



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

**Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de
Producto**

**Aplicación de materiales tecnológicos al
diseño de un cuadro de bicicleta**

Autor:

Sánchez Pérez, David

Tutor:

Martín Pedrosa, Fernando

**Ciencia de los materiales e Ingeniería Metalúrgica, Expresión Gráfica en
la Ingeniería, Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría,
Ingeniería Mecánica e Ingeniería de los Procesos de Fabricación**

Valladolid, Julio de 2015.



Universidad de Valladolid

*Aplicación de materiales tecnológicos al
diseño de un cuadro de bicicleta*

A mis padres, hermana y tía



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

TFG- David Sánchez Pérez





RESUMEN

En el presente Trabajo de Fin de Grado se realiza el diseño de cuadro de bicicleta que ha sido pensado para su fabricación en fibra de carbono.

Posteriormente, se realizan rediseños para adaptar la carga visual de ese diseño a la fabricación con otros materiales (aluminio y acero).

Se realizan análisis de elementos finitos con el fin de optimizar los espesores y los pesos de los tres cuadros y así demostrar que el acero es una solución posible a la actual alternativa a la fibra de carbono, el aluminio.

Se encontrará así una parte dedicada al diseño, otra a la elección de los materiales, otra a los análisis de elementos finitos y otra a la obtención de pesos.

En ningún momento se pretende aportar carácter económico, siendo pues indiferente el coste de los materiales y sus técnicas de fabricación.

Palabras clave: Cuadro de bicicleta, Fibra de carbono, Aluminio, Acero, Análisis de elementos finitos.







ABSTRACT

A bike frame, intended to be built on carbon fibre, has been designed in order to fulfil the requirements of this “Final Degree Work”.

Next, the original design is modified with the aim of adapting it to alternative construction materials (such as aluminium or stainless steel).

Optimization of material thicknesses and resulting final weight of each of the frames is achieved by means of finite elements’ analysis, which demonstrates that stainless steel is a viable alternative to either aluminium or carbon fibre.

As such, there will be a section devoted to the frame design; a second one dealing with the choice of materials; one reporting the results of finite elements’ analysis, and then another evaluating the resulting weights.

Economic aspects have been disregarded at this time; therefore, no provisions have been made regarding material and manufacturing costs.

Key Words: Bike frame, Carbon fibre, Aluminium, Stainless steel, Finite elements’ analysis







ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT.....	3
ÍNDICE.....	5
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	9
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
1- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO.....	17
2- INTRODUCCIÓN A LAS BICICLETAS.....	19
2.1- Historia.....	19
2.2- Partes de un cuadro de bicicleta.....	20
2.3- Ergonomía.....	21
3- DISEÑO DE UN CUADRO DE BICICLETA.....	23
3.1- Justificación del diseño.....	23
3.2- Presentación de los modelos.....	24
3.2.1- Fibra de carbono.....	24
3.2.2- Aluminio.....	25
3.3.3- Acero.....	26
3.3- Detalles de las geometrías.....	27
3.3.1- Fibra de carbono.....	27
3.3.2- Aluminio.....	28
3.3.3- Acero.....	29
4- MATERIALES.....	30
4.1- Aluminio.....	30
4.2- Acero.....	35
4.3- Fibra de carbono.....	39
5- TÉCNICAS DE FABRICACIÓN.....	45
5.1- Fibra de carbono.....	45
5.2- Aluminio/Acero.....	47
6- HIPÓTESIS DE CARGA.....	50
7- ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS.....	60
7.1- Preparación de los modelos.....	60
7.2- Condiciones de contorno.....	61
7.2.1- Restricciones.....	61
7.2.2- Fuerzas.....	62
7.2.3- Mallado.....	66
7.3- Resultados.....	67
7.3.1- Acero.....	67
7.3.1.1- Creación del material en Inventor 2015.....	67
7.3.1.2- Modelo 1.....	68
7.3.1.2.1- Von mises máximo.....	68
7.3.1.2.2- Von Mises en zonas comprometidas.....	68
7.3.1.2.3- Tensión principal máxima.....	69
7.3.1.2.4- Desplazamiento máximo.....	70
7.3.1.2.5- Desplazamiento máx. Y.....	70





7.3.1.2.6- Convergencia.....	71
7.3.1.2.7- Conclusiones.....	71
7.3.1.3- Modelo 2.....	72
7.3.1.3.1- Von mises máximo.....	72
7.3.1.3.2- Von Mises en zonas comprometidas.....	72
7.3.1.3.3- Tensión principal máxima.....	74
7.3.1.3.4- Desplazamiento máximo.....	74
7.3.1.3.5- Desplazamiento máx. Y.....	75
7.3.1.3.6- Convergencia.....	75
7.3.1.3.7- Conclusiones.....	76
7.3.1.4- Modelo 3.....	77
7.3.1.4.1- Advertencias.....	77
7.3.1.4.2- Von mises máximo.....	77
7.3.1.4.3- Von Mises en zonas comprometidas.....	78
7.3.1.4.4- Tensión principal máxima.....	79
7.3.1.4.5- Desplazamiento máximo.....	79
7.3.1.4.6- Desplazamiento máx. Y,Z.....	80
7.3.1.4.7- Convergencia.....	80
7.3.1.4.8- Conclusiones.....	81
7.3.2- Aluminio.....	83
7.3.2.1- Creación del material en Inventor 2015.....	83
7.3.2.2- Modelo 1.....	84
7.3.2.2.1- Von mises máximo.....	84
7.3.2.2.2- Von Mises en zonas comprometidas.....	84
7.3.2.2.3- Tensión principal máxima.....	86
7.3.2.2.4- Desplazamiento máximo.....	86
7.3.2.2.5- Desplazamiento máx. Y,Z.....	87
7.3.2.2.6- Convergencia.....	87
7.3.2.2.7- Conclusiones.....	88
7.3.2.3- Modelo 2.....	89
7.3.2.3.1- Von mises máximo.....	89
7.3.2.3.2- Von Mises en zonas comprometidas.....	89
7.3.2.3.3- Tensión principal máxima.....	90
7.3.2.3.4- Desplazamiento máximo.....	90
7.3.2.3.5- Desplazamiento máx. Y,Z.....	91
7.3.2.3.6- Convergencia.....	91
7.3.2.3.7- Conclusiones.....	92
7.3.2.4- Modelo 3.....	93
7.3.2.4.1- Von mises máximo.....	93
7.3.2.4.2- Von Mises en zonas comprometidas.....	93
7.3.2.4.3- Tensión principal máxima.....	94
7.3.2.4.4- Desplazamiento máximo.....	94
7.3.2.4.5- Desplazamiento máx. Y,Z.....	95
7.3.2.4.6- Convergencia.....	95
7.3.2.4.7- Conclusiones.....	96



7.3.3- Fibra de carbono.....	97
7.3.3.1- Creación del material en Inventor 2015.....	97
7.3.3.2- Modelo 1.....	98
7.3.3.2.1- Von Mises máximo.....	98
7.3.3.2.2- Tensión principal máx.....	99
7.3.3.2.3- Tensión en XX.....	99
7.3.3.2.4- Tensión en XY.....	100
7.3.3.2.5- Tensión en XZ.....	100
7.3.3.2.6- Tensión en YY.....	101
7.3.3.2.7- Tensión en YZ.....	101
7.3.3.2.8- Tensión en ZZ.....	102
7.3.3.2.9- Desplazamiento máximo.....	102
7.3.3.2.10- Desplazamiento máx. Y,Z.....	103
7.3.3.2.11- Convergencia.....	103
7.3.3.2.12- Conclusiones.....	104
7.3.3.3- Modelo 2.....	105
7.3.3.3.1- Von Mises máximo.....	105
7.3.3.3.2- Tensión principal máx.....	105
7.3.3.3.3- Tensión en XX.....	106
7.3.3.3.4- Tensión en XY.....	106
7.3.3.3.5- Tensión en XZ.....	107
7.3.3.3.6- Tensión en YY.....	107
7.3.3.3.7- Tensión en YZ.....	108
7.3.3.3.8- Tensión en ZZ.....	108
7.3.3.3.9- Desplazamiento máximo.....	109
7.3.3.3.10- Desplazamiento máx. Y,Z.....	109
7.3.3.3.11- Convergencia.....	110
7.3.3.3.12- Conclusiones.....	110
7.4- Conclusiones.....	112
8- PESOS.....	114
8.1- Fibra de carbono.....	114
8.1.1- Modelo 1.....	114
8.1.2- Modelo 2.....	115
8.2- Aluminio.....	116
8.2.1- Modelo 1.....	116
8.2.2- Modelo 2.....	116
8.2.3- Modelo 3.....	117
8.3- Acero.....	118
8.3.1- Modelo 1.....	118
8.3.2- Modelo 2.....	118
8.3.3- Modelo 3.....	119
8.4- Conclusiones.....	120
9- PROTOTIPADO.....	121
10- CONCLUSIONES.....	127
11- BIBLIOGRAFÍA.....	129
12- ANEXO. MEDIDAS GENERALES DE LOS CUADROS.....	131





ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figura 1. Bicicleta de paseo 1900.....	19
Figura 2. Partes de un cuadro mtb.....	20
Figura 3: Dimensiones principales del ciclista.....	21
Figura 4. Talla de bicicleta según altura del ciclista.....	22
Figura 5. Medidas principales de un cuadro.....	22
Figura 6. Bicicleta mtb. Xc-trail.....	23
Figura 7. Bicicleta mtb. Down Hill.....	23
Figura 8. Perspectiva trasera del cuadro de fibra de carbono.....	24
Figura 9. Vista lateral del cuadro de fibra de carbono.....	24
Figura 10. Vista superior del cuadro de fibra de carbono.....	24
Figura 11. Vista delantera esquemática del cuadro de fibra de carbono.....	24
Figura 12. Perspectiva delantera. Cuadro de aluminio.....	25
Figura 13. Vista lateral. Cuadro de aluminio.....	25
Figura 14. Vista trasera. Cuadro de aluminio.	25
Figura 15. Vista esquemática en perspectiva. Aluminio.....	25
Figura 16. Perspectiva delantera. Cuadro de acero.....	26
Figura 17. Perspectiva lateral trasera. Cuadro de acero.....	26
Figura 18. Vista trasera. Cuadro de acero.....	26
Figura 19. Vista esquemática en perspectiva. Acero.....	26
Figura 20. Unión de tubo de sillín con tubo superior y vainas.....	27
Figura 20.1. Zona de uniones. Vainas con tubos superior y sillín.....	27
Figura 21. Uniones en fibra de carbono.....	27
Figura 22. Vista esquemática. Vaciado fibra de carbono.....	27
Figura 23. Uniones de tubo inferior y de sillín con tubo pedalier. Aluminio.....	28
Figura 24. Unión de vainas inferiores con tubo pedalier. Aluminio.....	28
Figura 25. Unión de vainas con tubo superior y de sillín. Aluminio.....	28
Figura 26. Patillas traseras. Aluminio.....	28
Figura 27. Uniones: tubo de pedalier, inferior y de sillín. Acero.....	29
Figura 28. Unión de vainas inferiores con tubo de pedalier. Acero.....	29
Figura 29. Cordón de soldadura para refuerzo entre tubos. Acero.....	29
Figura 30: Unión de tubos superior, de sillín y vainas superiores. Acero.....	29
Figura 31. Primer criterio de selección de acero.....	35





Figura 32. Segundo criterio de selección de acero.....	35
Figura 33. Gráfica de selección de acero 1.....	36
Figura 34. Gráfica de selección de acero 2.....	36
Figura 35. Filamento fibra de carbono	39
Figura 36. Dirección laminas fibra de carbono.....	39
Figura 37. Criterio de selección fibra de carbono	40
Figura 38. Gráfica selección fibra de carbono 1.....	41
Figura 39. Gráfica selección fibra de carbono 2.....	41
Figura 40. Propiedades técnicas torayca T800H.....	44
Figura 41. Máquina de corte automatizada.....	45
Figura 42. Molde para cuadro de fibra de carbono.....	46
Figura 43. Componentes principales de la soldadura TIG.....	49
Figura 44. Disposición de los puntos de apoyo.....	50
Figura 45. Disposición de las cargas producidas por el ciclista.....	51
Figura 46. Diagrama de fuerza durante una revolución del pedal.....	52
Figura 47. Gráfica de la fuerza ejercida sobre el pedal.....	52
Figura 48. Fuerzas generadas por el sistema plato-piñón-cadena-biela.....	56
Figura 49. Disposición y medidas del conjunto plato-cadena-piñón.....	54
Figura 50. Disposición de las fuerzas producidas en el plato-biela.....	55
Figura 51. Eje de pedaliar.....	55
Figura 52. Conjunto plato, eje pedaliar, cazoleta, biela.....	55
Figura 52.0. Disposición general del conjunto biela-cazoleta.....	56
Figura 52.1. Esquema estructura 1.....	56
Figura 52.2. Esquema estructura 2.....	57
Figura 52.3. Esquema estructura 3.....	58
Figura 52.4. Disposición general de los esfuerzos.....	59
Figura 53. Herramienta división de plano.....	60
Figura 54. Disposición de los planos de división.....	60
Figura 55. Cuadro de dialogo división planos.....	60
Figura 56. Restricción de desplazamientos en patillas traseras.....	61
Figura 57. Restricción de desplazamientos en pipa de dirección.....	61
Figura 58. Restricción de giros.....	62
Figura 59. Disposición de cargas en el pedaliar.....	62
Figura 60. Cuadro de texto para la colocación de fuerzas.....	62



Figura 61. Colocación de carga en patilla trasera.....	63
Figura 62. Coordenadas YZ.....	63
Figura 63. Coordenadas XZ.....	63
Figura 64. Colocación fuerza remota.....	64
Figura 65. Disposición general de las fuerzas.....	65
Figura 66. Condiciones generales de mallado.....	66
Figura 67. Configuración grafica de convergencia.....	66
Figura 68. Creación Aermet 100.....	67
Figura 69. Tensión máxima de von mises. Modelo. Acero.....	68
Figura 70. Escala de color de la tensión de Von Mises. Modelo 1. Acero.....	68
Figura 71. Zonas comprometidas según Von Mises. Modelo 1. Acero.....	69
Figura 72. Tensión principal máxima. Modelo 1. Acero.....	69
Figura 73. Desplazamiento máximo. Modelo 1. Acero.....	70
Figura 74. Desplazamiento máximo en eje y. modelo 1. Acero.....	70
Figura 75. Gráfica de convergencia. Modelo 1 Acero.....	71
Figura 76. Tensión máxima de Von mises. Modelo2. Acero.....	72
Figura 77. Zona comprometida según Von Mises 1. Modelo 2. Acero.....	72
Figura 78. Zona comprometida según Von Mises 2. Modelo 2. Acero.....	72
Figura 79. Zona comprometida según Von Mises 3. Modelo 2. Acero.....	73
Figura 80. Zona comprometida según Von Mises 4. Modelo 2. Acero.....	73
Figura 81. Zona comprometida según Von Mises 5. Modelo 2. Acero.....	73
Figura 82. Tensión principal máxima. Modelo 2. Acero.....	74
Figura 83. Desplazamiento máximo. Modelo 2. Acero.....	74
Figura 84. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 2. Acero.....	75
Figura 85. Gráfica de convergencia. Modelo 2. Acero.....	75
Figura 86. Advertencia para la interpretación de resultados. Modelo 3. Acero.....	77
Figura 87. Tensión máxima de von mises. Modelo 3. Acero.....	77
Figura 88. Escala de color tensión de von mieses. Modelo 3. Acero.....	78
Figura Zonas comprometidas según Von mises 1. Modelo 3. Acero.....	78
Figura 90. Zonas comprometidas según Von Mises 2. Modelo 3. Acero.....	78
Figura 91. Zonas comprometidas según Von Mises 3. Modelo 3. Acero.....	78
Figura 92. Tensión principal máxima. Modelo 3 Acero.....	79
Figura 93. Desplazamiento máximo. Modelo 3. Acero.....	79
Figura 94. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 3. Acero.....	80





Figura 95. Desplazamiento máximo en Z. Modelo 3. Acero.....	80
Figura 96. Gráfica de convergencia. Modelo 3. Acero.....	80
Figura 97. Deformación del modelo. Vista superior. Modelo 3. Acero.....	81
Figura 98. Deformación del modelo. Vista trasera. Modelo 3. Acero.....	81
Figura 99. Creación del material. Aluminio.....	83
Figura 100. Tensión máxima de Von Miseses. Modelo 1. Aluminio.....	84
Figura 101. Escala de color tensión de von mises. Modelo 1. Aluminio.....	84
Figura 102. Zonas comprometidas según Von Mises 1. Modelo 1. Aluminio.....	85
Figura 103. Zonas comprometidas según Von Mises 2. Modelo 1. Aluminio.....	85
Figura 104. Zonas comprometidas según Von Mises 3. Modelo 1. Aluminio.....	85
Figura 105. Zonas comprometidas según Von Mises 4. Modelo 1. Aluminio.....	85
Figura 106. Tensión principal máxima. Modelo 1. Aluminio.....	86
Figura 107. Desplazamiento máximo. Modelo 1. Aluminio.....	86
Figura 108. Desplazamiento máximo en Z. Modelo 1. Aluminio.....	87
Figura 109. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 1. Aluminio.....	87
Figura 110. Gráfica de convergencia. Modelo 1. Aluminio.....	87
Figura 111. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 2. Aluminio.....	89
Figura 112. Zona comprometida según Von mises 1. Modelo 2. Aluminio.....	89
Figura 113. Zona comprometida según Von mises 2. Modelo 2. Aluminio.....	89
Figura 114. Tensión principal máxima. Modelo 2. Aluminio.....	90
Figura 115. Desplazamiento máximo. Modelo 2. Aluminio.....	90
Figura 116. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 2. Aluminio.....	91
Figura 117. Desplazamiento máximo en Z. Modelo 2. Aluminio.....	91
Figura 118. Gráfica de convergencia. Modelo 2. Aluminio.....	91
Figura 119. Tensión máxima de von miseses. Modelo 3. Aluminio.....	93
Figura 120. Zona comprometida según Von Mises 1. Modelo 3. Aluminio.....	93
Figura 121. Zona comprometida según Von Mises 2. Modelo 3. Aluminio.....	93
Figura 122. Tensión principal máxima. Modelo 3. Aluminio.....	94
Figura 123. Desplazamiento máximo. Modelo 3. Aluminio.....	94
Figura 124. Desplazamiento máximo en Y. modelo 3. Aluminio.....	95
Figura 125. Desplazamiento máximo en z. modelo 3. Aluminio.....	95
Figura 126. Gráfica de convergencia. Modelo 3. Aluminio.....	95



Figura 127. Creación del material fibra de carbono.....	97
Figura 128. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 1. Fibra de carbono.....	98
Figura 129. Tensión principal máxima. Modelo 1. Fibra de carbono.....	99
Figura 130. Tensión xx máxima. Modelo 1. Fibra de carbono.....	99
Figura 131. Tensión máxima en XY máxima. Modelo 1. Fibra de carbono.....	100
Figura 132. Tensión en XZ máxima. Modelo 1. Fibra de carbono.....	100
Figura 133. tensiones en YY máxima. Modelo 1. Fibra de carbono.....	101
Figura 134. Tensión en YZ máxima. Modelo 1. Fibra de carbono.....	101
Figura 135. Tensión máxima en ZZ. Modelo 1. Fibra de carbono.....	102
Figura 136. Desplazamiento máximo. Modelo 1. Fibra de carbono.....	102
Figura 137. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 1. Fibra de carbono.....	103
Figura 138. Desplazamiento máximo en z. Modelo 1. Fibra de carbono.....	103
Figura 139. Gráfica de convergencia. Modelo 1. Fibra de carbono.....	103
Figura 140. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 2. Fibra de carbono.....	105
Figura 141. Tensión principal máxima. Modelo 2. Fibra de carbono.....	105
Figura 142. Tensión máxima en XX. Modelo 2. Fibra de carbono.....	106
Figura 143. Tensión máxima en XY. Modelo 2. Fibra de carbono.....	106
Figura 144. Tensión máxima en XZ. Modelo 2. Fibra de carbono.....	107
Figura 145. Tensión máxima en YY. Modelo 2. Fibra de carbono.....	107
Figura 146. Tensión máxima en YZ. Modelo 2. Fibra de carbono.....	108
Figura 147. Tensión máxima en ZZ. Modelo 2. Fibra de carbono.....	108
Figura 148. Desplazamiento máximo. Modelo 2. Fibra de carbono.....	109
Figura 149. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 2. Fibra de carbono.....	109
Figura 150. Desplazamiento máximo en Z. Modelo 2. Fibra de carbono.....	109
Figura 151. Grafica de convergencia. Modelo 2. Fibra de carbono.....	110
Figura 152. Peso modelo 1. Fibra de carbono.....	114
Figura 153. Peso modelo 2. Fibra de carbono.....	115
Figura 154. Peso modelo 1. Aluminio.....	116
Figura 155. Peso modelo 2. Aluminio.....	116





Figura 156. Peso modelo 3. Aluminio.....	117
Figura 157. Peso modelo 1. Acero.....	118
Figura 158. Peso modelo 2. Acero.....	118
Figura 159. Peso modelo 3. Acero.....	119
Figura 160. Disposición del cuadro para impresión 3D.....	122
Figura 161. Imagen prototipo 1.....	123
Figura 162. Imagen prototipo 2.....	123
Figura 163. Imagen prototipo 3.....	123
Figura 164. Imagen prototipo 4.....	123
Figura 165. Imagen prototipo 5.....	124
Figura 166. Imagen prototipo 6.....	124
Figura 167. Imagen prototipo 7.....	124
Figura 168. Imagen prototipo 8.....	124
Figura 169. Imagen prototipo 9.....	125
Figura 170. Imagen prototipo 10.....	125



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas según tamaño del cuadro.....	22
Tabla 2. Coordinadas aplicación fuerzas remotas en los diferentes cuadros.....	64
Tabla 3. Valor y dirección de las fuerzas.....	65
Tabla 4. Resumen valores obtenidos en el modelo 1. Acero.....	71
Tabla 5. Resumen de valores obtenidos en el modelo 2. Acero.....	76
Tabla 6. Resumen de valores obtenidos en el modelo 3. Acero.....	81
Tabla 7. Resumen de los valores obtenidos en los modelos con material acero.....	82
Tabla 8. Resumen de valores obtenidos en el modelo. Aluminio.....	88
Tabla 9. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 2. Aluminio.....	92
Tabla 10. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 3. Aluminio.....	96
Tabla 11. Resumen de todos los valores obtenidos en los modelos con material aluminio.....	96
Tabla 12. Datos para material anisótropo.....	97
Tabla 13. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 1. FdC.....	104
Tabla 14. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 2. FdC.....	106
Tabla 15. Resumen de valores obtenidos en todos los modelos. FdC.....	111
Tabla 16. Valores de todos los análisis realizados.....	112
Tabla 17. Resumen de pesos. Fibra de carbono.....	115
Tabla 18. Resumen de pesos. Aluminio.....	117
Tabla 19. Resumen de pesos. Acero.....	119
Tabla 20. Peso de todos los modelos.....	120







1- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

Para la realización de este Trabajo de Fin de Grado se ha buscado un tema sobre el cual sintiera curiosidad. El mundo del ciclismo y más específicamente el mundo del Mountain Bike (MTB) es un sector que me apasiona, por lo tanto, trabajar en él me aportará la curiosidad y las ganas para dedicarle siempre mi máxima atención.

El principal objetivo de este TFG es el diseño un cuadro de bicicleta. De todas las partes que conforman una bicicleta, se elige el cuadro al ser este el elemento más representativo de la misma, el que aporta mayor estética y el que describe el comportamiento general de la bicicleta.

Todo diseño se tiene que realizar pensando en los materiales que serán utilizados y en sus técnicas de fabricación. En la actualidad las empresas especializadas en este deporte están optando por la fibra de carbono aunque siempre tienen diseños para el aluminio.

Se observa que el material convencional por excelencia para la fabricación de cuadros de bicicleta, el acero, ha sido olvidado.

Sabiendo todo esto pretendo investigar porque el acero, que siempre ha sido el material elegido para la realización de cuadros, ha pasado a un último plano en este sector.

Se realizara el diseño de un cuadro de bicicleta mtb, que se adaptara a las diferentes técnicas de fabricación de los materiales anteriormente mencionados (fibra de carbono, aluminio y acero) sin que pierda la carga visual que el primer diseño aporta.

Para la obtención de un cuadro competitivo han de utilizarse materiales que lo sean, por lo tanto en este TFG se tratará de elegir el mejor material dentro de cada grupo, por lo tanto, se trabajaran con materiales específicos.

Para observar el comportamiento de los cuadros bajo la sollicitación de cargas de trabajo se realizarán análisis de elementos finitos. Para la obtención de las cargas de trabajo se generará una hipótesis de carga basada en el uso de la bicicleta por un ciclista profesional.

Una vez observado el comportamiento de los cuadros, se pretende optimizar los mismos. La finalidad de la optimización es encontrar el espesor mínimo con el cual los cuadros pueden trabajar bajo la hipótesis de carga planteada.

Con la obtención de los pesos mínimos se pretende demostrar que el acero sigue siendo una gran alternativa para el diseño de cuadros de bicicleta.





En la actualidad las técnicas de diseño han avanzado mucho, y la obtención de un prototipo es algo que aporta tanto al cliente como al diseñador una base muy importante para la consecución del producto final.

Como último objetivo de este trabajo, se pretende obtener un prototipo del modelo principal para así conseguir mostrar mejor la idea de diseño y utilizar todas las técnicas de las que un diseñador industrial hace uso a la hora de mostrar un diseño.

El proyecto se centrará en el diseño y optimización. Para ello la elección de material específico tendrá una gran importancia. Las técnicas de fabricación serán mencionadas con el único fin de justificar el cambio de los diseños entre los diferentes modelos, pero sin llegar a profundizar en ellas. El aspecto económico no se tendrá en cuenta en este Trabajo de Fin de Grado.

Trabajar en el diseño de una bicicleta en la asignatura de oficina técnica ha hecho posible la realización de este TFG, al ser este el principal motivo de querer estudiar el comportamiento y el diseño de los cuadros de bicicleta bajo diferentes materiales.

2- INTRODUCCION A LAS BICICLETAS

2.1- Historia

El cuadro es una de las partes fundamentales de la bicicleta. La calidad de la misma depende en gran parte de este. Su función principal es la de servir de soporte al resto de los elementos del conjunto.

La forma que tienen actualmente los cuadros de bicicleta, existe desde 1890, cuando en Inglaterra se demostró que la forma trapezoidal o cuadro de doble triángulo era la mejor para la construcción de las bicicletas. También se dio el nombre de cuadro de diamante, tanto por su forma como por su buen comportamiento a esfuerzos de tracción-compresión y vibraciones.

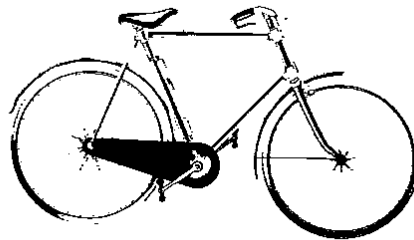


Figura 1. Bicicleta de paseo 1900

Con el tiempo el ciclismo ha ido especializándose, llegando a ser notables las diferencias entre las bicicletas de carretera y las comúnmente conocidas como “de montaña”.

Actualmente las bicicletas están muy especializadas, llegando a encontrarse varios tipos de cuadros y configuraciones para carretera, entre las cuales se pueden distinguir por ejemplo cuadros preparados para triatlón o cuadros para rodar normalmente por carretera. Lo mismo pasa con los cuadros destinados al MTB (mountain bike). En este sector del ciclismo encontramos diferentes disciplinas, como pueden ser, el XC- Trail, que es lo más común, rodar por el campo y por senderos, o su caso más extremo, DownHill, que consiste en descender por zonas con muchos saltos e irregularidades del terreno.

Por mucho que se haya especializado este deporte, no hay prácticamente ninguna variación en cuanto a la forma principal de la construcción del cuadro.

Este TFG va a centrarse en el sector del MTB y por lo tanto el diseño del cuadro será para este tipo de deporte.

2.2- Partes de un cuadro de bicicleta

Por lo tanto podemos mencionar y dar una breve descripción de las principales partes que componen los actuales cuadros de bicicletas MTB.

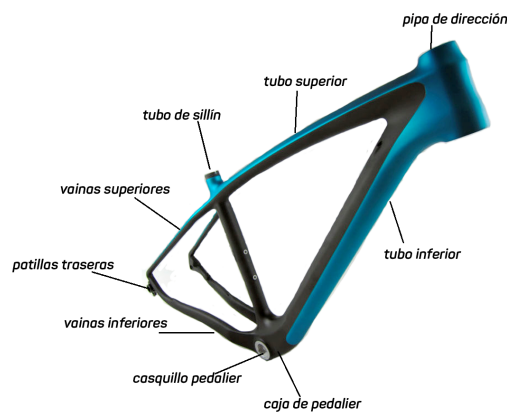


Figura 2. Partes de un cuadro mtb

- Pipa de dirección: En esta zona del cuadro es donde se alojara la horquilla de dirección y la que dará apoyo tanto a potencia como a manillar.

- Tubo inferior: Este tubo es el encargado de unir la pipa de dirección con la caja del pedalier.

- Caja de pedalier: En esta caja es donde se montara el eje pedalier y las bielas.

- Casquillo pedalier: Es necesario mencionar esta parte, aunque es específica de la fabricación en fibra de carbono. Es un refuerzo para que el eje pedalier, que está fabricado en materiales como aluminio o acero, no desgaste y rompa la fibra de carbono.

- Vainas inferiores: Une la caja del pedalier con las patillas traseras.

- Patillas traseras: Harán la vez de ejes para la rueda trasera y el grupo de cambios trasero.

- Vainas superiores: Unen las patillas traseras con el tubo del sillín.
- Tubo de sillín: Tubo destinado a la colocación de la tija del sillín.
- Tubo superior: Se encarga de unir el tubo del sillín con la pipa de dirección.

2.3- Ergonomía

La longitud de los tubos de un cuadro está definida por distintos parámetros del cuerpo humano. Altura, longitud de piernas, longitud de brazos, longitud del tronco son las principales variables a tener en cuenta a la hora de elegir una bicicleta. Existen varios métodos para saber la talla de cuadro que se adapte mejor a unas determinadas condiciones morfológicas.

Para poder elegir o crear un cuadro, primero hay que conocer dimensiones características del cuerpo que nos ayudarán a ello:

- Altura de entrepiernas (A): Distancia comprendida entre el talón y la entrepierna.
- Longitud del tronco (B): Es la distancia situada entre la entrepierna y el hombro a la altura de la articulación.
- Longitud del brazo (C): Distancia desde la articulación del hombro a la palma de la mano.

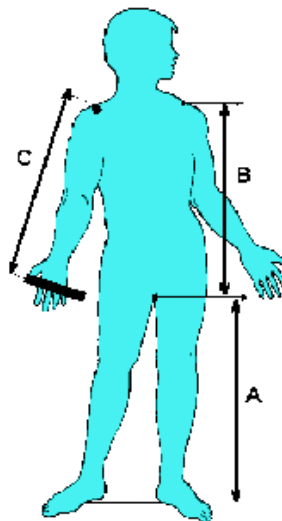


Figura 3. Dimensiones principales del ciclista

Las medias que se han tomado como referencia son las que utiliza la empresa especializada en bicicletas mtb “Merida bikes”. El cuadro se diseñara para una persona de una altura de 1,78 cm. Actualmente existen en el mercado diferentes medidas de rueda sobre las cuales diseñar los cuadros. Se elige una dimensión de 29” de rueda para realizar los diseños de los cuadros.



TALLA DE BICICLETA SEGÚN LA ALTURA DEL CICLISTA

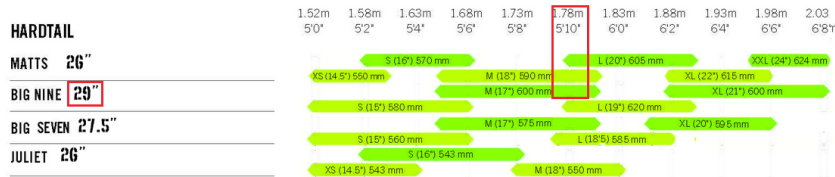


Figura 4. Talla de bicicleta según altura del ciclista

Según la anterior tabla realizada por el fabricante de bicicletas “Merida bikes” hemos de elegir una medida de cuadro de 17”. A continuación se muestran las medidas principales que el cuadro ha de tener. Estas medidas son aproximadas, en ningún momento son unas medidas que se vayan a copiar.

