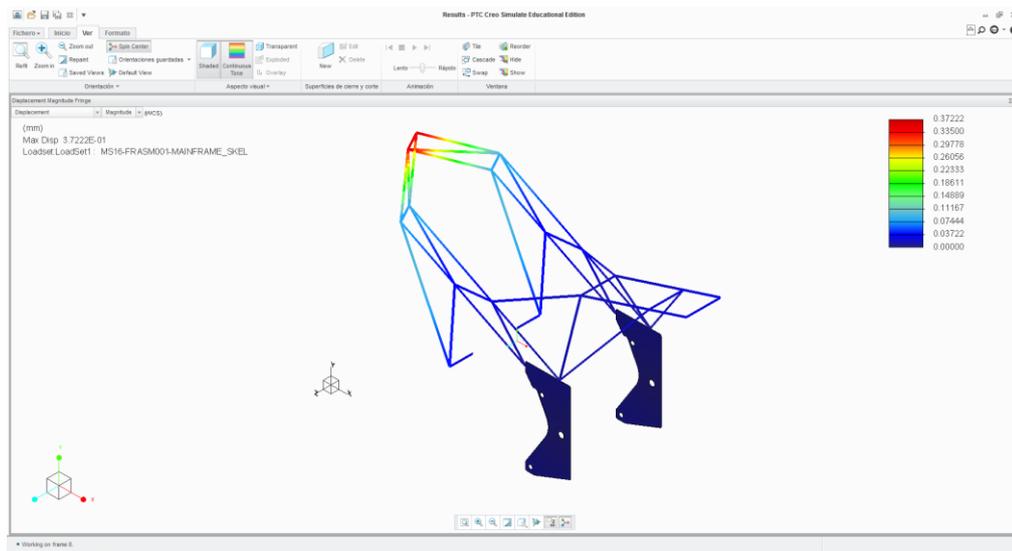


Figura 130. Deformación máxima

#### 4.6.3.1.8. Conclusiones del primer análisis

Tras realizar el primer análisis, los resultados han sido muy positivos. El acero utilizado supera con creces nuestras necesidades ya que el límite elástico de este Reynolds 631 está situado en 650 MPa y nosotros hemos obtenido un resultado de tensión máxima de 191 MPa, por lo que tenemos mucho margen con el que trabajar.

#### 4.6.3.2. Carga vertical de 250 Kg sobre la silleta del piloto (sub-chasis).

En este caso vamos a colocar la carga sobre los extremos de una de las barras del sub-chasis, ya que ese será el caso más desfavorable.

Se procede igual que con el análisis anterior.

La única diferencia a la hora de preparar el análisis es la de las cargas y las restricciones (Figura 131).

Para este análisis se fija el extremo inferior de la pipa y el anclaje del basculante igual que en el caso anterior.

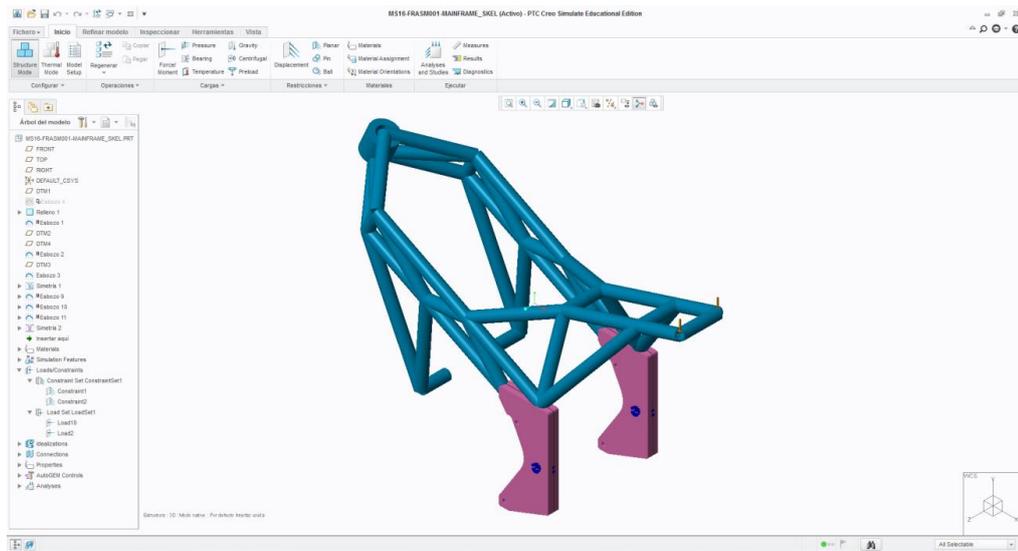


Figura 131. Cargas y restricciones

##### 4.6.3.2.1. Tensión de von Mises

La tensión máxima de von Mises en este análisis es de 458 MPa (Figura 132) en la zona de la unión del tubo del sub-chasis con las pletinas.

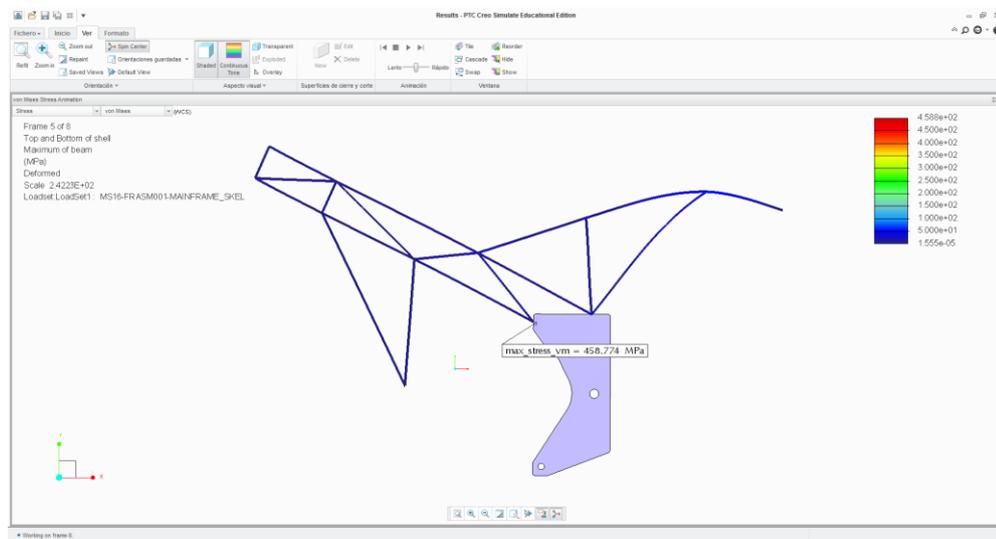


Figura 132. Von Mises

Vemos como igual que en el caso anterior las tensiones son simétricas (Figura 133).

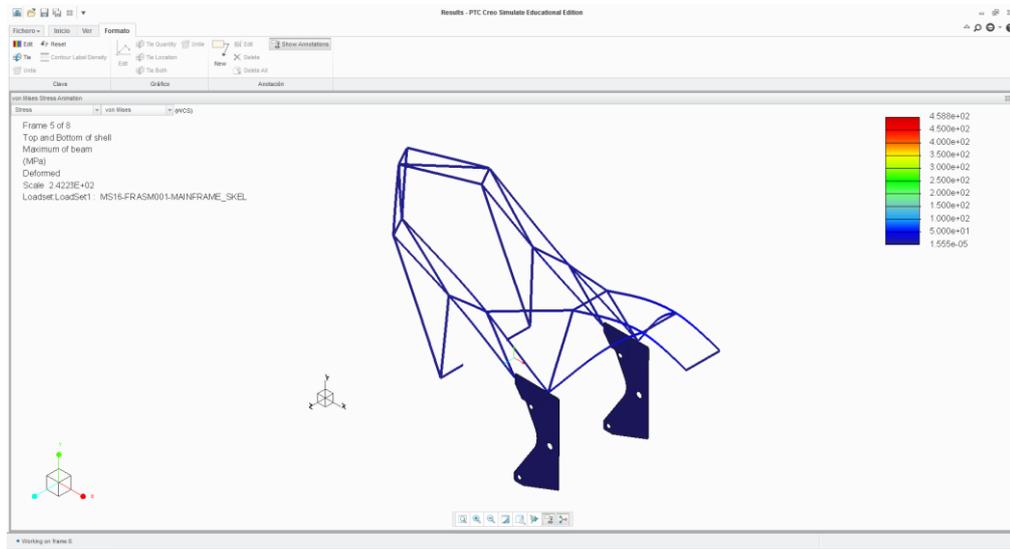


Figura 133. Von Misses

#### 4.6.3.2.2. Deformación

La deformación máxima que sufre el chasis en este caso, la encontramos en el sub-chasis, justo en la zona de aplicación de la carga. La deformación es de 0.43927 mm (Figura 134) y (Figura 135).

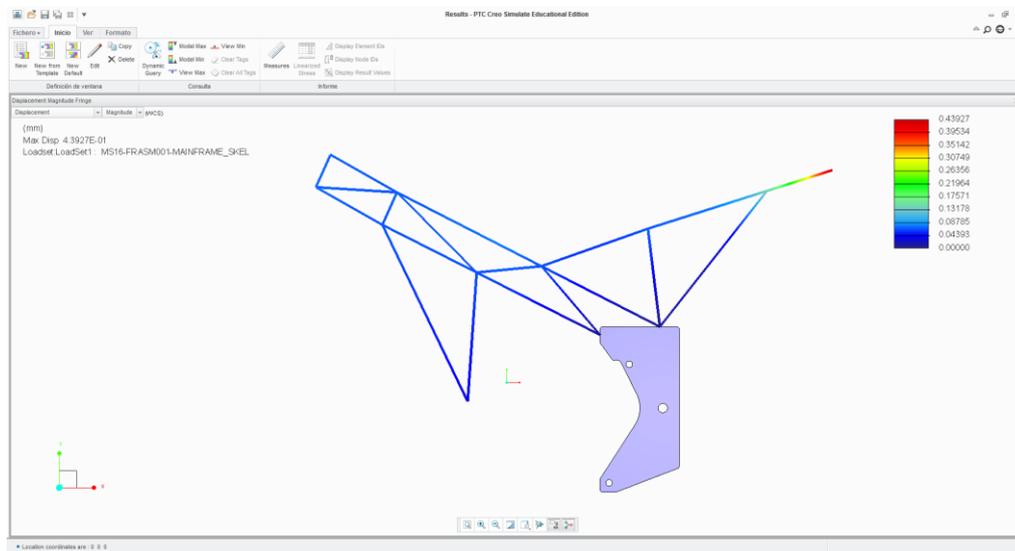


Figura 134. Deformación máxima

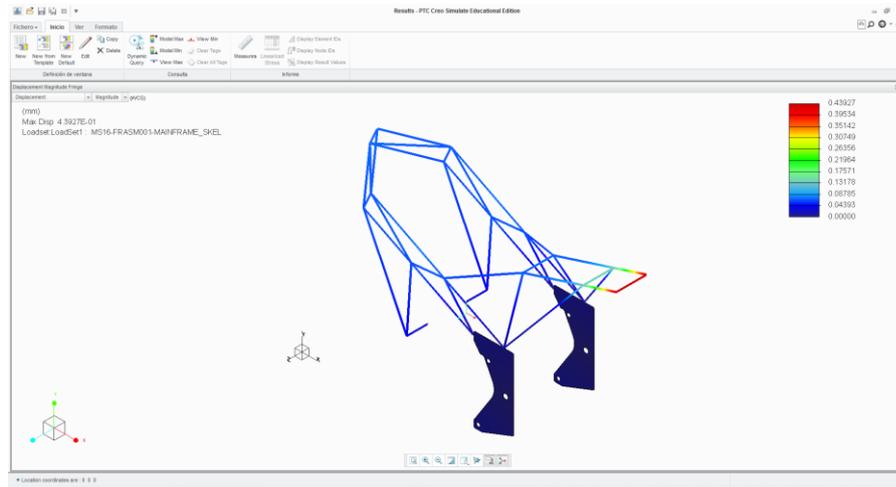


Figura 135. Deformación

#### 4.6.3.2.3. Conclusiones del análisis

Nuevamente se observa como el chasis está sobredimensionado, pudiendo soportar cargas mayores de las que se le están aplicando, sin que presente una deformación permanente.

#### 4.6.3.3. Análisis estructural en el paso por curva

Para este análisis necesitamos cambiar la posición de las fuerzas. Éstas se tienen que situar en los extremos de la pipa de dirección. Se va a considerar que la motocicleta está tomando una curva de izquierdas por lo tanto las fuerzas quedarán de la siguiente forma. En el extremo superior el sentido de la fuerza va hacia el interior de la curva y en el extremo inferior la fuerza va dirigida hacia el exterior de la curva (Figura 136).

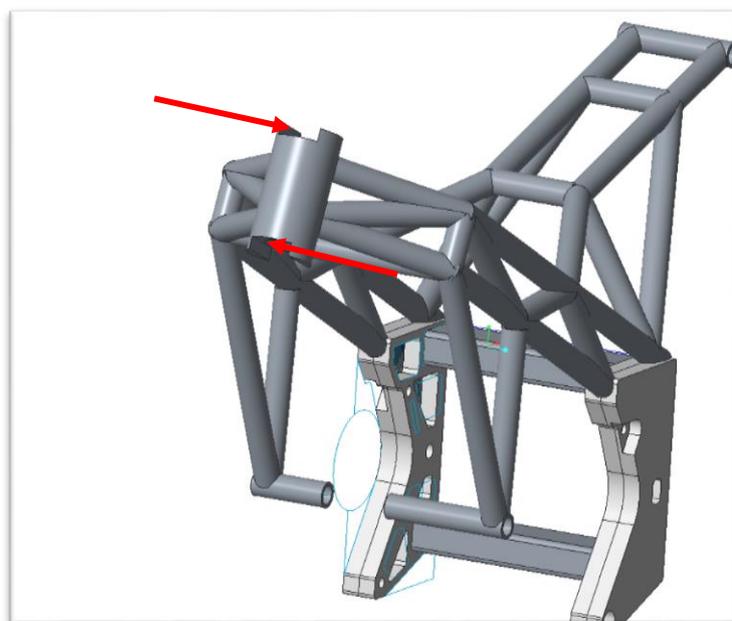


Figura 136. Fuerzas sobre la pipa

#### 4.6.3.3.1. Tensión de von Mises

La tensión máxima que sufre el chasis durante el paso por curva es de 9 MPa (Figura 137). Esto quiere decir que las tensiones generadas durante el paso por curva son muy bajas.

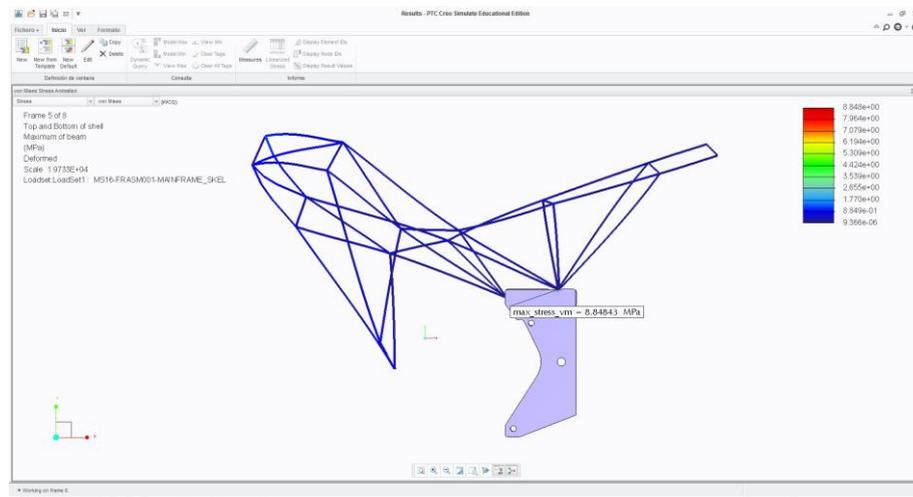


Figura 137. Tensión máxima

En este caso, las deformaciones ya no son simétricas, como se aprecia en la (Figura 138), el chasis torsiona.

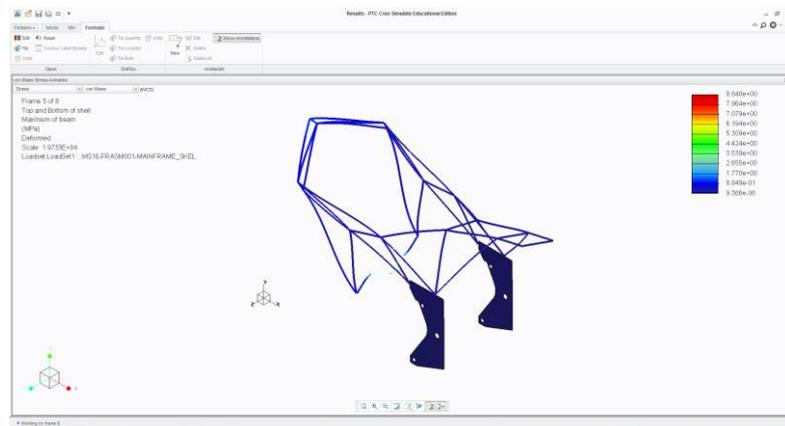


Figura 138. Von Mises

#### 4.6.3.3.2. Deformación

La deformación, igual que las tensiones, da valores más reducidos que en las pruebas anteriores alcanzando una deformación límite de 0.00479 mm (Figura 139) y (Figura 140).

