

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



**UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA**

CAMPUS D'ALCOI

TRABAJO FIN DE GRADO

**“Diseño y análisis de un alerón trasero para un vehículo de
competición utilizando material compuesto con fibras naturales”**

Autor:

D. Derek Sola Miralles

Dirigido por:

Dr. Octavio Fenollar Gimeno

Julio 2019

RESUMEN

“Diseño y análisis de un alerón trasero para un vehículo de competición utilizando material compuesto con fibras naturales”

El presente trabajo de final de grado va a consistir en el diseño y su posterior análisis de un alerón trasero de un vehículo destinado a competición, consiguiendo a su vez, una mejora aerodinámica. Para ello, mediante el software SolidWorks se realizará el diseño del alerón trasero y posteriormente se ejecutarán estudios aerodinámicos para observar la forma en la que se comporta el objeto de estudio.

Por otra parte, también se realizará un estudio de materiales compuestos de fibras naturales y se escogerá el más adecuado, puesto que el material elegido será utilizado para la fabricación de dicho alerón, de manera que se añada el mínimo peso adicional al vehículo y cumpla con las necesidades requeridas. Para ello, mediante los software eLamX y SolidWorks, se obtendrán las propiedades de los materiales y se realizarán estudios resistentes para comprobar que el alerón trasero resiste las tensiones ocasionadas y se deforme lo menos posible.

SUMMARY

“Design and analysis of a rear spoiler for a racing vehicle using composite materials with natural fibers”

This end-of-grade work will consist of the design and subsequent analysis of a rear spoiler of a vehicle intended for competition, getting in turn an aerodynamic improvement. To do this, the SolidWorks software will design the rear spoiler and then aerodynamic studies will be carried out to observe how it behaves the object of study.

On the other hand, a study of materials composed of natural fibers will also be carried out and the most suitable, since the chosen material will be used for the manufacture of said spoiler, so that the minimum additional weight is added to the vehicle and meets the required needs. To do this, using the eLamX and SolidWorks software, the properties of the materials will be obtained and robust studies will be carried out to check that the rear spoiler resists the stress caused and deforms as little as possible.

RESUM

“Disseny i anàlisi d’un aleró posterior per a un vehicle de competició utilitzant material compost amb fibres naturals”

El present treball de final de grau consistirà en el disseny i el seu posterior anàlisi d’un aleró posterior d’un vehicle destinat a competició, aconseguint a la volta, una millora aerodinàmica. Per a això, per mitjà del software Solidworks es realitzarà el disseny de l’aleró posterior i posteriorment s’executaran estudis aerodinàmics per observar la forma en la que es comporta l’objecte d’estudi.

D’altra banda, també es realitzarà un estudi de materials compostos de fibres naturals i es triarà el més adequat, ja que el material escollit serà utilitzat per a la fabricació d’aquest aleró, de manera que s’afija el mínim pes adicional al vehicle i complisca amb les necessitats requerides. Per a això, per mitjà dels softwares eLamX i SolidWorks, s’obtidran les propietats del materials i es realitzaran estudis resistents per comprobar que l’aleró posterior resistix les tensions ocasionades i es deforme el mínim possible.

Tabla de Contenidos

RESUMEN	3
SUMMARY	5
RESUM.....	7
ABREVIATURAS.....	15
LISTADO DE ILUSTRACIONES.....	17
LISTADO DE TABLAS.....	26
I. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	28
II. HISTORIA DE LA AERODINÁMICA.....	32
III. INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA.....	49
III.1. Teorema de Bernoulli	52
III.2. Efecto Venturi	53
III.3. 3ª Ley de Newton	54
III.4. Perfil Aerodinámico.....	54
III.5. Capa límite.....	56
III.6. Número de Reynolds	58
III.7. Carga aerodinámica " $C_z - C_L$ ".....	59
III.8. Resistencia aerodinámica " $C_x - C_D$ "	62
III.9. Eficiencia aerodinámica	66
IV. ALERONES	68
IV.1. Términos y definiciones.....	70
IV.2. Tipos de alerones.....	73

IV.2.1. Alerón de un solo elemento	74
IV.2.2. Alerón de dos elementos	76
IV.2.3. Alerones de varios elementos.....	80
IV.2.4. Alerones múltiples	85
IV.3. Elementos secundarios: derivas laterales y perfiles Gurney	87
IV.4. Ambiente de trabajo	90
IV.5. Efecto Suelo y alerones delanteros.....	91

V. DISEÑO DEL ALERÓN MEDIANTE SOFTWARE

CAD.....95

V.1. Elección del software.....	97
V.2. Modelado de las partes del alerón	97
V.2.1. Derivas laterales.....	98
V.2.2. Perfil alar.....	101
V.2.3. Soporte del alerón.....	106
V.2.4. Alojamiento de los agujeros	108
V.3. Ensamblado del alerón.....	111
V.4. Normativa	116

VI. ESTUDIO AERODINÁMICO.....118

VI.1. Procedimiento	120
VI.2. Vehículo sin alerón	129
VI.2.1. 60 Km/h.....	129
VI.2.2. 80 Km/h.....	130
VI.2.3. 100 Km/h.....	131
VI.2.4. 150 Km/h.....	132