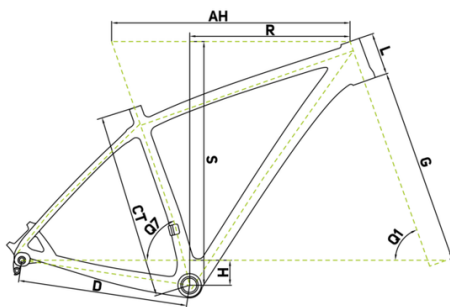


Figura 5. Medidas principales de un cuadro

FRAME SIZES	15"	17"	19"	21"	23"
SEAT TUBE (CT)	380	444	483	532	584
TOP TUBE (AH)	580	599	619	642	650
CHAIN STAYS (D)	440	440	440	440	440
HEAD TUBE ANGLE (Q1)	70	70	70,5	70,5	70,5
SEAT TUBE ANGLE (Q7)	71,5	70,5	70,5	70,5	70,5
BOTTOM BRACKET DROP (H)	65	65	65	65	65
HEAD TUBE LENGTH (L)	95	110	110	120	140
FORK LENGTH (G)	509	509	509	509	509
REACH (R)	395	397	416	436	438
STACK (S)	617	631	633	643	661

Tabla 1. Medidas según tamaño del cuadro

3- DISEÑO DE UN CUADRO DE BICICLETA

3.1- Justificación del diseño

Como se ha comentado el tfg va a centrarse en el diseño un cuadro de bicicleta MTB. Antes se han mencionado términos como “Downhill” o el “xc-trail”. Estos son los dos referentes más extremos de la disciplina de mtb.

Los diseños actuales para cada estilo están muy definidos, siendo los diseños para xc-trail mucho más rectos y secos y para el downhill mucho más orgánicos y fluidos.



Figura 6. Bicicleta mtb. Xc-Trail



Figura 7. Bicicleta mtb. DownHill

El diseño que se realiza se inspira en conseguir fusionar ambas líneas haciéndolas tomando como principal objetivo traspasar las líneas fluidas y orgánicas del cuadro de Down Hill y adaptarlas a la rigidez de los cuadros Xc-Trail.

Teniendo en cuenta las técnicas de fabricación y los materiales actuales, el diseño está realizado y orientado a la fabricación en fibra de carbono, por causas que se justifican en el apartado descripción de las técnicas de fabricación.

Este diseño se adaptará posteriormente a aluminio y acero de manera que en ningún momento pierda la carga visual, es decir, que la diferencia entre los diferentes cuadros no sea lo suficientemente notable a la hora de ver la bicicleta por encima.

3.2- Presentación de los modelos

3.2.1- Fibra de carbono



Figura 8. *Perspectiva trasera del cuadro de fibra de carbono*

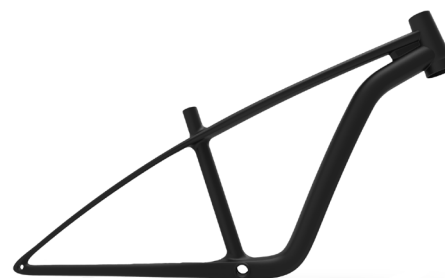


Figura 9. *Vista lateral del cuadro de fibra de carbono*

En las dos figuras anteriores se muestran las líneas generales del diseño, con el cual se ha dotado a un cuadro mtb rígido de líneas fluidas, las cuales estaban siendo utilizadas solamente en cuadros mtb down hill. Se puede apreciar la continuidad del diseño, gracias a su fabricación de una sola pieza.



Figura 10. *Vista superior del cuadro de fibra de carbono*



Figura 11. *Vista delantera esquemática del cuadro de fibra de carbono*

3.2.2- Aluminio



Figura 12. Perspectiva delantera. Cuadro de aluminio

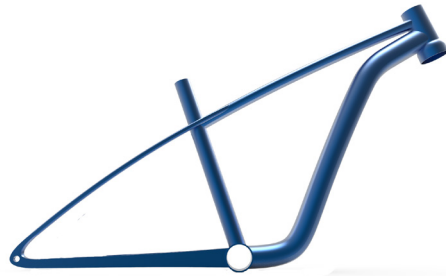


Figura 13. Vista lateral. Cuadro de aluminio

Para la adaptación del diseño en fibra de carbono anteriormente mostrado es necesario cambiar la zona del pedaliar. Esta pasara a ser un tubo de sección circular sobre el cual se soldarán los diferentes tubos. Se aporta continuidad a las líneas aunque este cuadro sea fabricado mediante la soldadura de tubos.



Figura 14. Vista trasera. Cuadro de aluminio

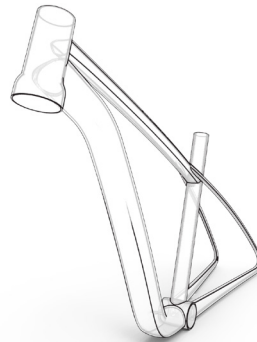


Figura 15. Vista esquematica en perspectiva. Cuadro de aluminio

3.2.3- Acero



Figura 16. Perspectiva delantera. Cuadro de acero



Figura 17. Perspectiva lateral trasera. Cuadro de acero

Para el modelo fabricado en acero es necesario cambiar la geometría respecto a la de aluminio en algunos puntos. Los principales cambios están en la sección constante del tubo inferior, y reducción de cambio de sección en las vainas inferiores. Las patillas como se comentará luego, irán soldadas y serán una pieza a mayores que por economía en el modelo 3D ha sido realizado junto.



Figura 18. Vista trasera. Cuadro de acero

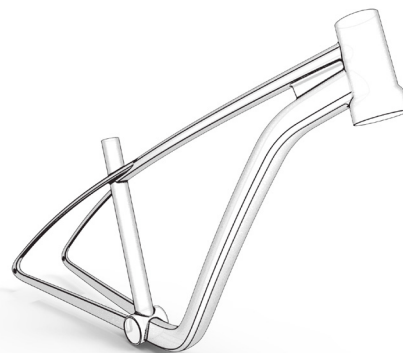


Figura 19. Vista esquemática en perspectiva. Cuadro de acero

3.3- Detalles de las geometrías

3.3.1- Fibra de carbono



Figura 20. Unión tubo del sillín, con tubo superior y vainas.



Figura 20.1 Zona de uniones. Vainas con tubos superior, inferior y del sillín

La fabricación en fibra de carbono nos aporta la posibilidad de realizar diseños con gran continuidad. Debido a la fabricación mediante molde podemos obtener un cuadro mono casco. En la figura 19 y 20 podemos ver que en ningún momento hay uniones. si no que el diseño es continuo.



Figura 21. Uniones en fibra de carbono

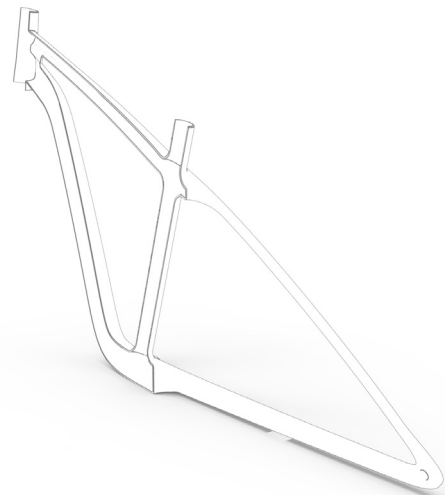


Figura 22. Vista esquemática. Vaciado fibra de carbono

En la figura 21 se pueden ver las uniones entre diferentes tubos que surgen de la fabricación en fibra de carbono. La figura 22 es un corte por el plano medio y en él apreciamos que el cuadro está completamente vacío en su interior.

3.3.2- Aluminio

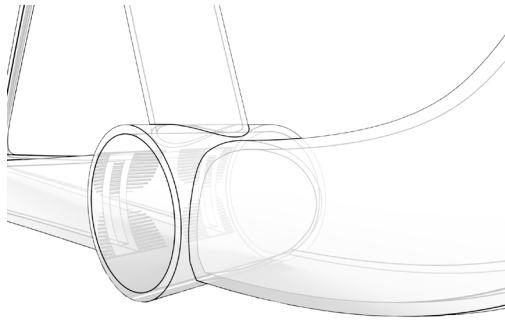


Figura 23. Uniones: tubo inferior y de sillín con tubo pedalier. Aluminio

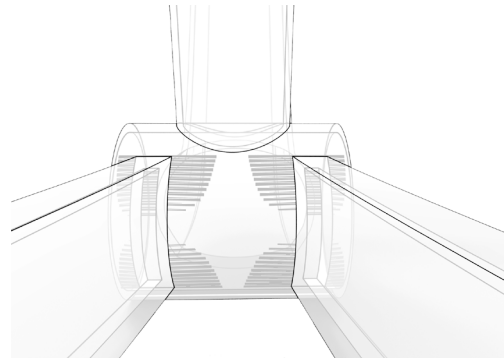


Figura 24. Unión de vainas inferiores con tubo pedalier. Aluminio

En la figura 23 se ve la sección de unión del tubo inferior con el tubo del pedalier. Estas irán soldadas. En la figura 24, se ve la unión de las vainas inferiores con el tubo del pedalier. Estas son de sección variable, aunque solo varíe la dimensión de las mismas y no la sección. En la figura 25 apreciamos que para dar la continuidad requerida las vainas superiores irán soldadas al tubo superior, y la soldadura rodeará el tubo del sillín. Por último en la figura 26 se ven las patillas traseras. Estas son una parte independiente que será maciza y se soldará aparte. Para facilitar la labor de diseño se han planteado unidas a la sección de las vainas.

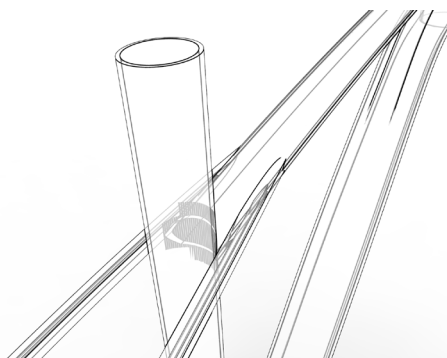


Figura 25. Unión de vainas con tubo superior y de sillín. Aluminio

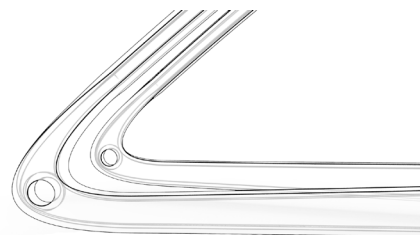


Figura 26. Patillas traseras. Aluminio.

3.3.3- Acero

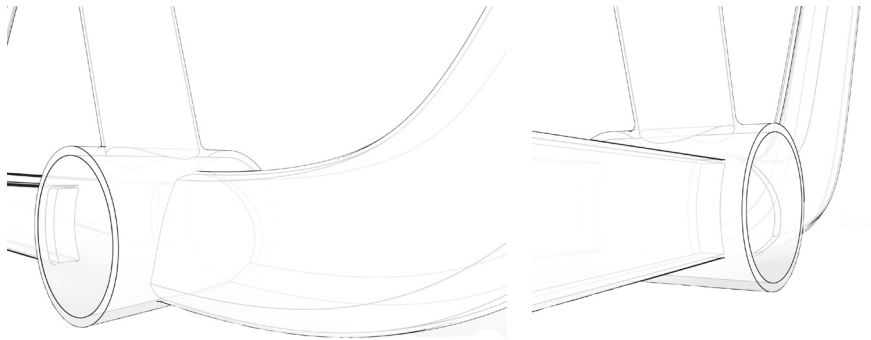


Figura 27. Uniones: tubo de pedalier, tubo inferior y tubo de sillín. Acero

Figura 28. Unión de vainas inferiores con tubo de pedalier

Las figuras 27 y 28 tienen especial relación con las 23 y 24. En ellas se aprecian las principales diferencias entre el modelo de aluminio y el de acero. En el de acero las secciones son constantes, mientras que en aluminio varían. En las vainas inferiores observamos que el cambio de tamaño en la sección es mucho más pequeño. Lo que se observa en las dos figuras superiores es debido a las limitaciones en las técnicas de fabricación, como posteriormente será comentado.

El cordón de soldadura que se observa en la figura 29 es el mismo que en el cuadro de aluminio. Este cordón aporta resistencia a la bicicleta, dado que las cargas del manillar pueden dar problemas. La figura 30 muestra la unión de los tubos superiores, al igual que en la figura 25.

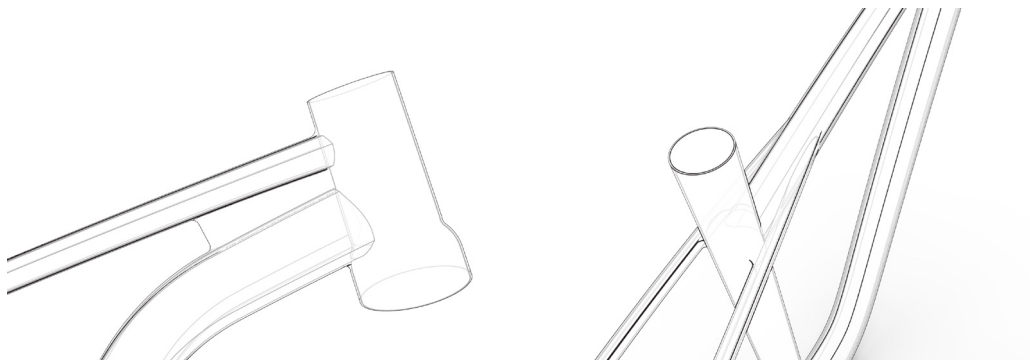


Figura 29. Cordón de soldadura para el refuerzo de tubos superior e inferior. Acero

Figura 30. Unión tubos superior, tubo de sillín y vainas superiores. Acero

4- MATERIALES

4.1- Aluminio

El aluminio se trata de un metal no ferromagnético. Entre sus características principales destacan su baja densidad $2700\text{kg}/\text{cm}^3$ y su alta resistencia a la corrosión. Mediante sus aleaciones adecuadas y unos correctos tratamientos térmicos y químicos se pueden aumentar su resistencia mecánica hasta los 690MPa.

Como se ha comentado antes, dependiendo de sus aleaciones y de sus tratamientos se obtienen unas propiedades distintas por lo cual son clasificados de la siguiente manera:

- *Serie 1000*: No es una aleación. Aluminio con presencia de impurezas de hierro, pequeñas cantidades de cobre.

- *Serie 2000*: El principal aleante es el cobre. Con un tratamiento T6 (*) adquiere una resistencia a la tracción de 442MPa.

- *Serie 3000*: El principal aleante es el manganeso. Se consigue una resistencia a la tracción de 110 MPa.

- *Serie 4000*: El principal aleante es el silicio.

- *Serie 5000*: El principal aleante es el magnesio. Tras un recocido se alcanza una resistencia a tracción de 193 MPa.

- *Serie 6000*: Como principales aleantes encontramos el silicio y el magnesio. Serie menos resistente que el resto pero soldable y formable. Se le pueden aplicar varios tratamientos destacando el T4 (*) y el T6. Tras un T6 obtiene una resistencia a tracción de 290 MPa.

- *Serie 7000*: el principal aleante es el zinc. Tras un T6 adquiere una resistencia de 504 MPa.

Ante las series de aluminio expuestas, son tres las que debido a su resistencia a la tracción después de los tratamientos llaman la atención. Estas son la serie 2000, 6000 y 7000.

Tras la primera selección de las series estas fueron analizadas detenidamente. La serie que se utilizará para la fabricación de los perfiles de la bicicleta será de las serie 6000. Se ha descartado la serie 2000 por el precio del aleante y la serie 7000 por dificultades a la hora de la soldadura.

Una vez elegida la serie se procede a elegir y justificar el tratamiento térmico con el que el aluminio adquirirá las propiedades mecánicas.

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
<p>T1</p>	<p>Tratamiento de temple desde la temperatura de extrusión y maduración. Proceso previo de extrusión a 600°C. Se introduce en agua y madura naturalmente.</p> <p>Se suele usar en la serie 2xxx</p>
<p>T2</p>	<p>Tratamiento de temple desde la temperatura de extrusión y maduración natural. Mismo proceso que el anterior, templándolo en agua. Posteriormente se aplica un proceso de deformación en frío (acritud). Maduración natural.</p>
<p>T3</p>	<p>Tratamiento térmico de solución, temple, acritud y maduración natural. El material ya no es extruido, si no que se encuentra en condición de recocido (0°C), se da forma a la pieza y se envía a tratamiento térmico de solución a 495°C. Se temple en agua, proceso de acritud para reducir espesor y maduración natural.</p>
<p>T4</p>	<p>Tratamiento de solución, temple y maduración natural. Es similar al t3 pero saltándose la etapa de acritud.</p>
<p>T5</p>	<p>Tratamiento desde temperatura de extrusión y maduración artificial. Similar al t1. Se diferencia en que este requiere una maduración artificial a 120°C.</p>
<p>T6</p>	<p>Tratamiento de solución, temple y maduración artificial. Requiere un proceso de disolución, temple y maduración artificial.</p>
<p>T7</p>	<p>Tratamiento térmico de solución, temple y sobre-maduración estabilizado. Mismos procesos de disolución y temple que T3 y T4. En este caso se aplica un sobre-envejecimiento. Esto se realiza volviendo a envejecer a 175°C.</p>
<p>T8</p>	<p>Tratamiento de solución, temple, acritud y maduración artificial. Requiere los mismos procesos que el T3 con la diferencia de que se realiza una maduración artificial.</p>

TRATAMIENTO	DESCRIPCIÓN
<p>T9</p>	<p>Tratamiento de solución, temple, maduración artificial y acritud. Similar al T8, pero el proceso de deformación en frío se realiza después de la maduración artificial.</p>
<p>T10</p>	<p>Tratamiento de temple desde temperatura de extrusión, acritud y maduración artificial. Similar al tratamiento T2. La diferencia es que se realiza un tratamiento T2.</p>

No queremos tratar los tubos nada más que sean obtenidos por extrusión, por lo cual la mitad de los tratamientos anteriormente descritos no entran dentro de nuestras características.

Se consulta el programa CES Education 2011 para la selección de materiales y se observa que los únicos aluminios 6061 que trabaja son los que tienen un tratamiento T6 o un tratamiento T4.

A la hora de elegir entre el tratamiento T6 y el tratamiento T4, se elige trabajar con el tratamiento T4.

El aluminio 6061 T4 tiene las siguientes características (según el programa CES 2011):

General properties

Designation

6061

UNS number

A96061

Density

2.7e3 - 2.73e3 kg/m³

Price

* 1.75 - 1.93 EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Al/1Mg/.6SiCuCr

Base

Al (Aluminum)

Composition detail

Al (aluminum)

97 - 99 %

Cr (chromium)

0 - 0.6 %

Cu (copper)

0 - 0.6 %

Mg (magnesium)

1 %

Si (silicon)

0 - 0.6 %

Mechanical properties

Young's modulus

68 - 71.5 GPa

Flexural modulus

* 68 - 71.5 GPa

Shear modulus

26 - 27.3 GPa

Bulk modulus

66.9 - 70.3 GPa

Poisson's ratio

0.33 - 0.343

Shape factor

39

Yield strength (elastic limit)

103 - 124 MPa

Tensile strength

172 - 241 MPa

Compressive strength

* 97 - 172 MPa

Flexural strength (modulus of rupture)

103 - 124 MPa



Shape factor	39		
Yield strength (elastic limit)	103	- 124	MPa
Tensile strength	172	- 241	MPa
Compressive strength	* 97	- 172	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	103	- 124	MPa
Elongation	14	- 16.3	% strain
Hardness - Vickers	66.5	- 73.5	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 62	- 65.2	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 37.1	- 62.5	MPa
<small>Parameters: Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 1e7</small>			
Fracture toughness	* 34	- 35	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 1e-4	- 0.002	

Thermal properties

Melting point	580	- 650	°C
Maximum service temperature	110	- 170	°C
Minimum service temperature	-273		°C
Thermal conductivity	161	- 174	W/m.°C
Specific heat capacity	934	- 972	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	23.4	- 24.6	µstrain/°C
Latent heat of fusion	384	- 393	kJ/kg

Electrical properties

Electrical resistivity	4.2	- 4.4	µhm.cm
------------------------	-----	-------	--------

Optical properties

Transparency	Opaque		
--------------	--------	--	--

Durability: flammability

Flammability	Non-flammable		
--------------	---------------	--	--

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Excellent		
Water (salt)	Acceptable		
Weak acids	Excellent		
Strong acids	Excellent		
Weak alkalis	Acceptable		
Strong alkalis	Unacceptable		
Organic solvents	Excellent		
UV radiation (sunlight)	Excellent		
Oxidation at 500C	Unacceptable		

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	197	- 218	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	11.4	- 12.6	kg/kg
Water usage	495	- 1.49e3	l/kg

Material processing: energy

Extrusion, foil rolling energy	* 6.31	- 6.98	MJ/kg
Rough rolling, forging energy	* 3.3	- 3.65	MJ/kg
Wire drawing energy	* 22.9	- 25.3	MJ/kg
Metal powder forming energy	* 23.1	- 25.6	MJ/kg
Vaporization energy	* 1.55e4	- 1.71e4	MJ/kg
Coarse machining energy (per unit wt removed)	* 0.927	- 1.02	MJ/kg
Fine machining energy (per unit wt removed)	* 4.99	- 5.52	MJ/kg
Grinding energy (per unit wt removed)	* 9.51	- 10.5	MJ/kg
Non-conventional machining energy (per unit wt removed)	* 155	- 171	MJ/kg

Material processing: CO2 footprint

Extrusion, foil rolling CO2	* 0.473	- 0.523	kg/kg
Rough rolling, forging CO2	* 0.247	- 0.273	kg/kg





Material processing: CO2 footprint

Extrusion, foil rolling CO2	* 0.473	- 0.523	kg/kg
Rough rolling, forging CO2	* 0.247	- 0.273	kg/kg
Wire drawing CO2	* 1.72	- 1.9	kg/kg
Metal powder forming CO2	* 1.85	- 2.05	kg/kg
Vaporization CO2	* 1.16e3	- 1.28e3	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.0695	- 0.0768	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.375	- 0.414	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 0.714	- 0.789	kg/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 11.6	- 12.8	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	17.1	- 20.3	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	0.958	- 1.21	kg/kg
Recycle fraction in current supply	40.5	- 44.7	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		
A renewable resource?	✗		

Se ha escogido el 6061 T4 por su mejor adaptación a la hora de la soldadura, pudiendo tratar todos los tubos de manera independiente y que estos no pierdan resistencia mecánica en la zona de la soldadura. Si se realizase un tratamiento T6 sería necesario volver a realizar el tratamiento de toda la bicicleta unida (soldada) para que las zonas de la soldadura volvieran a tener una resistencia mecánica aceptable.

4.2- Acero

El acero es el nombre que comúnmente se le da a la aleación de hierro y carbono (0.05%-2%). Es por lo tanto un material ferroso. Partiendo de este punto se pueden obtener diferentes características dependiendo de la cantidad de carbono que se emplee en la aleación y de diferentes componentes (Cromo, Níquel, Cobalto...) que se añadan para aportar nuevas características.

A la hora de elegir un acero había que tener en cuenta las siguientes condiciones; que se pudiera soldar, que fuera inoxidable y de alta resistencia mecánica para poder así ofrecer competencia al aluminio.

Utilizando el programa CES Education 2011 e introduciendo las diferentes características que queremos que tengan el acero nos encontramos con los siguientes resultados.

1- Que sea de tipo férreo

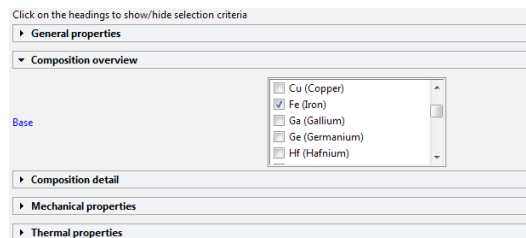


Figura 31. Primer criterio de selección de acero

2- Introducimos unos valores límite para el límite elástico (900-2000 MPa)

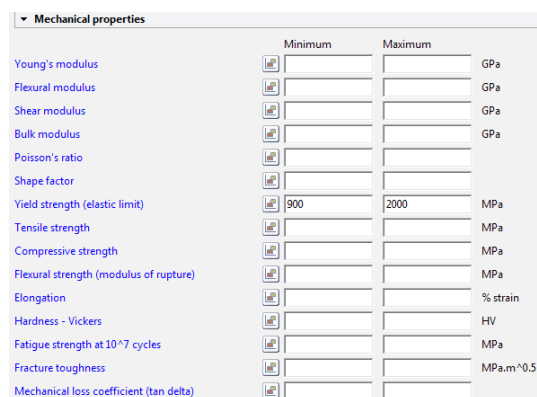


Figura 32. Segundo criterio de selección de acero

Con estos dos requisitos encontramos 236 resultados de 1748 metales que este programa tiene en la base de datos.

Se procede a analizar los diferentes resultados para encontrar el acero que mejor se adapte.

Para ello se crea una gráfica en la que se comprara el límite elástico y el límite de ruptura.

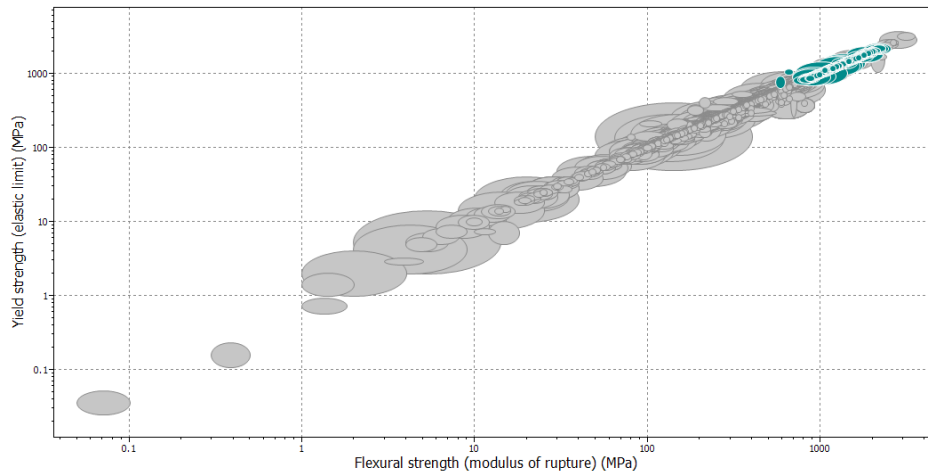


Figura 33: Gráfica selección de acero 1

De los resultados obtenidos observamos que muchos de los aceros son aceros de herramienta, por lo cual estos quedarían descartados. Centramos la gráfica a la zona en la que encontramos los resultados y procedemos a su análisis.

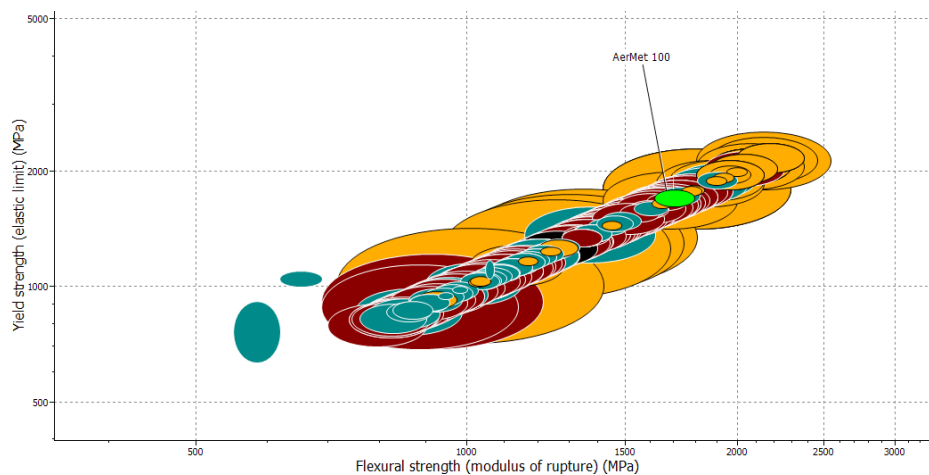


Figura 34: Gráfica de selección de acero 2

Los resultados que aparecen con color naranja son los aceros de herramienta. Los que aparecen en rojo son aceros de baja aleación. En el listado de materiales salta a la vista el que en esta grafica está representado en color verde.



Este acero está del grupo de aceros martensíticos de alta resistencia. Llama la atención que aparezca el nombre en concreto del acero. Observando sus propiedades vemos que cumple todas las características que solicitamos, por lo cual el Aermet 100 es el acero elegido.

Las características del Aermet 100 son las siguientes (según CES Education 2011):

General properties

Designation

High alloy steel, AerMet 100 Steel, STA

Density	7.85e3	-	7.93e3	kg/m ³
Price	* 6.34	-	6.98	EUR/kg

Composition overview

Composition (summary)

Fe/13.5-14.5Co/9.5-1.5Ni/1.8-2.2Cr/.13-.17C/.9-1.1Mo/<.1Mn/<.1Si/.008P/.005S

Base Fe (Iron)

Composition detail

C (carbon)	0.13	-	0.17	%
Co (cobalt)	13.5	-	14.5	%
Cr (chromium)	1.8	-	2.2	%
Fe (iron)	74.2	-	80.3	%
Mn (manganese)	0	-	0.1	%
Mo (molybdenum)	0.9	-	1.1	%
Ni (nickel)	1.5	-	9.5	%
P (phosphorus)	0.008			%
S (sulfur)	0.005			%
Si (silicon)	0	-	0.1	%

Mechanical properties

Young's modulus	193	-	203	GPa
Flexural modulus	* 193	-	203	GPa
Shear modulus	73	-	76.7	GPa
Bulk modulus	161	-	169	GPa
Poisson's ratio	0.3	-	0.312	
Shape factor	13			
Yield strength (elastic limit)	1.62e3	-	1.79e3	MPa
Tensile strength	1.93e3	-	2.13e3	MPa
Compressive strength	* 1.81e3	-	2e3	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1.62e3	-	1.79e3	MPa
Elongation	8	-	10	% strain
Hardness - Vickers	568	-	594	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 772	-	900	MPa
Fatigue strength model (stress range)	* 537	-	648	MPa
<small>Parameters: Stress Ratio = 0, Number of Cycles = 1e7</small>				
Fracture toughness	100	-	150	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 7.3e-4	-	0.00153	

Thermal properties

Melting point	* 1.37e3	-	1.5e3	°C
Maximum service temperature	382	-	427	°C
Minimum service temperature	* -73	-	-53	°C
Thermal conductivity	25	-	27.1	W/m.°C
Specific heat capacity	485	-	505	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	10.1	-	10.6	µstrain/°C
Latent heat of fusion	* 265	-	280	kJ/kg

Processing properties

Carbon equivalency	0.64	-	1.33	
--------------------	------	---	------	--

Electrical properties

Electrical resistivity	* 40	-	91	µohm.cm
------------------------	------	---	----	---------



Optical properties

Transparency Opaque

Durability: flammability

Flammability Non-flammable

Durability: fluids and sunlight

Water (fresh)	Acceptable
Water (salt)	Limited use
Weak acids	Limited use
Strong acids	Unacceptable
Weak alkalis	Acceptable
Strong alkalis	Limited use
Organic solvents	Excellent
UV radiation (sunlight)	Excellent
Oxidation at 500C	Acceptable

Primary material production: energy, CO2 and water

Embodied energy, primary production	* 97.3	- 108	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	* 6.14	- 6.78	kg/kg
Water usage	* 644	- 711	l/kg

Material processing: energy

Casting energy	* 10.9	- 12.1	MJ/kg
Extrusion, foil rolling energy	* 30.8	- 34.1	MJ/kg
Rough rolling, forging energy	* 15.6	- 17.2	MJ/kg
Wire drawing energy	* 115	- 127	MJ/kg
Metal powder forming energy	* 37.5	- 41.4	MJ/kg
Vaporization energy	* 1.09e4	- 1.2e4	MJ/kg

Vaporization CO2	* 815	- 901	kg/kg
Coarse machining CO2 (per unit wt removed)	* 0.207	- 0.229	kg/kg
Fine machining CO2 (per unit wt removed)	* 1.75	- 1.94	kg/kg
Grinding CO2 (per unit wt removed)	* 3.47	- 3.84	kg/kg
Non-conventional machining CO2 (per unit wt removed)	* 8.15	- 9.01	kg/kg

Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction

Recycle	✓		
Embodied energy, recycling	* 27.3	- 30.1	MJ/kg
CO2 footprint, recycling	* 1.72	- 1.9	kg/kg
Recycle fraction in current supply	52.3	- 57.8	%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✗		
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		
A renewable resource?	✗		

4.3-Fibra de carbono

La fibra de carbono es un material compuesto no metálico y de la clase de los poliméricos.