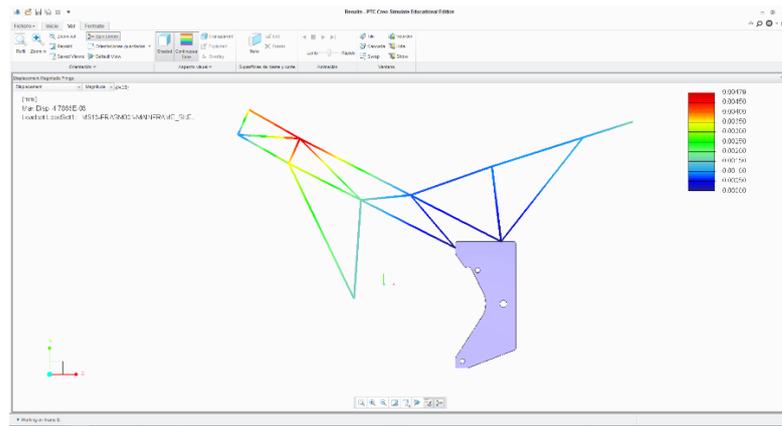


Figura 139. Deformación máxima

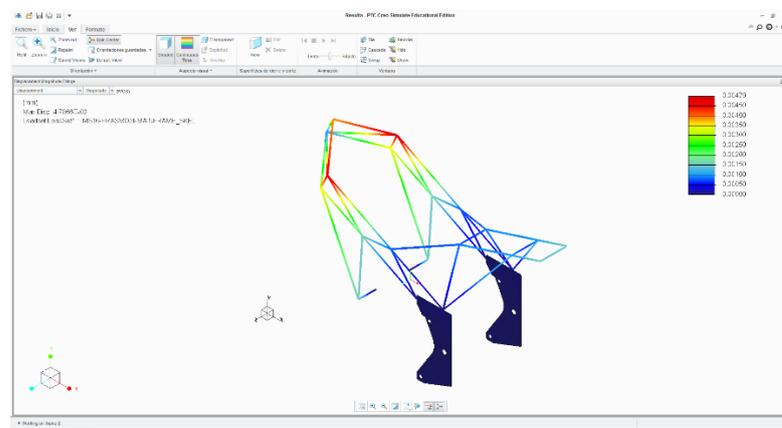


Figura 140. Deformación máxima

#### 4.6.3.3. Conclusiones del análisis

El estudio del análisis estructural durante el paso por curva es el menos agresivo con el chasis de los tres que hemos realizado. Por lo que los dos primeros análisis, el de la carga en la rueda delantera y la carga sobre el sub-chasis son con los que nos guiaremos para remodelar el chasis, probando con otros materiales o reduciendo secciones de los perfiles y/o pletinas.

#### 4.6.4. Pruebas de carga con perfiles de aluminio 6063-T5 de 20 mm de diámetro y 2 mm de espesor

Tras los análisis previamente realizados se decidió modificar el material utilizado del acero al aluminio 6063 en estado T5, ya que los resultados de los análisis han sido muy positivos. Esta modificación se hace con el fin de reducir el peso de la motocicleta, siempre que los resultados de los análisis con este nuevo material sean positivos.

Con estas modificaciones esperamos conseguir una mayor agilidad de la motocicleta.

Antes de comenzar con los nuevos análisis, se crea un nuevo material con las propiedades del aluminio 6063-T5.

#### 4.6.4.1. Carga horizontal de 300 Kg aplicada sobre el neumático delantero

Se realiza de nuevo la misma prueba.

##### 4.6.4.1.1. Tensión de von Mises

En este caso, la tensión máxima (Figura 141), supera el límite elástico del aluminio, por lo que si se sometiese a esta prueba en el banco se deformaría plásticamente, es decir, que no recuperaría el 100% de su forma original (Figura 142).

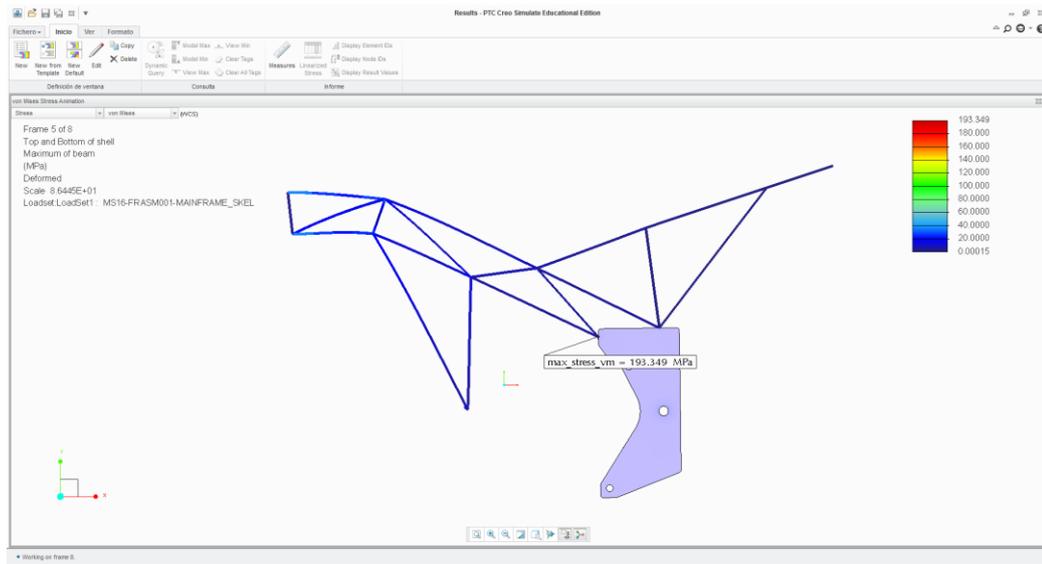


Figura 141. Tensión máxima

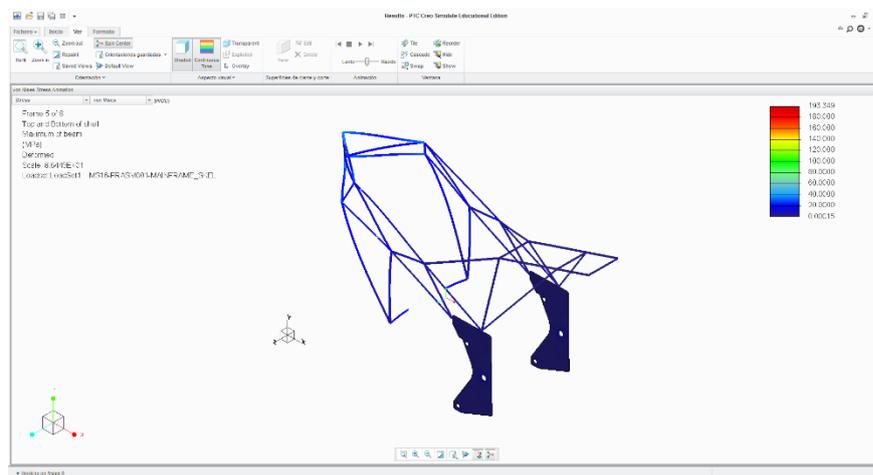


Figura 142. Von Mises

##### 4.6.4.1.2. Deformación

La deformación máxima la sufriría la pipa de dirección, desplazándose hasta más de 1 mm completo de su posición inicial (Figura 143) y (Figura 144).

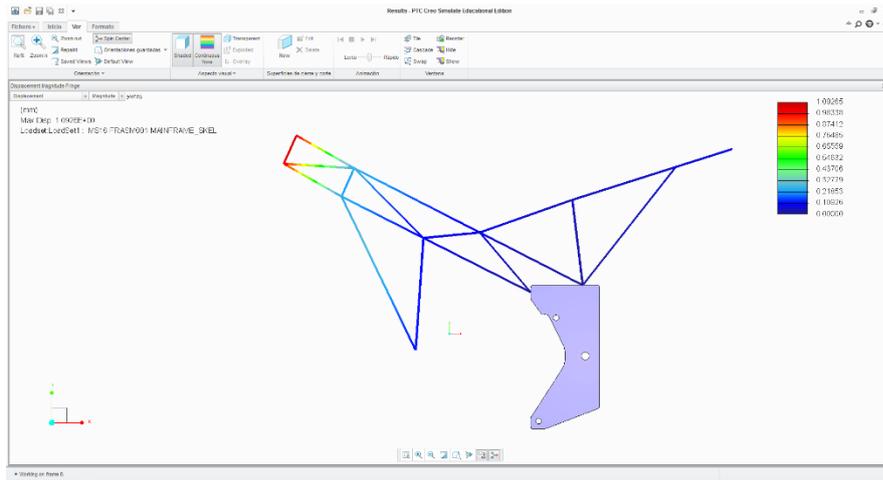


Figura 143. Deformación máxima

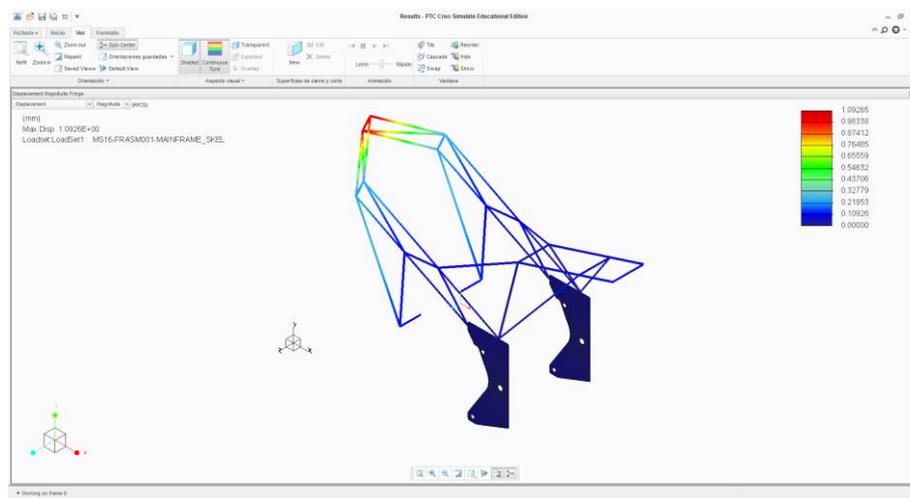


Figura 144. Deformaciones

#### 4.6.4.2. Carga vertical de 250 Kg sobre la silleta del piloto (sub-chasis).

##### 4.6.4.2.1. Tensión de Von Mises

La tensión de von Mises es demasiado elevada (Figura 145), superando con creces el límite de rotura del material, por lo que rompería si se llegase a fabricar (Figura 146).

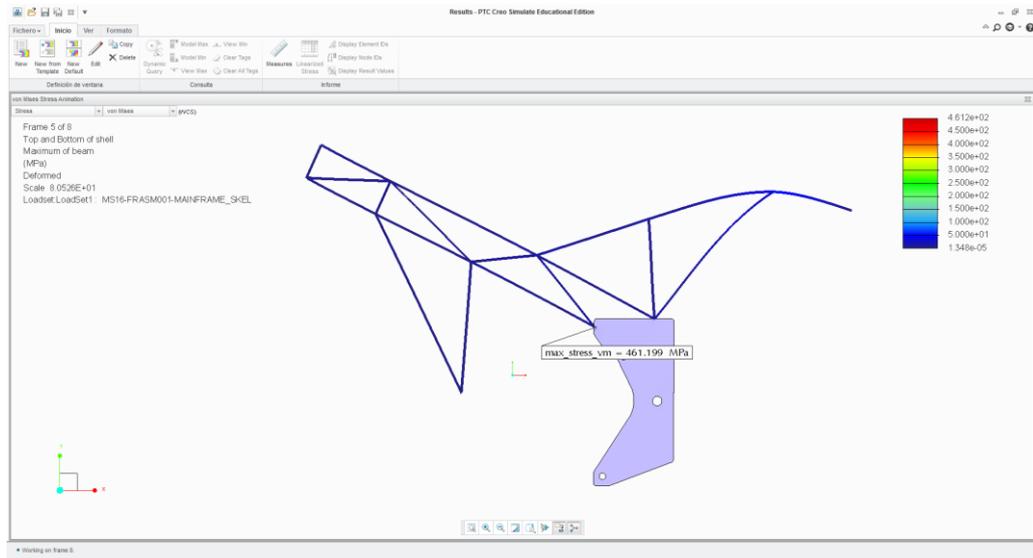


Figura 145. Tensión máxima

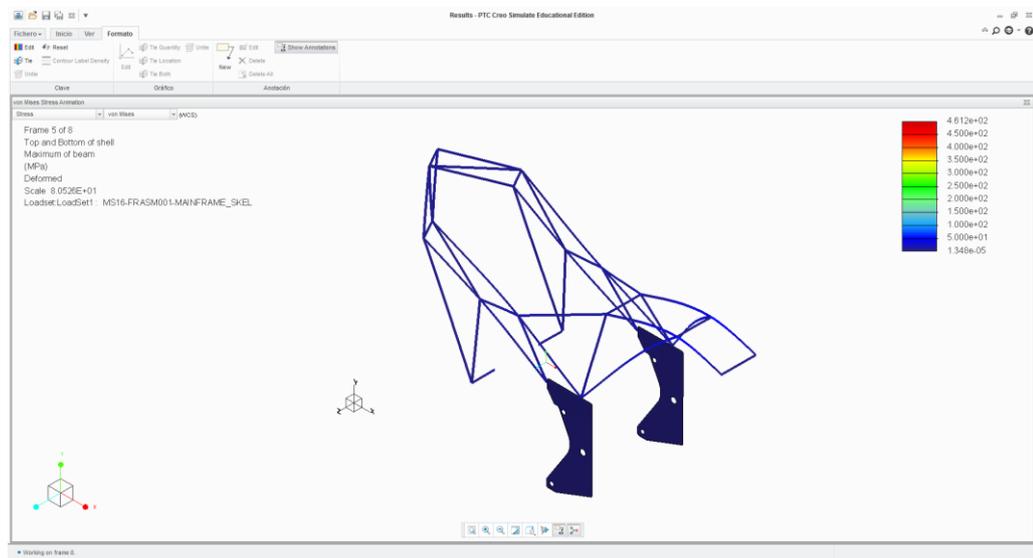


Figura 146. Von Misses

#### 4.6.4.2.2. Conclusiones del análisis

Este material con este tamaño de perfiles no es apto para la fabricación ya que no aguantaría la demanda de cargas que va a tener. Por eso mismo no tiene sentido seguir con el análisis con esta configuración, además siendo el análisis de paso por curva el menos agresivo de los tres.

#### 4.6.5. Pruebas de carga con perfiles AL6063-T5 de 30 mm de diámetro exterior y 4 mm de espesor de pared.

Se decidió mantener el material, pero incrementar la sección de los perfiles, incrementando el diámetro y el espesor, se aumenta la inercia, y seguimos teniendo la ventaja de la ligereza del aluminio.

#### 4.6.5.1. Carga horizontal de 300 Kg aplicada sobre la rueda delantera

Se Colocan de nuevo las cargas para este ensayo.

##### 4.6.5.1.1. Tensión de von Mises

Se realiza por tercera vez el mismo ensayo, pero con los perfiles de 30 mm de diámetro, obteniendo un valor de 152MPa (Figura 147), el cual es apto, pero está cerca del límite.

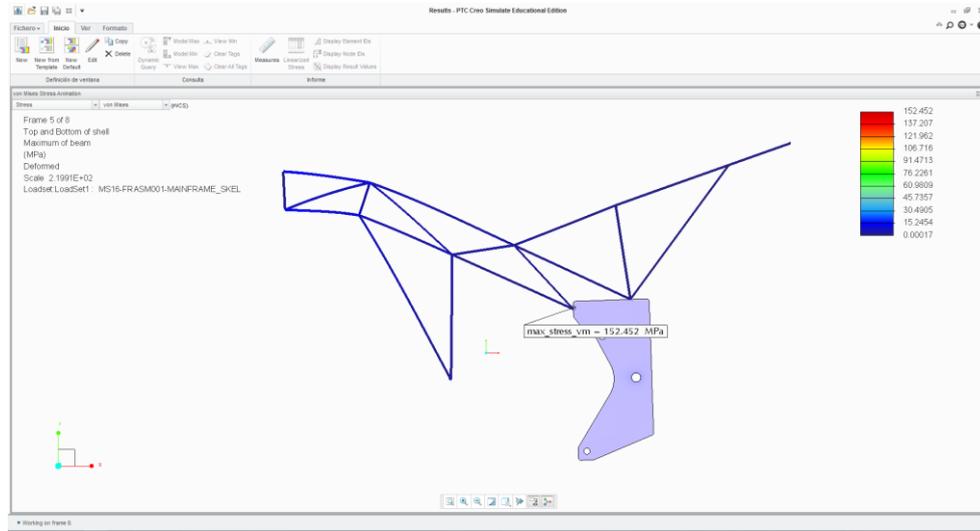


Figura 147. Tensión máxima

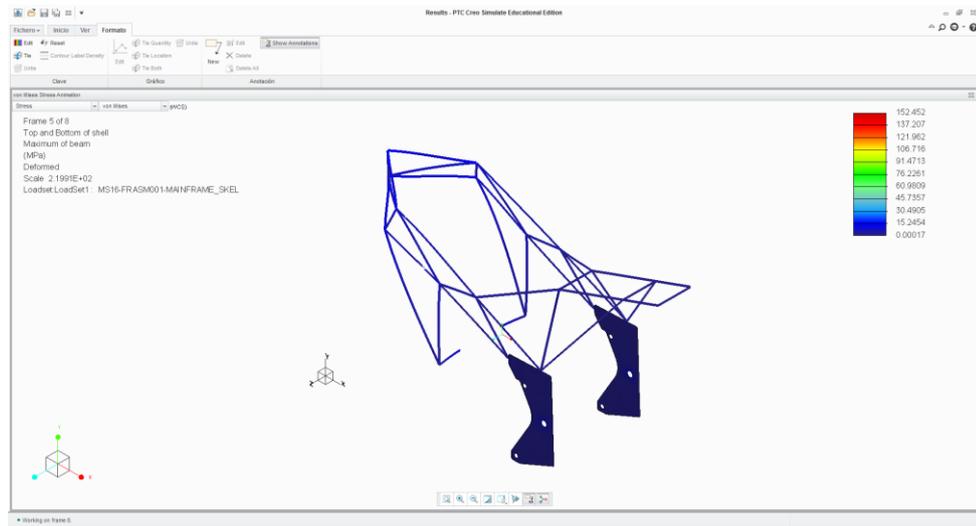


Figura 148. Von Mises

##### 4.6.5.1.2. Deformaciones

La deformación máxima sufrida de este tipo de perfil es de 0.42951 mm (Figura 149) y (Figura 150).