Los materiales compuestos son aquellos que pueden estar formados por combinaciones de materiales cerámicos, metálicos y polímeros. Las propiedades que se obtienen de estas combinaciones son superiores a la de los materiales originales por separado, por lo que cada día son más utilizados en el mercado, sobre todo en aquellas piezas en las que se necesitan propiedades combinadas, que un material (polímero, metal o cerámico) por sí solo no nos puede dar.

En general, la desventaja más clara de los materiales compuestos es el elevado precio. Las características de los materiales originales y los procesos de fabricación, encarecen mucho el producto. Aun con todo, para ciertas aplicaciones, debido a sus propiedades mecánicas, como la alta rigidez específica, la buena estabilidad dimensional, la resistencia a altas temperaturas y a la corrosión, la ligereza o una mayor resistencia a la fatiga que los materiales clásicos, el alto precio compensa.

Dentro de los materiales compuestos, la fibra de carbono se encuentra en los llamados materiales compuestos reforzados con fibras. Estos están formados por un agente reforzante, como fibra de vidrio, cuarzo, kevlar o fibra de poliéster. Las fibras se encargan de resistir la tracción, mientras que la matriz resiste las deformaciones. Entre ambos se encargan de resistir los esfuerzos de compresión.



Figura 35. Filamento de carbono

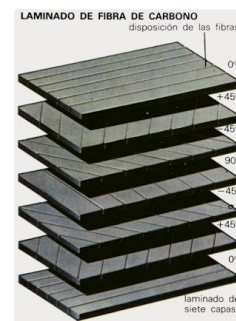


Figura 36. Dirección láminas de fibra de carbono

La alta resistencia de la fibra de carbono proviene de la facultad del átomo de carbono para enlazarse fuertemente consigo mismo. La demostración más firme de la robustez del enlace carbono-carbono, se ve cuando los átomos de carbono están dispuestos como un cristal de diamante, la más dura de las sustancias conocidas. En el caso de la fibra de carbono, el compuesto que conforma las fibras se llama poliacrilonitrilo (PAN). Las fibras de PAN son muy fuertes y extraordinariamente rígidas.

Sin embargo, para obtener de esas características un aprovechamiento práctico, se tuvo que encontrar un procedimiento para combinar las fibras con un material matricial apropiado para formar un compuesto. De este modo, los finísimos filamentos individuales de 5 a 8 micrómetros de diámetro, se enlazan entre sí, permitiendo que se transfieran las cargas por toda la matriz de fibra a fibra en orden a lograr un rendimiento mecánico útil.

Una propiedad especial de las fibras es que su comportamiento es anisótropo. La fortaleza de las mismas es diferente según en qué dirección se aplique la fuerza. Por ejemplo, si se tira del material en paralelo a la dirección de las fibras, están tendrán una inmensa resistencia, pero si se aplican fuerzas en la dirección perpendicular a las mismas la resistencia del compuesto dependerá casi exclusivamente de la matriz de resina relativamente endeble.

Para disminuir esta problemática es necesario construir capas laminares alternadas de fibra y resina en direcciones diferentes. Con esta disposición, la capa laminar que proporciona la mayor parte de la fortaleza, variara de acuerdo con la dirección de la fuerza de tracción aplicada.

Además de poseer propiedades diferentes en las direcciones longitudinal y transversal, los compuestos exhiben diferentes propiedades de tracción y de compresión.

Utilizando el programa CES Education 2011 e introduciendo las diferentes características que queremos que tengan el acero nos encontramos con los siguientes resultados.

- 1- Optamos por un material compuesto unidireccional y con base polimérica

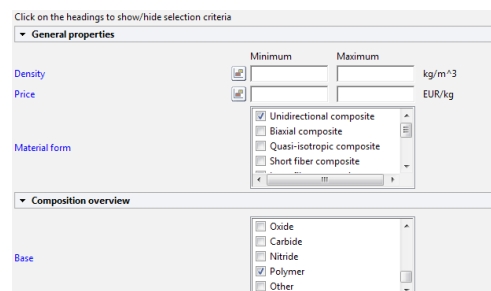


Figura 37. Criterio de selección fibra de carbono 1

El número de coincidencias es relativamente bajo, por lo tanto con estas condiciones serían suficientes para llegar a una elección correcta.

Se han obtenido 15 resultados de 3831 elementos compuestos.

Creamos una gráfica en la que se comprara el límite elástico y el límite de ruptura.

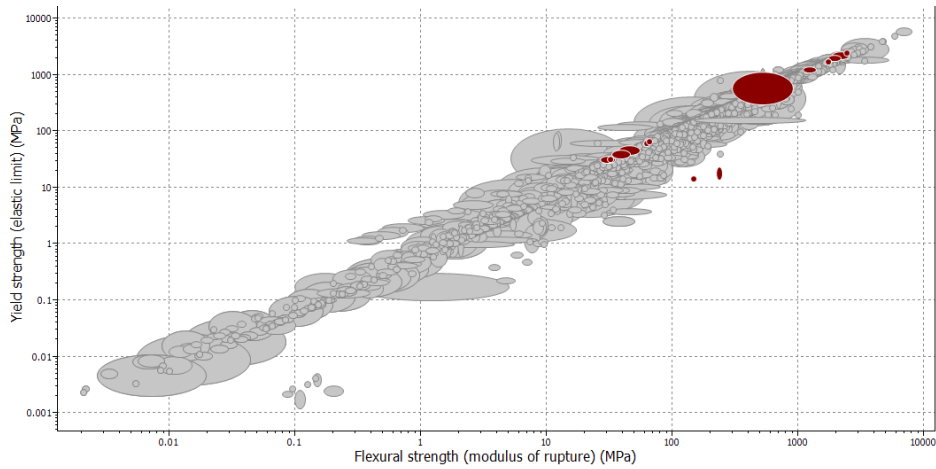


Figura 38. Gráfica selección fibra de carbono 1

Centramos la gráfica en la zona en la que se han obtenido resultados y los analizaremos para llegar a una conclusión.

Queremos que nuestro material compuesto sea una fibra de carbono con un reforzante epoxi, por lo cual elegimos el material que mejor prestaciones nos aporte cumpliendo este último requisito.

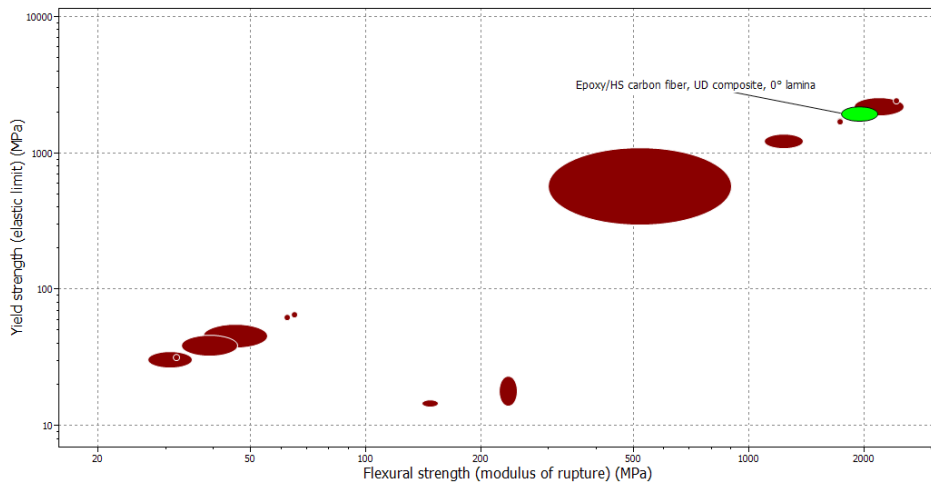


Figura 39. Gráfica selección fibra de carbono 2

La descripción que el programa CES Education 2011 nos da sobre este material es la siguiente:

General properties

Designation

High Strength Carbon Fiber/Epoxy Composite, 0° Unidirectional lamina.

Material was produced from unidirectional tape prepreg, fiber volume fraction nominally 0.55 - 0.65. Autoclave cure at 115-180°C, 6-7 bar.

Density	1.55e3	-	1.58e3	kg/m ³
Price	* 29.4	-	32.3	EUR/kg
Tradenames				
Cycom; Fiberdux; Scotchply				

Composition overview

Composition (summary)

Epoxy + Carbon fiber reinforcement

Base	Polymer			
Polymer class	Thermoset plastic			
Polymer type	EP			
Polymer type full name	Epoxy resin			
% filler (by weight)	65	-	70	%
Filler type	Carbon fiber			

Composition detail

Polymer	30	-	35	%
Carbon (fiber)	65	-	70	%

Mechanical properties

Young's modulus	129	-	154	GPa
Compressive modulus	123	-	131	GPa
Flexural modulus	129	-	156	GPa
Shear modulus	3.74	-	6.3	GPa

Poisson's ratio	0.32	-	0.34	
Shape factor	7			
Yield strength (elastic limit)	1.74e3	-	2.17e3	MPa
Tensile strength	1.74e3	-	2.17e3	MPa
Compressive strength	1.41e3	-	1.69e3	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	1.74e3	-	2.17e3	MPa
Elongation	1.2	-	1.4	% strain
Hardness - Vickers	* 10.8	-	21.5	HV
Hardness - Rockwell M	* 80	-	110	
Hardness - Rockwell R	* 117	-	129	
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 959	-	1.41e3	MPa
Fracture toughness	* 10.8	-	82.6	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 0.0014	-	0.0033	

Impact properties

Impact strength, notched 23 °C	* 2.9	-	93	kJ/m ²
--------------------------------	-------	---	----	-------------------

Thermal properties

Glass temperature	100	-	180	°C
Heat deflection temperature 0.45MPa	* 279	-	337	°C
Heat deflection temperature 1.8MPa	* 250	-	305	°C
Maximum service temperature	* 140	-	220	°C
Minimum service temperature	* -123	-	-73	°C
Thermal conductivity	* 3.9	-	6.6	W/m.°C
Specific heat capacity	* 902	-	1.04e3	J/kg.°C
Thermal expansion coefficient	* -0.44	-	0.16	µstrain/°C

Electrical properties

Electrical resistivity	* 9.71e4	-	2.87e5	µohm.cm
------------------------	----------	---	--------	---------



Optical properties			
Transparency			Opaque
Absorption, permeability			
Water absorption @ 24 hrs	* 0.036	- 0.0525	%
Durability: flammability			
Flammability			Slow-burning
Durability: fluids and sunlight			
Water (fresh)			Excellent
Water (salt)			Excellent
Weak acids			Acceptable
Strong acids			Unacceptable
Weak alkalis			Limited use
Strong alkalis			Excellent
Organic solvents			Limited use
UV radiation (sunlight)			Good
Oxidation at 500C			Unacceptable
Primary material production: energy, CO2 and water			
Embodied energy, primary production	259	- 286	MJ/kg
CO2 footprint, primary production	16.4	- 18.1	kg/kg
Water usage	361	- 1.37e3	l/kg
Material processing: energy			
Autoclave molding energy	* 20.9	- 23	MJ/kg
Compression molding energy	* 3.33	- 3.68	MJ/kg
Filament winding energy	* 2.57	- 2.84	MJ/kg
Pultrusion energy	* 2.95	- 3.26	MJ/kg
Material processing: CO2 footprint			
Autoclave molding CO2	* 1.67	- 1.84	kg/kg
Compression molding CO2	* 0.266	- 0.294	kg/kg
Filament winding CO2	* 0.206	- 0.227	kg/kg
Pultrusion CO2	* 0.236	- 0.261	kg/kg
Material recycling: energy, CO2 and recycle fraction			
Recycle	✗		
Recycle fraction in current supply	0.1		%
Downcycle	✓		
Combust for energy recovery	✓		
Heat of combustion (net)	* 31.3	- 32.9	MJ/kg
Combustion CO2	* 3.17	- 3.33	kg/kg
Landfill	✓		
Biodegrade	✗		
A renewable resource?	✗		

Con todas estas propiedades, a la hora de configurar el material en el apartado de elementos finitos van a existir ciertas propiedades que no se puedan completar. También se van a encontrar problemas a la hora de analizar los resultados que los análisis nos ofrezcan, al no tener la resistencia a tracción de las fibras a 90°. Es por lo tanto que se ha buscado un material con las características principales que el que nos ofrece el programa. Una reforzante de resina epoxy y una fibra de carbono de alta resistencia con un 65-70% de fibra.

Se ha encontrado la siguiente marca comercial Torayca. Uno de sus productos es el T800H, que tiene la composición que el programa CES Education 2011 nos proporciona y a mayores nos aporta la información que no tenemos.

T800H

COMPOSITE PROPERTIES **

Tensile Strength	415 ksi	2,840 MPa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	23.5 Msi	160 GPa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.6 %	1.6 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	230 ksi	1,570 MPa	ASTM D-695
Compressive Modulus	21.5 Msi	145 GPa	ASTM D-695
In-Plane Shear Strength	14 ksi	98 MPa	ASTM D-3518
ILSS	15.5 ksi	11 kgf/mm ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	13.5 ksi	90 MPa	ASTM D-3039

Figura 40. Propiedades técnicas torayca T800H

5- TÉCNICAS DE FABRICACIÓN

El material y sus técnicas de fabricación son los factores que más limitan el diseño de un producto. Sin entrar en el coste de cada una de las operaciones de los procesos de fabricación se puede observar que hay procesos que dan mayor libertad de diseño y otros que limitan mucho el mismo.

No se explica detalladamente cada proceso de fabricación ni cada operación que se haga, dado que eso se queda fuera de mis competencias. Se habla de ello por encima con el fin de justificar los diseños.

Para la realización de este tfg se van a utilizar tres materiales, la fibra de carbono, el aluminio y el acero.

5.1- Fibra de carbono

Es el material que más libertad de diseño ofrece es la fibra de carbono, aunque es la más cara de trabajar.

Para el diseño del cuadro de fibra de carbono se ha pensado en un cuadro monocasco, es decir que como mínimo el grueso del cuadro (tubo inferior y superior, pipa de dirección, tubo de sillín caja de pedalier y principio de ambas vainas) ha de salir de una pieza del molde.

Los principales pasos de la fabricación en fibra de carbono son:

1- Corte de las láminas de fibra de carbono:

Una vez que se tengan las planchas de fibra de carbono, habrá que darle forma a las diferentes partes del cuadro. El corte de las planchas se hará acorde al diseño solicitado y mediante un software especializado en la optimización del material. Junto con la decisión de un técnico especializado en ese sector se procederá a cortar la plancha en diferentes tamaños y formas.



Figura 41: Máquina de corte automatizada

2- Colocación de las laminas

Esta es una de las partes más importantes del proceso. Todas las partes cortadas antes por la máquina de corte, han de ser colocadas manualmente por un operario en la dirección especificada. Las características finales del cuadro dependerán de la buena o mala colocación que se le hayan dado en esta fase.

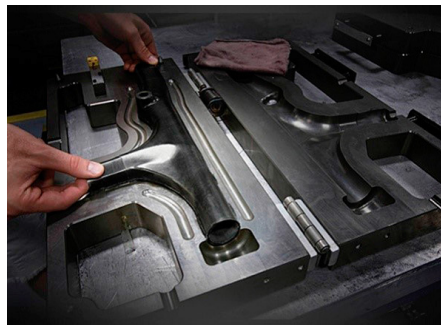
Se colocan alrededor de una vejiga, que es un modelo de la bicicleta y que posteriormente se hinchará. El material de las vejigas suele ser de latex. Se colocan las láminas unas encima de otra según las especificaciones de manera que queden unidas.

3-Introducir en el molde

Con el paso anterior terminado, falta conseguir que las láminas queden bien unidas y aporten todas sus características, y por supuesto conseguir el diseño final.

Se aplica un agente desmoldeante para que una vez cuando se realicen las operaciones no existan problemas de retirada del molde.

Se introduce la vejiga con todas las láminas colocadas a su alrededor de la manera correcta en el molde. Se somete entonces a la vejiga a un hinchado y al molde a unas condiciones de calor y temperatura específicas. La vejiga inflada obliga a la fibra de carbono a adoptar la forma de la cavidad del molde y las condiciones de presión y temperatura a que adquiera las propiedades técnicas finales.



*Figura 42. Molde para cuadro de
fibra de carbono*



4- Acabados finales

Al sacar cuadro de la bicicleta del molde se procederá a acabados finales como pueden ser un lijado superficial para obtener el acabado deseado, comprobar que todas las medidas son correctas mediante maquinaria de medición específica.

A la hora de fabricar en fibra de carbono hay que tener muy en cuenta los contactos entre piezas una vez se monten el resto de elementos al cuadro. La fibra de carbono es muy resistente a los esfuerzos, pero a la hora de golpes y contactos con otros materiales es donde pierde. Se habrán de colocar casquillos en todas las zonas donde existan posteriormente contactos directos con otros materiales. Estas partes son la caja del pedalier, la pipa de la dirección y las patillas traseras. En todas ellas se colocaran casquillos de aluminio para que sean estos quienes sufran el desgaste. Para colocar estos casquillos se pueden recurrir a dos técnicas, la del pegado adhesivos epoxis o mediante insertos, que principalmente consiste en hacer que la fibra se adhiera en el paso tres a los casquillos colocados de manera oportuna en el paso dos.

5.2- Aluminio/Acero

La fabricación del cuadro en aluminio es muy diferente a la fabricación en fibra de carbono y muy parecida a la de acero, por ello se compran describen las dos a continuación.

La facilidad de extrusión que presenta el aluminio nos lleva a poder obtener cualquier tipo de sección y aunque en acero sea más difícil, existen empresas que consiguen distribuir los tubos con las secciones solicitadas.

El material inicial para realizar perfiles de aluminio es un tocho de aluminio, elaborado de aluminio primario o bien de aluminio reciclado o secundario.

La extrusión del aluminio consiste en hacer pasar un tocho de aluminio precalentado (450-550°C) a alta presión (1600-6500) toneladas, dependiendo del tamaño de la prensa) a través de una matriz cuya abertura corresponde al perfil transversal de la extrusión. La velocidad de extrusión depende de la aleación y complejidad del perfil.

La extrusión del acero es más costosa dado que su temperatura de fusión esta en torno a los 1300-1500°C.

Trabajar con aluminio nos aporta ciertas ventajas de diseño respecto al acero. El aluminio tiene un módulo elástico bastante inferior al del acero, por lo cual realizar cambios de sección en él es mucho más fácil y más rápido de conseguir. Aportando valores numéricos, el aluminio tiene un módulo elástico de 70GPa mientras el acero tiene un límite elástico de 210GPa.



A la hora de obtener los cambios de sección se pueden recurrir a diferentes maneras:

1- Tratamiento posterior en frío

Una vez que el tubo ha salido de extrusión se ha enfriado y se ha tratado, se puede proceder a darle el cambio de sección mediante paso por diferentes rodillos y utilizando diferentes presiones.

2- Hidroconformado

Si los cambios de secciones son muy grandes y extraños se puede recurrir al hidroconformado. Consiste en el conformado de un material mediante la acción de un líquido sometido a presión (agua o emulsiones de agua y aceite).

Con esto se consigue dotar a la pieza de unas secciones más atractivas y optimizar su espesor. Para esto es necesario utilizar una matriz que sirve como negativo de la forma final. Son muy utilizadas en acero y en aluminio, pero en aluminio hay que tener en cuenta las temperaturas con las que se introduce el líquido que va a ejercer presión.

Una vez comentado como se pueden obtener las secciones variables en los tubos de aluminio y de acero hay que hablar de cómo curvar los tubos.

Para mantener las formas del cuadro fabricado en fibra de carbono, hay que aportar ciertas curvas. La más representativa es la del tubo inferior, aunque también se observa que las vainas superiores y el tubo superior describen curvas.

Esta técnica no tiene ninguna complejidad y es muy utilizada en la industria del acero y del aluminio. Es sencilla pero precisa de grandes máquinas que puedan aportar la fuerza correcta y necesaria.

El único tubo que puede aportar problemas a la hora de realizar un curvado es el tubo inferior. El tubo inferior tiene dos curvados. Esto ha de realizarse con cuidado incluso llegando a introducir un macho que evite que el tubo pierda su sección. El resto de tubos no aporta ningún problema al ser curvaturas con un radio muy grande.

A la hora de unir todos los tubos se utiliza el método de unión de la soldadura. Para ambos materiales será el mismo tipo de soldadura y se utilizará soldadura TIG.

La soldadura TIG (Tungsten Inert Gas) es un procedimiento que emplea un electrodo no consumible de wolframio o tungsteno con aleación de torio. El arco eléctrico se establece entre el electrodo y la pieza a soldar, estando todo ello protegido por un gas inerte, que evita el contacto con el aire atmosférico. El material de aportación se suministrara de forma adicional mediante una varilla metálica.

Su campo de aplicación, en cuanto a espesores se refiere, está comprendido entre 0.5 y 5 mm. Y se utiliza sobre todo para soldar metales ligeros y de alta aleación.

El equipo está compuesto por:

- Electrodo no consumible.
- Porta electrodo
- Gas de protección

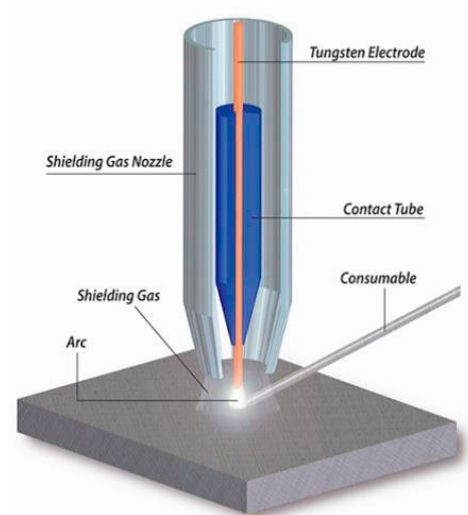


Figura 43. Componentes principales de la soldadura TIG

6- HIPÓTESIS DE CARGA

Con todo lo relativo al diseño del cuadro, es el momento de explicar la hipótesis de carga con la cual se van a realizar los análisis de elementos finitos. Se consideran tres hipótesis de carga.

- 1- Sentado sobre el sillín
- 2- Sentado sobre el sillín y pedaleando
- 3- De pie, apoyado en el manillar y pedaleando

De todas estas se considera más crítica a la tercera, por lo cual se plantea directamente esta.

El modelo completo del cuadro de la bicicleta está compuesto por distintas piezas que en este proyecto conforman un único elemento que se omite su creación geométrica y se crean relaciones con la geometría existente.

En una bicicleta los puntos de apoyo sobre el suelo son los neumáticos en el eje vertical con el buje. A través de los radios, las cargas se transmiten a los bujes y de los bujes a las patillas y por consiguiente al cuadro.

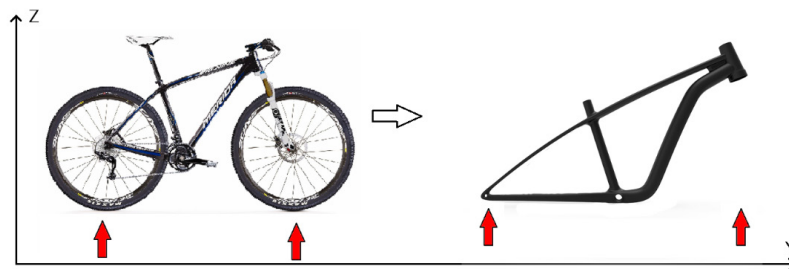


Figura 44. Disposición de los puntos de apoyo

Para los análisis se supone que los neumáticos y los radios son indeformables y que la bicicleta nunca se separara del suelo, estando por lo tanto los desplazamientos en el eje Z restringidos.

El buje que sustenta las ruedas y que va apoyado sobre las patillas se encargará de que el desplazamiento en X también sea nulo. Si suponemos el buje indeformable y siempre en contacto con las patillas de un mismo eje, los giros en Z y en Y están impedidos.

En esta hipótesis de carga, además, tenemos una transmisión de esfuerzos entre la caja del pedalier y las patillas traseras producida por el conjunto biela-plato-cadena-piñón, por lo cual hay que dejar libre los desplazamientos en el eje Y.

Como resumen de lo comentado, las condiciones quedaran de la siguiente manera:

- Eje delantero: Desplazamientos X, Y, Z impedidos
- Eje trasero: Desplazamientos X, Z impedidos y Giros Y, Z impedidos.

Cargas

Para averiguar las cargas que debemos aplicar al cuadro necesitamos ciertos valores como el peso, cadencia de pedaleo, potencia de pedaleo...

Peso:

El peso con el cual se van a realizar los análisis es un peso de 84 kg. Se va a utilizar un coeficiente de seguridad de 2, de manera que el peso sobre el cual se van a realizar los análisis es de 168Kg.

$$P = m \cdot g$$

$$P = 168 \cdot 9.81 = 1648,08 \text{ N}$$

La distribución del peso no es uniforme, dado que el ciclista está de pie, pedaleando y apoyándose en el manillar, siguiendo la siguiente disposición:



Figura 45. Disposición de las cargas producidas por el ciclista

Por lo tanto hemos de asumir ciertas divisiones en cuando a la distribución de las fuerzas se refiere.

Admitimos que una persona del peso anteriormente comentado es capaz de ejercer una fuerza con cada uno de los brazos de 20kg. Aplicando el coeficiente de seguridad, serian 40kg. Pasando esto a newtons, obtenemos que el ciclista con cada brazo ejerce una fuerza de 392,4 N. En este apartado tomaremos la fuerza en la dirección del eje Z, aunque en los análisis de elementos finitos, esta fuerza se descompondrá en los ejes (Y, Z). Los motivos serán descritos en ese apartado.

La suma de la fuerza ejercida por cada brazo será de 784.8 N, que sería el valor de la reacción en el manillar. Con esta y el peso realizamos el equilibrio de fuerzas y obtenemos:

- 1- *Peso del individuo* (P_{ind}): 1648,08 N
- 2- *Reacción del manillar: Fuerza sobre el manillar* ($F_{manillar}$)= 784,8N
- 3- *Reacción del pedal= Fuerza sobre el pedal* (F_{pedal})= $P_{ind} + F_{manillar} = 2432,88$ N

Cadencia y potencia:

También debemos saber que la fuerza que el ciclista realiza con el pie sobre el pedal durante una vuelta completa del mismo, varía en modulo y dirección, tal y como se aprecia en la figura “diagrama típico de fuerzas durante una revolución del pedal”. La fuerza tiene una pequeña componente en el eje Y que aquí despreciaremos. Como se ve en el diagrama “fuerza efectiva sobre el pedal” la fuerza máxima se desarrolla prácticamente cuando el pedal forma 90° con la vertical.

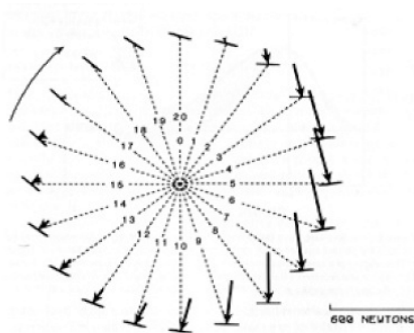


Figura 46. Diagrama de fuerza durante una revolución del pedal

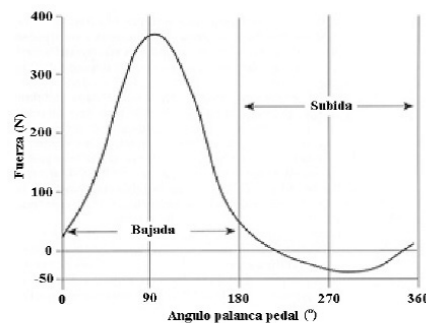


Figura 47. Gráfica de la fuerza ejercida sobre el pedal

La cadencia depende del ciclista, del terreno y de la dificultad de este, por no olvidarnos de la relación plato-piñón y el correcto mantenimiento de los componentes de la bicicleta. Por lo tanto y observando lo variable que puede ser este parámetro se buscan fuentes que aporten algo de información sobre esto. Hay quien asegura que 80 rpm por minuto es la mejor cadencia pero hay quien afirma que 120rpm es la mejor. Por lo tanto, utilizaremos una cadencia de 100rpm y asumiremos que esta podrá conseguirse con cualquier relación plato-piñón.

Por otra parte debemos menciona que la potencia media que genera una persona al pedalear es de 200 Watt, pero que los picos cuando esta se realiza al máximo esfuerzo pueden alcanzar el caballo de potencia (736Watt).

Para estos cálculos entra en juego la longitud de la biela, el diámetro del plato y del piñón. Todos estos datos han sido obtenidos de manera personal sobre mi bicicleta y sobre la configuración plato-piñón que normalmente utilizo para rodar.

Resumen de valores obtenidos:

- Potencia (P) = 736 W
- Peso (reacción sobre el pedal) = 2432,88 N
- Cadencia (w) = 100 rpm = 10,472 rad/s
- Longitud de la biela (L) = 172,5 mm
- Diámetro del plato = 120mm
- Diámetro del piñón = 30mm

Se muestra un esquema de las fuerzas tensiones y momentos que se generan en el sistema plato-piñón-cadena-biela



Figura 48. Fuerzas generadas por el sistema plato-piñón-cadena-biela

El conjunto plato-cadena-piñones generara un par de torsión M (producido por la fuerza sobre el pedal, y transmitido al plato a través de la biela) en el plato, este provocará una tensión en la cadena.

Con la fuerza sobre el pedal calculamos el par torsor aplicado en el plato.

$$\begin{aligned} \text{Par torsor } (M_{\text{torsor}}) &= F_{\text{pedal}} \cdot L \\ 2432,88 \cdot 0,1725 &= 419,6718 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Pasamos a calcular la tensión de la cadena (par torsor partido por el radio del plato)

Recordamos que el radio del plato es de 120mm, luego el radio es 60mm, en unidades internacionales, 0,06m

$$\text{Tensión } (T) = 419,6718/0,06 = 6994,23 \text{ N}$$

Una vez tenemos la tensión de la cadena, debemos saber que ángulo tiene esta respecto del eje horizontal.

Es ahora cuando entra en juego el tamaño del piñón, que recordamos es de 30mm. Las medidas han sido obtenidas del cuadro de fibra de carbono.

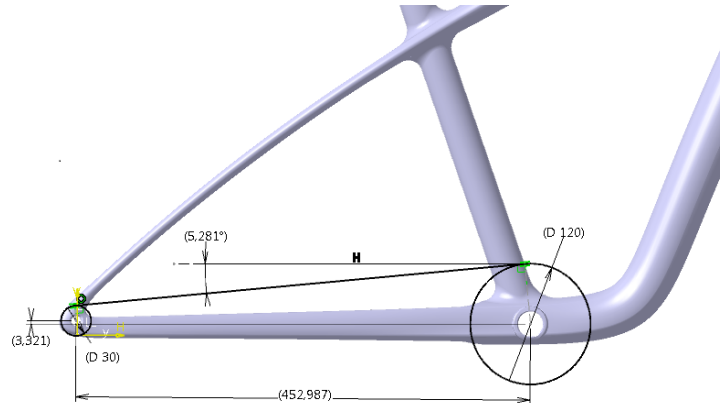


Figura 49. Disposición y medidas del conjunto
plato-cadena-piñón

Una vez tenemos el ángulo que forma la cadena con respecto al horizontal (5.281°) y la tensión de la cadena, descomponemos esta en los ejes Z e Y.

$$T_y = T \cdot \cos(5,281^\circ) =$$
$$6994,23 \cdot \cos(5,281) = 6964,5414 \text{ N}$$
$$T_z = T \cdot \sen(5,281^\circ) =$$
$$6994,23 \cdot \sen(5,281^\circ) = 543,7516 \text{ N}$$

Como se puede observar la tensión en el eje Z es muy inferior a la que encontramos en el eje Y, por lo tanto y debido a que en condiciones de carga es más desfavorable no contar con ella, ya que su sentido al transmitirse a la caja del pedalier es en Z positivo, restándose la fuerza que se ejerce sobre el pedal (sentido Z negativo). Lo que se hace es trabajar con toda la tensión en el eje Y, como si el ángulo con respecto a la horizontal fuese de 0°. Por lo tanto la tensión de la cadena con la cual trabajaremos será de **T= 6994,23 N**

A continuación se muestra la como se transmiten las cargas al cuadro.

La carga vertical sobre el pedal se transmitirá directamente al eje de la caja del pedalier, ya que suponemos que la biela es totalmente rígida e indeformable.

La tensión de la cadena provocara una fuerza en el sentido del eje Y negativo en la caja del pedalier y una fuerza en sentido del eje Y positivo en las patillas.

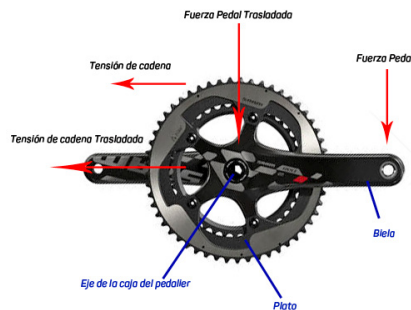


Figura 50. Disposición de las fuerzas producidas en el plato-biela

Hemos calculado la fuerza del pedal y la tensión, pero no sabemos exactamente como se distribuyen en el cuadro. Hemos de hacer pues una división de las mismas por su zona de actuación:

1- Eje del pedalier

En esta zona habrá que analizarla de dos maneras, dado que el plano de actuación de la tensión (XY) no es el mismo que el de la fuerza del pedal (ZX).

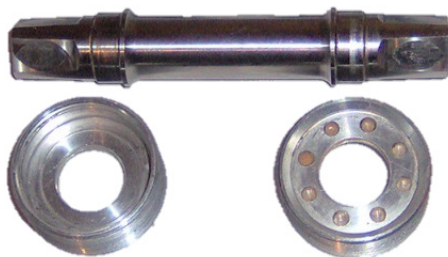


Figura 51. Eje de pedalier



Figura 52. Conjunto plato, eje pedalier, cazoleta, biela.

El eje del pedalier consta de dos rodamientos colocados en los extremos de la ubicación destinada al mismo.

En la actualidad, el eje y los rodamientos van por partes separadas con el fin de ahorrar pesos, de manera que el eje forma parte de las bielas y los rodamientos de lo denominado como cazoletas.

Por lo tanto y para posteriores cálculos, las distancias de separación entre rodamientos y la distancia del eje serán las siguientes:

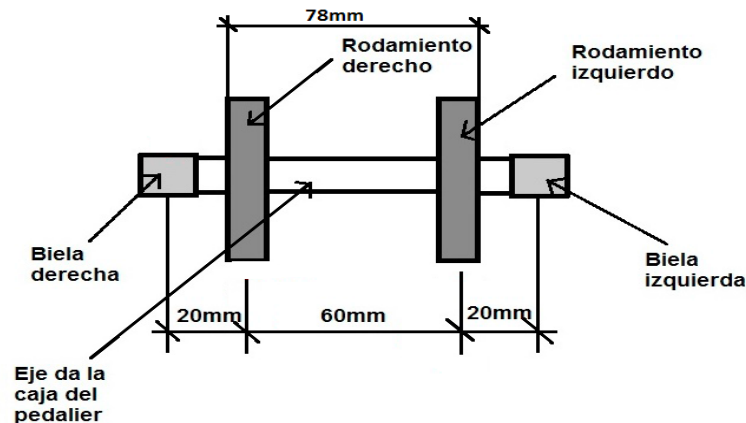


Figura 52.1. Disposición general del conjunto biela-cazoleta

1.1. Fuerzas producidas por la fuerza del pedal. Plano ZX

La fuerza del pedal (F_{pedal}) antes calculada tiene un valor de 2432,88 N.

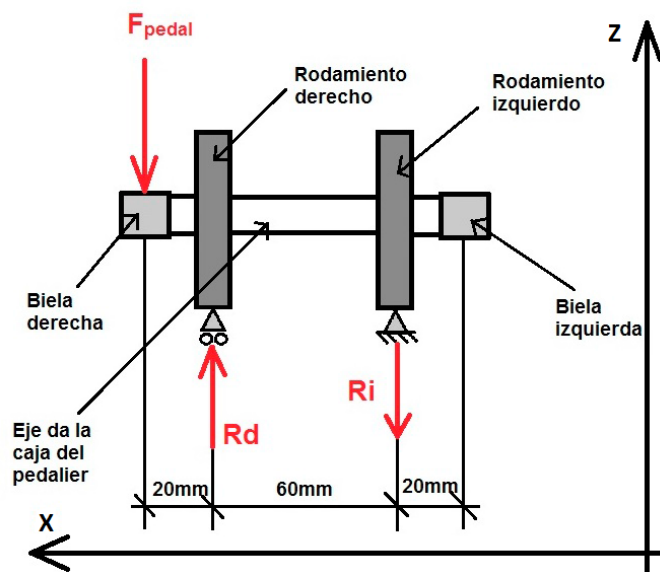


Figura 52.2. Esquema estructura 1

La imagen muestra el planteamiento principal de la estructura y la dirección final de las reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_z = 0;$$

$$R_d + R_i - F_{pedal} = 0$$

$$\sum M_x = 0$$

$$-60 R_d + 80 F_{pedal} = 0; R_d = ; R_d = 3243,84 \text{ N}$$

$$3243,84 + R_i - 2432,88 = 0; R_i = - 810,96 \text{ N}$$

El signo negativo de la reacción del rodamiento izquierdo nos recuerda que tiene diferente sentido, luego la dirección de las reacciones queda como en la figura superior.

Las fuerza transmitidas por los rodamientos a la caja del pedalier del cuadro en las zonas donde apoyan estos, serán las reacciones resueltas pero con sentido contrario.

- $F_d = -3243,84 \text{ N}$ (Sentido negativo del eje Z)
- $F_i = 810,96 \text{ N}$ (Sentido positivo del eje Z)

1.2. Fuerzas producidas por la tensión. Plano (ZY)

El valor de la tensión antes calculado toma un valor de 6994,23 N

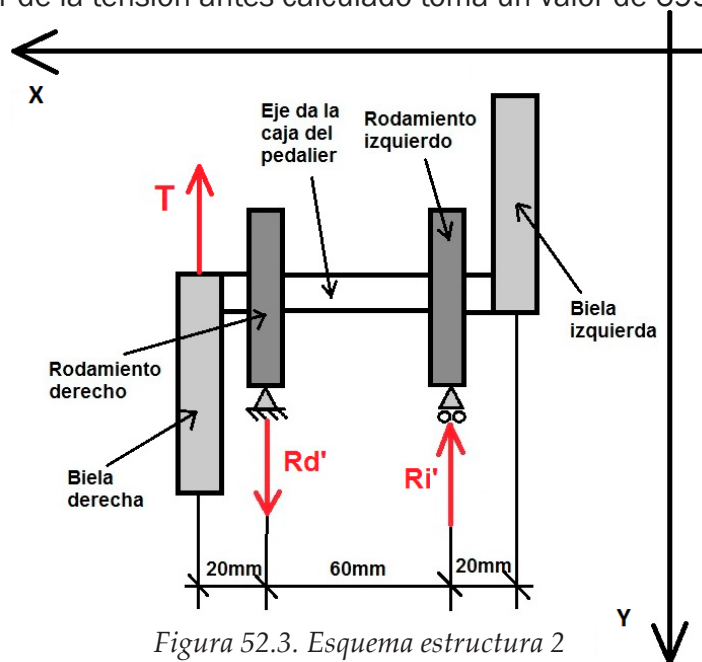


Figura 52.3. Esquema estructura 2

Al igual que en el caso anterior se muestra la disposición general de la estructura y la dirección final de las reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0;$$

$$R_d' + R_i' + T = 0$$

$$\sum M_x = 0$$

$$60 R_d' + 80 \cdot T = 0; R_d' = ; R_d' = -9256,30 \text{ N}$$

$$-9256,30 + 6994,23 + R_i' = 0; R_i' = 2314,07$$

El signo negativo de la reacción del rodamiento izquierdo nos recuerda que tiene diferente sentido, luego la dirección de las reacciones queda como en la figura superior.

Las fuerza transmitidas por los rodamientos a la caja del pedalier del cuadro en las zonas donde apoyan estos, serán las reacciones resueltas pero con sentido contrario.

- $F_{d'} = -9256,30$ (Sentido negativo del eje Y)
- $F_{i'} = 2314,07$ (Sentido positivo del eje Y)

2- Eje trasero

En este eje está ubicado el cassette, que es donde se colocan los diferentes piñones. En este eje solo tiene lugar un tipo de fuerza, la producida por la tensión de la cadena. Las dos patillas son las encargadas de mantener el eje en su posición.

La distancia entre patillas esta estandarizada y es de 135mm.

El valor de la tensión antes calculado toma un valor de 6994.23 N

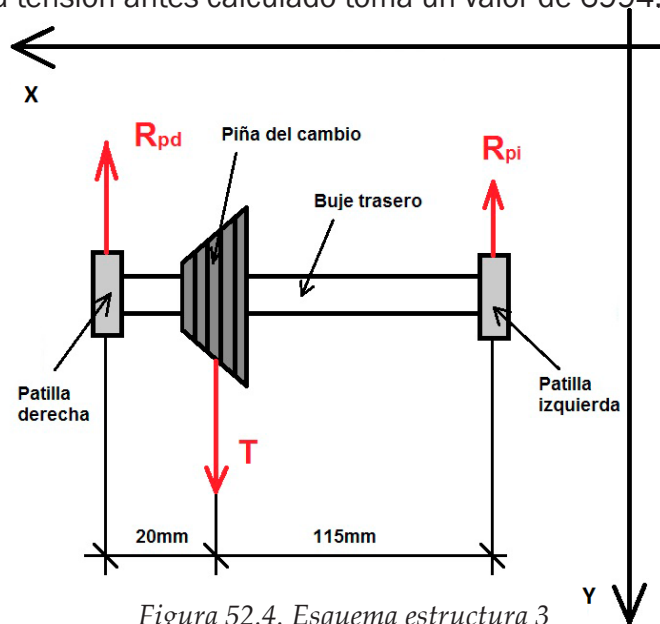


Figura 52.4. Esquema estructura 3

Al igual que en el caso anterior se muestra la disposición general de la estructura y la dirección final de las reacciones.

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = 0;$$

$$R_{pd} - T + R_{pi} = 0$$

$$\sum M_x = 0$$

$$115 \cdot T - 135 R_{pd} = 0; R_{pd} = ; R_{pd} = 5913,75N$$

$$5913,75 - 6994,23 + R_{pi} = 0$$

$$R_{pi} = 1028,48 N$$

Las fuerzas que se transmitirán a la patilla derecha e izquierda serán del mismo valor que las reacciones pero de sentido contrario:

- $F_{pd} = 5913,75 \text{ N}$ (sentido positivo del eje Y)
- $F_{pi} = 1028,48 \text{ N}$ (sentido positivo del eje Y)

3- Fuerzas en el manillar

Las fuerzas del manillar tienen carácter directo, por lo tanto se aplicaran los 392,4 N en los dos puntos del manillar.

Disposición general de las aplicaciones de la fuerza:

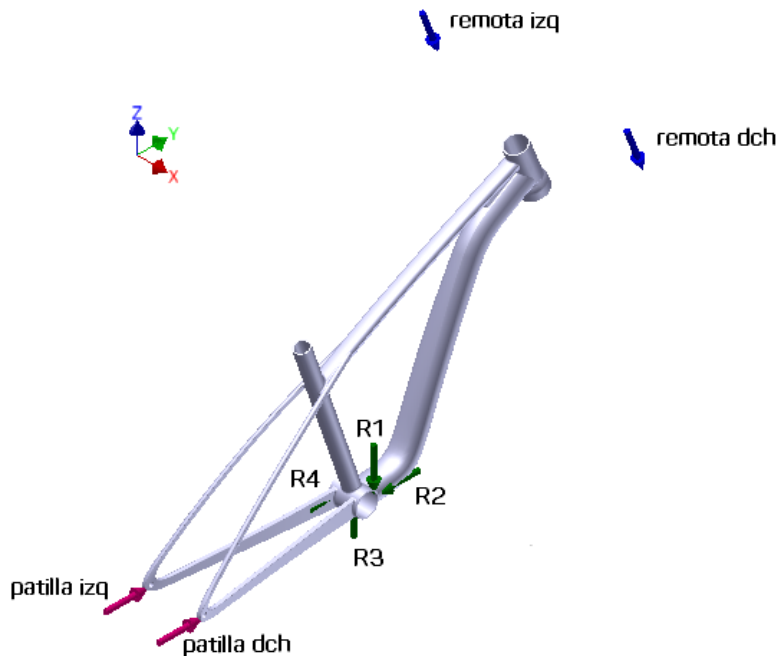


Figura 53. Disposición general de las fuerzas

7- ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

Una vez que se ha aclarado la hipótesis de carga y se han obtenido las fuerzas que han de soportar los cuadros se procede a explicar los elementos finitos con los cuales se pretende optimizar el espesor del cuadro para cada diferente material.

El programa que se ha utilizado para realizar los FEM es el Inventor Profesional 2015. En todos los casos se ha creado o modificado un material para adaptarlo a nuestras condiciones.

Considero pertinente comentar aquí también que la zona de las patillas, que como se verá a continuación es casi siempre la zona más crítica, no es de extrema relevancia, dado que para el desarrollo del modelo se ha realizado y planteado como hueco, con los diferentes espesores que se han aplicado, pero en realidad y a la hora de la fabricación es macizo. No obstante estas puntualizaciones se volverán a explicar en cada caso.

7.1- Preparacion de los modelos

La hipótesis de carga con la que vamos a estudiar el espesor de los cuadros tiene como zona principal de concentración de cargas el pedalier. Las reacciones antes calculadas se traducen en unas fuerzas que se aplican en una sección determinada, no en todo el pedalier. Por lo tanto tenemos que preparar el modelo para posibilitar la aplicación de las cargas en las zonas que se requieren.

Se divide la cara interna del tubo del pedalier con planos a 20mm (ubicación de los rodamientos que se han planteado en los cálculos).

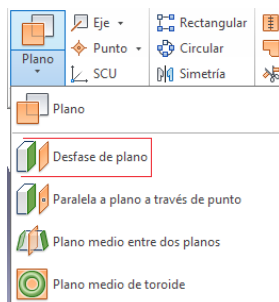


Figura 53. Herramienta división de plano

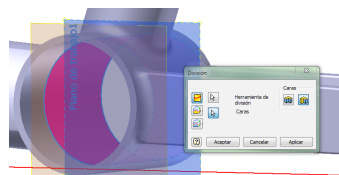


Figura 54. Cuadro de dialogo división de planos

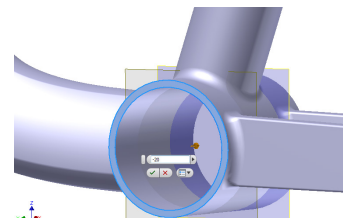


Figura 55. Disposición de los planos de división

7.2- Condiciones de contorno

Las condiciones de contorno serán las mismas para los tres modelos.

7.2.1- Restricciones

- 1- En las patillas traseras se impide el movimiento en los ejes Z y X, permitiendo desplazamientos en el eje Y.

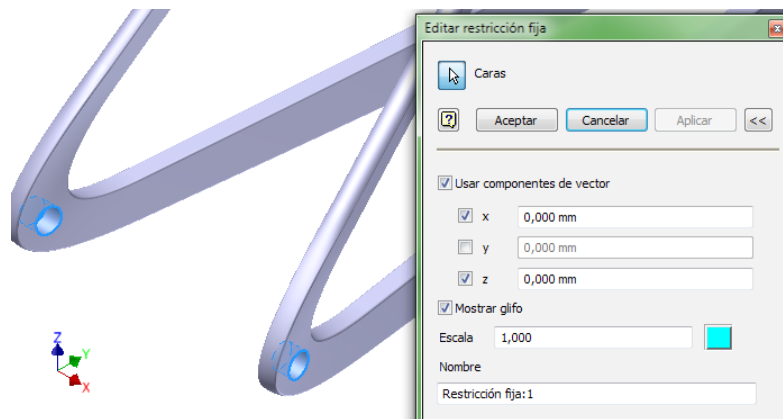


Figura 56. Restricción de desplazamientos en patillas traseras

- 2- En la pipa de la dirección se impiden los movimientos en todas las direcciones.

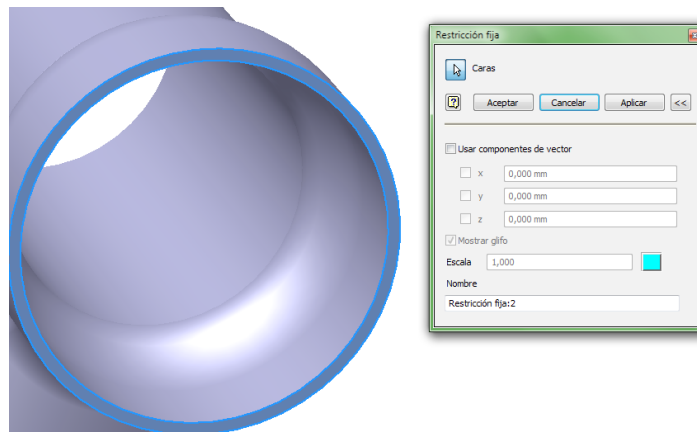


Figura 57. Restricción de desplazamientos en pipa de dirección

3- En las patillas traseras se aplica una restricción de giro aportando la posibilidad de que el conjunto gire en dirección axial

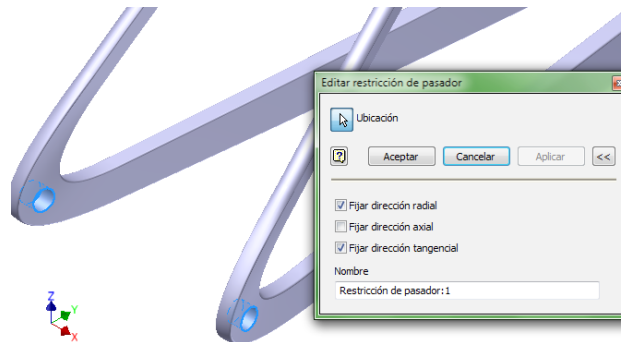


Figura 58. Restricción de giros

7.2.2- Fuerzas

A la hora de aplicar las fuerzas inventor nos aporta varias posibilidades. De entre todas las opciones que tiene, elegimos las siguientes aplicaciones de carga:

- 1- Cargas de rodamiento
 - a. Cargas en el pedalier

En el apartado de preparación de los modelos hemos dividido la cara interna del tubo del pedalier para ahora poder aplicar las cargas de rodamiento en la zona que han sido plateadas en la hipótesis. Se utiliza la opción de usar componentes de vector para aplicar las fuerzas en el sentido correcto.

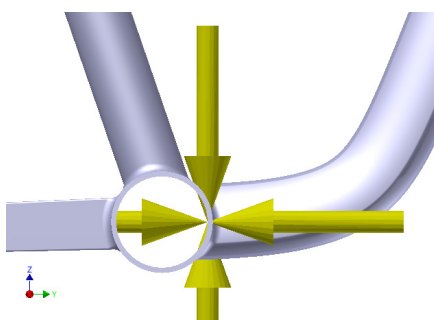


Figura 59. Disposición de cargas en el pedalier

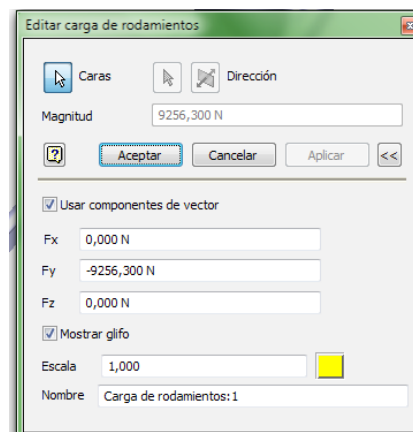


Figura 60. Cuadro de texto para la colocación de fuerzas.

b. Cargas en las patillas traseras

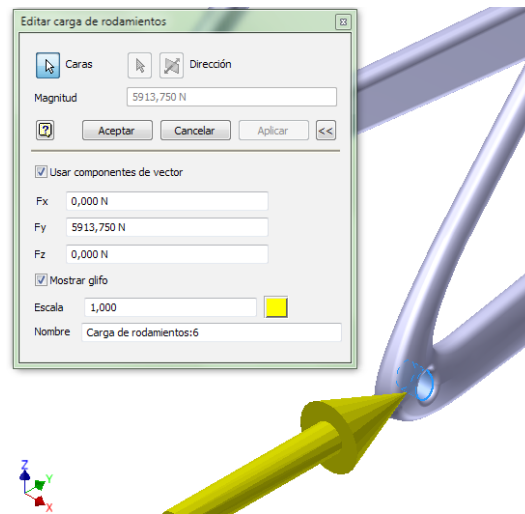


Figura 61. Colocación de carga en patilla trasera

2- Cargas remotas:

Para simplificar el modelo en cuanto a geometrías creadas, se aplica este tipo de cargas que permite aplicar una fuerza de la magnitud deseada en la cara seleccionada sin necesidad de tener geometrías a mayores, evitando así su mallado y la generación de contactos. Por defecto la fuerza se aplica normal a la cara seleccionada. Hay introducir las coordenadas de la ubicación de la fuerza.

a. Obtención de las coordenadas de aplicación de las fuerzas

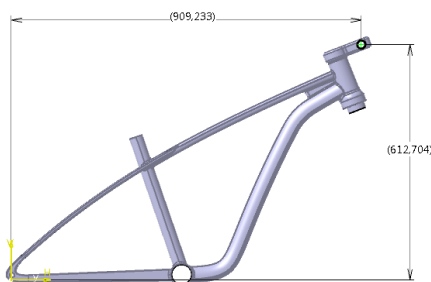


Figura 62: coordenadas Y,Z

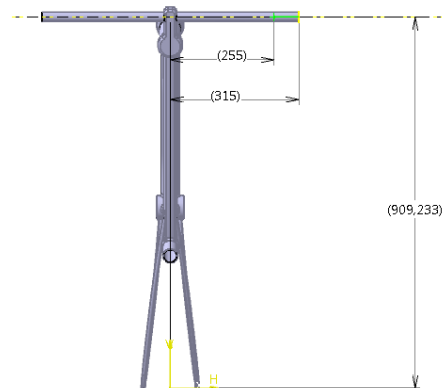


Figura 63: Coordenadas X,Z

Las coordenadas de la aplicación de la fuerza en cada cuadro aparecen reflejadas en la siguiente tabla.

	ACERO	ALUMINIO	FIBRA
X	255/-255	255/-255	255/-255
Y	909,323	909,606	912,949
Z	612,704	612,85	625,94

Tabla 2. Coordinadas aplicación fuerzas remotas en los diferentes cuadros

b. Aplicación de la fuerza remota

En cada cuadro se aplicaran las coordenadas correspondientes. En este caso no se utiliza la opción usar componentes de vector.

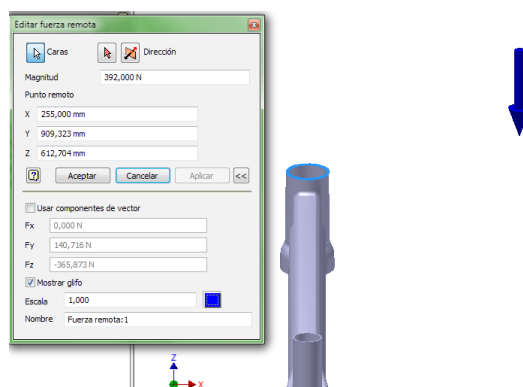


Figura 64. Colocación fuerza remota

A continuación se puede ver la disposición general de todas las cargas y sus valores respecto de los ejes.

	X	Y	Z
Remota dch.	0 N	127,812 N	-370,578 N
Remota izq.	0 N	127,812 N	-370,578 N
Patilla dch.	0 N	5913,75 N	0
Patilla izq.	0 N	1028,28 N	0
R1	0 N	0 N	-3242.77 N
R2	0 N	-9256,30 N	0 N
R3	0 N	0 N	2314.07 N
R4	0 N	810.69 N	0 N

Tabla 3. Valor y dirección de las fuerzas

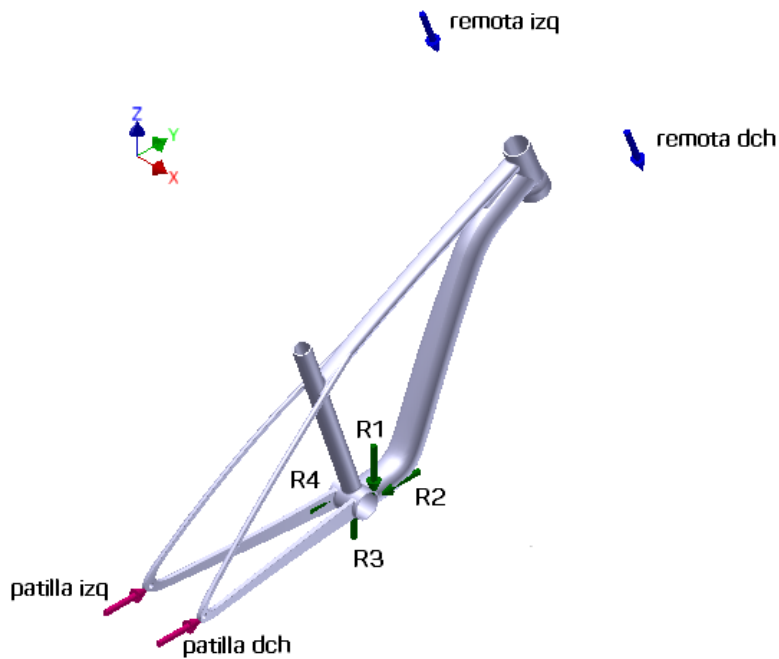


Figura 65. Disposición general de las fuerzas

7.2.3- Condiciones de mado

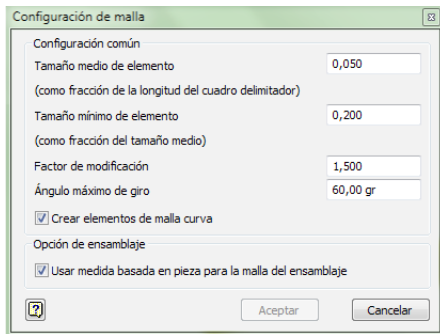


Figura 66. Condiciones generales de mado.

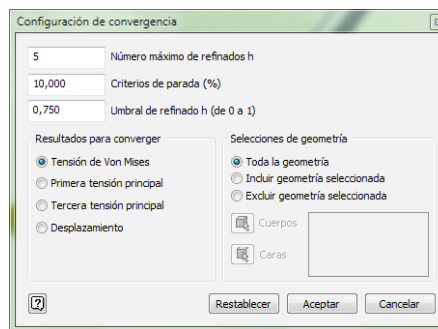


Figura 67. Configuración gráfica de convergencia

Se activa la opción de crear elementos de malla curva para facilitar la adaptación de la malla a las diferentes curvaturas que presentan los cuadros. Figura 66.

El cuadro de texto de la figura 67 es para crear una gráfica de convergencia. Se indica que repita los cálculos refinando cada vez más la malla un total de 5 veces y que pare si la convergencia supera el 10% en cualquier momento de la simulación.

Se quiere obtener la convergencia de la tensión de Von Mises.

7.3- Resultados

Con las condiciones de contorno y de mallado descritas, se procede a explicar el proceso de optimización de espesores.

Se ha realizado un análisis principal para todos los cuadros con un espesor constante de 2mm. Posteriormente analizando los resultados se ha procedido a la modificación de los espesores.

7.3.1- Acero

7.3.1.1- Creación del material

El material elegido (en el punto de elección y descripción de materiales) no figura en la base de datos del programa, por lo cual procedemos a crearlo. Se trata de un material isótropo lineal. Todos los valores introducidos están reflejados en el punto de elección y descripción de materiales.

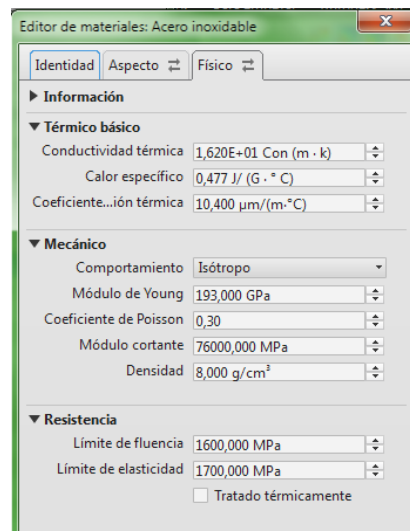


Figura 68. Generación de Aermet 100

Con el material creado y aplicado, las restricciones y las cargas aplicadas y el mallado configurado, podemos iniciar la simulación.

7.3.1.2- Modelo 1.

El primer modelo consta de 2mm de espesor en todos los tubos del cuadro. Es por lo tanto un espesor constante de 2mm.

7.3.1.2.1- Ubicación y valor de la tensión de Von Mises máxima

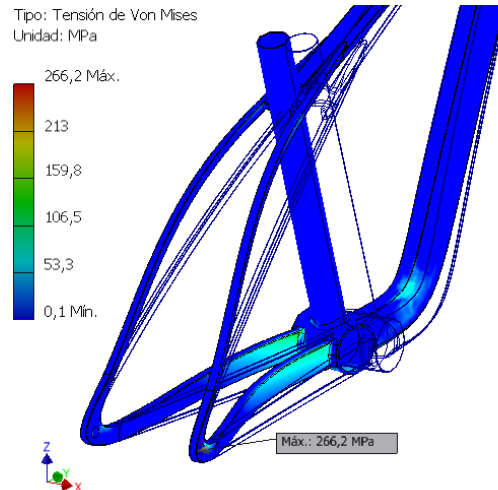


Figura 69. Tensión máxima de Von Mises.
Modelo 1. Acero

7.3.1.2.2- Tensión de Von Mises en zonas comprometidas

Se reduce el máximo de la escala de colores con el fin de ver mejor la concentración de tensiones en diferentes puntos del cuadro.

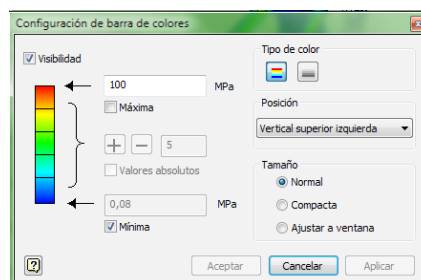


Figura 70. Escala de color de la tensión de Von Mises. Modelo 1. Acero

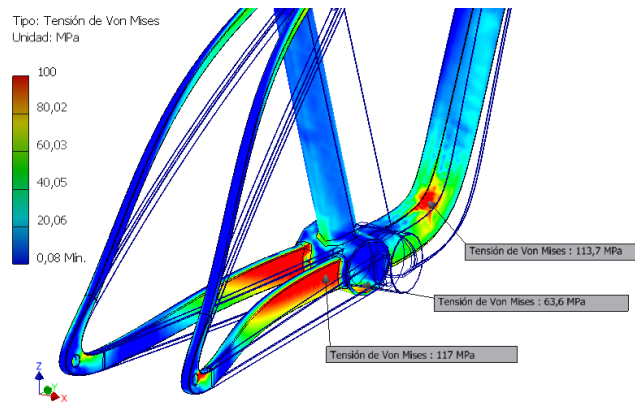


Figura 71. Zonas comprometidas según tensión de Von Mises. Modelo 1. Acero

7.3.1.2.3- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

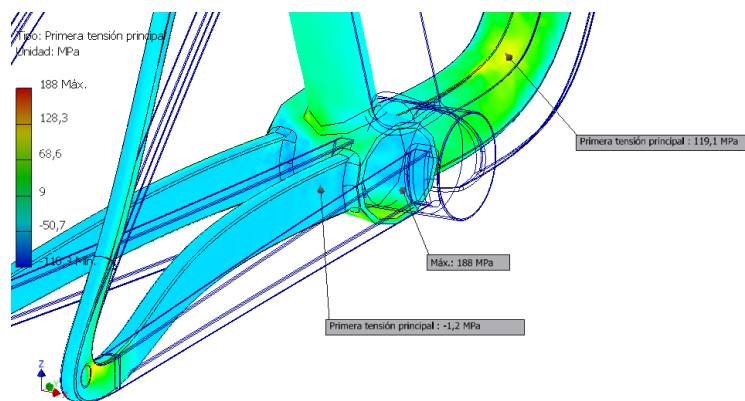


Figura 72. Tensión principal máxima. Modelo 1. Acero

7.3.1.2. 4- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

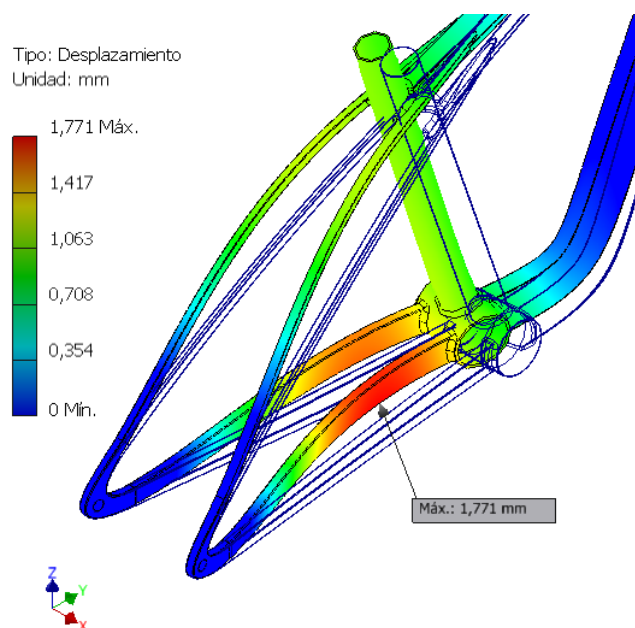


Figura 73. Desplazamiento máximo. Modelo 1. Acero

7.3.1.2..5- Valor y ubicación de desplazamiento máximo en Y

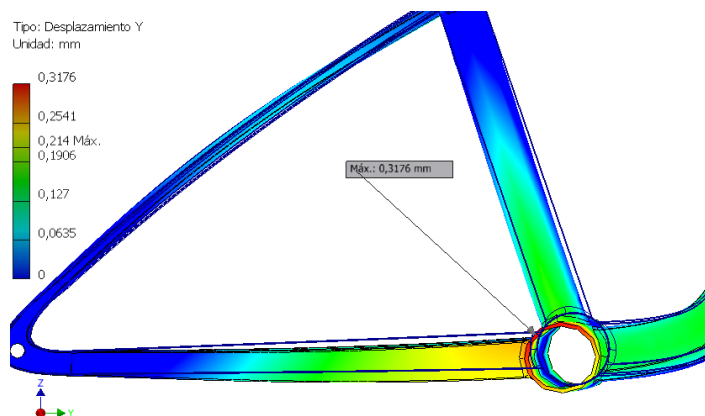


Figura 74. Desplazamiento máximo en eje y. Modelo 1.
Acero

7.3.1.2. 6- Tabla de convergencia.