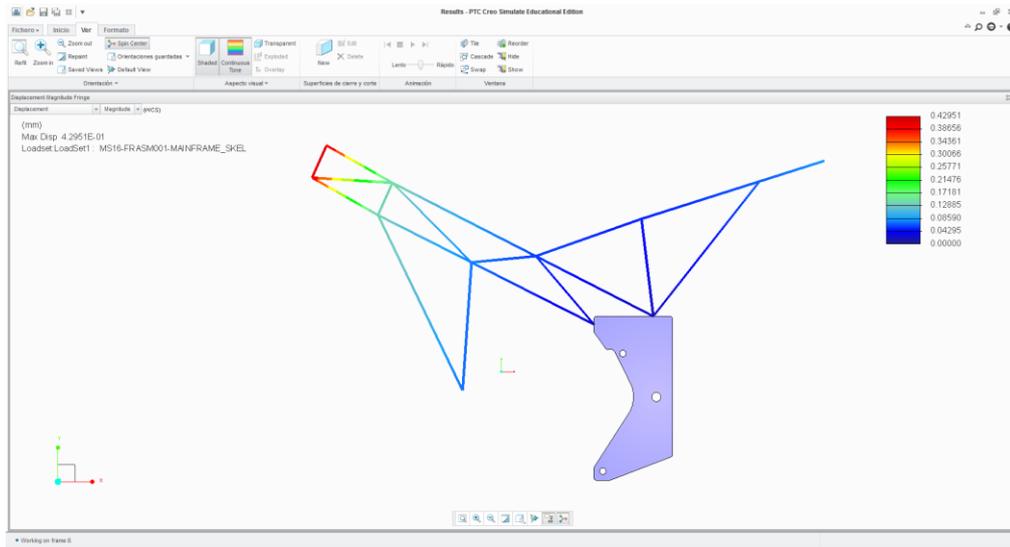


Figura 149. Deformación máxima

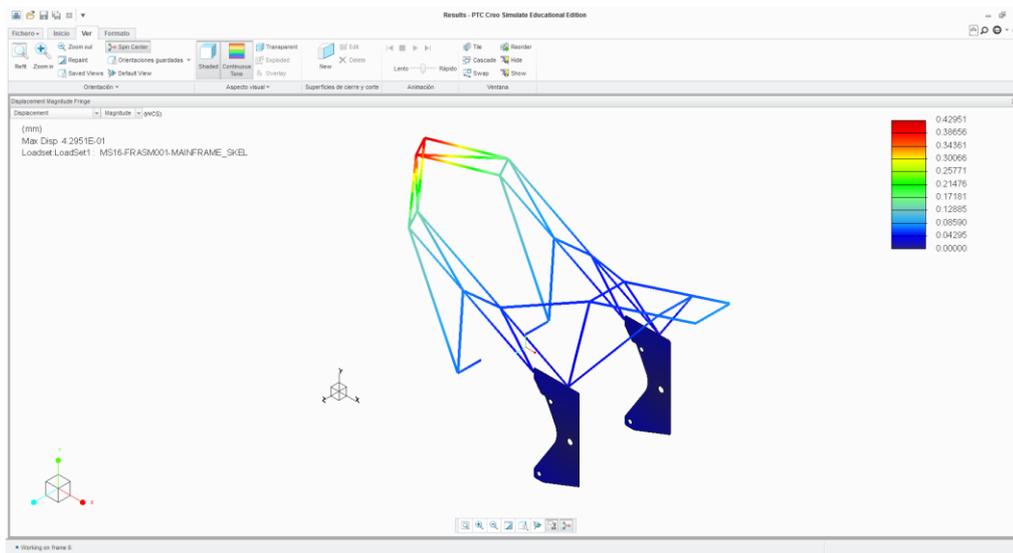


Figura 150. Deformación máxima

Esta deformación es aceptable, y además no alcanza el límite de deformación plástica del material.

#### 4.6.5.2. Carga vertical de 250 Kg sobre la silleta del piloto (sub-chasis)

Se colocan las cargas sobre los extremos del último perfil del sub-chasis y se procede con el análisis.

#### 4.6.5.2.1. Tensión de von Mises

Este ensayo es el más fuerte de todos como hemos podido observar en los anteriores análisis.

Viendo el resultado de la tensión máxima que tendrá que soportar el chasis, se puede decir que está rozando el límite, ya que tenemos un resultado de 167 MPa (Figura 151) y la tensión de deformación plástica del material es de 170 MPa.

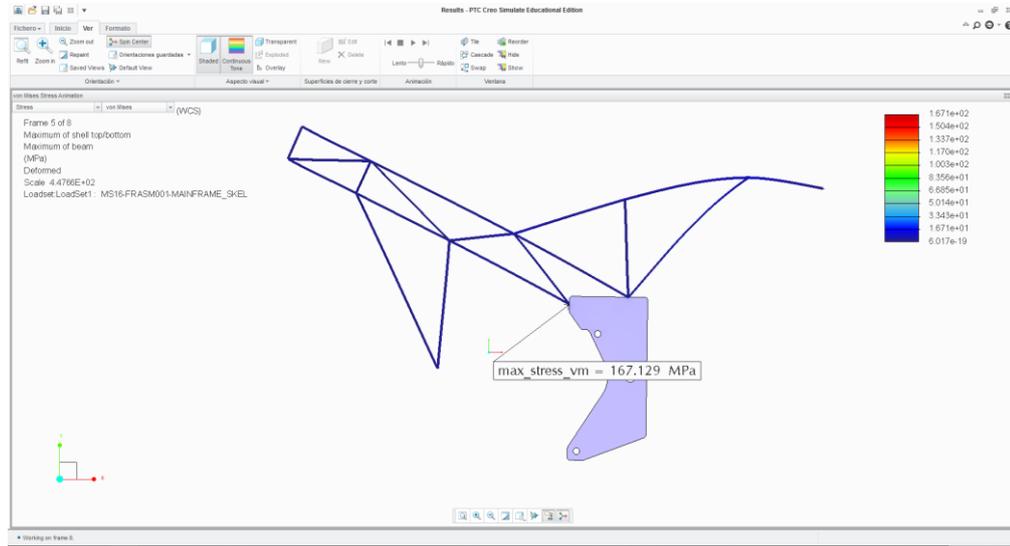


Figura 151. Tensión máxima

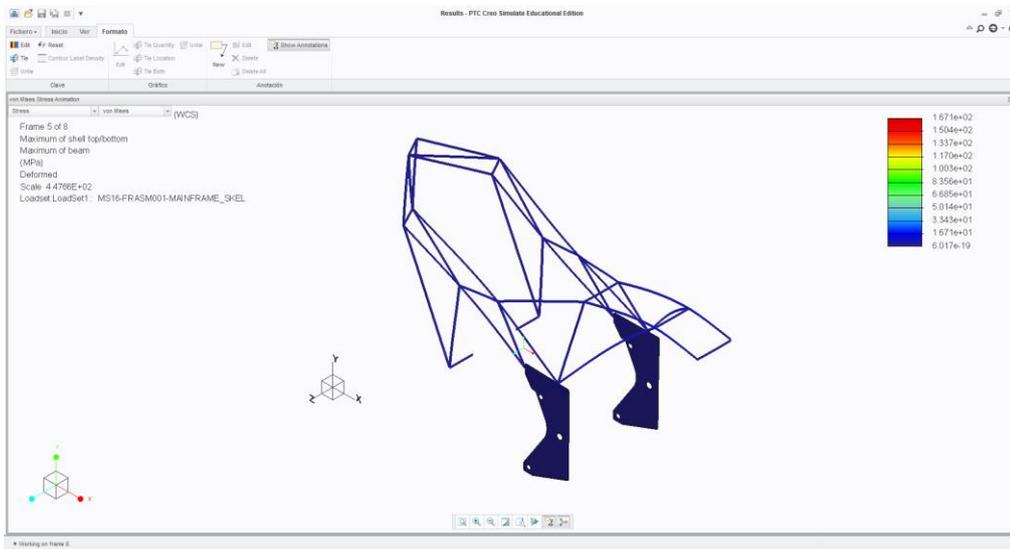


Figura 152. Von Mises

#### 4.6.5.2.2. Deformaciones

La máxima deformación que sufriría la estructura, la encontramos en el extremo del sub-chasis, siendo esta de 0.21099 mm (Figura 153) hay que recordar que no alcanza la tensión de deformación permanente, por lo que al dejar de aplicar esta carga el chasis recuperaría su forma original.

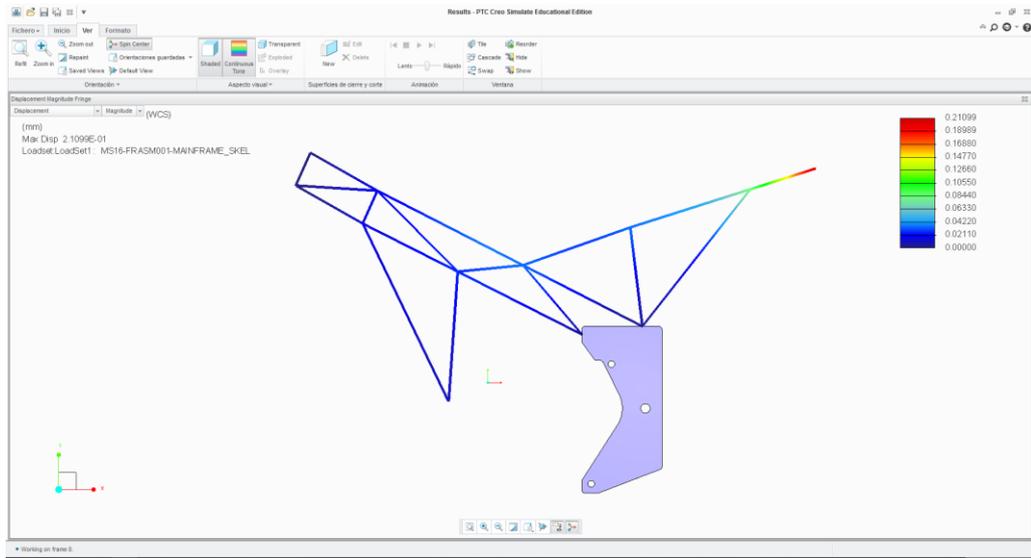


Figura 153. Deformación máxima

En esta imagen se aprecia mejor la zona que recibe la mayor deformación, además esta será simétrica ya que la carga se aplica a partes iguales en ambos lados del sub-chasis y este es simétrico.

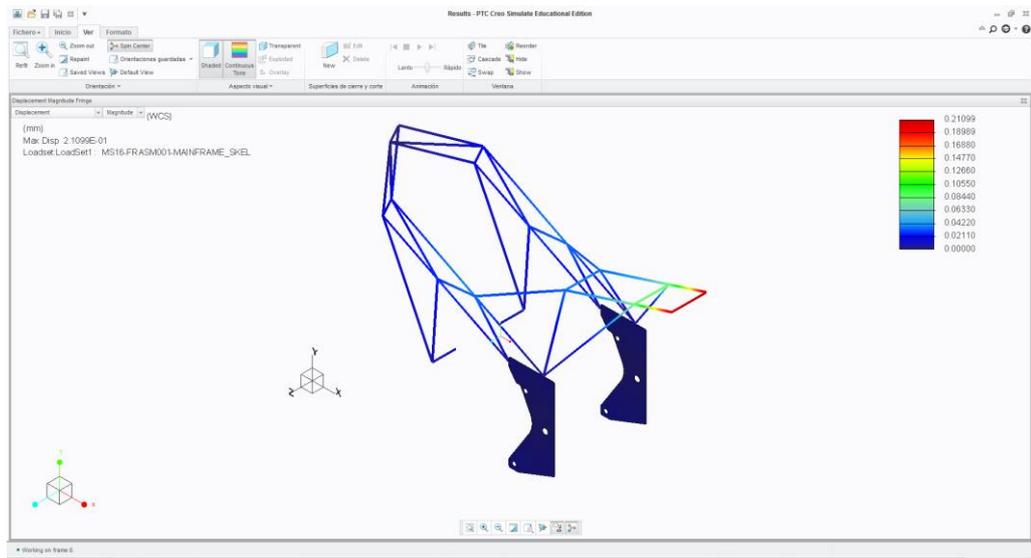


Figura 154. Deformaciones

#### 4.6.5.3. Análisis estructural durante el paso por curva

Igual que en las pruebas anteriores, hay que aplicar sobre los extremos de la pipa de dirección dos fuerzas de sentido opuesto, la del extremo superior hacia el interior de la curva y la del extremo inferior hacia el exterior de la curva. Las cargas se colocan de esta manera siempre que la motocicleta esté realizando una curva de izquierdas.

Tras analizar los resultados, nos encontramos con una tensión máxima de 4.5 MPa (Figura 155) localizados en la unión entre las pletinas y los perfiles tubulares del chasis. Esta situación de cargas no es muy agresiva con el chasis.

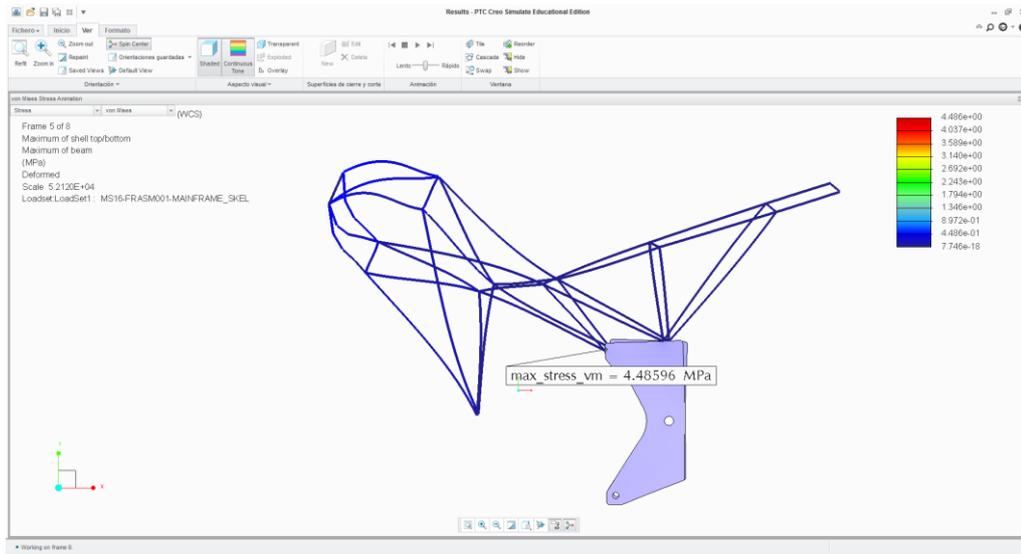


Figura 155. Tensión máxima en el paso por curva

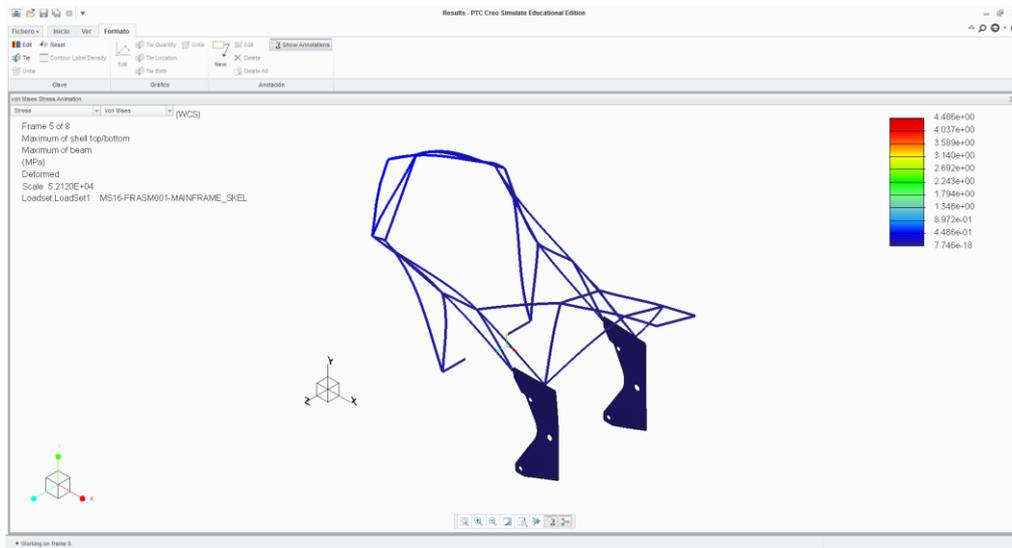


Figura 156. Von Misses

#### 4.6.6. Conclusiones

Tras los análisis estructurales realizados y la revisión de los resultados obtenidos en cada uno de ellos, se puede decir que el acero utilizado soporta muy bien las fuerzas aplicadas, pero no es necesario utilizar un material con tanta rigidez pudiendo utilizar la aleación de aluminio 6063 en estado T5, ya que se ha comprobado que aguanta perfectamente las cargas. La única pega es que el diámetro de los tubos tiene que ser mayor que el utilizado para el acero, para que el chasis cumpla con los requisitos de rigidez estructural. A pesar del incremento de diámetro y espesor, si se utiliza el aluminio, el chasis sigue siendo más ligero que el acero.

El material que finalmente se decidió utilizar para la fabricación fue el aluminio 6063 T5.

## 4.7. Fabricación del chasis

Tras finalizar con el diseño de cada uno de los componentes del chasis y de su análisis estructural siendo este satisfactorio, se decidió dar por terminado el diseño de la motocicleta. Y por esto se puede comenzar con la fase de fabricación y montaje de los componentes.

Este proceso se llevará a cabo en la medida de lo posible en los talleres de la universidad, siempre que la herramienta, maquinaria y complejidad de fabricación disponible nos lo permita.

En el próximo apartado se describirá con detalle el proceso de fabricación de cada componente y de los procesos de soldadura utilizados para la fabricación de cada uno de los componentes del chasis.

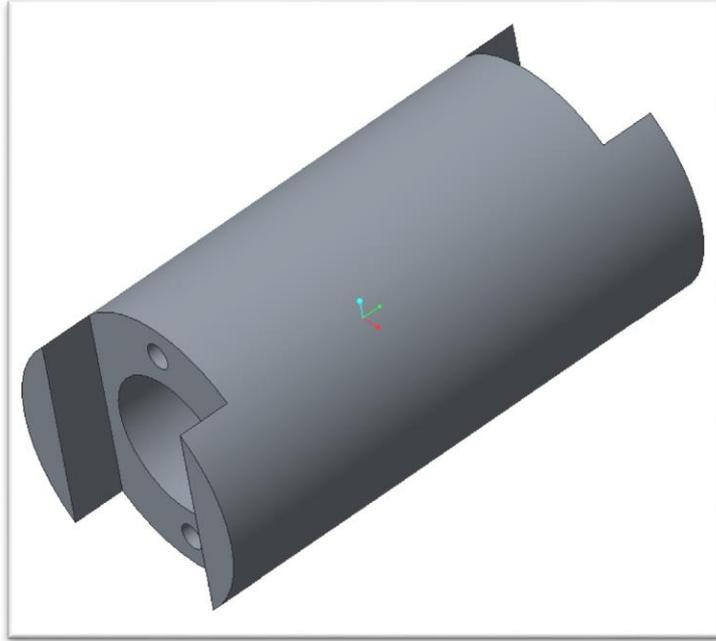
### 4.7.1. Fabricación de la pipa de dirección

Para la fabricación de la pipa de dirección partimos de una barra maciza de aluminio 6063-T4, de dimensiones 500 mm de longitud y 100 mm de diámetro (Figura 157).