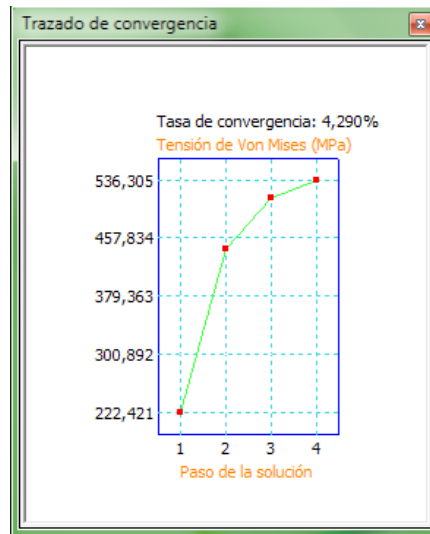


Figura 75. Gráfica de convergencia. Modelo 1. ACero

7.3.1.2.7- Conclusiones

	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/Elementos
Modelo 1	266,2	188	177,1	63892/31830

Tabla 4. Resumen de valores obtenidos en el modelo 1. Acero

La tasa de convergencia de la tensión de Von Mises está en un 4%, que puede considerarse como aceptable. Esto quiere decir que como mucho los valores de esta tensión variarían un 4% en siguientes repeticiones.

Teniendo en cuenta que el límite elástico del material elegido es de 1700 MPa y que la tensión máxima de Von Mises es de 266,2 MPa se procede a reducir el espesor de todos los tubos del cuadro con el fin de optimizar el peso.

7.3.1.2- Modelo 2

En este modelo se reduce el espesor a un 1mm en todos los tubos.

7.3.1.3.1- Ubicación y valor de la tensión de Von Mises máxima

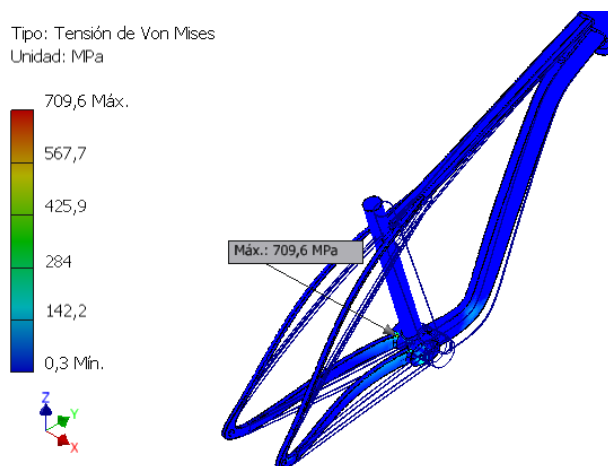


Figura 76. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 2. Acero

7.3.1.3.1.2- Tensión de Von Mises en zonas comprometidas

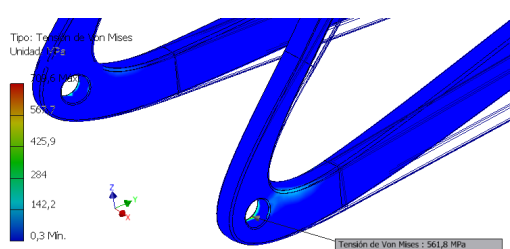


Figura 77. Zona comprometida según tensión de Von Mises 1. Modelo 2. Acero

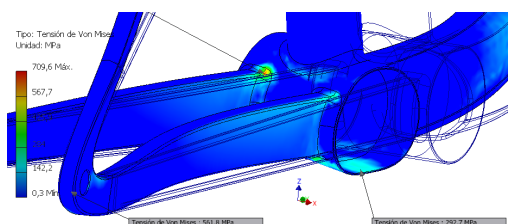


Figura 78. Zona comprometida según tensión de Von Mises 2. Modelo 2. Acero

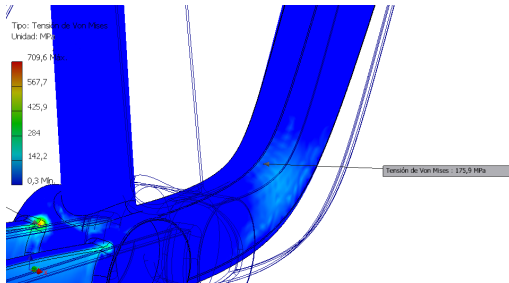


Figura 79. Zona comprometida según tensión de Von Mises 3. Modelo 2. Acero

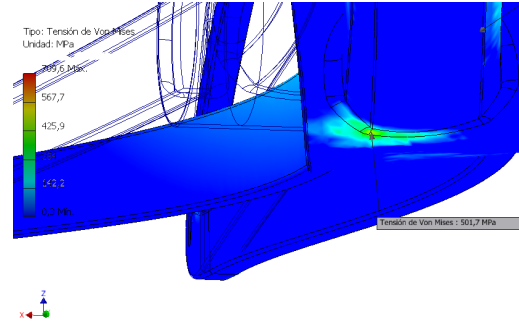


Figura 80. Zona comprometida según tensión de Von Mises 4. Modelo 2. Acero

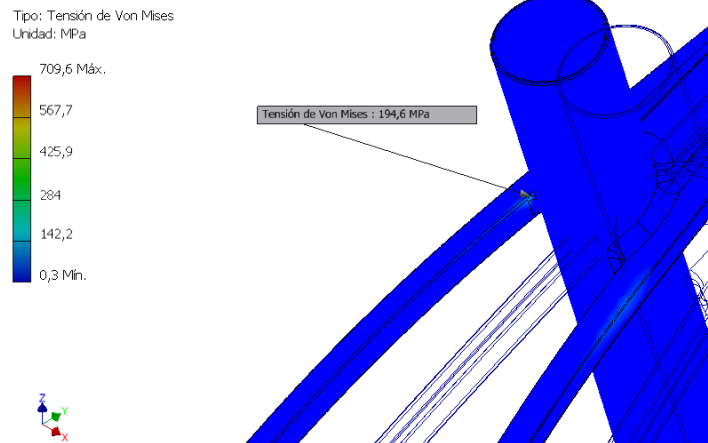


Figura 81. Zona comprometida según tensión de Von Mises 5. Modelo 2. Acero

7.3.1.3.3- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

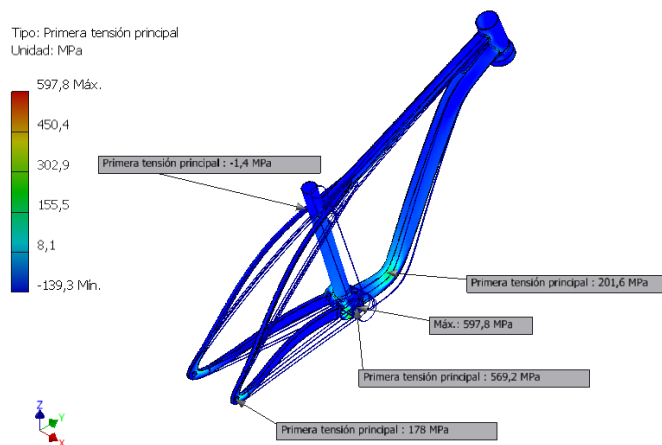


Figura 82. Tensión principal máxima. modelo 2.
Acero

7.3.1.3.4- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

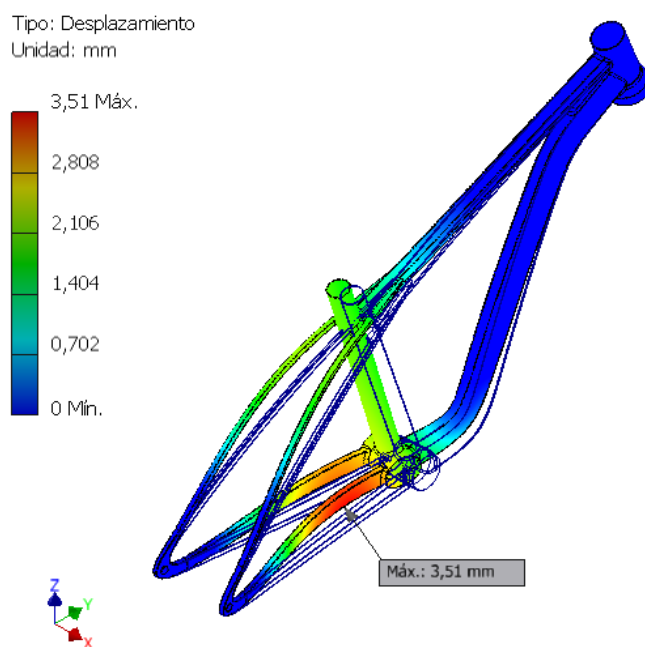


Figura 83. Desplazamiento maximo. Modelo 2. Acero

7.3.1.3.5- Valor y ubicación de desplazamiento máximo en Y

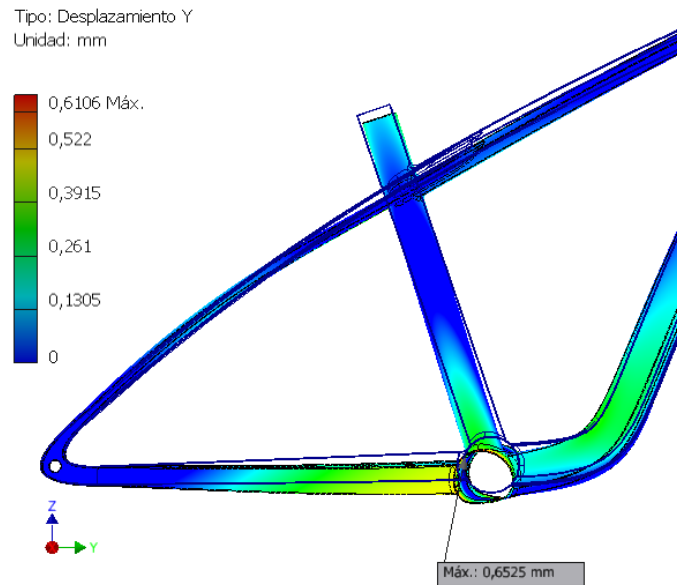


Figura 84. Desplazamiento maximo en Y. Modelo 2, Acero.

7.3.1.3.6- Tabla de convergencia.

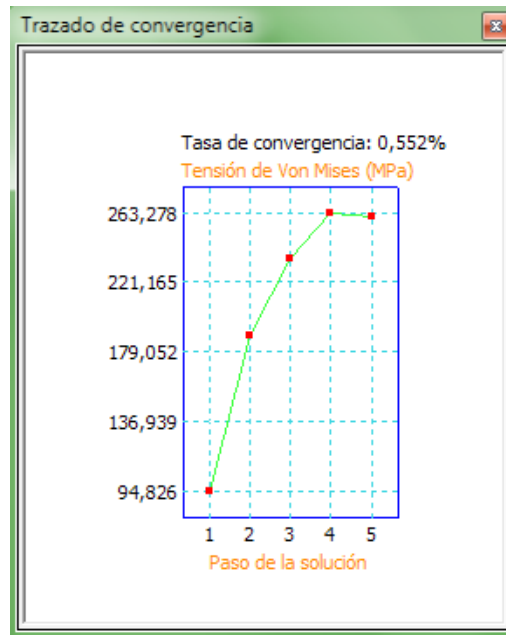


Figura 85. Gráfica de convergencia. Modelo 2. Acero.

7.3.1.3.7- Conclusiones

	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 2	709,6	597,8	3,51	156683/81185

Tabla 5. Resumen de valores obtenidos en el modelo 2. Acero

En este modelo nos encontramos con una tasa de convergencia en torno al 0.5%, lo cual es un tasa muy buena. Se aceptan por lo tanto los resultados.

El límite de la tensión de Von Mises está establecido en 1700 MPa (definido por el material). En este modelo vemos que la tensión máxima aumenta considerablemente, pero que aún así es muy inferior al límite. Vemos también como aumentan los desplazamientos. 3.51mm entra todavía dentro de lo aceptable, aunque ya empiezan a ser relativamente amplios. Se plantea una reducción de espesor.

7.3.1.4- Modelo 3

En este modelo se reducen el espesor de todos los tubos a 0,6mm.

7.3.1.4.1- Advertencias

El programa nos genera el siguiente cuadro de advertencias. Nos advierte que a causa de trabajar con espesores tan pequeños es necesario tener más cuidado a la hora de analizar los resultados por la posible elongación de nodos en ciertas partes finas de la malla.

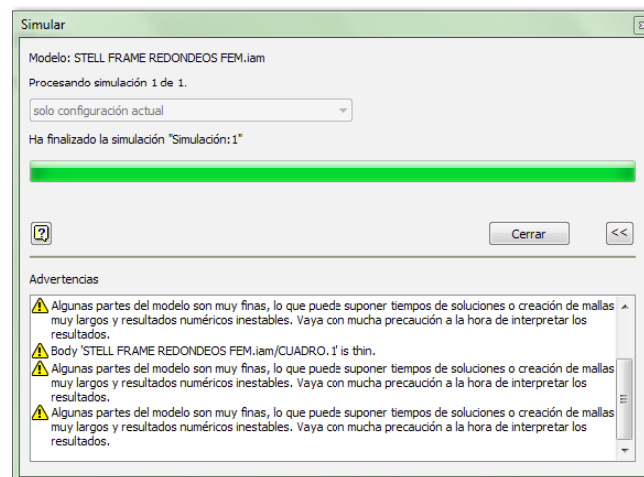


Figura 86. Advertencia para interpretación de resultados. Modelo 3. Acero

7.3.1.4.2- Ubicación y valor de la tensión de Von Mises máxima

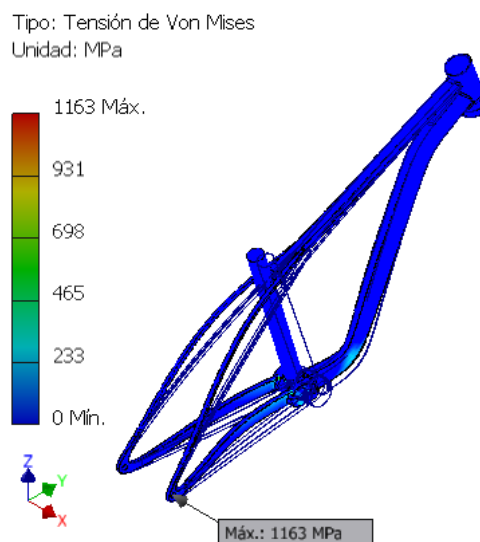


Figura 87. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 3. Acero.

7.3.1.4..3- Tensión de Von Mises en zonas comprometidas

Para una mejor visualización de zonas conflictivas se baja el máximo de la escala de colores.

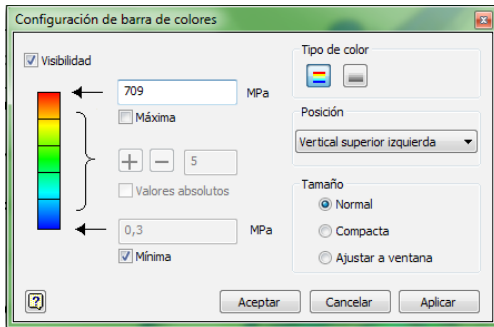


Figura 88. Escala de color tensión de Von Mises. Modelo 3. Acero.

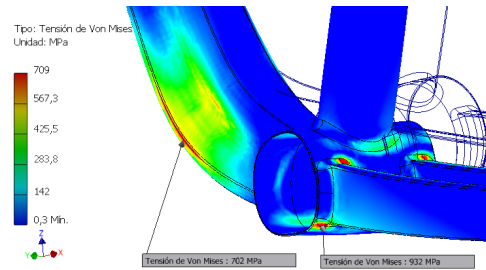


Figura 89. Zonas comprometidas según tensión de Von Mises 1. Modelo 3. Acero

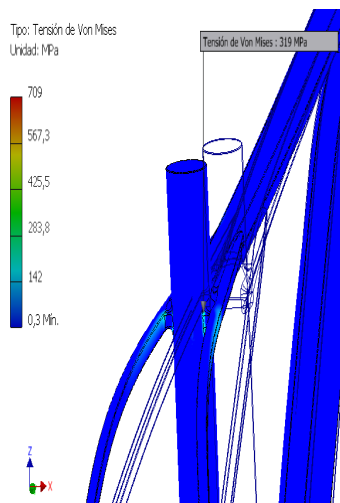


Figura 90. Zonas comprometidas según tensión de Von Mises 2. Modelo 3. Acero

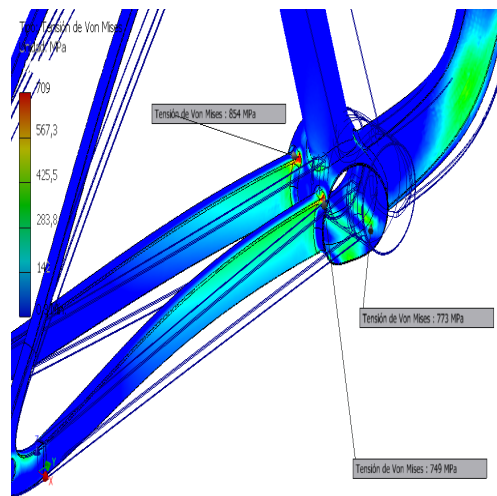


Figura 91. Zonas comprometidas según tensión de Von Mises 3. Modelo 3. Acero

7.3.1.4..4- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

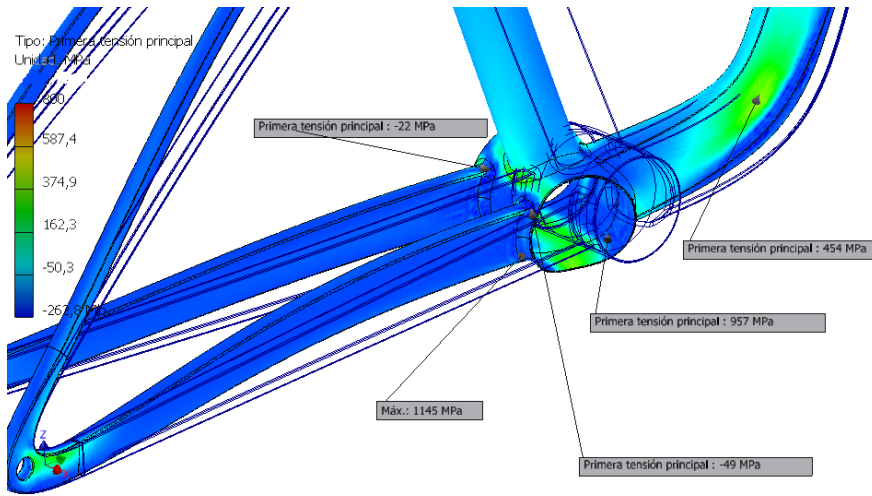


Figura 92. Tensión principal máxima. Modelo 3.
Acero.

7.3.1.4.5- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

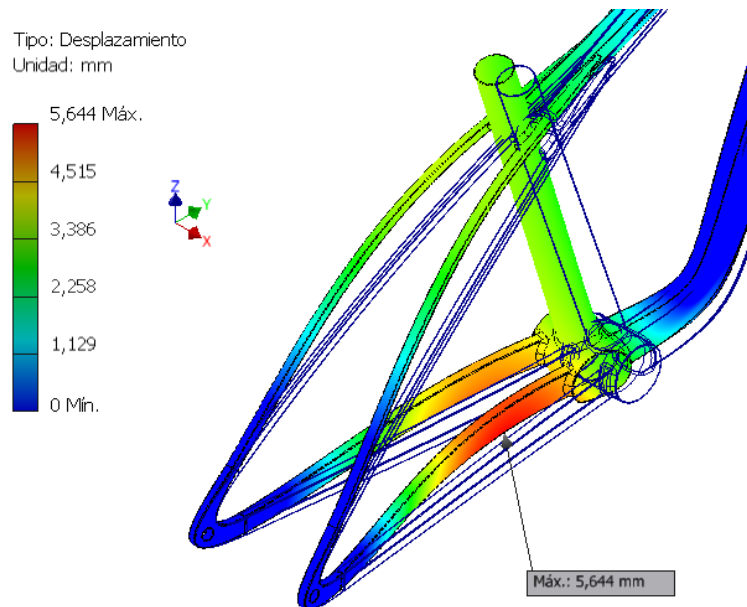


Figura 93. Desplazamiento máximo. Modelo 3.
Acero.

7.3.1.4.6- Valor y ubicación de desplazamiento máximo en Y, Z

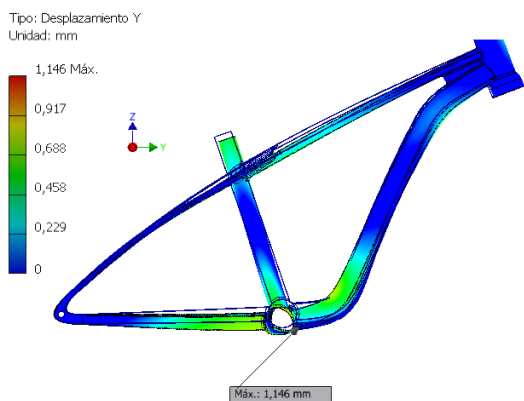


Figura 94. Desplazamiento máximo en Y.
Modelo 3. Acero

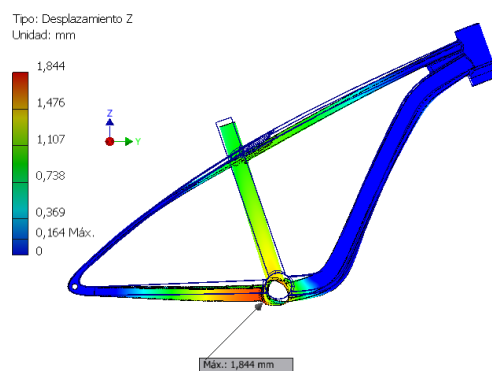


Figura 95. Desplazamiento máximo en Z.
Modelo 3. Acero

7.3.1.4.7- Tabla de convergencia.

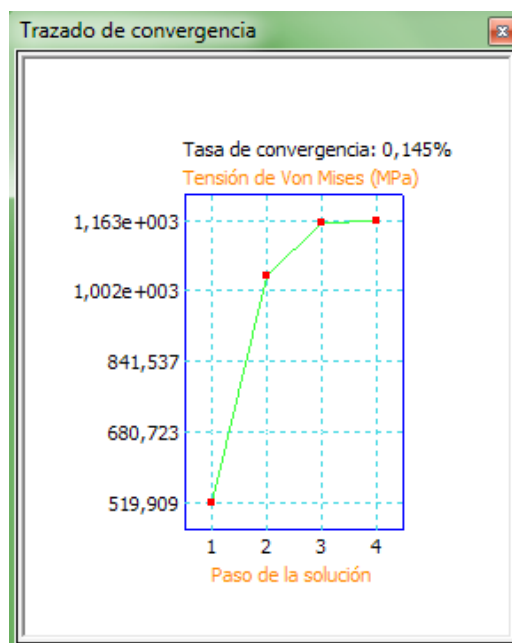


Figura 96. Gráfica de convergencia.
Modelo 3. Acero

7.3.1.4.8- Conclusiones

	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 3	1163	1145	5.64	414811/209698

Tabla 6. Resumen de valores obtenidos en el modelo 3. Acero

En este modelo nos encontramos con una tasa de convergencia del 0,1%. Esta tasa de convergencia es excelente dado que esto quiere decir que como mucho la tensión máxima de Von Mises variará en 1,163MPa.

Observamos que aunque el espesor es ínfimo el límite elástico del material sigue estando muy por encima de la tensión máxima de Von Mises obtenida. En este caso observamos que los desplazamientos son bastante significativos, por lo tanto se considera que esta es la mejor optimización del modelo y por lo tanto el modelo definitivo.

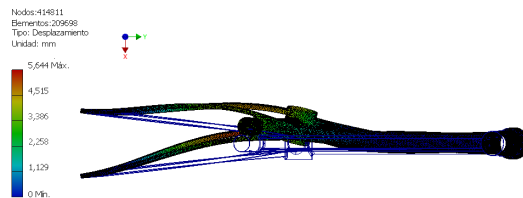


Figura 97. Deformación del modelo vista superior. Modelo 3. Acero

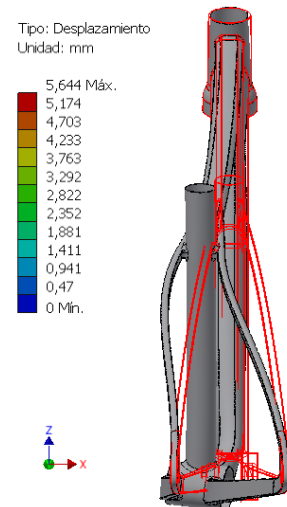


Figura 98. Deformación del modelo. Vista trasera. Modelo 3. Acero

Resumen de los valores obtenidos en los ensayos realizados:

ACERO	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 1	266,2	188	1,771	63892/ 31830
Modelo 2	709,6	597,8	3,51	156683/81185
Modelo 3	1163	1145	5,64	414811/209698

Tabla 7. Resumen de los valores obtenidos en los modelos con material acero

7.3.2- Aluminio

7.3.2.1- Creación del material

En el apartado de elección y descripción de materiales se habla de las muchas variedades del aluminio. Se explica que se ha elegido un aluminio 6061 T4. Las propiedades de este material han sido explicadas en ese apartado. El programa Autodesk Inventor 2015 tiene en su base de datos el aluminio 6061 T6, por lo tanto tenemos que crear el material con el que vamos a trabajar.

Las condiciones de análisis son las mismas que en los del acero. Se empieza con un espesor de 2mm.

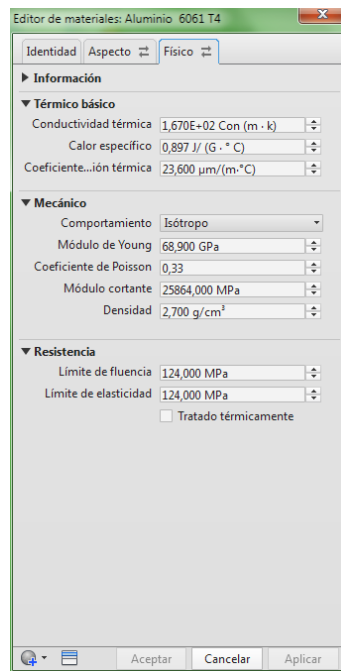


Figura 99: Creación del material. Aluminio.

Con el material creado y aplicado, las restricciones y las cargas aplicadas y el mallado configurado, podemos iniciar la simulación.

7.3.2.2- Modelo 1

En este modelo se utiliza un espesor constante de 2mm.

7.3.2.2.1- Ubicación y valor de la tensión de Von Mises máxima

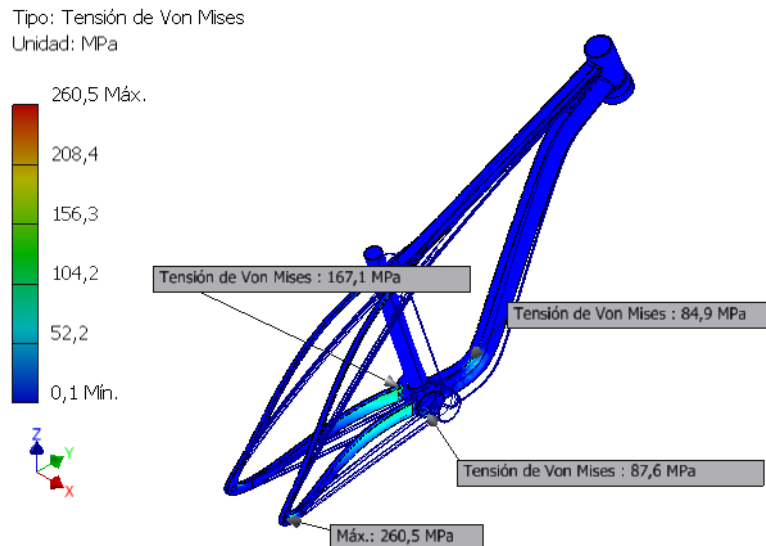


Figura 100. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 1. Aluminio

7.3.2.2.2- Tensión de Von Mises en zonas comprometidas

Se realiza un cambio en la escala de colores para apreciar mejor la concentración de tensiones en otras zonas del cuadro. El valor que se fija como máximo es el límite elástico de aluminio 6061 T4, es decir, 124MPa.

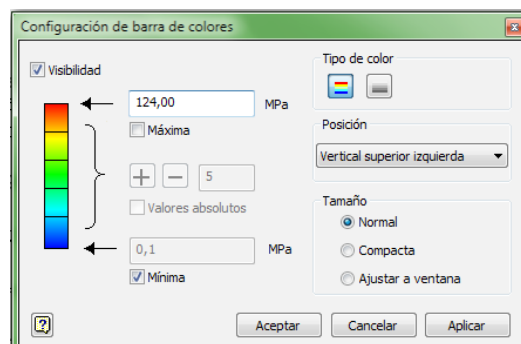


Figura 101. Escala de color tensión de Von Mises. Modelo 1. Aluminio

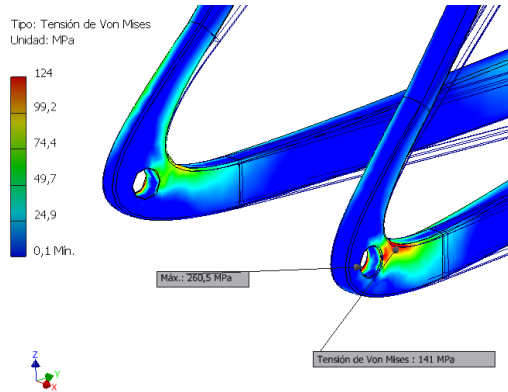


Figura 102. Zonas comprometidas según
tensión de Von Mises 1.
Modelo 1. Aluminio

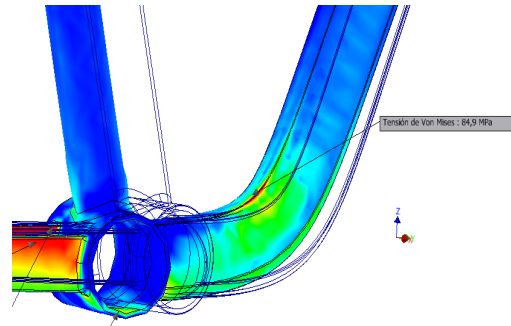


Figura 103. Zonas comprometidas según
tensión de Von Mises 2.
Modelo 1. Aluminio

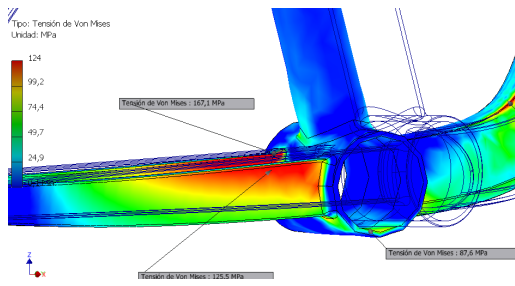


Figura 104. Zonas comprometidas según
tensión de Von Mises 3.
Modelo 1. Aluminio

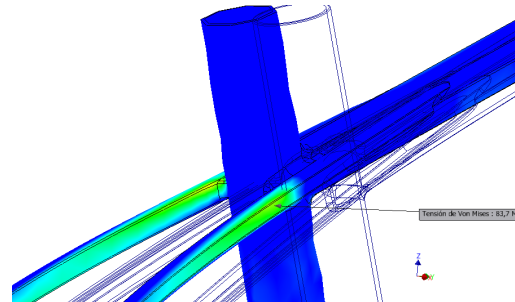


Figura 105. Zonas comprometidas según
tensión de Von Mises 4.
Modelo 1. Aluminio

7.3.2.2.3- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

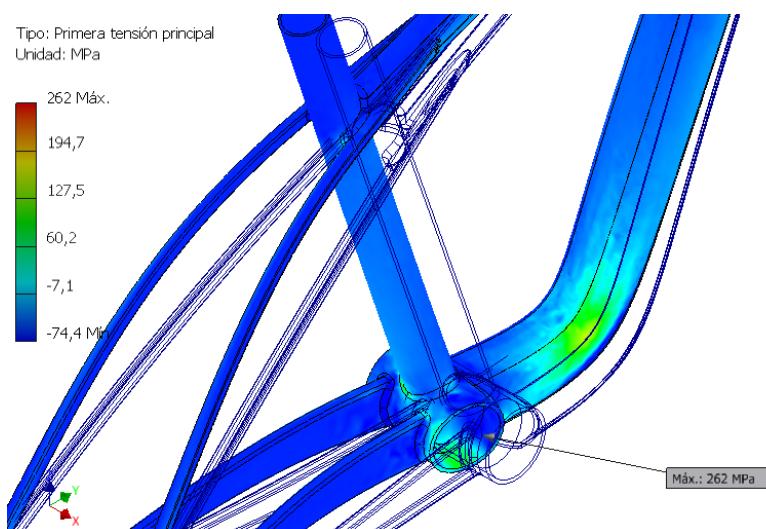


Figura 106. Tensión principal máxima. Modelo 1. Aluminio.

7.3.2.2.4- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

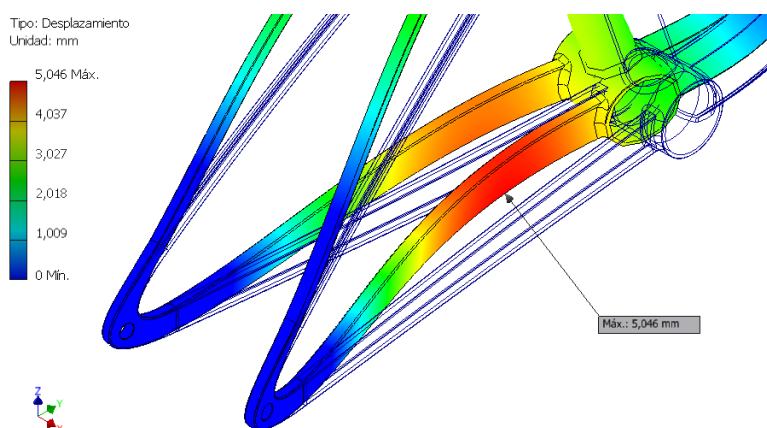


Figura 107. Desplazamiento máximo. Modelo 1. Aluminio.

7.3.2.2.5- Valor y ubicación de desplazamiento máximo en Y, Z

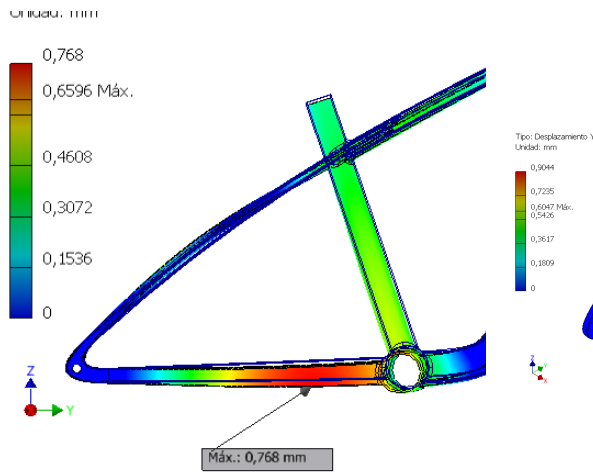


Figura 108. Desplazamiento máximo en Z. Modelo 1. Aluminio.

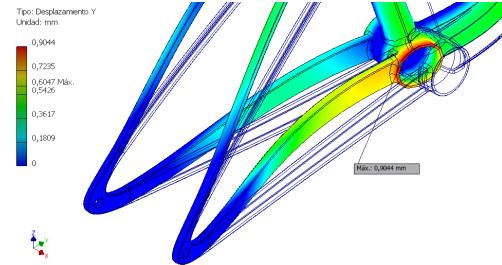


Figura 109. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 1. Aluminio

7.3.2.2.6- Tabla de convergencia.

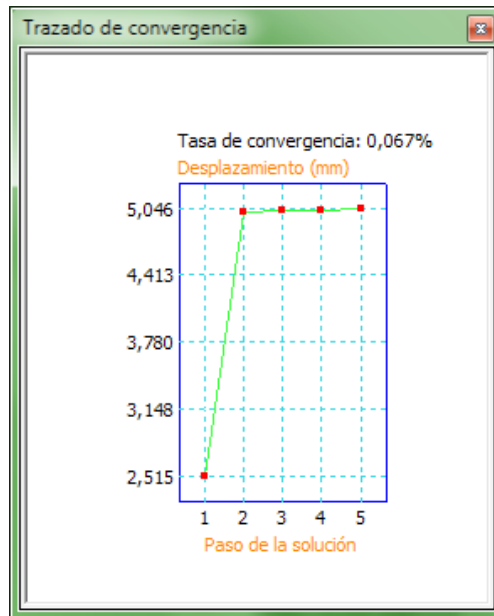


Figura 110: Gráfica de convergencia. Modelo 1. Aluminio

7.3.2.2.7- Conclusiones

ALUMINIO	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 1	260,5	262	5.046	63892/ 31830

Tabla 8. Resumen de valores obtenidos en el modelo 1. Aluminio

La tasa de convergencia de la tensión máxima de Von Mises es excelente no llegando ni si quiera a llegar al 0.1%. Por lo tanto se aceptan los resultados ofrecidos por este análisis.

En este caso el límite de elasticidad del material queda por debajo del máximo de la tensión de Von Mises, por lo cual el material llegaría a romper en la zona indicada. El límite de elasticidad de encuentra en los 124MPa. Los desplazamientos adoptan unos valores altos, aunque podrían llegar a ser aceptados si la tensión máxima de Von Mises estuviera dentro de los valores aceptados. Se plantea un aumento de espesor en las vainas y en el tubo inferior, al ser estas zonas donde encontramos la acumulación de tensiones.

7.3.2.3- Modelo 2

En este modelo encontramos tubos con diferentes secciones. Tubo superior, tubo de sillín y pipa de dirección tiene un espesor de 2mm. El tubo inferior aumenta su espesor a 2,5mm y las vainas aumentan su espesor a 3mm.

7.3.2.3.1- Ubicación y valor de la tensión de Von Mises máxima

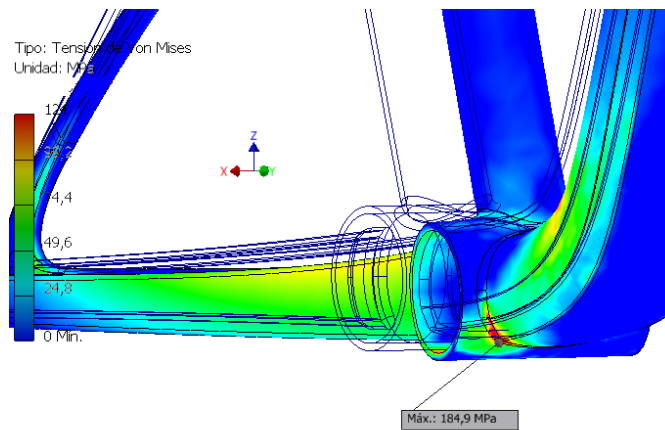


Figura 111. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 2.
Aluminio

7.3.2.3.2- Tensión de Von Mises en zonas comprometidas

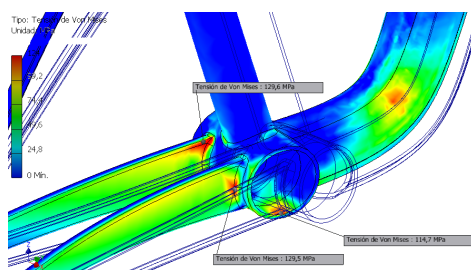


Figura 112. Zona comprometida según
tensión de Von Mises 1.
Modelo 2. Aluminio

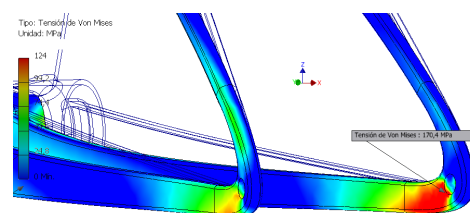


Figura 113. Zona comprometida según
tensión de Von Mises 2.
Modelo 2. Aluminio

7.3.2.3.3- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

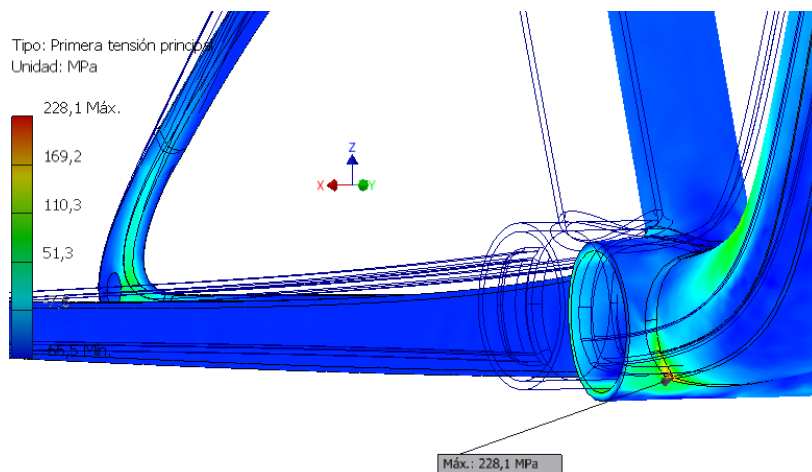


Figura 114. Tensión principal máxima. Modelo 2.
Aluminio

7.3.2.3.4- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

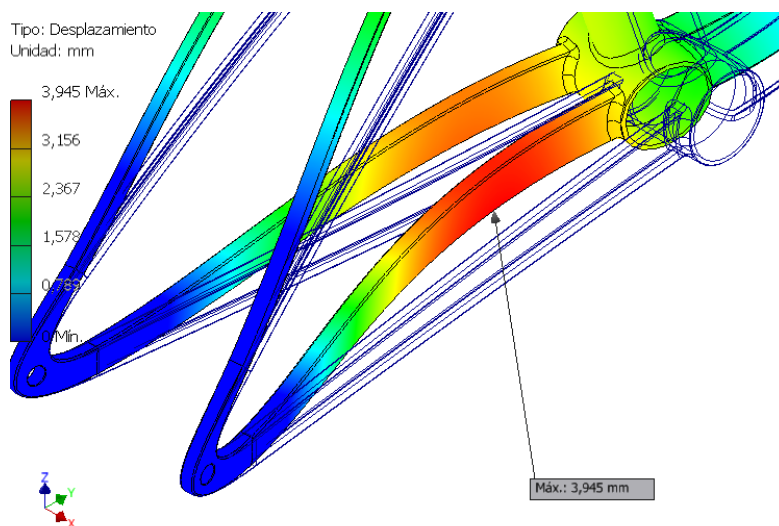


Figura 115. Desplazamiento máximo. Modelo 2.
Aluminio.

7.3.2.3.5- Valor y ubicación de desplazamiento máximo en Y, Z

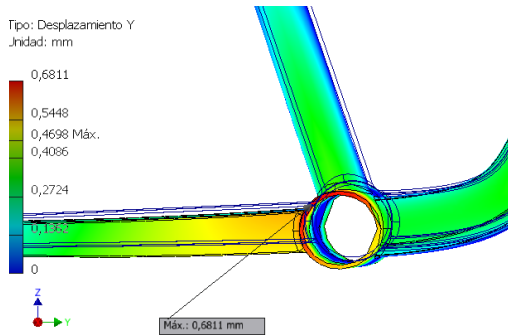


Figura 116. Desplazamiento máximo en Y.
Modelo 2. Aluminio.

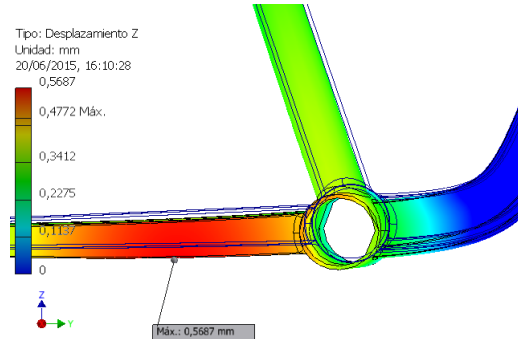


Figura 117. Desplazamiento máximo en Z.
Modelo 2. Aluminio

7.3.2.3.6- Tabla de convergencia.

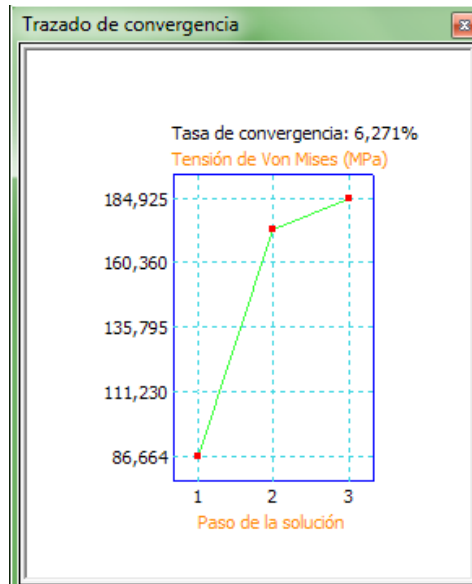


Figura 118. Gráfica de convergencia. Modelo 2.
Aluminio

7.3.2.3.7- Conclusiones

ALUMINIO	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 2	184,5	228,1	3,945	72213/36785

Tabla 9. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 2. Aluminio

La tasa de convergencia en este caso no es muy buena, al llegar a tener un valor cercano al 6%. No obstante aceptamos el análisis dado que no parecen estar muy alterados ni muy distantes de unos valores aceptables.

Como observamos, la tensión máxima de Von Mises es superior al límite elástico del material (124MPa). El desplazamiento máximo es aceptable, pero debido a que el cuadro puede fallar por la zona de la ubicación de la tensión máxima de Von Mises se propone un aumento de sección en el tubo inferior y en las vainas inferiores.

7.3.2.4- Modelo 3

Este modelo contiene los mismos espesores que en el modelo anterior salvo en el tubo inferior, el cual se ha aumentado a 3mm.

7.3.2.4.1- Ubicación y valor de la tensión de Von Mises máxima

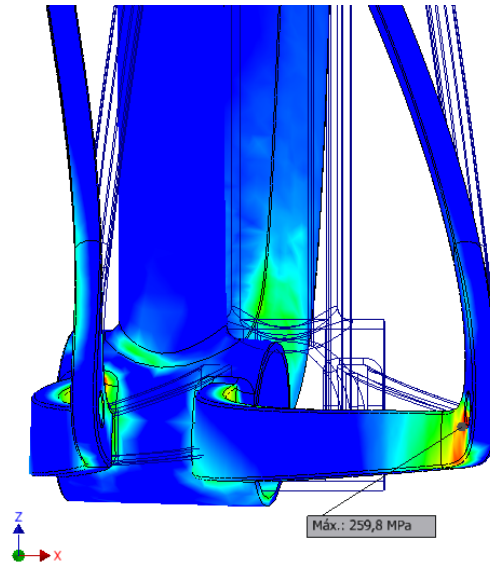


Figura 119. Tensión máxima de Von Mises. Modelo 3. Aluminio

Como se ha mencionado al principio del apartado de los análisis de elementos finitos, las tensiones ubicadas en las patillas no son representativas, dado que para el diseño se plantean con espesor, pero en realidad son macizas. Se presta mas atención a las zonas comprometidas.

7.3.2.4.2- Tensión de Von Mises en zonas comprometidas

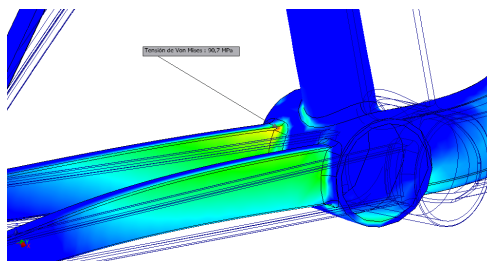


Figura 120. Zona comprometida según
tensión de Von Mises 1.
Modelo 3. Aluminio

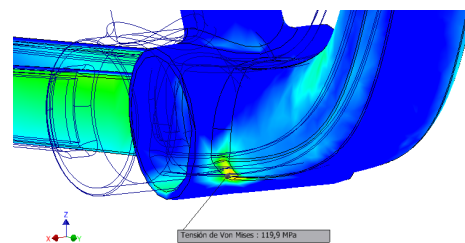


Figura 121: Zona comprometida según
tensión de Von Mises 2.
Modelo 3. Aluminio

7.3.2.4.3- Valor y ubicación de la tensión principal

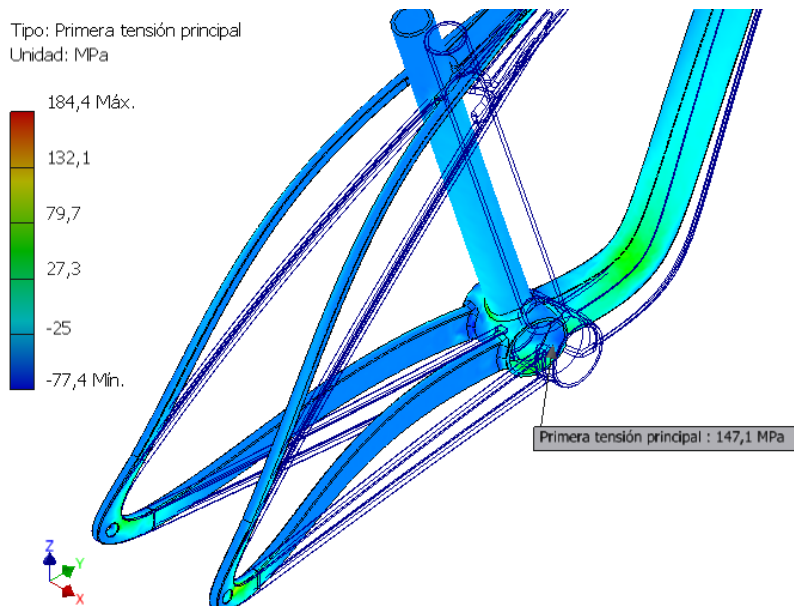


Figura 122. Tensión principal máxima.
Modelo 3. Aluminio

7.3.2.4.4- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

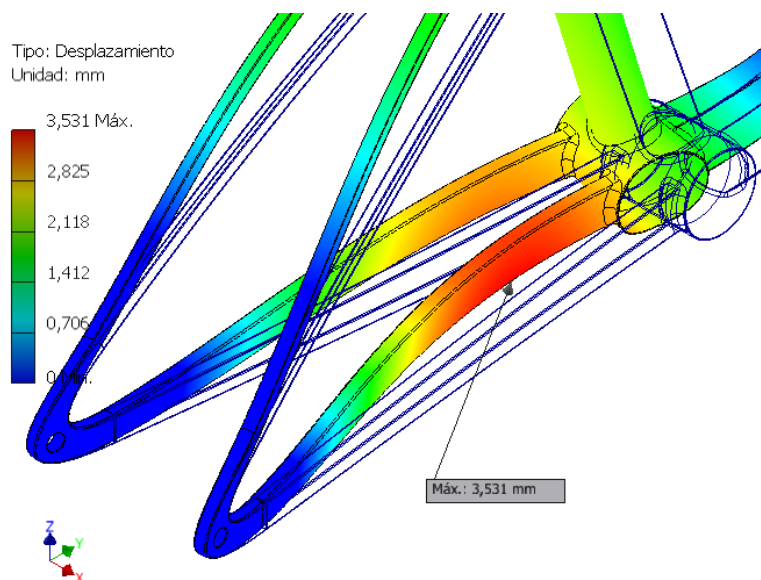


Figura 123. Desplazamiento máximo. Modelo 3. Aluminio.

7.3.2.4.5- Valor y ubicación del desplazamiento máximo en Y, Z

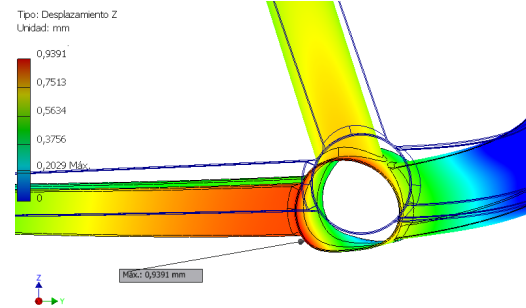
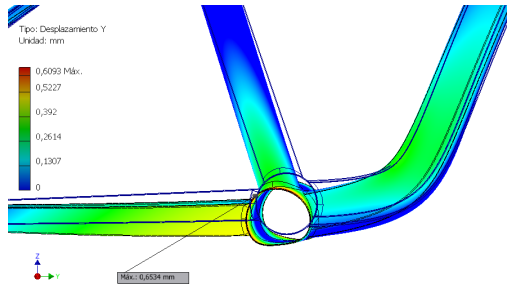


Figura 124. Desplazamiento máximo en Y. Figura 125. Desplazamiento máximo en Z.
Modelo 3. Aluminio

7.3.2.4.6- Convergencia

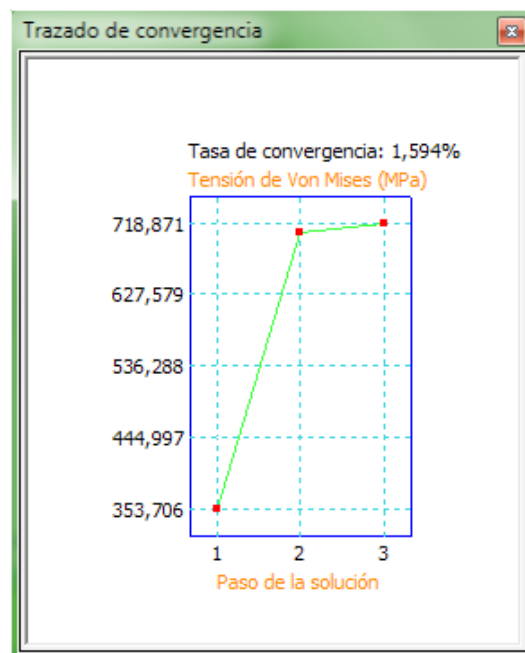


Figura 126. Gráfica de convergencia. modelo 3. Aluminio

7.3.2.4.7- Conclusiones

ALUMINIO	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 3	119.9	147.1	3.51	62518/32114

Tabla 10. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 3. Aluminio

La convergencia de la tensión de Von Mises de este estudio llega a tener valores del 1.5%. Estos valores son aceptables, por lo tanto el análisis es aceptado.

Como vemos la tensión máxima de Von Mises es inferior a la del límite elástico. Observamos entonces los desplazamientos y vemos que están dentro de lo aceptable. Por lo tanto hemos llegado al final de la optimización del cuadro de aluminio.

Resumen de los valores obtenidos en los ensayos realizados:

ALUMINIO	Tensión de Von Mises máx. (MPa)	Tensión principal máx. (MPa)	Desplazamiento máx. (mm)	Nº Nodos/ Elementos
Modelo 1	260,5	262	5,046	79164/40134
Modelo 2	184,5	228,1	3,945	72213/36785
Modelo 3	119,9	147,1	3,51	62518/32114

Tabla 11. Resumen de todos valores obtenidos en los modelos con material Aluminio.

7.3.3- Fibra de carbono

7.3.3.1- Creación del material

Como se ha explicado en el apartado de elección y descripción de materiales la fibra de carbono es un material anisótropo. La base de datos de Autodesk Inventor 2015 no tiene registrado ninguna fibra de carbono, por lo tanto tenemos que crear el material. Para este material al ser anisótropo, harán falta más datos de lo normal. Inventor 2015 trata a los materiales anisótropos como isotrópicos transversales.

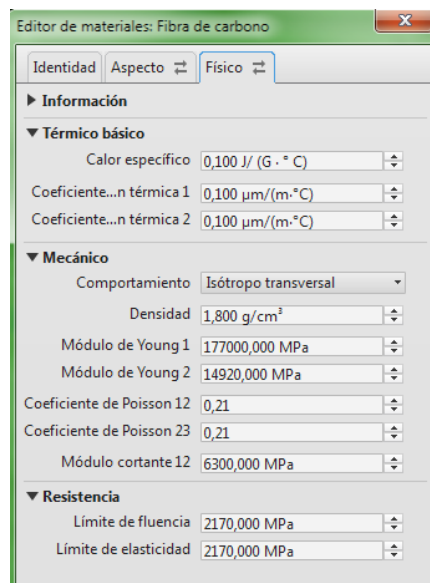


Figura 127. Creación del material fibra de carbono

	ANISÓTROPO
Módulo de Young 1	177 GPa
Módulo de Young 2	149,2 GPa
Coeficiente de poisson 12	0,21
Coeficiente de Poisson 23	0,21
Modulo cortante 12	6300 MPa
Límite de fluencia	2170 MPa
Límite de elasticidad	2170 MPa

Tabla 12. Datos para material anisótropo

En este caso hay que hacer un análisis más detallado de los resultados, teniendo en cuenta las tensiones en todas las direcciones. Esto es debido a que el material es anisótropo y esto quiere decir que no tiene la misma resistencia en todas las direcciones. Por lo tanto hay que tener especial cuidado y atención en las tensiones perpendiculares al eje Y, dado que la colocación de las fibras está planteada en esa dirección.

No hemos de hacer demasiado caso a la tensión de Von Mises dado que para materiales compuestos este tipo de tensión equivalente no es válido. Para este tipo de materiales una de las tensiones equivalentes que puede llegar a ser representativas es la tensión Tsai-Wu. Este programa no aporta este tipo de tensión equivalente, por lo tanto tendremos que observar detenidamente los valores de todas las tensiones principales.

Uno de los valores que para configurar el material no hace falta es la resistencia a tracción del material a 90° . Este valor no viene definido por el programa CES Education 2011, por lo que se ha buscado un material comercial con las mismas propiedades que las que el programa nos proporciona. El material encontrado viene descrito en el apartado selección y descripción de materiales, no obstante se recuerda que la resistencia a tracción a 90° es de 90MPa.

7.3.3.2- Modelo 1

Este modelo consta de un espesor constante de 2,5mm.

7.3.3.2.1- Valor y ubicación de la tensión máxima de Von Mises

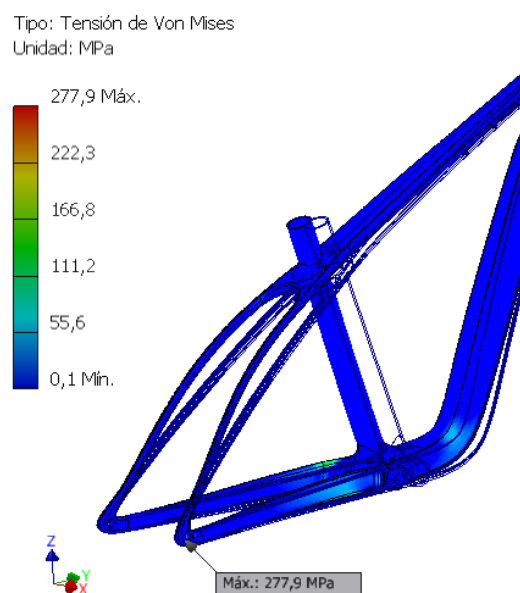


Figura 128. Tensión máxima de Von Mises. Modelo
1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.2- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

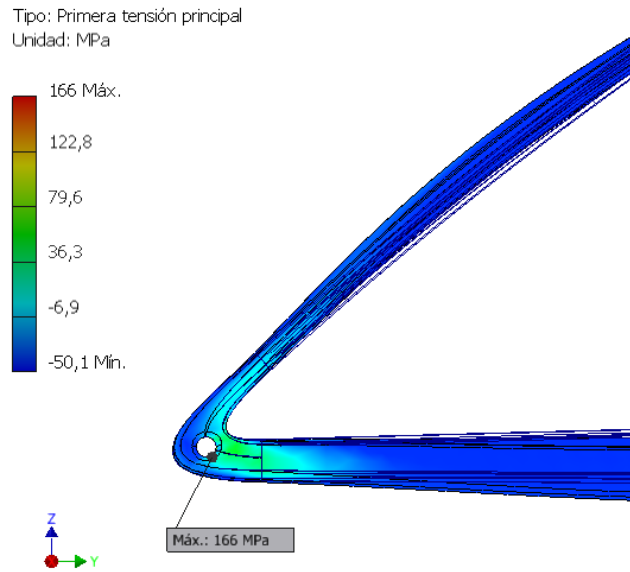


Figura 129. Tensión principal máxima.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.3- Tensión XX

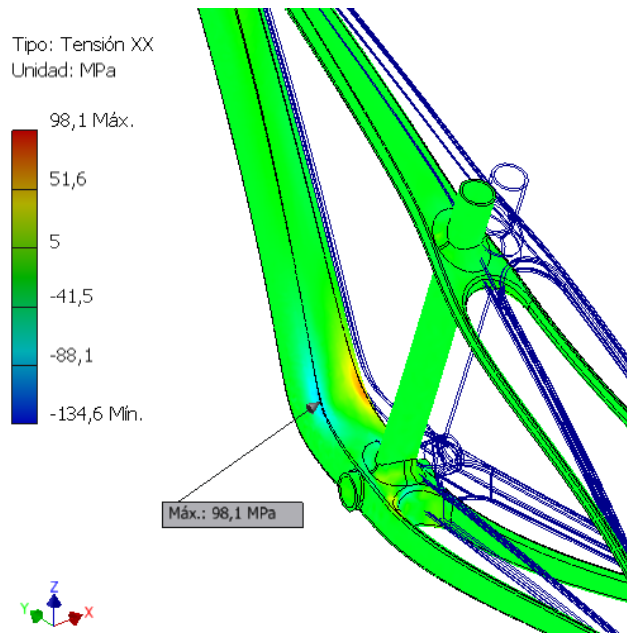


Figura 130. Tensión en xx máxima.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.4- Tensión XY

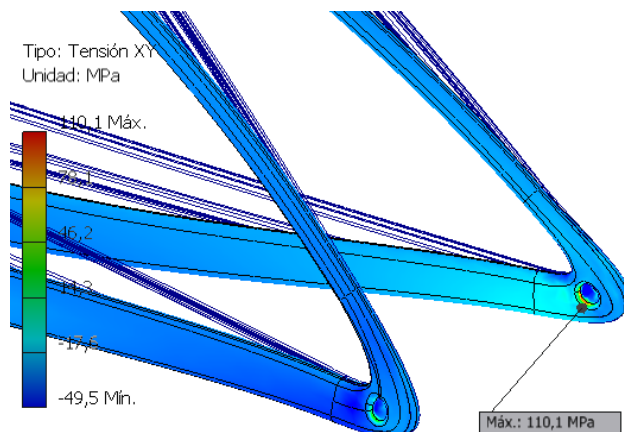


Figura 131. Tensión en xy máxima.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.5 - Tensión XZ

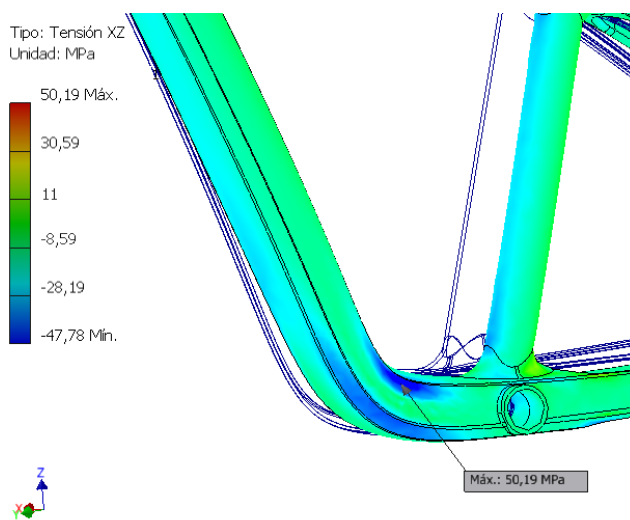


Figura 132. Tensión en xz máxima.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.6- Tensión YY