*Figura 157. Barra de aluminio*

En la siguiente imagen se muestra el diseño original de la pieza (Figura 158). Se pueden ver las dos hendiduras de los extremos que son para fijar el sistema de excéntricas.



*Figura 158. Diseño de la pipa de dirección*

Se hizo uso del torno de los laboratorios de la universidad para la fabricación de la pipa de dirección, en la (Figura 159), se muestra la máquina. Además aparece la barra de aluminio sobre la que se trabajó ya fijada en la máquina.



*Figura 159. Torno*

En primer lugar se fija la barra por ambos extremos al torno.

Se realiza una primera operación para conseguir un diámetro exterior de 75 mm (Figura 160).

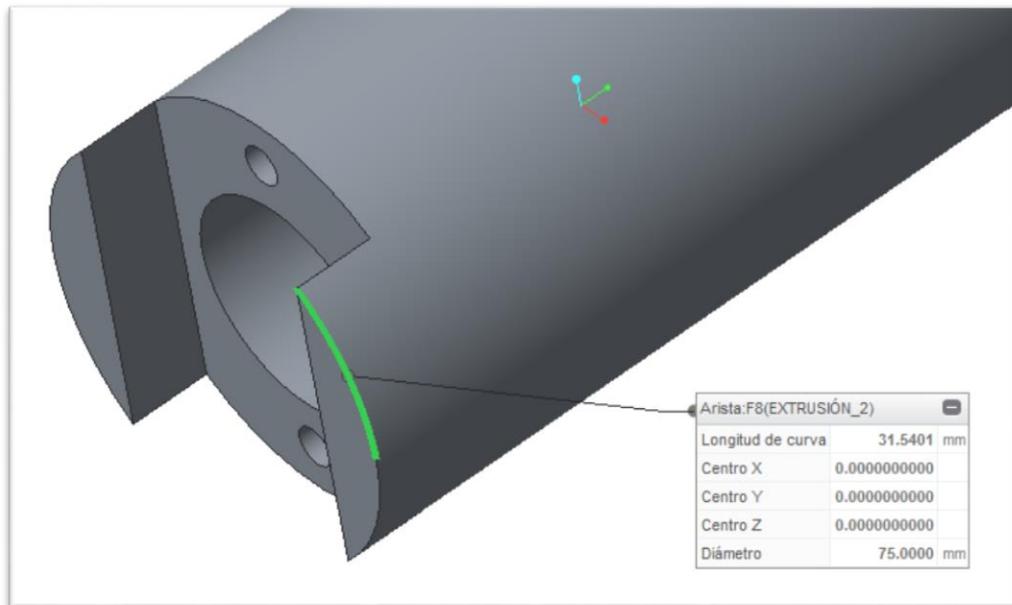


Figura 160. Diámetro exterior

Una vez terminado se procede a vaciar la pipa con un diámetro interno de 40 mm (Figura 161).

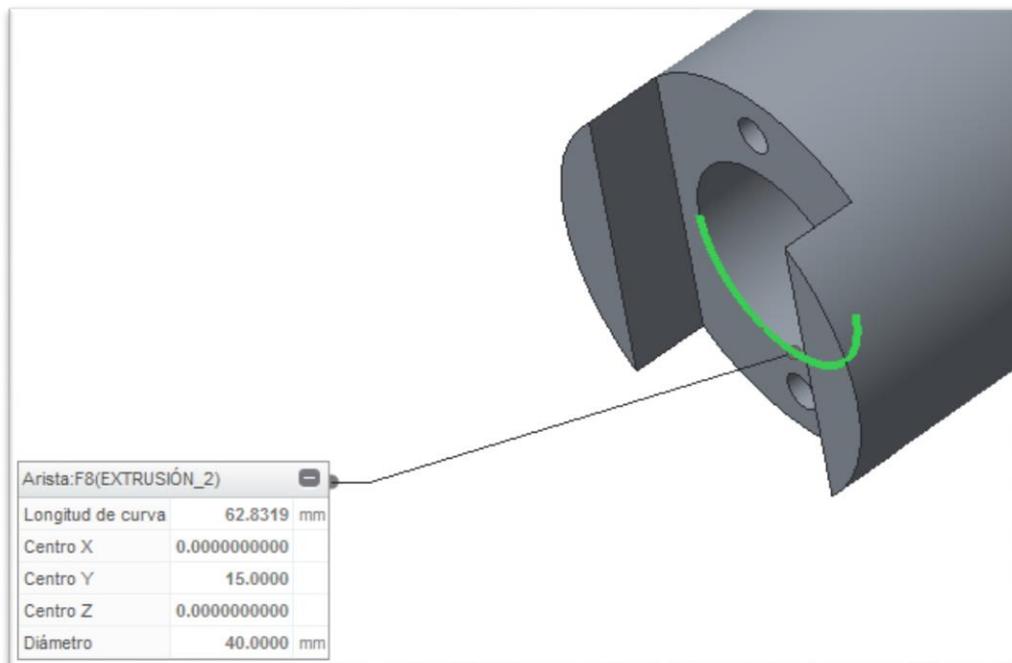
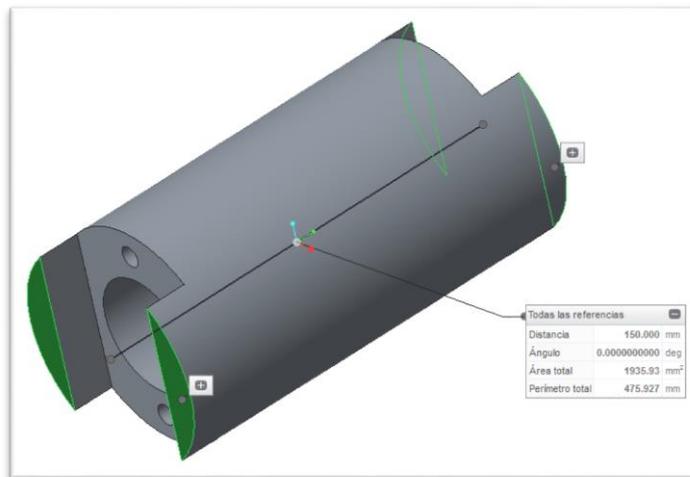


Figura 161. Diámetro interior

Después de tener la barra con los diámetros necesarios tanto interior como exterior se corta en la sierra de cinta la longitud necesaria. En nuestro caso, la pipa tiene una longitud de 150mm (Figura 162).



*Figura 162. Longitud de la pipa de dirección*

Pero la precisión de la sierra y el acabado superficial que deja ésta no nos sirve, por lo que cortamos la barra con 155 mm de longitud para después mecanizar los dos extremos de la barra.

Una vez cortada, fijamos la pipa en la fresa para mecanizar uno de sus extremos y dejarlo completamente plano. Con un extremo ya terminado se le dio la vuelta y se realiza la misma operación pero ahora ya dejando la pipa con la longitud necesaria que son los 150 mm antes mencionados (Figura 163; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 163. Mecanizado de la pipa de dirección

Además, como antes he mencionado, un compañero diseñó un sistema de excéntricas, para poder modificar el avance de la dirección, por lo que se necesitó mecanizar sobre la pipa el alojamiento de las dos piezas del mecanismo del avance variable.

El hueco necesario en la pipa era de 50 mm centrado en ambos extremos (Figura 164).

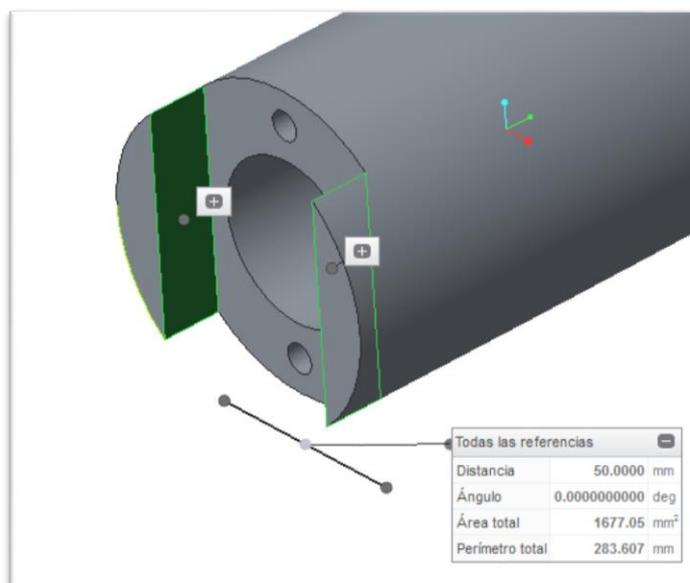
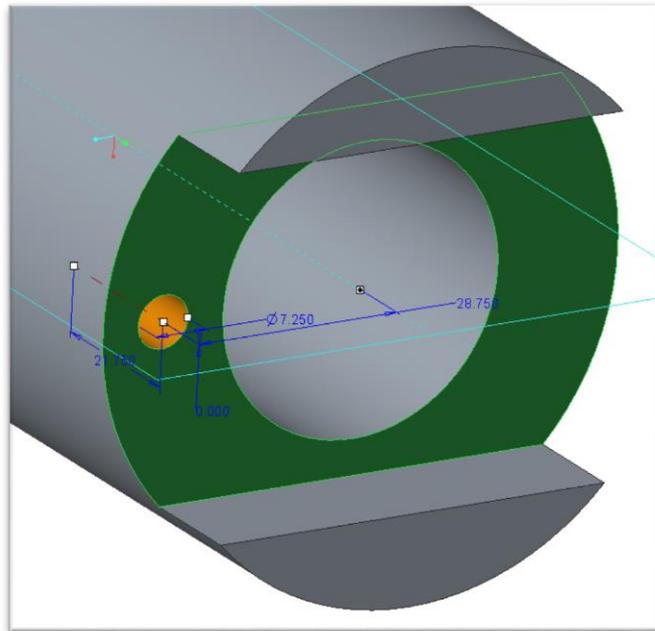


Figura 164. Aberturas en la pipa de dirección

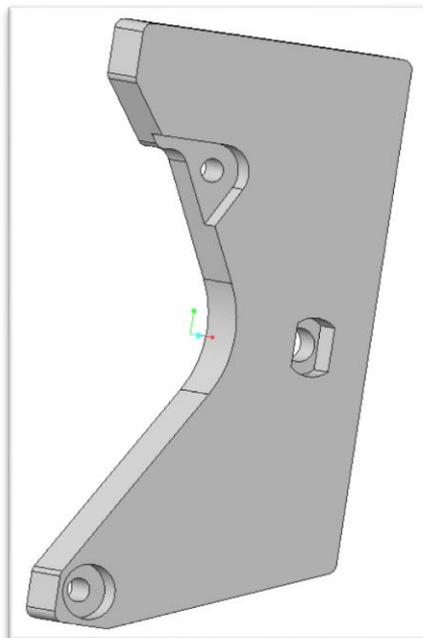
Y por último, y para terminar de fabricar la pipa de dirección se realizaron 4 taladros, dos en cada extremo al que posteriormente se les realizaron unos roscados (Figura 165).



*Figura 165. Taladros*

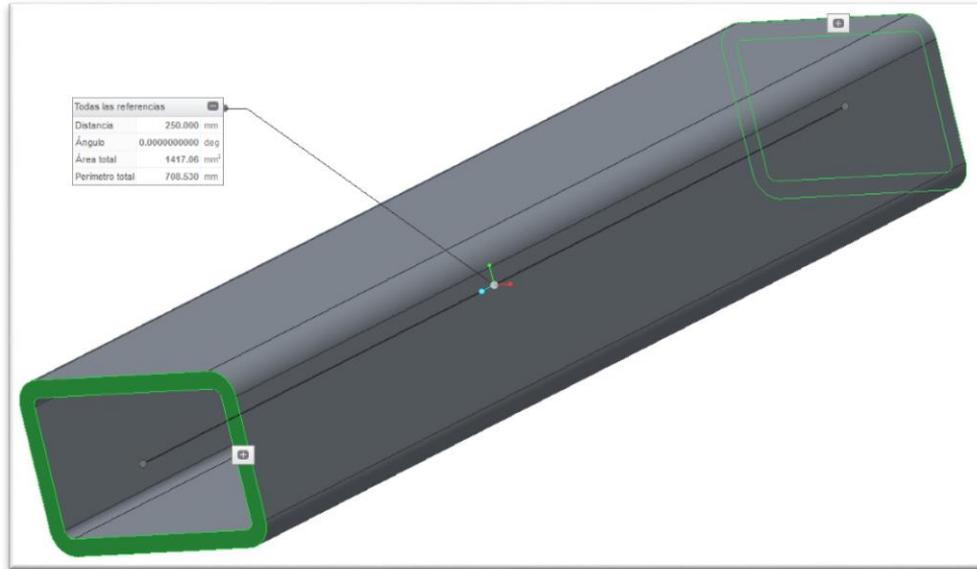
#### 4.7.2. Fabricación de las pletinas principales

Esta pieza partía de un bloque macizo de aluminio 6063-T5. Debido a la complejidad de la pieza y de la escasez de herramienta de la que disponíamos en la universidad, decidimos enviar el diseño a una empresa externa para que se encargase de la fabricación de las pletinas (Figura 166).



*Figura 166. Pletina izquierda*

Se cortaron dos barras de aluminio 6063-T4 huecas de 250 mm, con la sierra de cinta de los laboratorios de la universidad. Estas barras son los refuerzos que unen las dos pletinas laterales, manteniendo una distancia entre ellas de 250 mm (Figura 167).



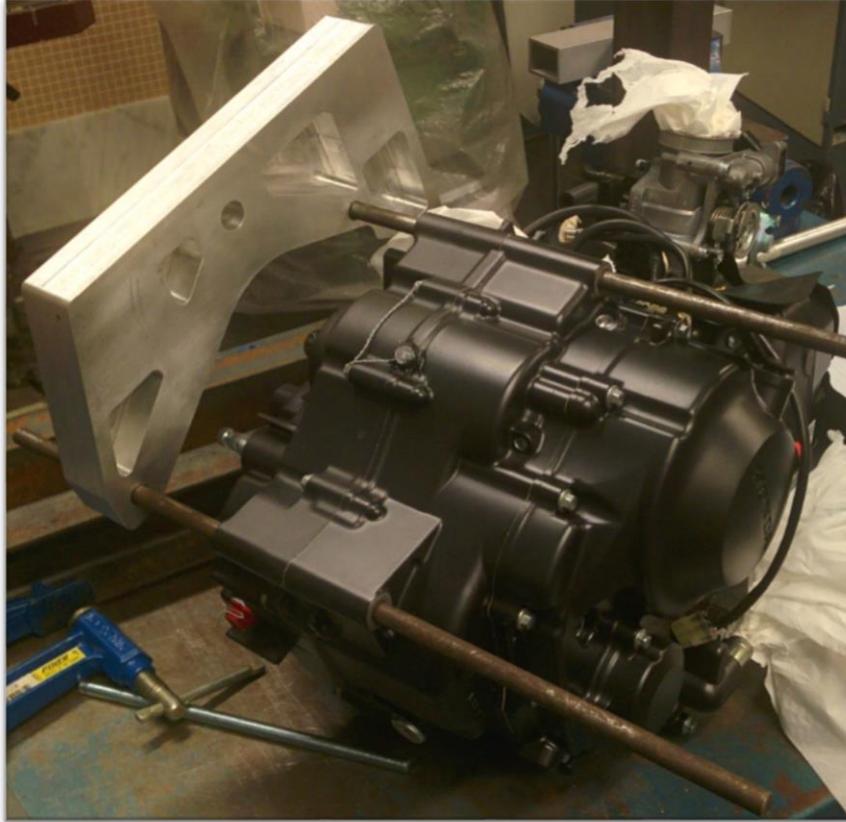
*Figura 167. Barras de unión de las pletinas*

Con las barras ya cortadas pasamos los tres ejes de los anclajes del motor y del basculante por los agujeros de las pletinas para comprobar que todo encajara montando también las dos barras de refuerzo entre ambas pletinas quedando así en su posición de montaje (Figura 168).

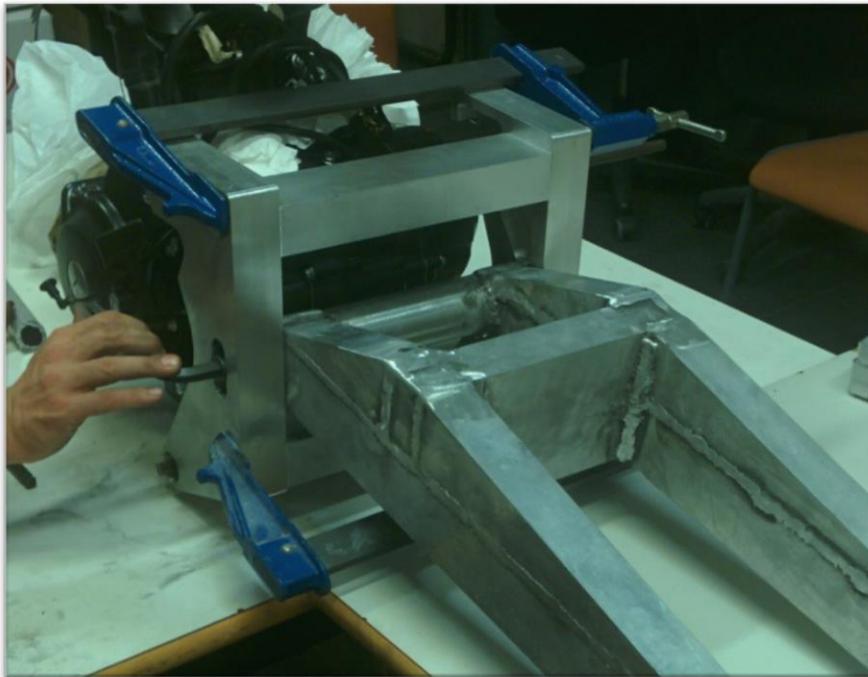


*Figura 168. Ensamblado de las pletinas*

Se realizó la misma comprobación con el motor y el basculante para verificar que todo acoplase conforme habíamos diseñado (Figura 169), (Figura 170).



*Figura 169. Pletina izquierda y el motor*



*Figura 170. Ensamblaje del conjunto (pletinas, refuerzos de pletinas, motor y basculante)*

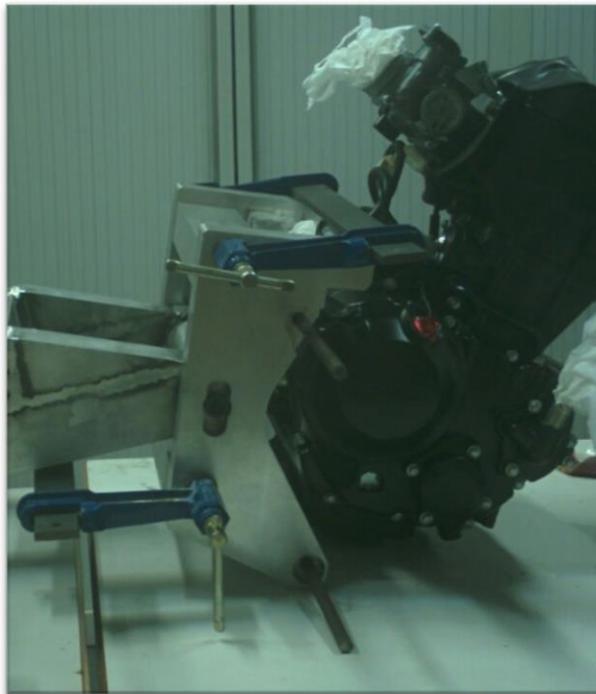


*Figura 171. Ensamblaje del conjunto*

Como se puede ver en la (Figura 172), se utilizaron gatos para ensamblar los componentes y así comprobar que todo encajase a la perfección.



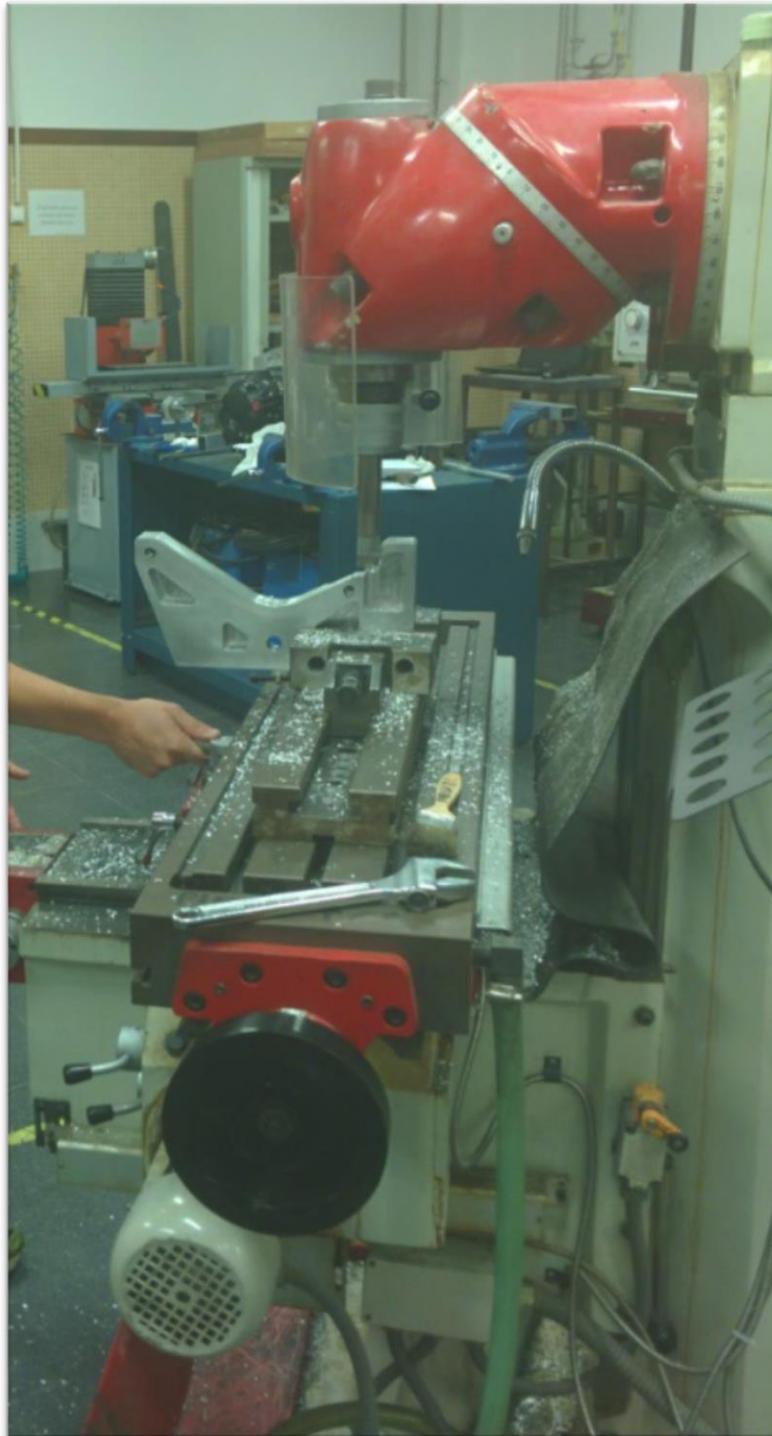
*Figura 172. Utilización de gatos*



*Figura 173. Ensamblaje completo*

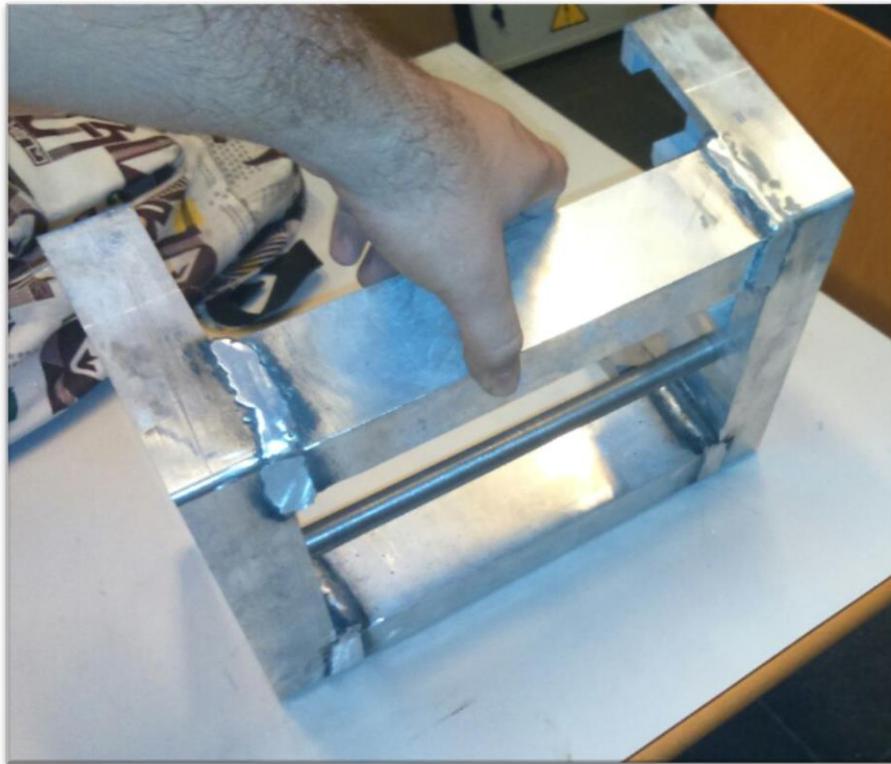
Después de este ejercicio descubrimos que la pletina derecha no dejaba colocar el conjunto en su sitio, porque esta estaba en contacto con un elemento del motor, en concreto era la leva de accionamiento del embrague.

Este problema surgió debido a que en el diseño en CAD que suministró la organización del evento, no aparecía dicho elemento, por lo que a la hora de diseñar el chasis, para nosotros era un espacio libre en el que podíamos colocar la pletina. Por este motivo, tuvimos que mecanizar la pletina ligeramente (Figura 174) para abrir un pequeño hueco dejando espacio a la leva del embrague.

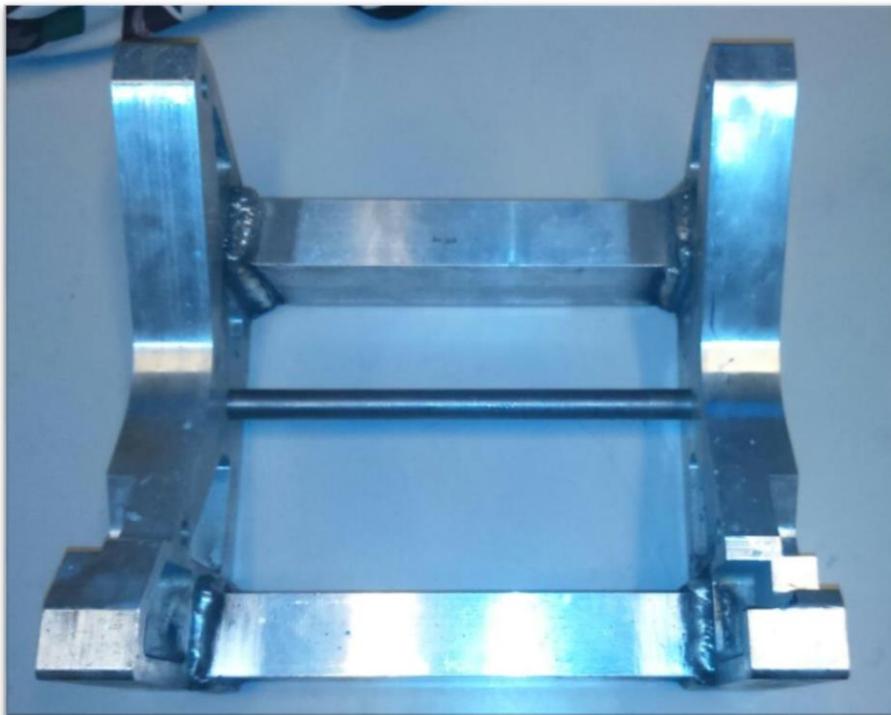


*Figura 174. Mecanizado de la pletina derecha*

Con las pletinas terminadas definitivamente y habiendo comprobado que todo encajaba, se unieron con las barras de refuerzo mediante soldadura, siendo este el resultado (Figura 175) y (Figura 176).



*Figura 175. Pletinas soldadas*

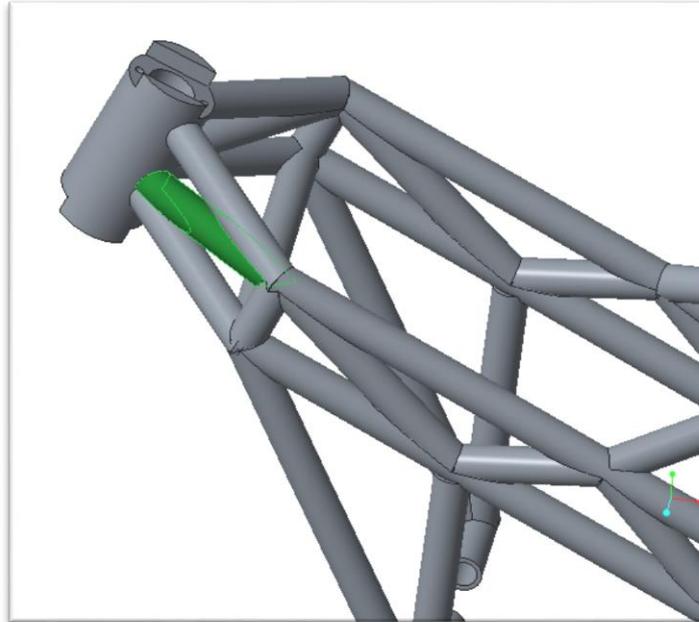


*Figura 176. Pletinas soldadas*

#### 4.7.3. Fabricación de la estructura tubular

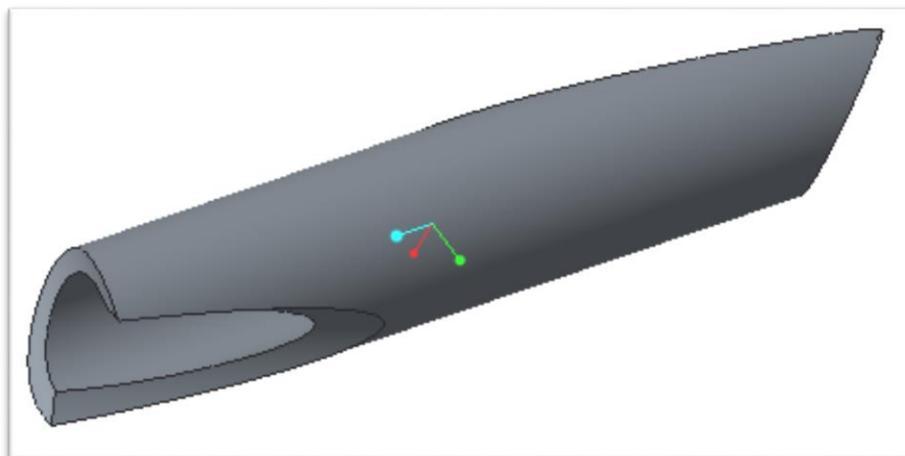
Este ha sido el proceso más complicado en lo referido a la fabricación del chasis principal, no solo por la complejidad del mecanizado de algunos tubos, sino por la gran dedicación de tiempo que es necesaria para preparar los tubos antes de soldarlos. Esto se consiguió mecanizando los extremos de los tubos con la forma curva del siguiente tubo sobre el que apoya para así de esta manera conseguir la mayor superficie de contacto a la hora de soldar.

Como ejemplo vamos a tomar unos de los tubos de la celosía de refuerzo que contactan con la pipa de dirección (Figura 177).



*Figura 177. Tubo de refuerzo de la pipa de dirección*

Para esto, hay que abrir el tubo por separado (Figura 178). Este es el tubo en cuestión. Se puede observar que los cortes de los extremos del tubo no son planos, sino que tienen la forma del perfil sobre el que apoyan y van soldados.



*Figura 178. Tubo*

Con la función de medir de Creo Parametric, se puede observar como el mecanizado que se realiza en una de las direcciones tiene un diámetro de 30 mm y esto es debido a que apoya sobre la barra inferior para después ser soldada (Figura 179).

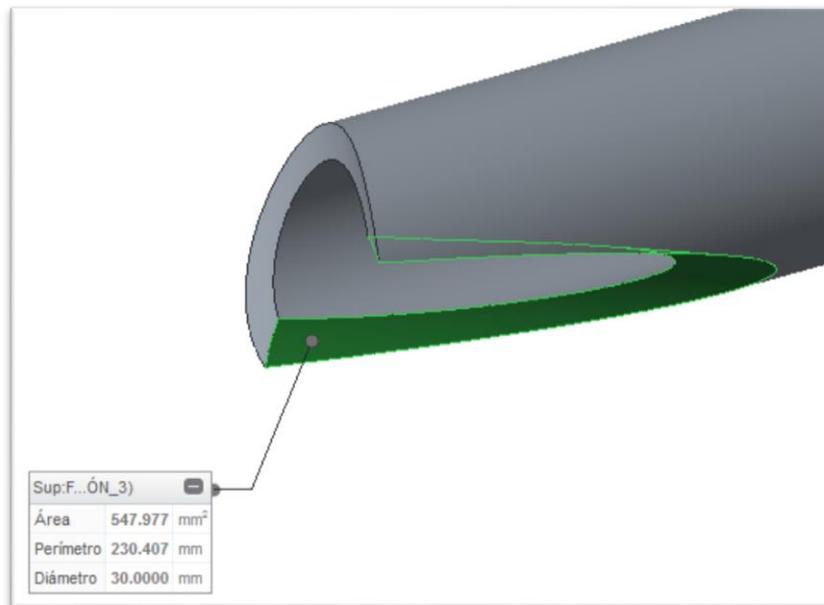


Figura 179. Corte circular

Se necesita conocer el diámetro de corte del tubo de uno de los extremos, que es de 30 mm y además es necesario conocer el ángulo de incidencia del corte sobre el propio tubo.

Este ángulo se consigue gracias a la función de anotación de Creo. Seleccionamos la superficie mecanizada y el eje del tubo que vamos a mecanizar y automáticamente nos crea el ángulo de corte (Figura 180).