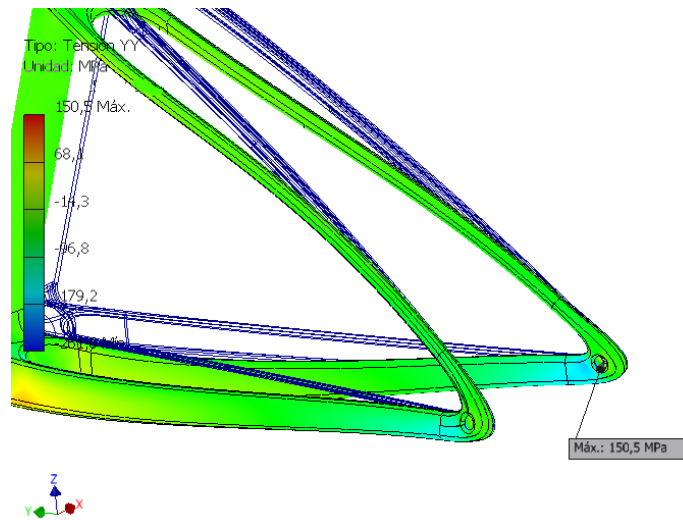


Figura 133. Tensión en yy máxima.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.7- Tensión YZ

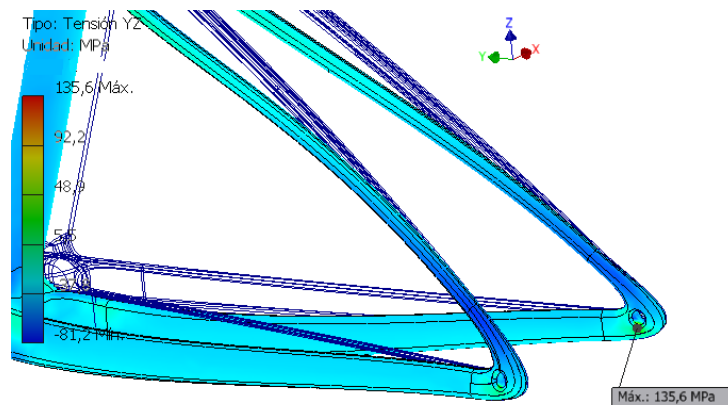


Figura 134. Tension en yz máxima.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.8- Tensión ZZ

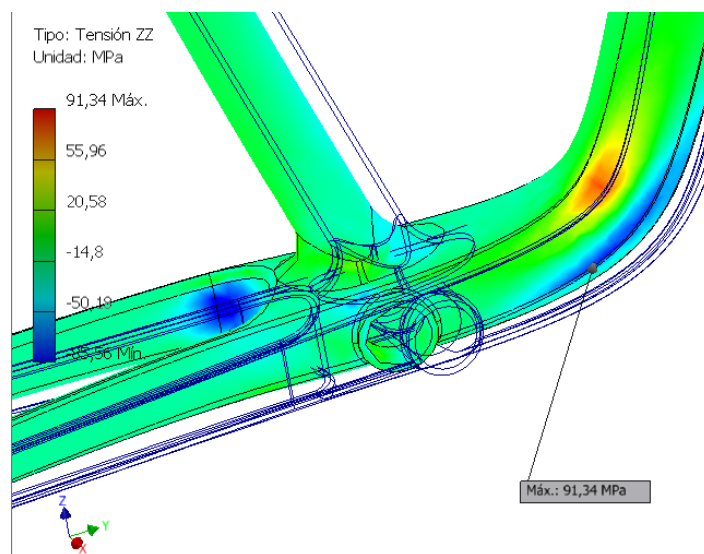


Figura 135. Tensión máxima en zz.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.9- Desplazamiento máximo

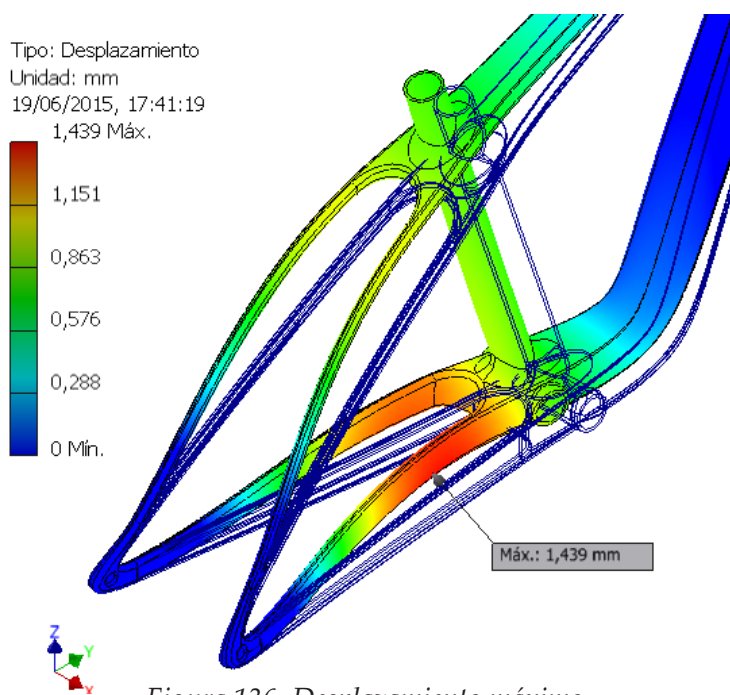


Figura 136. Desplazamiento máximo.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.10- Desplazamiento máximo en Y, Z

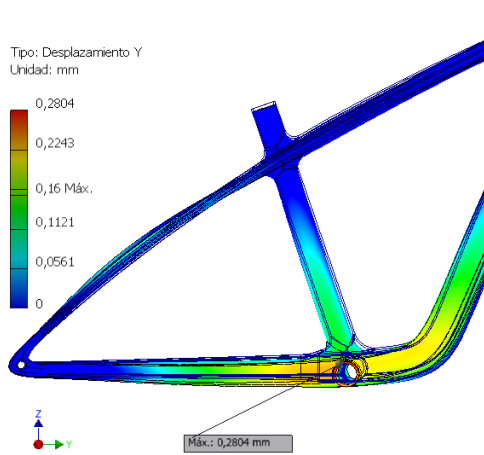


Figura 137. Desplazamiento máximo en Y. Modelo 1. Fibra de Carbono

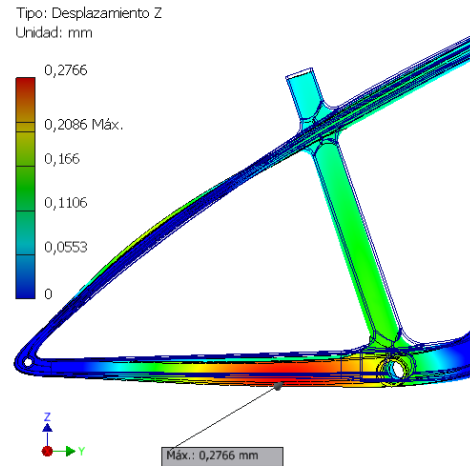


Figura 138. Desplazamiento máximo en Z. Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.11- Convergencia

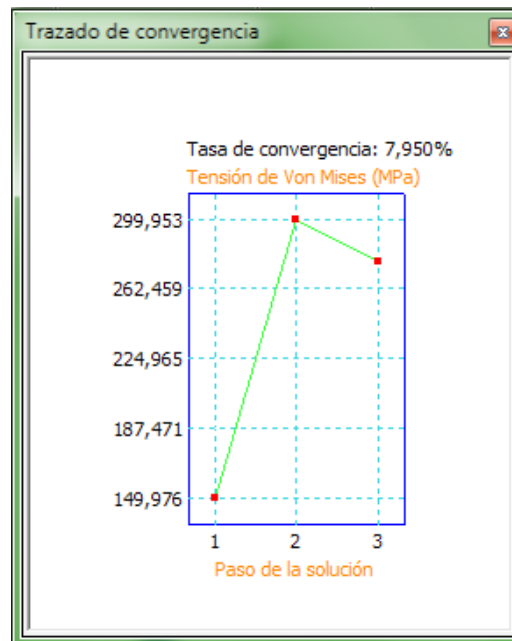


Figura 139: Gráfica de convergencia.
Modelo 1. Fibra de Carbono

7.3.3.2.12- Conclusiones

Tensión máxima de Von Mises (MPa)	277.9
Tensión principal máxima (MPa)	166
Tensión XX (MPa)	98.1
Tensión XY (MPa)	110.1
Tensión XZ (MPa)	50.19
Tensión YY (MPa)	150.5
Tensión YZ (MPa)	135.6
Tensión ZZ (MPa)	91.34
Desplazamiento máximo (mm)	1.439
Nº nodos/elementos	102540/51847

Tabla 13. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 1. Fibra de carbono

La tasa de convergencia está por debajo de 10%, por lo tanto podemos aceptar la geometría y los análisis como válidos.

Como podemos observar hay dos tensiones perpendiculares a nuestras fibras y en ellas vemos como sobrepasan el límite de 90MPa. Los desplazamientos son muy aceptables pero las tensiones en ciertos puntos no, por lo tanto se propone aumentar el espesor del cuadro.

7.3.3.3- Modelo 2

Este modelo tiene un espesor constante de 3mm.

7.3.3.3.1- Valor y ubicación de la tensión máxima de Von Mises

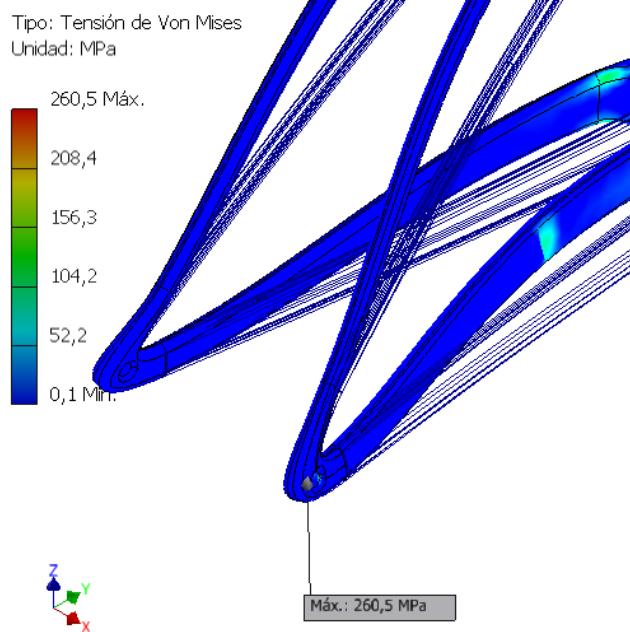


Figura 140: Tensión máxima de Von Mises. Modelo 2.
Fibra de carbono

7.3.3.3.2- Valor y ubicación de la tensión principal máxima

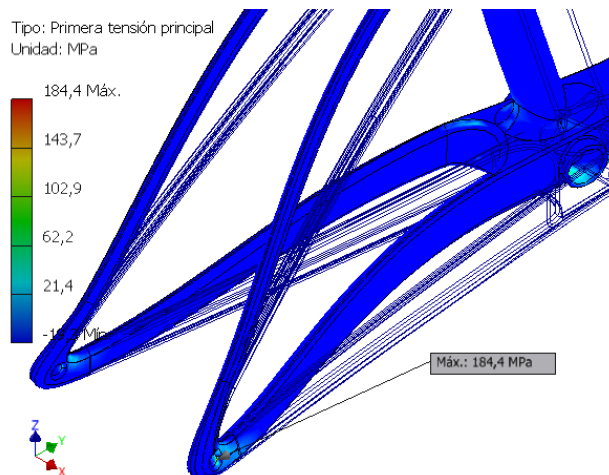


Figura 141. Tensión principal máxima. Modelo 2.
Fibra de carbono

7.3.3.3- Tensión XX

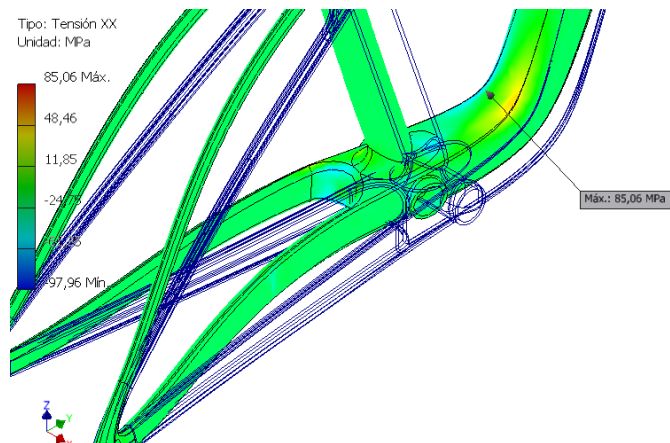


Figura 142. Tensión máxima en xx. Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.4- Tensión XY

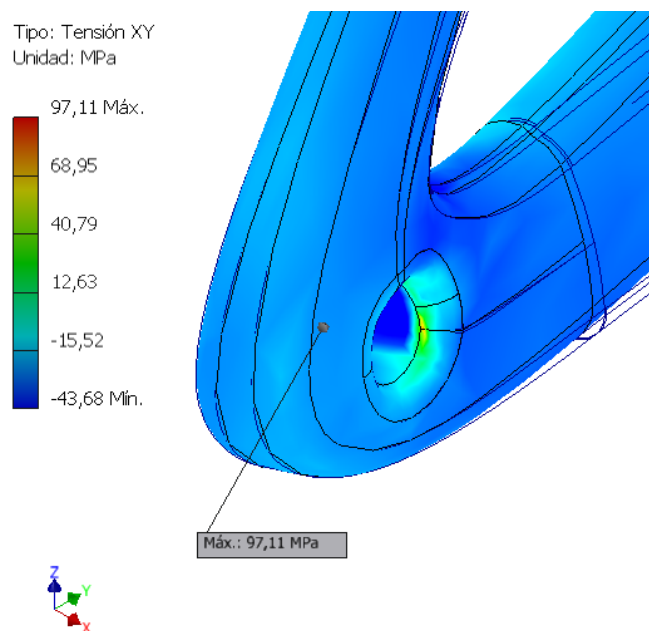


Figura 143. Tensión máxima en xy. Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.5- Tensión XZ

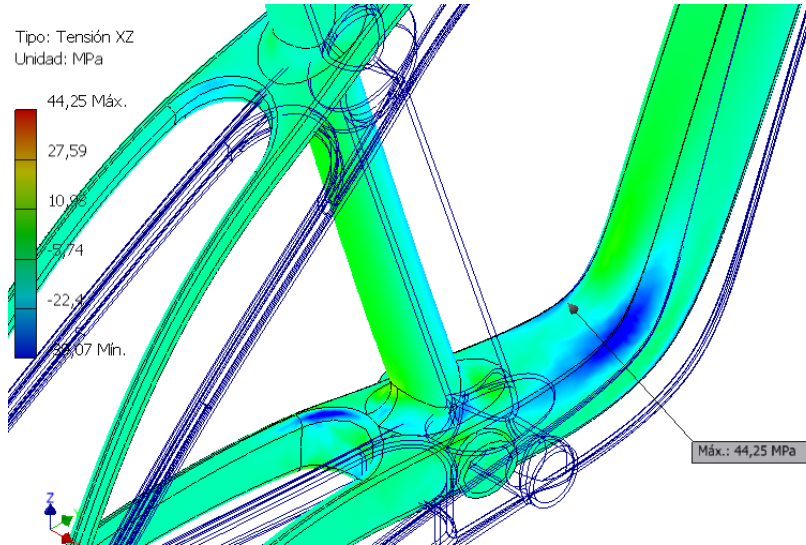


Figura 144. Tensión máxima en xz. Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.6- Tensión YY

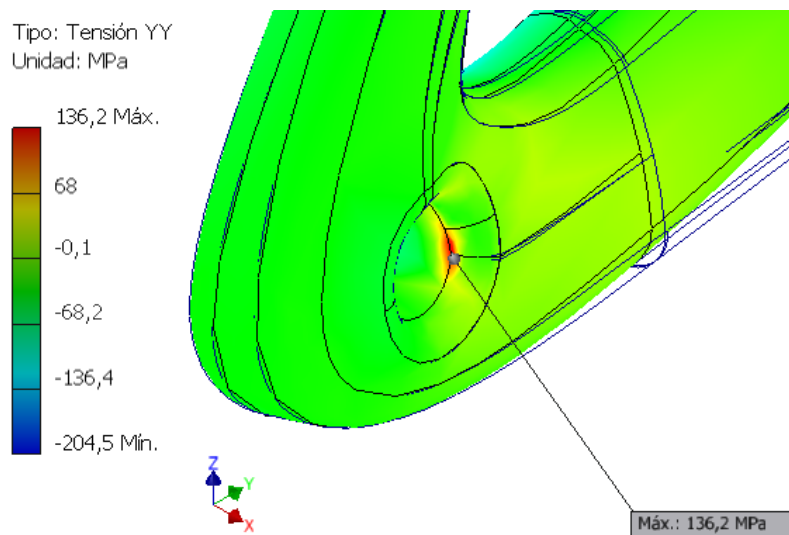


Figura 145. Tensión máxima en yy.
Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.7- Tensión YZ

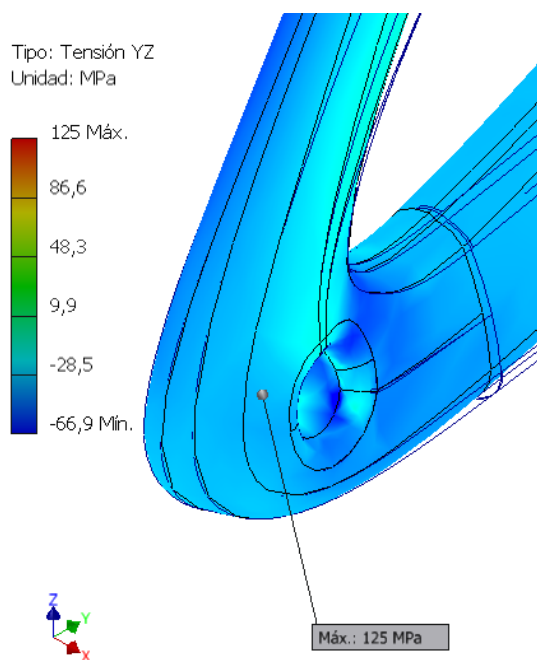


Figura 146. Tensión máxima en yz.
Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.8- Tensión ZZ

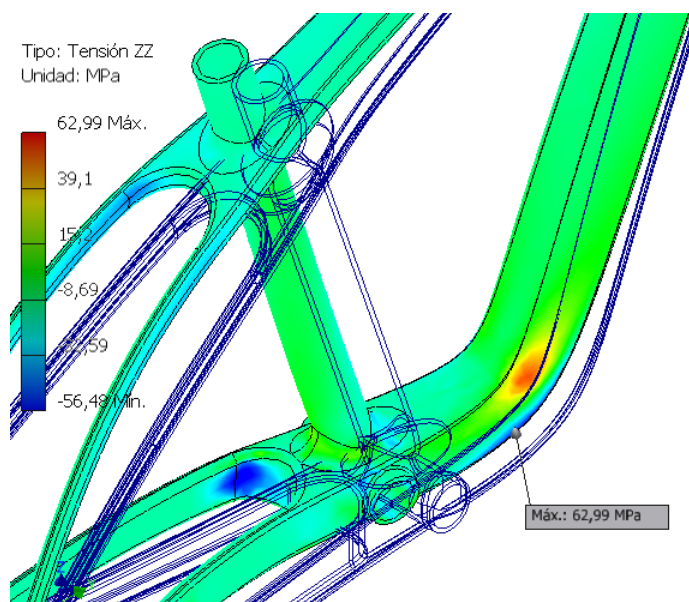


Figura 147. Tensión máxima en zz.
Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.9- Valor y ubicación del desplazamiento máximo

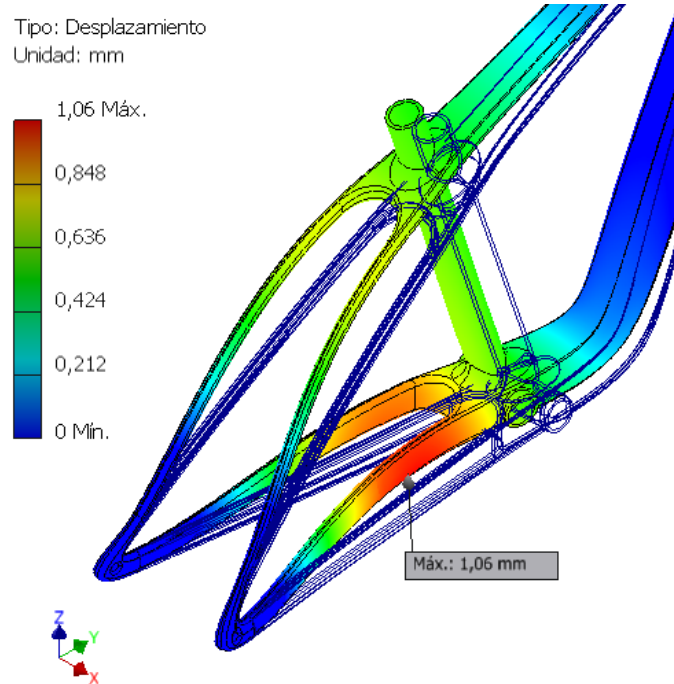


Figura 148. Desplazamiento máximo.
Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.10- Desplazamiento máximo en Y, Z

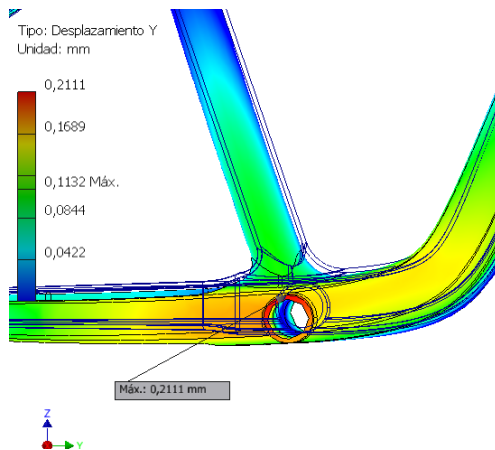


Figura 149. Desplazamiento máximo en
Y. Modelo 2. Fibra de carbono

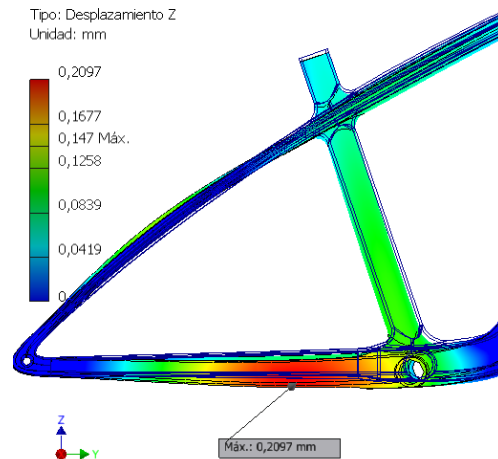


Figura 150: Desplazamiento máximo en
Z. Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.11- Convergencia

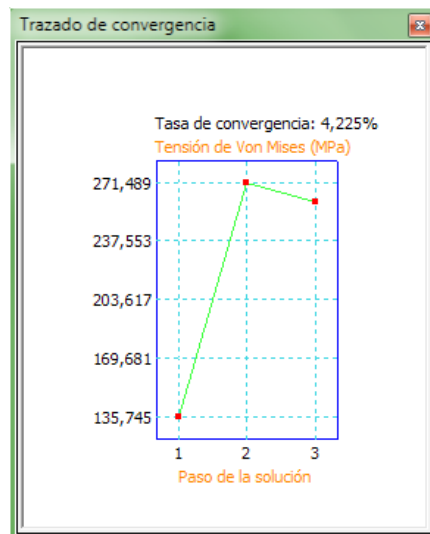


Figura 151. Gráfica de convergencia. Modelo 2. Fibra de carbono

7.3.3.3.12- Conclusiones

Tensión máxima de Von Mises (MPa)	260.5
Tensión principal máxima (MPa)	184.4
Tensión XX (MPa)	85.06
Tensión XY (MPa)	97.11
Tensión XZ (MPa)	44.25
Tensión YY (MPa)	136.2
Tensión YZ (MPa)	125
Tensión ZZ (MPa)	62.99
Desplazamiento máximo (mm)	1.06
Nº nodos/elementos	98835/42289

Tabla 14. Resumen de los valores obtenidos en el modelo 2. Fibra de carbono.

En este modelo vemos que la tasa de convergencia sigue por debajo del 10% situándose en un valor del 4.25%, por lo tanto aceptamos los análisis y el modelos como validos

En este caso observamos que los resultados de las tensiones en las direcciones perpendiculares a la colocación de la fibra (YY) son inferiores a la tensión a tracción máxima a 90°, por lo tanto aceptamos el espesor del cuadro.



Resumen de los valores obtenidos en los ensayos realizados:

	Modelo 1	Modelo 2
Tensión máxima de Von Mises (MPa)	277.9	260.5
Tensión principal máxima (MPa)	166	184.4
Tensión XX (MPa)	98.1	85.06
Tensión XY (MPa)	110.1	97.11
Tensión XZ (MPa)	50.19	44.25
Tensión YY (MPa)	150.5	136.2
Tensión YZ (MPa)	135.6	125
Tensión ZZ (MPa)	91.34	62.99
Desplazamiento máximo (mm)	1.439	1.06
Nº nodos/elementos	102540/51847	98835/42289

Tabla 15. Resumen de todos los valores obtenidos en los modelos con material fibra de carbono

7.4- Conclusiones

		Von Mises	T. Princ.	XX	XY	XZ	YY	YZ	ZZ	Desp.
Acero	mod. 1	266	188	-	-	-	-	-	-	1.771
	mod. 2	709	597.8	-	-	-	-	-	-	3.51
	mod.3	1163	1145	-	-	-	-	-	-	5.64
Aluminio	mod. 1	260.5	262	-	-	-	-	-	-	5.046
	mod. 2	184.5	228.1	-	-	-	-	-	-	3.945
	mod. 3	119.9	147.1	-	-	-	-	-	-	3.51
Fibra de Carbono	mod.1	277.9	166	98.1	110.1	50.19	150.5	135.6	91.34	1.439
	mod. 2	260.5	184.4	85.06	97.11	44.25	136.2	125	62.99	1.06

Tabla 16. Valores de todos los análisis realizados

Las unidades de la tensión de Von Mises, tensión principal, tensión en XX, XY, XZ, YY, YZ, ZZ son MPa. Las unidades para el desplazamiento máximo son mm.

En la anterior tabla se pueden ver los valores obtenidos en los anteriores ensayos y los cuales se han tenido en cuenta para analizar y llegar a una conclusión con cada modelo.

Para el acero, podemos llegar a optimizar el material hasta un espesor de 0,6 mm, teniendo una tensión de Von Mises máxima de 1163 MPa, lo cual está debajo del límite elástico del material seleccionado, el cual se sitúa en torno a los 1700 MPa. Los desplazamientos que se obtienen llegan a los 5.64 mm. Estos desplazamientos son un poco elevados, pero aun así son aceptados, dado que se tiene en cuenta el sobre dimensionamiento del estudio.



En el caso del aluminio, el modelo numero 3 es el que tiene la configuración ganadora. Este modelo tiene diferente espesor en los diferentes tubos, recordamos que el tubo de la pipa de dirección, el tubo superior y el tubo del sillín tienen un espesor de 2mm mientras que el tubo inferior, el del pedalier y las vainas tienen un espesor de 3mm. La tensión de Von Mises máxima que se obtiene es de 119,9MPa, lo cual está por debajo de los 124 MPa de límite elástico del material. El desplazamiento máximo es de 3.51mm, lo cual se da por válido.

Trabajando con la fibra de carbono hay que tener en cuenta lo mencionado en dichos análisis, es decir, que la tensión de Von Mises ya no es un estimador tangencial representativo y hay que proceder a analizar las tensiones en toda las direcciones. Para este material hay que tener especial cuidado con las tensiones a 90° de la colocación de las fibras, dado que es uno de los puntos débiles de los materiales compuestos.

El modelo que cumple con los requisitos impuestos por la elección del material es el modelo número dos. La tensión en la dirección de colocación de la fibra llega a valores de 136.2 MPa, los cuales están muy por debajo del límite elástico del material en esa dirección. Por otro lado, las tensiones obtenidas en la dirección ZZ, que es la más crítica son de 62.99 MPa. Esta tensión también está por debajo del límite elástico que el material compuesto tiene en la dirección perpendicular a la colocación de las fibras, la cual es de 90 MPa. Los desplazamientos son casi nulos, encontrándose en 1.06mm.

Con la obtención y análisis de todos estos datos se llega a la conclusión antes descrita, los modelos sobre los cuales se va a obtener el peso son el modelo 3 del acero, el modelo 3 de aluminio y el modelo 2 de fibra de carbono.

8- PESOS

Todo el trabajo de optimización de los modelos llega a su conclusión con la obtención de los pesos. Uno de los propósitos de este TFG es la optimización de los espesores para conseguir que el cuadro de acero pese menos que la alternativa actual de los constructores de bicicleta, que es el aluminio.

Para la obtención de los pesos, se han utilizado cada uno de los modelos construidos. Cada uno con sus diferentes espesores. El programa de modelado 3D de Catia v5 tiene una herramienta con la cual podemos obtener todas las inercias, pesos y demás información concerniente al modelo diseñado. Los eje que toma como referencia son los que el programa plantea desde un primer momento, y son los que se han utilizado como referencia para el diseño.

La herramienta que se ha utilizado se llama *Measure Inertia*. La manera de obtener los pesos es seleccionando todo el cuerpo y cambiando la densidad del material, que por defecto aparece en $1000\text{kg}/\text{m}^3$.

Las densidades de cada material aparecen reflejadas en las siguientes tablas como resumen de cada material.