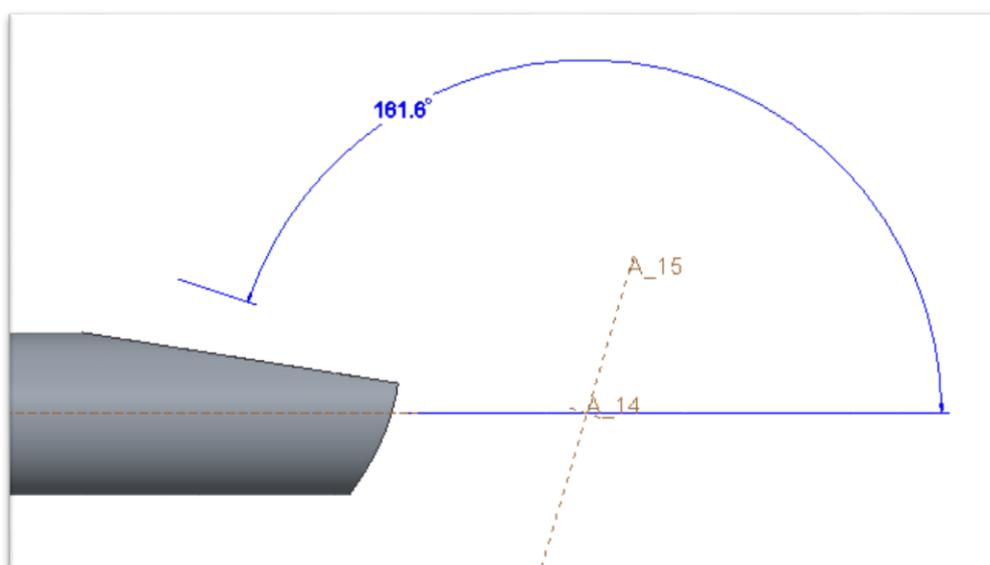


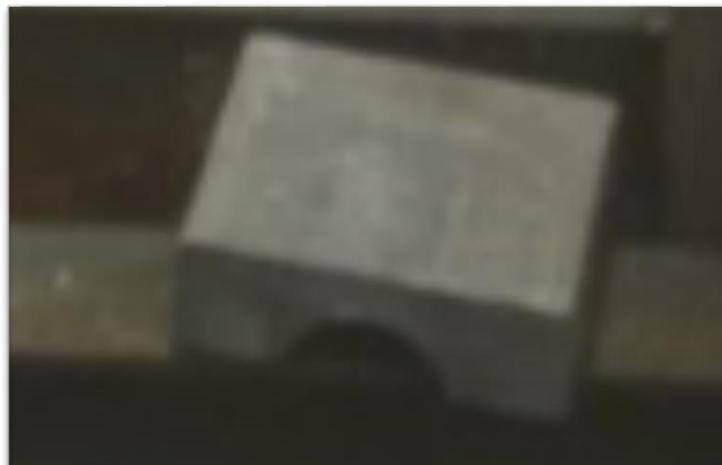
Figura 180. Angulo de mecanizado

Se cortaron todos los tubos a la longitud necesaria tras haberlos medido uno por uno. Al cortarlos, para tenerlos identificados y saber cuál era cada uno, se nombraron con los nombres que Creo Parametric les había asignado por defecto y además apuntamos la longitud de cada uno (Figura 181).



*Figura 181. Tubos cortados*

Para fijar los tubos y poder mecanizarlos tuvimos que fabricar un útil que nos permitiese mover los tubos libremente sobre el gato de presión sin que los tubos rotasen sobre si mismos al abrir el gato. Este útil eran dos piezas de aluminio cuadradas y simétricas a las que se le realizó un mecanizado circular con el diámetro de los tubos para poder alojarlos entre ambas partes (Figura 182).



*Figura 182. Útil de sujeción de los tubos*

Con todos los tubos cortados y mecanizados, la pipa terminada, y las pletinas principales mecanizadas y soldadas, solo queda presentar todos los componentes y soldar el chasis.

Para ello se diseñó una estructura auxiliar que sirviese a modo de soporte para ensamblar y soldar todos los componentes. A esta estructura la llamamos potro y se diseñó a partir del CAD completo de la motocicleta.

El potro se forma de una sencilla estructura de tres perfiles de acero soldados (Figura 183), (Figura 184).



*Figura 183. Soldadura de los perfiles del potro*



*Figura 184. Perfiles del potro soldados*

Además se diseñó un sistema para poder sostener la pipa de dirección en su posición correcta. Este consistía en dos planchas de acero simétricas con 5 taladros pasantes cada una de las placas (Figura 185).



*Figura 185. Soporte de la pipa de dirección*

Cuatro agujeros para fijar las planchas sobre las vigas y un quinto agujero para fijar el soporte de la pipa de dirección (Figura 186).



*Figura 186. Soporte montado de la pipa de dirección*

Comenzamos con la soldadura de los primeros tubos. Elegimos los de la parte inferior del chasis y que abraza el motor por la parte delantera en su fijación. Los presentamos sobre las pletinas montadas sosteniendo el motor, tan solo hay que colocarlos en su posición ya que los tubos están cortados y mecanizados, así que enseguida se encuentra su posición adaptándose perfectamente (Figura 187).



*Figura 187. Presentando los tubos sobre las pletinas*

Soldamos los 4 primeros tubos antes mencionados de un lateral, y a continuación hacemos lo mismo con los del otro lateral del chasis (Figura 188).



*Figura 188. Cuatro primeros tubos soldados del lateral izquierdo*

Con ambos lados soldados, montamos las pletinas y el motor sobre el potro en su posición correcta y presentamos los tubos soldados sobre el conjunto. Utilizamos dos tubos adicionales como se puede ver en la siguiente imagen, para mantener la distancia exacta entre los dos laterales del chasis (Figura 189), (Figura 190).



*Figura 189. Colocación de los dos laterales sobre las pletinas*



*Figura 190. Colocación de los tubos sobre las pletinas*

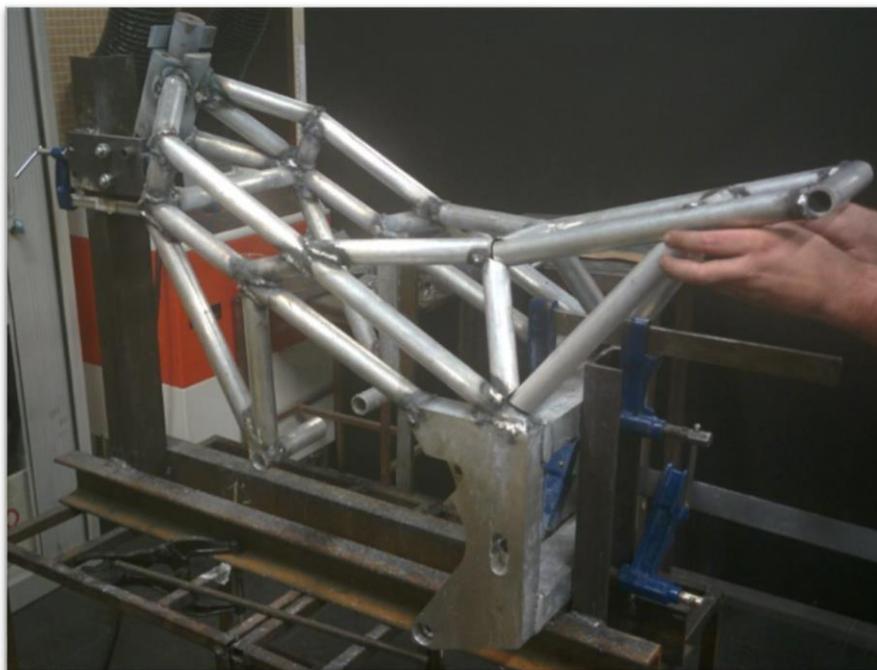
Terminamos la parte inferior de la celosía del chasis colocando la pipa de dirección a la altura e inclinación deseada gracias al sistema diseñado y terminamos de soldar los tubos restantes para unir las pletinas y la pipa (Figura 191).



*Figura 191. Colocación de la pipa de dirección*

Con la base inferior acabada seguimos con el mismo proceso, añadiendo tubo a tubo y soldando.

Tras varias horas este es el resultado de la estructura, a falta de soldar el subchasis que soportará el peso del piloto sentado (Figura 192), (Figura 193).



*Figura 192. Chasis soldado*



*Figura 193. Chasis soldado*

Como último elemento, cortamos dos trozos de tubo rectangular sobrantes y soldamos a modo de silleta para el piloto, este elemento no se había tenido en cuenta en el diseño inicial.

Montamos el motor en su sitio para comprobar que todo encajaba perfectamente.

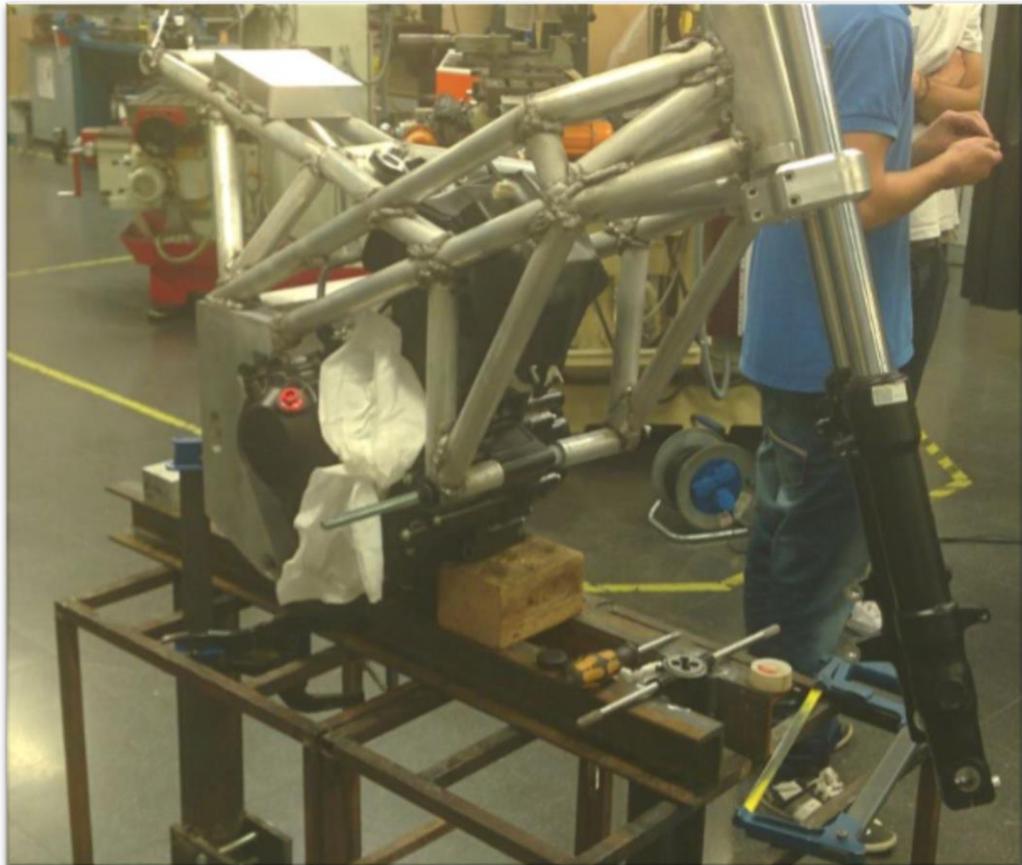
El miedo que teníamos es que al soldar por los cambios de temperatura y las tensiones que se generaban, se deformase la estructura y el motor no entrase, pero no tuvimos problemas y todo funcionó a la perfección (Figura 194).



*Figura 194. Motor ensamblado*

A continuación montamos las tijas con el sistema de avance de dirección variable y las barras de la suspensión. Todo funciona perfectamente.

A continuación se muestran unas ilustraciones del chasis con más elementos montados (Figura 195), (Figura 196), (Figura 197), (Figura 198), (Figura 199), (Figura 200).



*Figura 195. Horquilla montada*



*Figura 196. Horquilla y motor montados*



*Figura 197. Depósito posicionado*



*Figura 198. Colín presentado*



*Figura 199. Carenado frontal presentado*



*Figura 200. En el box del circuito prácticamente montada*

## 5. Presupuesto

En este apartado se describen los costes asociados a la elaboración de este proyecto. Se tendrá en cuenta todo el material necesario, el software utilizado con sus respectivas licencias y todo el material requerido para la fabricación del chasis así como la mano de obra.

Tabla 7. Listado de materiales

Lista de materiales
Vigas UPN 80 de Acero para el potro
TLL.HEXADIN-933 6.8 12120 ZN
TUERCA DIN-934 /8/ M-12 ZN
TUERCA DIN-934 /8/ M-10 ZN
VARILLA ROSCADA HIERRO M-10 ZN
Perfiles 30 x 2 para el chasis de Aluminio Magnesio Silicio 6063
Hilo de soldar de Aluminio Magnesio

Tabla 8. Presupuesto detallado

Presupuesto						
		precio (€)	precio/h(€)	horas de trabajo	periodo de trabajo (meses)	coste imputable (€)
<b>software</b>						
	windows 10	135,00			2	22,50
	PTC Creo Parametric 3,0	10100,00			2	1683,33
<b>Mano de obra</b>						
	ingeniero		30,00	215		6450,00
	supervisor		55,00	50		2750,00
	soldador		20,00	9		180,00
	mecanizado		20,00	36		720,00
<b>Materiales</b>						
	Viga UPN 80	55,20				55,20
	TLL.HEXADIN-933 6.8 12120 ZN	2,57				2,57
	TUERCA DIN-934/8/M-12 ZN	0,24				0,24
	TUERCA DIN-934/8/M-10 ZN	0,40				0,40
	VARILLA ROSCADA HIERRO M-10 ZN	1,33				1,33
	Perfil redondo 30x2 mm	87,50				87,50
	Hilo soldar bobina 5 Kg	34,95				34,95
<b>Equipo</b>						
	ordenador personal	1050,00			2	175,00
<b>Tasas</b>						
	Inscripción	5384,35				5384,35
<b>TOTAL</b>						<b>17547,37</b>

El equipo de trabajo utilizado para el diseño y los análisis estructurales están compuestos por:

- Procesador: AMD FX<sup>TM</sup> 8350 Eight-Core Processor
- Memoria instalada (RAM): 4GB

- Disco Duro: 700GB

Al mirar la tabla de presupuestos (Tabla 8), se puede observar rápidamente lo que cuesta desarrollar un proyecto de este tipo el cual está valorado en unos 11.443,02€.

## 6. Conclusiones

En líneas generales, el resultado de este trabajo ha sido muy satisfactorio. Se han cumplido tanto con los requisitos generales del diseño de la motocicleta, que venían establecidos en el reglamento técnico de la IV Edición de MotoStudent, como con todas nuestras expectativas.

El resultado final es el de un chasis lo suficientemente rígido para soportar las cargas a las que será sometido en el pruebas de banco estáticas y también durante su uso en circuito. Y esto se ha conseguido con el menor peso que ha sido posible.

En cuanto a los análisis estructurales, estos nos indican que las zonas donde se concentran las mayores tensiones, son las zonas de unión entre los tubos y las pletinas, por lo que estas zonas son las más críticas.

A pesar de estos resultados, es difícil de sacar conclusiones determinantes ya que aun sabiendo que soportará las fuerzas, no sabemos cómo será su comportamiento en pista.

Por último, cabe destacar la oportunidad de trabajar codo con codo con compañeros de la universidad, de una forma coordinada, donde cada integrante del equipo tiene una tarea encomendada y lo gratificante que resulta ver como el trabajo de muchos meses se va materializando hasta el punto de crear una motocicleta capaz de funcionar y de competir con motocicletas de otros equipos de diferentes universidades del mundo.



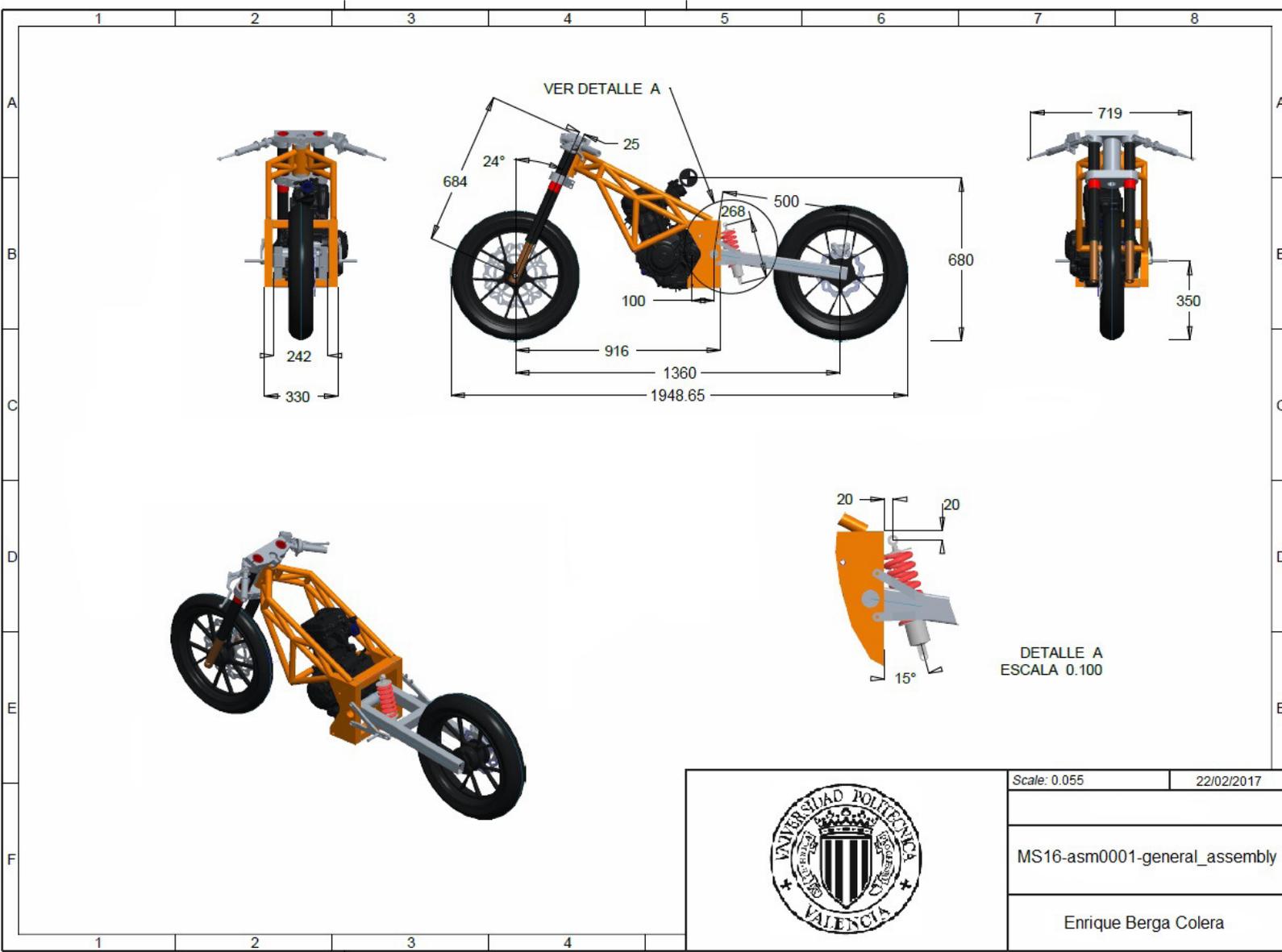
*Figura 201. Foto del equipo*

# Anexo 1

## Planos

En este anexo se plasman los planos tanto del ensamblaje general como de cada uno de los perfiles tubulares que componen el chasis.

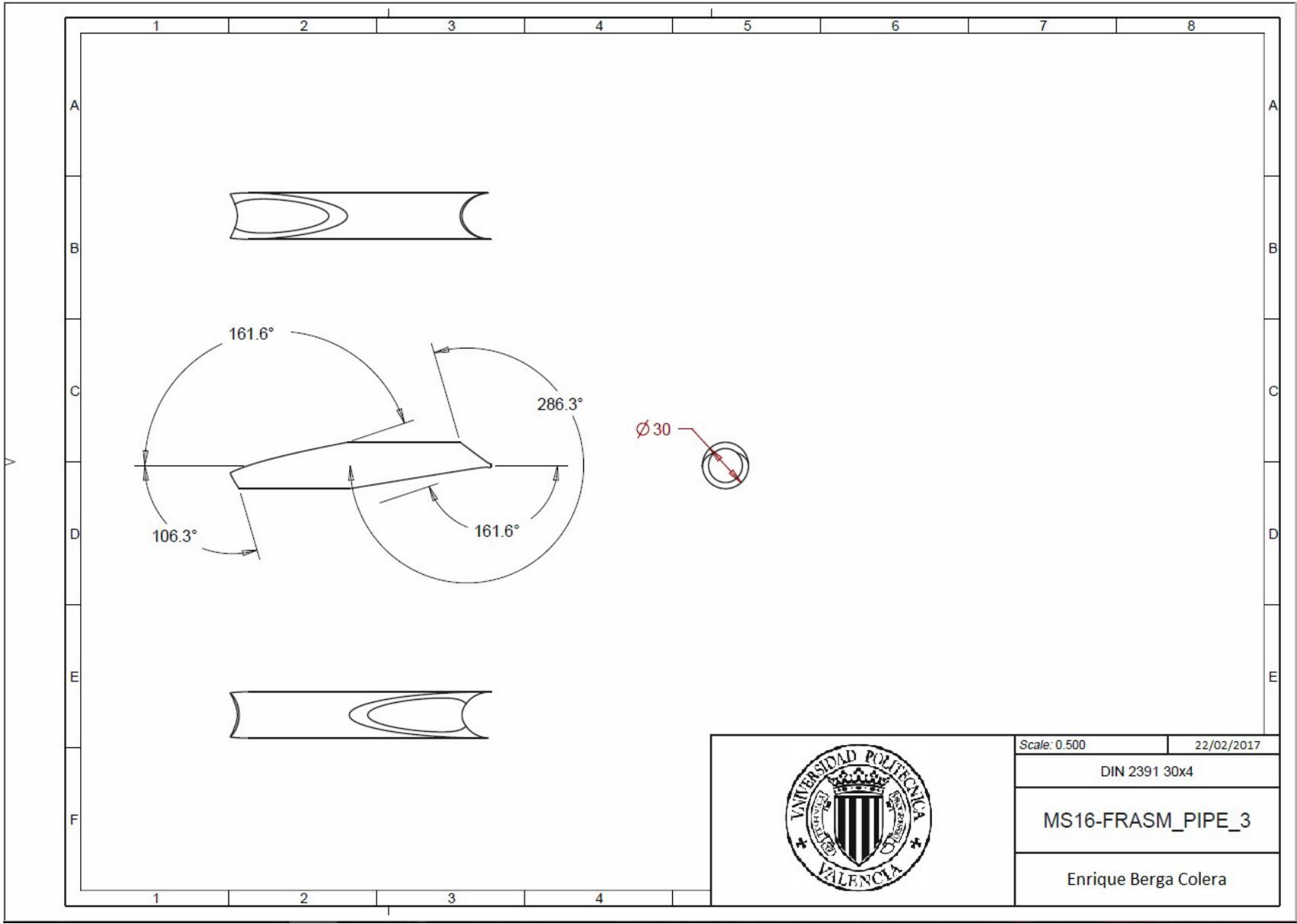
Todos estos planos se utilizaron durante el proceso de fabricación para cortar y mecanizar de forma adecuada para posteriormente poder ensamblar todos los perfiles y soldarlos.



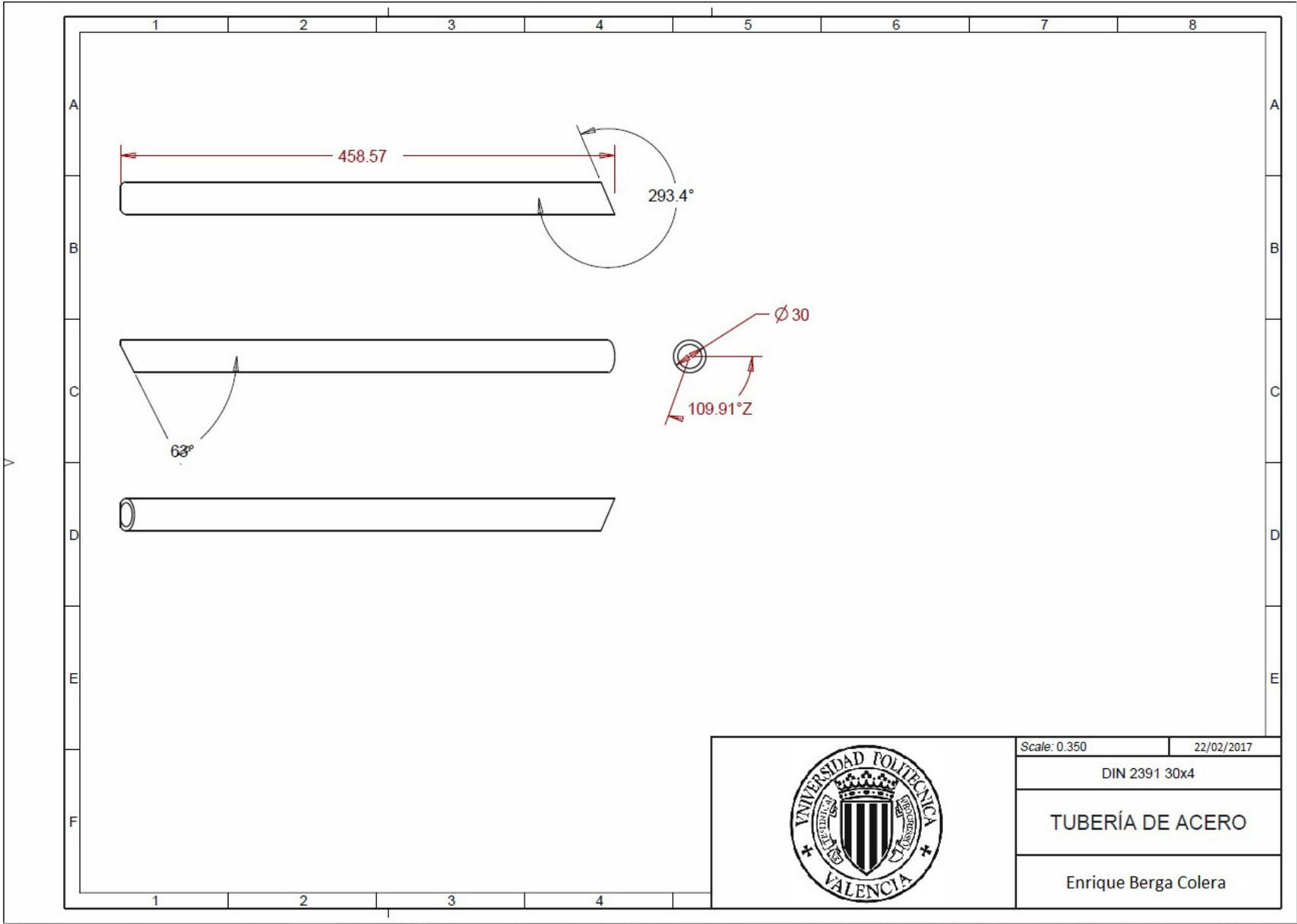
DETALLE A  
ESCALA 0.100

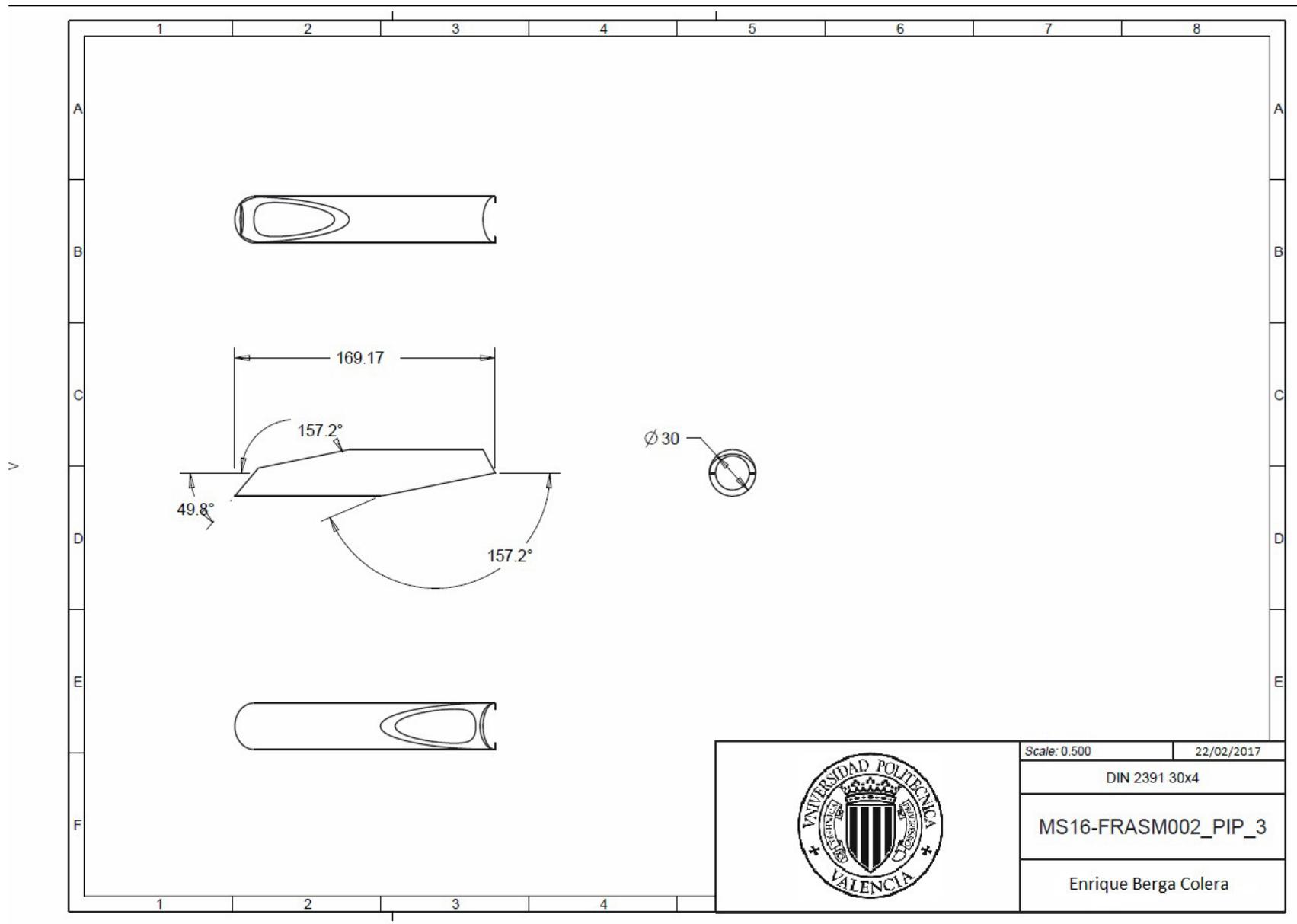


Scale: 0.055	22/02/2017
MS16-asm0001-general_assembly	
Enrique Berga Colera	



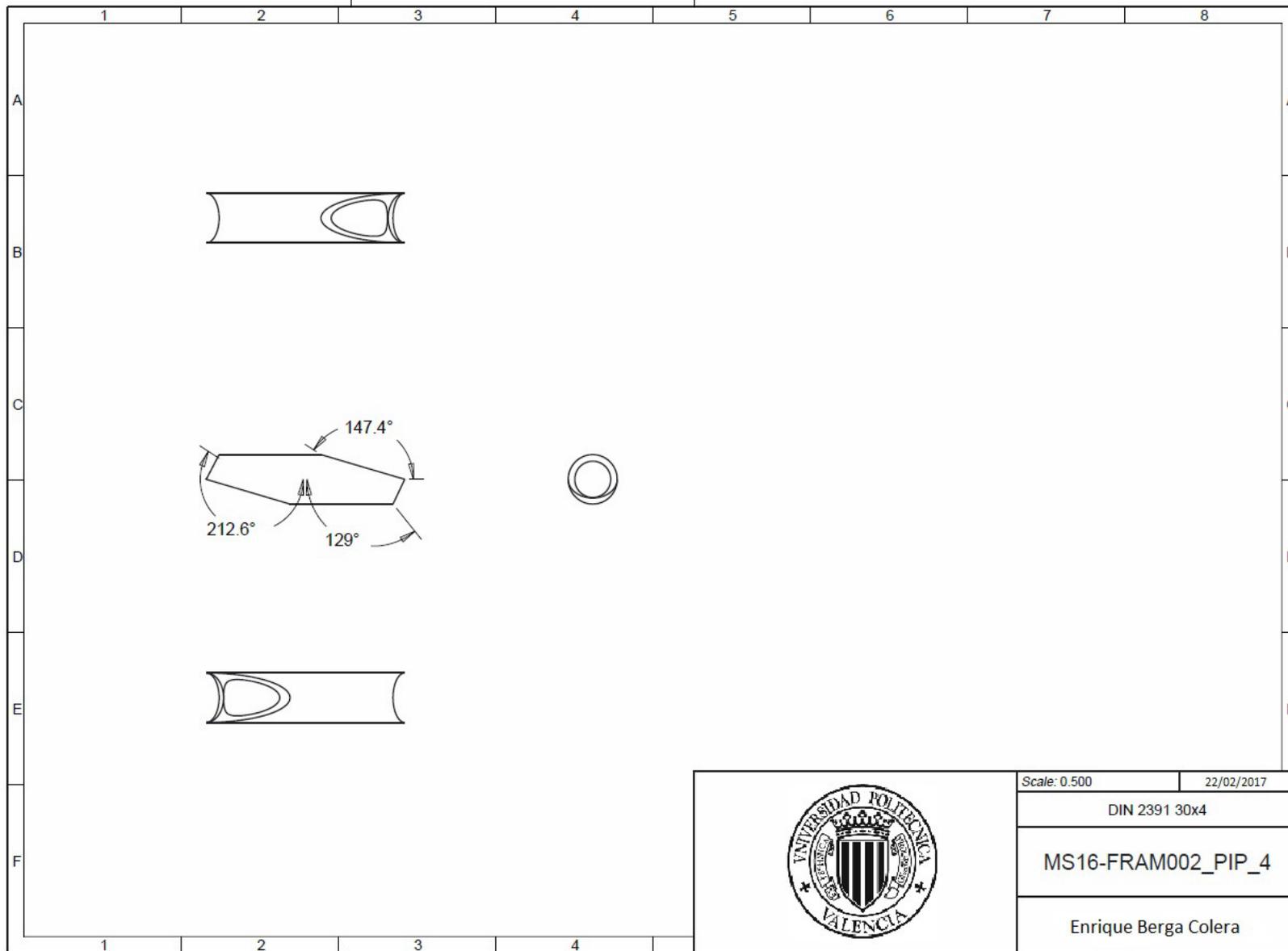
Scale: 0.500	22/02/2017
DIN 2391 30x4	
MS16-FRASM_PIPE_3	
Enrique Berga Colera	