8.1- Fibra de carbono

8.1.1- Modelo 1

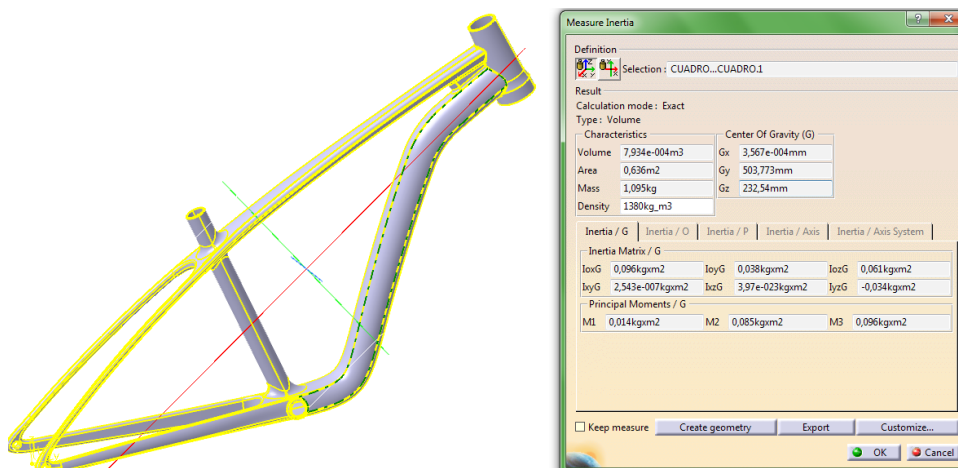


Figura 152. Peso modelo 1 fibra de carbono

8.1.2- Modelo 2

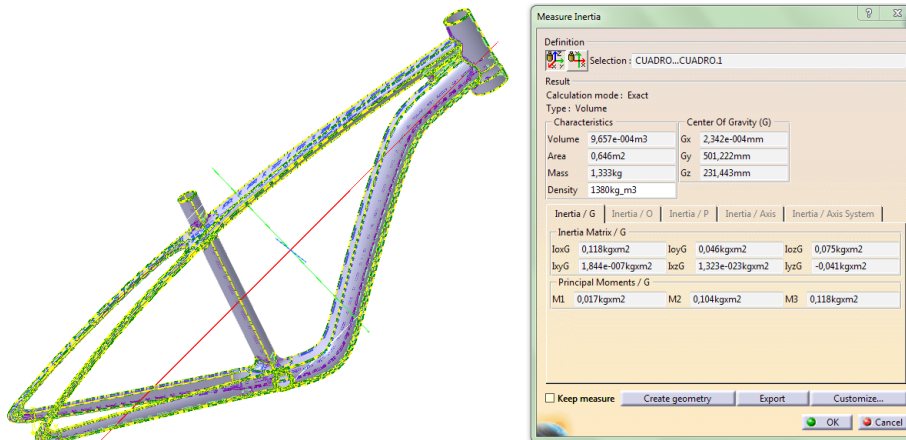


Figura 153. Peso modelo 2. Fibra de carbono

FIBRA DE CARBONO	Peso (gr)	Densidad (kg/m ³)
Modelo 1	1095	1385
Modelo 2	1333	1385

Tabla 17. Resumen de pesos. Modelos fibra de carbono

8.2- Aluminio

8.2.1- Modelo 1

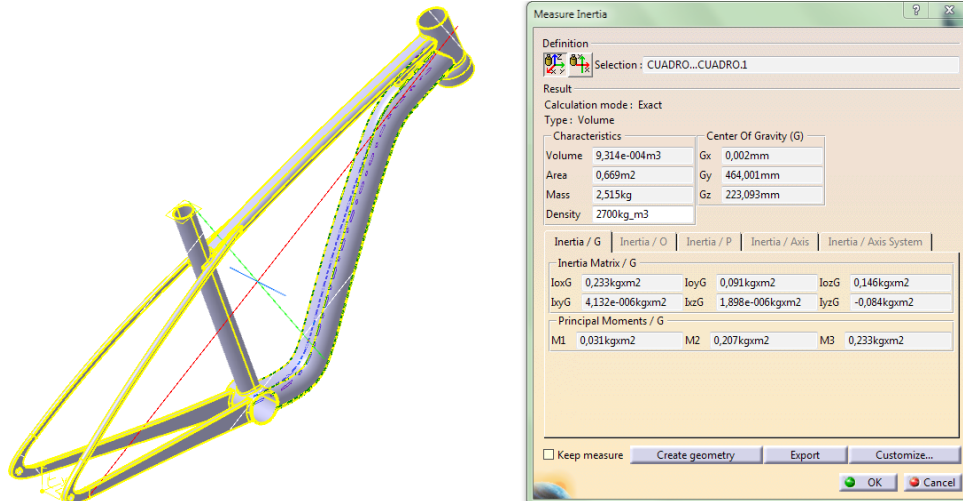


Figura 154. Peso modelo 1. Aluminio

8.2.2- Modelo 2

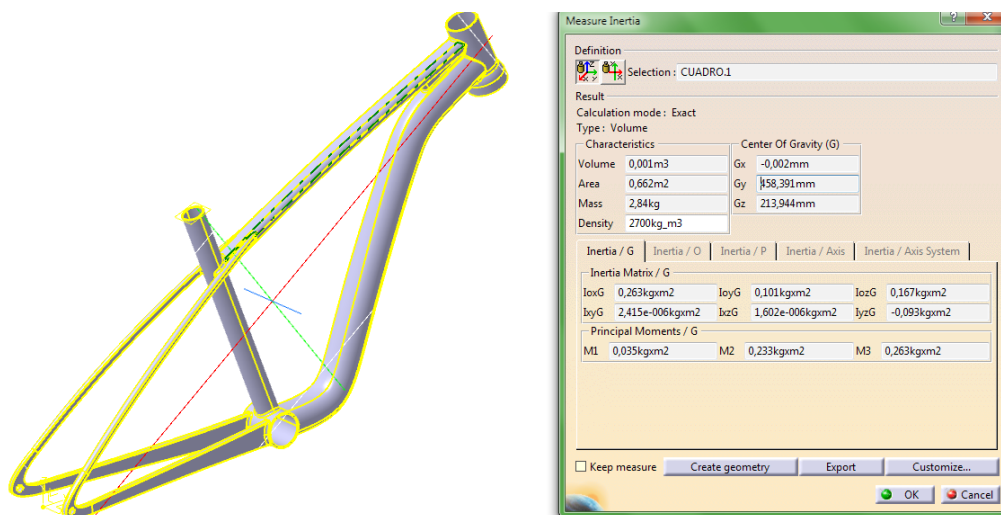


Figura 155. Peso modelo 2. Aluminio

8.2.3- Modelo 3

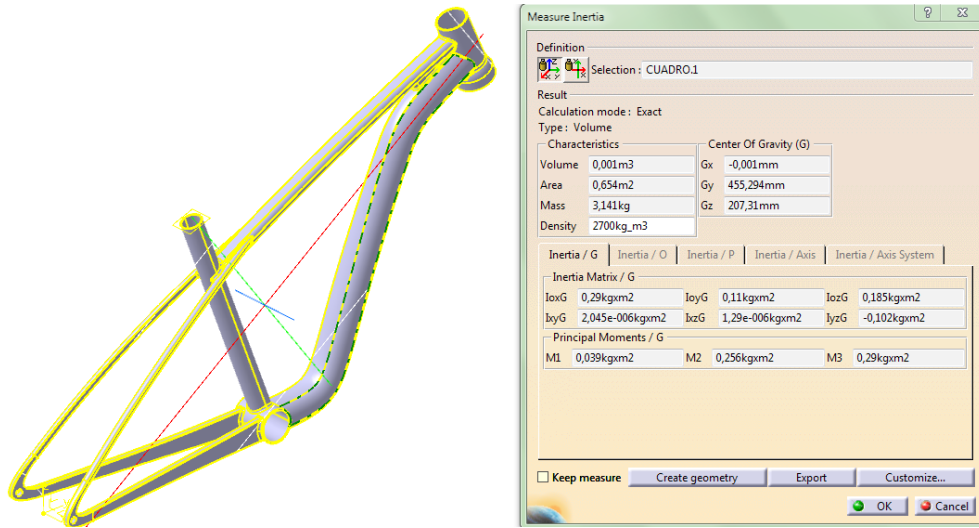


Figura 156. Peso modelo 3. Aluminio

ALUMINO	Peso	Densidad
Modelo 1	2515	2700Kg/m ³
Modelo 2	2840	2700Kg/m ³
Modelo 3	3141	2700Kg/m ³

Tabla 18. Resumen de pesos. Modelos Aluminio

8.3 Acero

8.3.1- Modelo 1

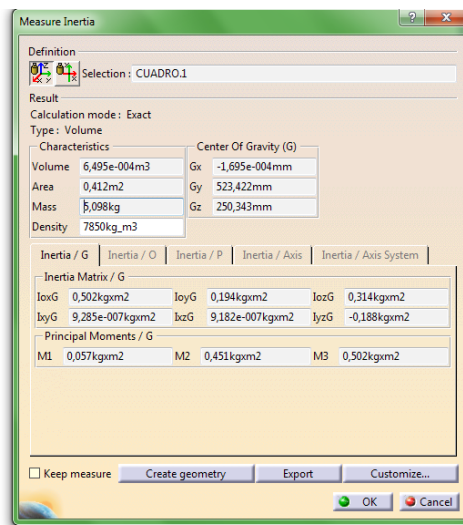
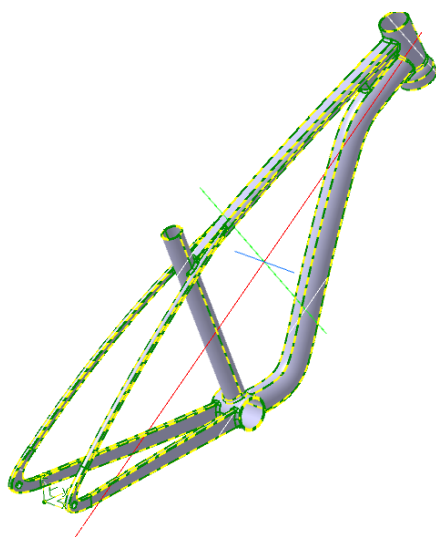


Figura 157. Peso modelo 1. Acero

8.3.2- Modelo 2

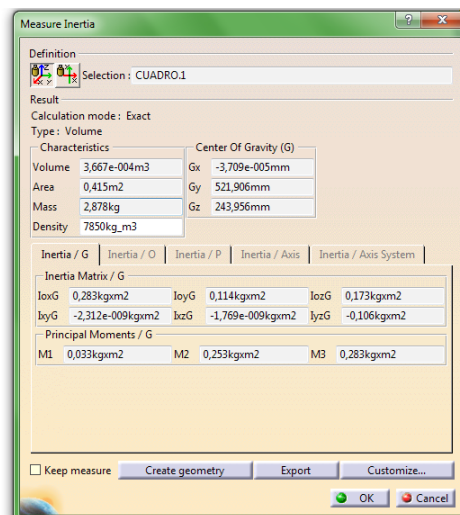
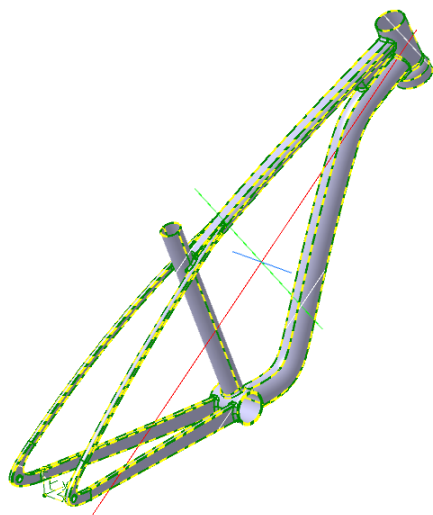


Figura 158. Peso modelo 2. Acero

8.3.3- Modelo 3

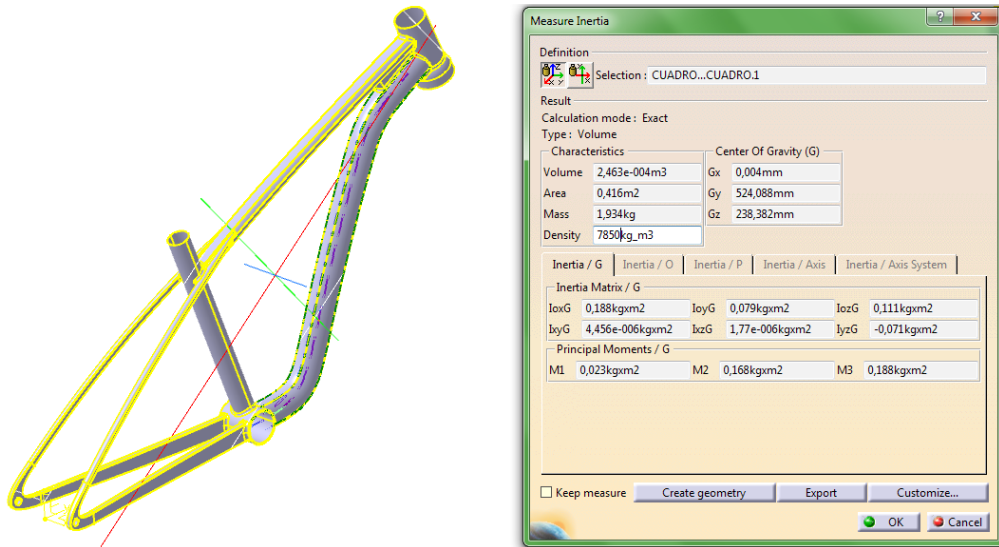


Figura 159. Peso modelo 3. Acero.

ACERO	Peso	Densidad
Modelo 1	5098	7850Kg/m ³
Modelo 2	2878	7850Kg/m ³
Modelo 3	1934	7850Kg/m ³

Tabla 19. Resumen de pesos. Modelos Acero.

8.4- Conclusiones

Resumen de los pesos de todos los cuadros

	Peso (gr)	Material	Densidad(Kg/m ³)	Espesor(mm)
Modelo 1	5098	Acero	7850	2 cte.
Modelo 2	2878	Acero	7850	1cte.
Modelo 3	1934	Acero	7850	0,6 cte.
Modelo 1	2515	Aluminio	2700	2 cte.
Modelo 2	2840	Aluminio	2700	2; 2.5
Modelo 3	3141	Aluminio	2700	2; 3
Modelo 1	1095	Fibra de carbono	1385	2,5 cte.
Modelo 2	1333	Fibra de carbono	1385	3cte

Tabla 20. Peso de todos los modelos.

En esta tabla aparecen todos los pesos de los modelos planteados. Vemos que el cuadro de aluminio es el más pesado de los tres con un peso de 2515gr. El cuadro de acero pesa 1934gr, que son 581gr menos. El cuadro de fibra de carbono rebaja ambos pesos, situándose con 1333gr. Podemos afirmar por lo tanto que se ha conseguido uno de los objetivos de este trabajo de fin de grado, que era optimizar el diseño de acero para que pesara menos que el de aluminio, eso sí, sin que estos perdieran la carga visual que aporta el cuadro de fibra de carbono.



9- PROTOTIPADO

Debido a la realización de las practicas en empresa en la Fabrica de Inventos S.L. tuve acceso a una máquina de prototipado 3D.

Esta máquina era una impresora 3D de plástico PLA. Se ha conseguido realizar un prototipo a escala 1:20.

Se ha realizado el prototipo del diseño principal, el cual luego se ha adaptado a los diferentes materiales y a sus técnicas de fabricación.

Para la realización de este prototipo se han tenido que realizar modificaciones en el diseño de la bicicleta, dado que al hacerse a escala 1:20 (la máxima que admite la máquina para el tamaño del cuadro) ciertas partes podían quedar mal realizadas o no llegar a aportar un mínimo de consistencia.

El cuadro, como se ha visto en el apartado de detalles de la geometría, es hueco por dentro. Para prototipado se hizo macizo, consiguiendo así que aportara más resistencia y mejores condiciones de impresión 3D.

Como valores a tener en cuenta a la hora de la configuración del prototipo nos encontramos con, temperatura de extrusión, densidad de extrusión, colocación de soportes, altura de capa, velocidad de impresión...

Todos estos valores pueden llegar a ser más o menos estándar, variando en pocas décimas la elección de uno u otro.

El aspecto más importante a tener en cuenta es la dirección de impresión. Para elegir dirección de impresión correcta hay que conocer bien la limitación de la máquina y el estado de todos sus componentes. El contacto previo con la impresora, fue casi nulo, por lo cual se eligió una primera dirección de impresión basada en supuestos. Teniendo en cuenta los tamaños de las geometrías se procedió a intentar sacar el cuadro de una sola vez.



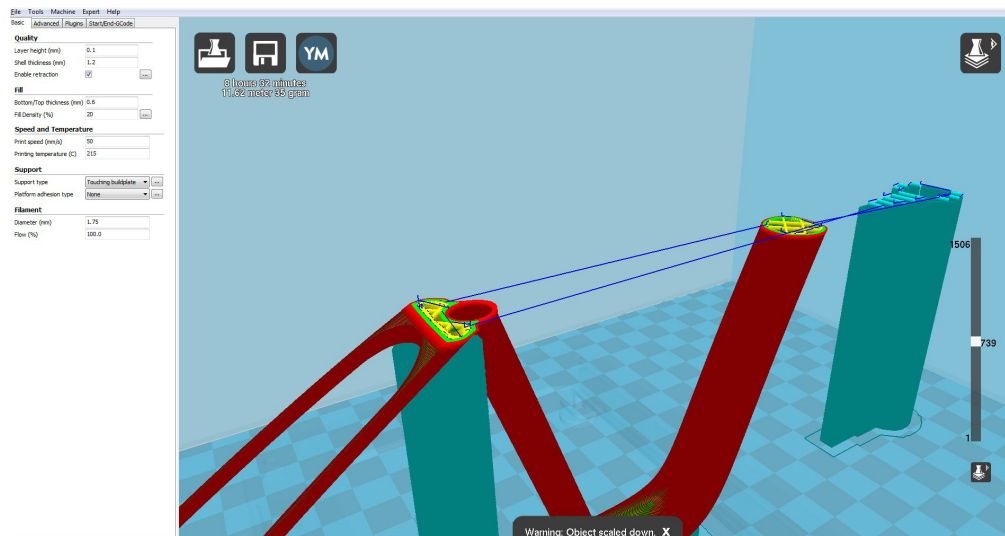


Figura 160. Disposición del cuadro para impresión 3D

En la figura anterior se distinguen tres colores principales, el rojo, el azul y el amarillo.

El color rojo es el color que se le da al cuadro de la bicicleta.

El color amarillo es la rejilla que crea automáticamente el programa para hacer maciza la pieza.

El color azul es el destinado a los refuerzos. La impresión se produce por capas, por lo tanto, nos encontramos con puntos que no tienen apoyo ninguno y por lo tanto la extrusión no tiene donde sostenerse. Estos refuerzos no tienen fuerza, dado que su densidad de impresión o es significativa.

La primera impresión se realizó como se ha mostrado en la anterior figura, con la zona del pedalier haciendo contacto con el suelo. Esta dirección de impresión dio fallos al ser una de las zonas demasiado fina. A continuación se muestran algunas imágenes del proceso de prototipado en esta dirección.

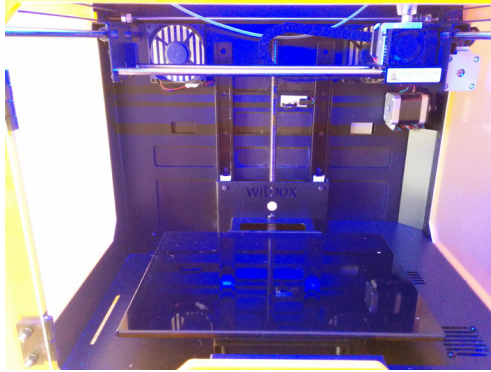


Figura 161. Imagen prototipo 1

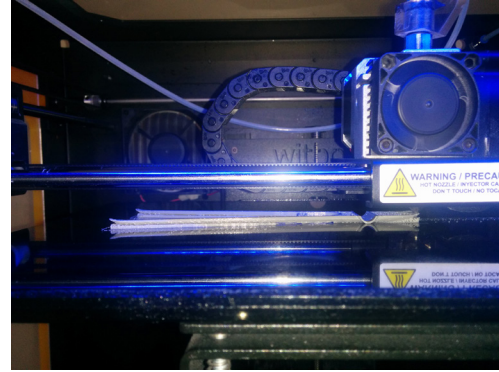


Figura 162. Imagen prototipo 2

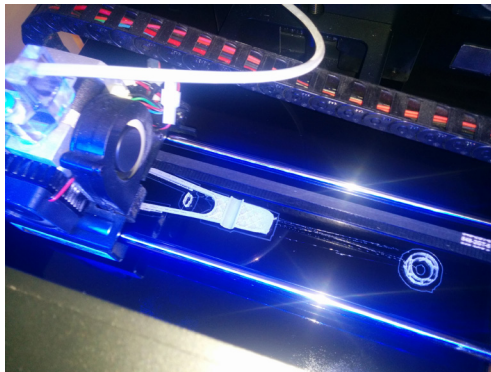


Figura 163. Imagen prototipo 3

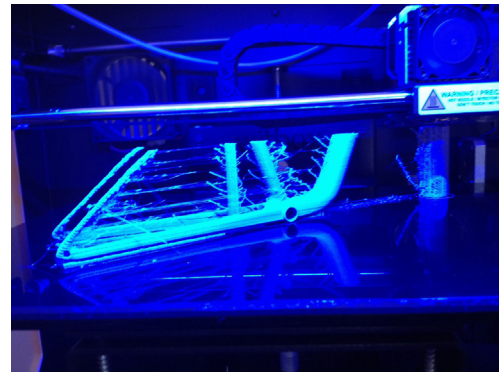


Figura 164. Imagen prototipo 4



Como se ha mencionado antes, esta dirección de impresión dio fallo, por lo tanto se decidió cambiar la misma.

La nueva manera de impresión conlleva la realización del prototipo de dos mitades. Se procedió pues a modificar el 3D para dividir el modelo en 2 partes simétricas.

Esta manera de impresión no solo no ha dado fallo, si no que ha proporcionado un mejor acabado al prototipo.

Como punto negativo a la la realización del prototipo de esta manera encontramos la necesidad de unir ambas partes mediante un adhesivo.

La finalidad de un prototipo no es aguantar cargas de trabajo, si no de mostrar como queda un diseño y así obtener una idea más directa de parámetros a modificar. Por lo tanto, el que tenga que unirse mediante un adhesivo, no aporta en ningún momento problema alguno.

En las imágenes que se muestran a continuación podemos ver la nueva disposición de inyección del plástico.

Una vez unidas las dos partes del prototipo hay que tratar su superficie para conseguir aportarle un acabado en el que no se note la rugosidad aportada por las capas.

A continuación se muestran algunas imágenes del prototipo final y de su proceso de montaje:

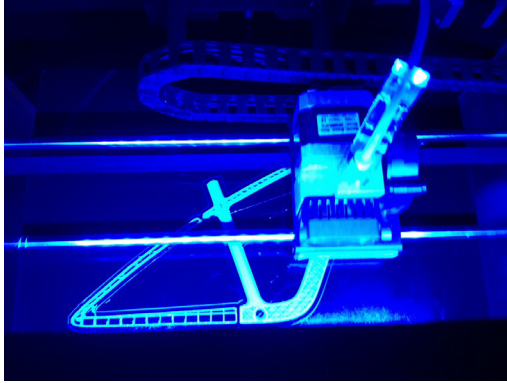


Figura 165. Imagen prototipo 5

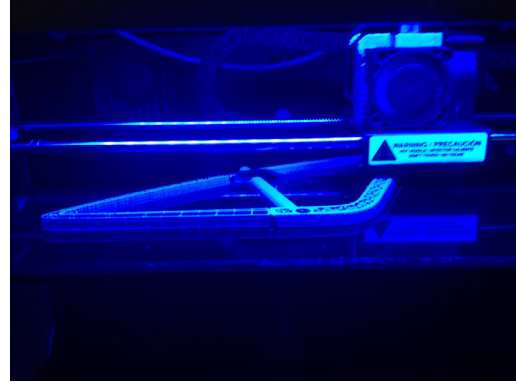


Figura 166. Imagen prototipo 6

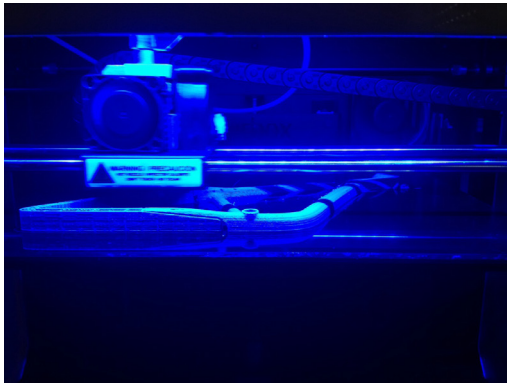


Figura 167. Imagen prototipo 7



Figura 168. Imagen prototipo 8

En las siguientes imágenes se ve el cuadro de fibra de carbono realizado mediante inyección de plástico PLA unido y la superficie tratada para eliminar la mayor parte de la rugosidad aportada por las capas de trabajo que se crean para construir el prototipo.



Figura 169. Imagen prototipo 9



Figura 170. Imagen prototipo 10



10- CONCLUSIONES

Tras todo el trabajo realizado en el presente Trabajo de Fin de Grado llego a las siguientes conclusiones:

Los modelos de los cuadros realizados se han comportado en todo momento acorde a lo esperado a la hora de ser sometidos a los análisis de elementos finitos, dando las máximas tensiones y desplazamientos en las zonas en las que se esperaba que aparecieran.

El objetivo fundamental, que era demostrar que el acero sigue siendo una alternativa más que viable en el diseño de cuadros de bicicleta, se ha conseguido.

Tras la realización de las optimizaciones en todos los cuadros y la obtención de los pesos se ha demostrado que las propiedades del acero hacen que el cuadro pese menos que el de aluminio. Incluso se puede ver que el cuadro de acero, no estando optimizado al máximo, puede ofrecer ya dudas sobre la elección del material, al ser solo 300 gramos más pesado que el de aluminio (totalmente optimizado).

Observamos que la fibra de carbono está muy lejos (para la fabricación de bicicletas) de materiales como el aluminio o el acero, por muy técnicos que estos puedan llegar a ser.

Uno de los aspectos más importantes en este TFG, es la selección de los materiales, dado que basamos todos los resultados y las conclusiones particulares en las propiedades de los mismos. Llegar a la conclusión de que material utilizar ha sido interesante, al igual que la interpretación de los resultados en cada caso particular.

Nunca había trabajado con un material anisótropo, por lo cual tener la necesidad de investigar y trabajar con él ha hecho que se comprenda mucho mejor el comportamiento de los materiales. La necesidad de entender que materiales como la fibra de carbono son tan diferentes a materiales como acero y aluminio ha hecho que mi interés por los materiales crezca.

Durante la carrera he trabajado directamente con materiales isótropos como el acero y aluminio en la realización de análisis de elementos finitos con el programa Autodesk Inventor 2014, pero no con materiales anisótropos.

Considero que la realización de este Trabajo de Fin de Grado me ha aportado mucho, tanto por afianzar los conocimientos relativos a comportamiento de materiales, diseño asistido por ordenador, realización de análisis de elementos finitos... como por generar la curiosidad y la necesidad de querer saber más de cada uno de estos aspectos, sobre todo en lo relativo a los materiales anisótropos.







11- BIBLIOGRAFIA

La presente bibliografía se ha redactado conforme la norma ISO 690:

1- I. Zabalza, J. Ros, J.J. Gil, J.M. Pintor, y J.M. Jiménez. Bicicleta con pedales de movimiento rectilíneo. Departamento de ingeniería mecánica, energética y de materiales. Universidad pública de Navarra.

2- Jhonny f. Obando. Tratamientos térmicos para aluminios. [Revista digital]. www.metalactual.com [acceso 05 de mayo 2015]

3- Gesé Bordils, Francisco Javier. Estudio mediante elementos finitos de los esfuerzos producidos en una biela de bicicleta. Trabajo fin de grado. Calvo Ramos, José Antonio (tutor). Universidad Carlos iii de Madrid. Escuela politécnica superior. Departamento de ingeniería mecánica. Enero 2013.

4- Aluminio. [Entrada en Wikipedia]. [Acceso 5 de mayo 2015]. <https://es.wikipedia.org/wiki/aluminio>

5- Fibra de carbono. [Entrada en Wikipedia]. [Acceso 6 de mayo 2015]. https://es.wikipedia.org/wiki/fibra_de_carbono

6- <http://cartech.ides.com/datasheet.aspx?i=101&> [acceso 6 de mayo 2015]

7- Metallurgy for cyclists [entrada en página web]. [En ibiscycles]. [Acceso 27 de abril 2015]. http://www.ibiscycles.com/support/technical_articles/metallurgy_for_cyclists/

8- Ricardo A. Navarro, Urs Heierli, Victor Beek. Las bases científicas de la bicicleta. La bicicleta y los triciclos. St gallen 1985.

9- Forrest Dwyer, Adrian Shaw, Richard Tombarelli. Material and design optimization for an aluminum bike frame. Mayor proyect. Professor Diana A. Lados. Worcester polytechnic institute. April 26th, 2012

10- http://www.toray.com/products/carbon/car_002.html [28 de mayo 2015]

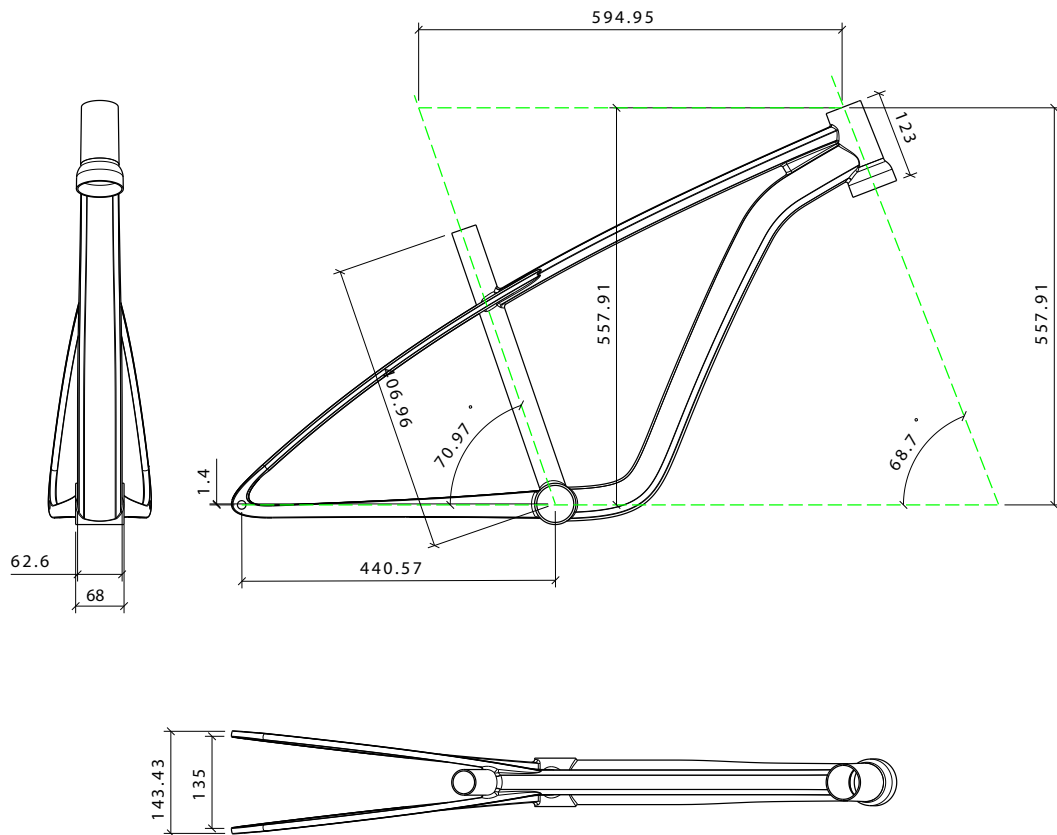
11- International Organization for Standarization. ISO 690.



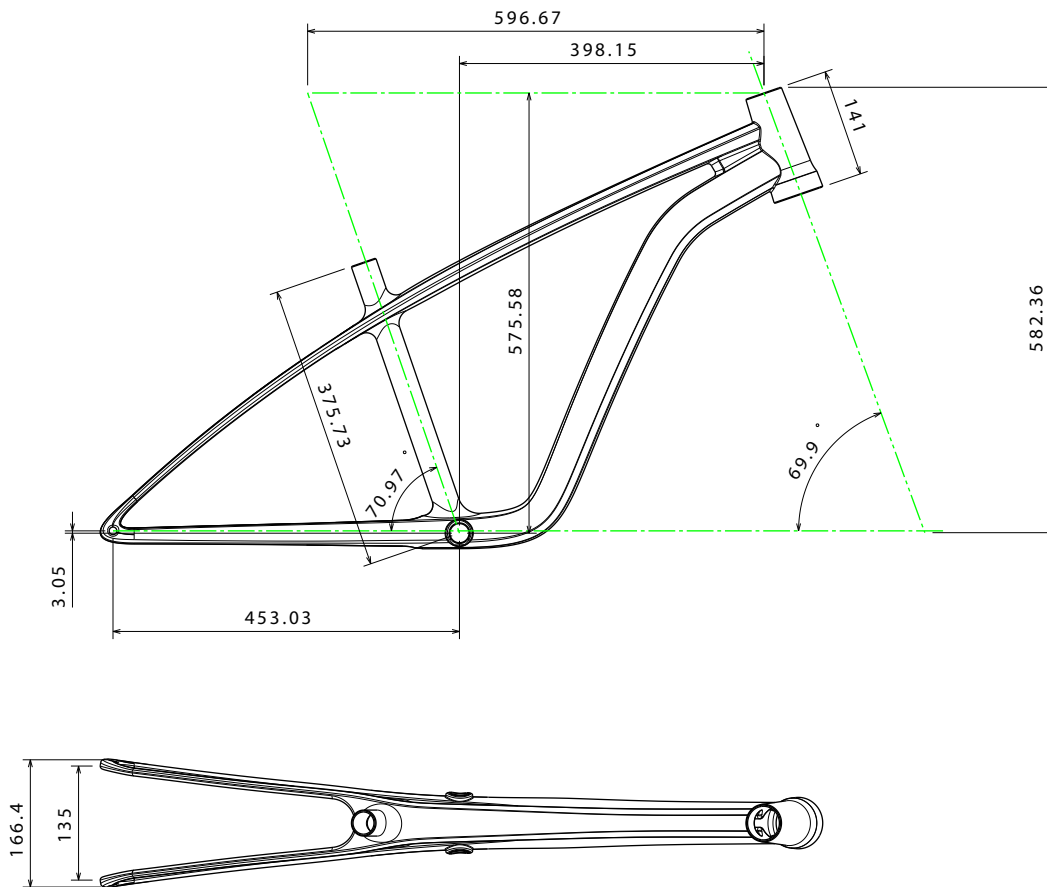


12- ANEXOS: MEDIDAS GENERALES

ALUMINIO



FIBRA DE CARBONO





ACERO