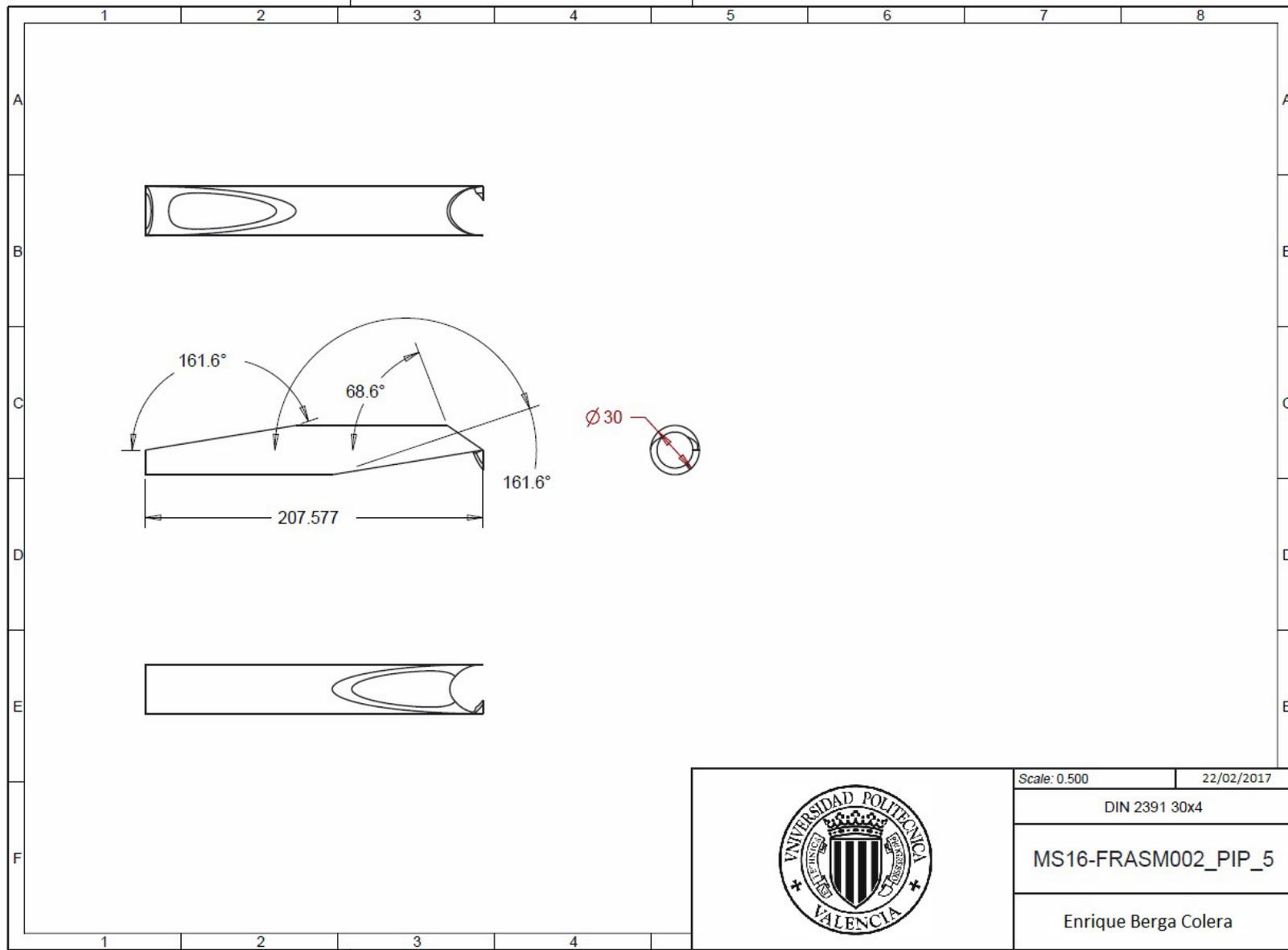


Scale: 0.500	22/02/2017
DIN 2391 30x4	
MS16-FRASM002_PIP_3	
Enrique Berga Colera	

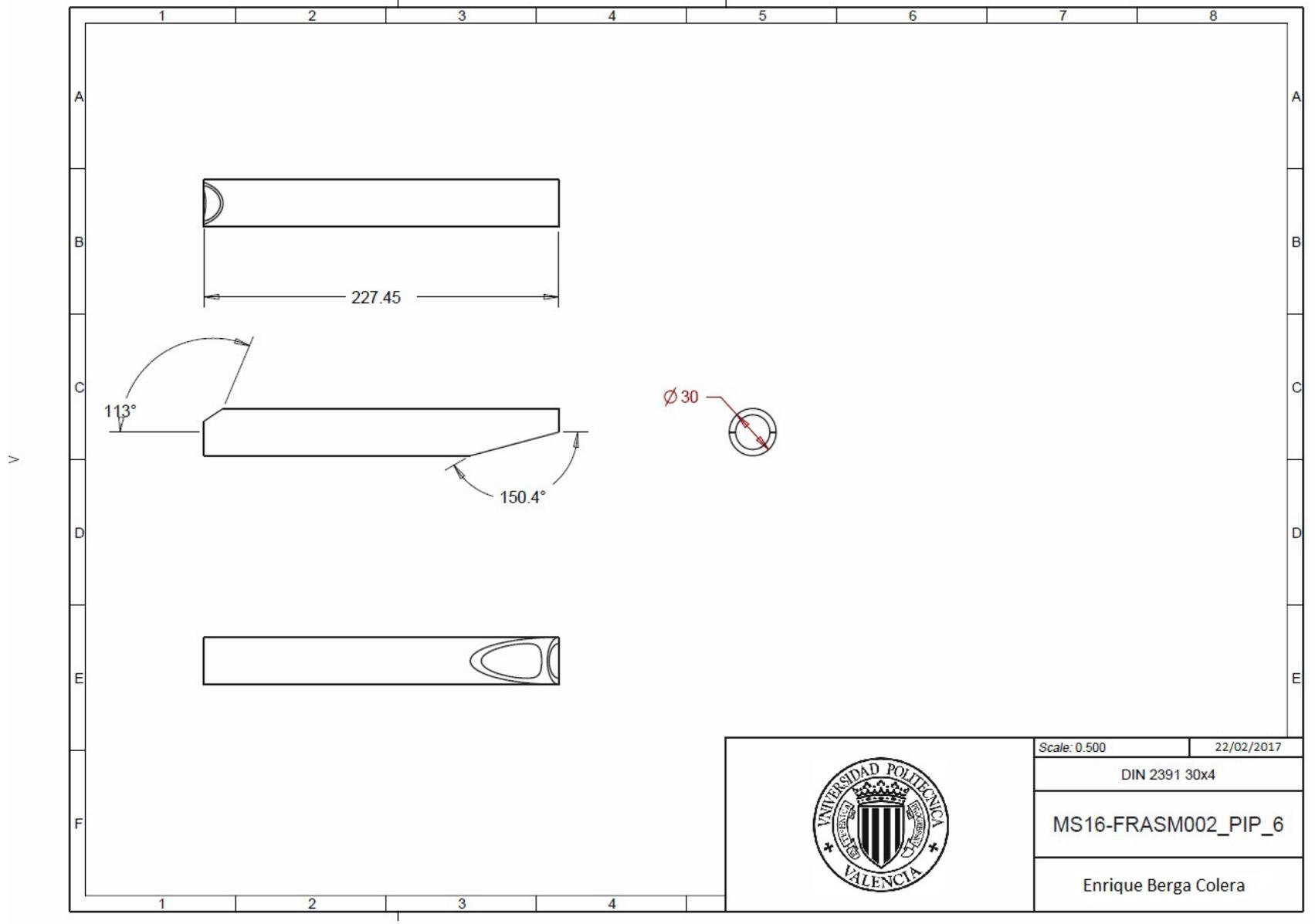
V



v

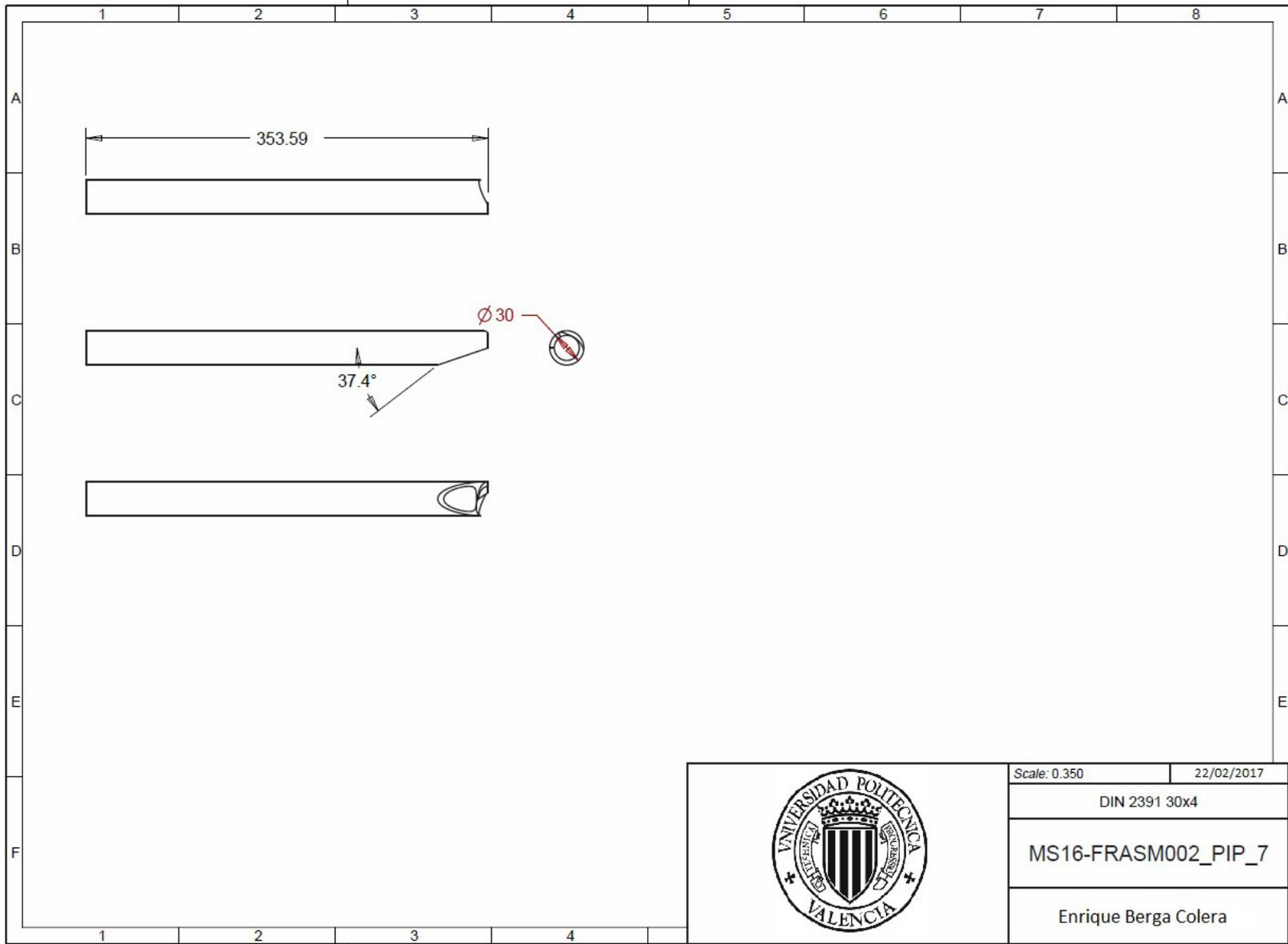


Scale: 0.500	22/02/2017
DIN 2391 30x4	
MS16-FRASM002_PIP_5	
Enrique Berga Colera	



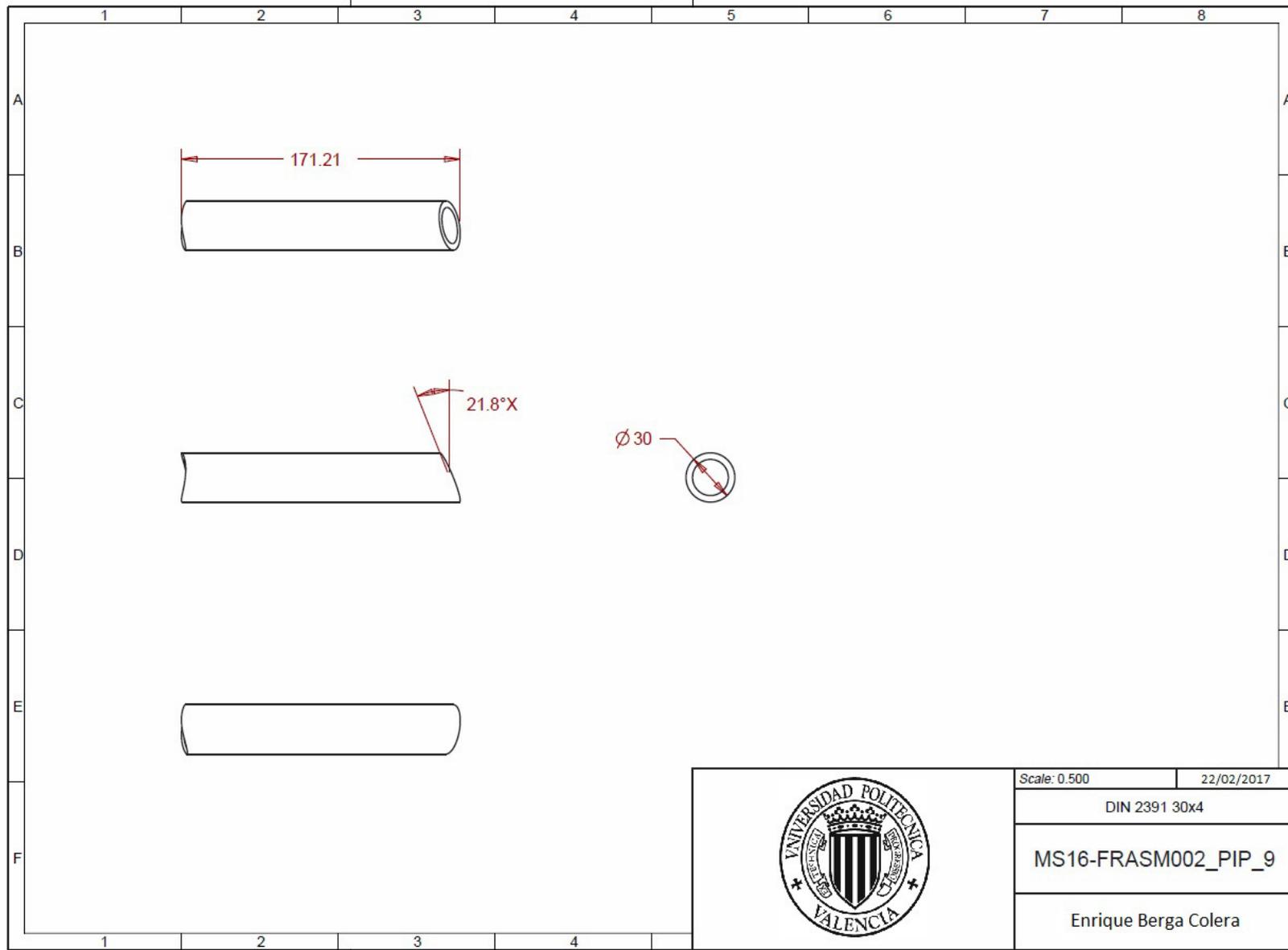
Scale: 0.500	22/02/2017
DIN 2391 30x4	
MS16-FRASM002_PIP_6	
Enrique Berga Colera	

V



Scale: 0.350	22/02/2017
DIN 2391 30x4	
MS16-FRASM002_PIP_7	
Enrique Berga Colera	

v



Scale: 0.500	22/02/2017
DIN 2391 30x4	
MS16-FRASM002_PIP_9	
Enrique Berga Colera	

# Bibliografía

ARIAS-PAZ GUITIAN, M. (2003). *Motocicletas* 32 edición. Madrid: Dossat 2000 S.L.

BRONCESVAL. *Aluminio Aleación Magnesio Silicio 6063*.

<<http://www.broncesval.com/productos/aluminio/93-aluminio-aleacion-magnesio-silicio-6063>> [Consulta: 24 de febrero de 2016].

CONSTRUMÁTICA. *Acero*. <<http://www.construmatica.com/construpedia/Acero>> [Consulta: 28 de enero de 2016].

CASAJÚS, L. (2012). *Tipos de chasis de motocicletas*. <[http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala\\_prensa/revista\\_tecnica/hemeroteca/articulos/R51\\_A2.pdf](http://www.centro-zaragoza.com:8080/web/sala_prensa/revista_tecnica/hemeroteca/articulos/R51_A2.pdf)> [Consulta: 5 de noviembre de 2015].

EXPERIENCIAS DE UN MOTERO. (2015). *EL CHASIS DE LA MOTO, ese gran desconocido al que tanto debemos*. <<https://experienciasdeunmoterop.wordpress.com/2015/06/11/el-chasis-de-la-moto-ese-gran-desconocido-al-que-tanto-debemos/>> [Consulta: 16 de noviembre de 2015].

FOALE, T. (2003). *Motocicletas: comportamiento dinámico y diseño de chasis: el arte y la ciencia*. Madrid: Paraninfo.

GARCÍA GARCÍA, I. (2013). *Diseño y desarrollo de un chasis de una motocicleta de 250cc para la "II Competición Internacional MotoStudent"*. Proyecto Final de Carrera. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

GOMEZ, L. (2015). *"Historia de la motocicleta: orígenes, evolución y tipos"* en Beevoz, 8 de abril. <<http://www.beevoz.com/2015/04/08/historia-de-la-motocicleta-origenes-evolucion-y-tipos/>> [Consulta: 8 de noviembre de 2015].

LAUTARO MARCHETTI, J.A. (2012). *"La motocicleta"* en Monografias.com, 2 de noviembre. <<http://images.google.de/imgres?imgurl=http%3A%2F%2Fwww.monografias.com%2Ftrabajos95%2Fmotocicleta%2Fimage030.jpg&imgrefurl=http%3A%2F%2Fwww.monografias.com%2Ftrabajos95%2Fmotocicleta%2Fmotocicleta2.shtml&h=313&w=489&tbnid=t9NIX00XwtHRSM%3A&docid=Xk3Tqppe04DFOM&ei=m1ueVsLSAoHzUrH4tagD&tbnid=isch&iact=rc&uact=3&dur=6954&page=1&start=0&ndsp=16&ved=0ahUKEwiCjKrKnbbKAhWBuRQKHTF8DTUQRQMIITAA>> [Consulta: 10 de noviembre de 2015].

LOSTIPOS.COM. (2015). *Tipos de aluminio*. <<http://www.lostipos.com/de/tipos-de-aluminio.html>> [Consulta: 17 de febrero de 2016].

MOTOSTUDENT 2016. *Reglamento de la competición*. <<http://www.motostudent.com/>> [Consulta: 4 de enero de 2015]

MOTO1PROMAGAZINE. (2015). *Tipos de chasis de moto: El esqueleto de la moto*. <<http://www.moto1pro.com/reportajes-motos/chasis-el-esqueleto-de-la-moto>> [Consulta: 16 de noviembre de 2015].

ROBINSON, J. (1992). *Motocicletas chasis*. Madrid: Paraninfo.

SAE. <<http://www.sae.org/automotive/>> [Consulta: 6 de marzo de 2015]

SILVERIO, M. “Acero, ventajas y desventajas” en civilgeeks.com. <<http://civilgeeks.com/2011/09/08/acero-ventajas-y-desventajas/>> [Consulta: 1 de febrero de 2016].

TIMERIME. *Cronología de la motocicleta*. <<http://timerime.com/es/evento/3757348/Motocicleta+de+Wilhelm+Maybach+y+Gottlieb+Daimler/>> [Consulta: 8 de noviembre de 2015].

VERGARA CULEBRAS, P. (2011). *Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta*. Proyecto Final de Carrera. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. <[http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12855/PFC\\_Patxi%20Vergara.pdf?sequence=1](http://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/12855/PFC_Patxi%20Vergara.pdf?sequence=1)> [Consulta: 23 de octubre de 2015].

WIKIPEDIA. *Motocicleta*. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Motocicleta#Chasis.2C\\_suspensi.C3.B3n\\_y\\_frenos](https://es.wikipedia.org/wiki/Motocicleta#Chasis.2C_suspensi.C3.B3n_y_frenos)> [Consulta: 8 de noviembre de 2015].

WIKIPEDIA. *Cuadro (motocicleta)*. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Cuadro\\_\(motocicleta\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Cuadro_(motocicleta))> [Consulta: 8 de noviembre de 2015].

WIKIPEDIA. *Acero al boro*. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Acero\\_al\\_boro](https://es.wikipedia.org/wiki/Acero_al_boro)> [Consulta: 29 de enero de 2016].

WIKIPEDIA. *Fibra de carbono*. <[https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_de\\_carbono](https://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_de_carbono)>  
[Consulta: 22 de febrero de 2016].