VI.2.5. 200 Km/h.....	133
VI.2.6. 250 Km/h.....	134
VI.2.7. 300 Km/h.....	135
VI.3. Vehículo con alerón	136
VI.3.1. 60 Km/h.....	136
VI.3.2. 80 Km/h.....	137
VI.3.3. 100 Km/h.....	138
VI.3.4. 150 Km/h.....	139
VI.3.5. 200 Km/h.....	140
VI.3.6. 250 Km/h.....	141
VI.3.7. 300 Km/h.....	142
VI.4. Resultados	143
VII. MATERIALES	147
VII.1. Materiales Compuestos	149
VII.1.1. Componentes de un material compuesto.....	150
VII.1.1.1. Matriz plástica.....	150
VII.1.1.2. Elementos de refuerzo	150
VII.2. Estudio de materiales	152
VII.2.1. Bambú.....	153
VII.2.2. Cáñamo.....	154
VII.2.3. Yute	154
VII.2.4. Lino	155
VII.3. Primera elección del material	156
VIII. ANÁLISIS RESISTENTE	158
VIII.1. Procedimiento	160

VIII.2. Resultados.....	172
VIII.3. Conclusiones	174
VIII.4. Elección definitiva del material.....	174
VIII.5. Elección de sujeciones	174
IX. PROCESOS DE FABRICACIÓN.....	177
IX.1. Tipos de procesos de fabricación.....	179
IX.1.1. Procesos de molde abierto.....	179
IX.1.1.1. Moldeo por contacto manual (<i>Hand lay-up</i>).....	179
IX.1.1.2. Moldeo por vacío	180
IX.1.1.3. Autoclave	181
IX.1.1.4. Moldeo por infusión	182
IX.1.1.5. Moldeo por proyección	183
IX.1.1.6. Moldeo por bobinado (<i>Filamentwinding</i>).....	183
IX.1.1.7. Moldeo por centrifugación	184
IX.1.2. Procesos de molde cerrado.....	184
IX.1.2.1. Pultrusión	184
IX.1.2.2. Moldeo de prensado en frío.....	185
IX.1.2.3. Moldeo por compresión en caliente	186
IX.1.2.4. Moldeo por inyección (<i>Resing Transfer Molding</i>)	186
IX.1.2.5. Moldeo por inyección al vacío (<i>Vaccum Assited Resine Transfer Molding</i>) ..	187
IX.1.2.6. Moldeo por vejiga.....	187
IX.2. Elección de procesos de fabricación	188
IX.2.1. Derivas laterales.....	188
IX.2.2. Perfil del alerón.....	189
IX.2.3. Soportes.....	189
IX.2.4. Alojamiento de los agujeros	189

X. PRESUPUESTO	192
X.1. Coste de diseño	194
X.2. Coste del material	194
X.3. Coste de fabricación.....	196
XI. CONCLUSIONES.....	208
XII. BIBLIOGRAFÍA	213
XII.1. Bibliografía.....	215
XIII. ANEXOS	221

ABREVIATURAS

C_x-C_D	Coeficiente aerodinámico
C_z-C_L	Coeficiente de sustentación
F_x	Fuerza de resistencia al avance
F_z	Fuerza de sustentación
S	Área frontal del vehículo
M	Mach
P	Presión
g	Gravedad
v	Velocidad
Re	Reynolds
BA	Borde de ataque
BF	Borde de fuga
N	Newtons
m_v	Masa del vehículo
MMC	Matriz metálica
CMC	Matriz cerámica
PMC	Matriz polimérica

LISTADO DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Porsche 550 Spyder de Michael May	35
Ilustración 2. Ferrari 300 P3/4.....	36
Ilustración 3. Chaparral 2F.....	37
Ilustración 4. Chaparral 2E.....	38
Ilustración 5. Lotus 78.....	39
Ilustración 6. Chaparral 2J "Aspiradora".....	39
Ilustración 7. Lotus 79.....	40
Ilustración 8. Williams FW07.....	41
Ilustración 9. Ralt RT2.....	41
Ilustración 10. Jaguar XJR 12.....	43
Ilustración 11. Fondo escalonado del Fórmula 1 Ferrari F310	44
Ilustración 12. McLaren F1 GTR.....	45
Ilustración 13. Volvo S40 Super Turismo	45
Ilustración 14. Principio de Bernoulli	53
Ilustración 15. Tubo Venturi	53
Ilustración 16. 3ª Ley de Newton "Acción-Reacción"	54
Ilustración 17. Cómo crea carga aerodinámica un ala	55
Ilustración 18. Fuerzas creadas por un ala.....	56
Ilustración 19. Transición de una capa límite laminar a turbulenta a lo largo de un ala.....	57
Ilustración 20. Transición de una capa límite laminar a turbulenta a lo largo de un ala con cierto ángulo	58
Ilustración 21. Sustentación contra ángulo de ataque.....	61
Ilustración 22. Sustentación positiva y negativa de un ala.....	62

Ilustración 23. Variación del coeficiente aerodinámico en diferentes disposiciones de un vehículo.....	64
Ilustración 24. Diagrama de curvas de resistencia	65
Ilustración 25. Terminología de un alerón.....	70
Ilustración 26. Distribución generalizada de la presión alrededor de un ala	71
Ilustración 27. Efecto de la relación de aspecto en la sustentación	72
Ilustración 28. Un ala en pérdida	73
Ilustración 29. Alerón de un solo elemento	76
Ilustración 30. Alerón de dos elementos con una configuración de "flap externo"	77
Ilustración 31. Alerón de dos elementos con una configuración de "flap de ranura" o "flap Fowler"	79
Ilustración 32. Curva de sustentación de un alerón de dos elementos.....	80
Ilustración 33. Alerón de tres elementos	81
Ilustración 34. Alerón de tres elementos de un Gould-Ralt GR37	81
Ilustración 35. Curva de sustentación de un alerón de tres elementos.....	83
Ilustración 36. Alerón de la CART de 1997.....	83
Ilustración 37. Alerón de tres elementos con una aleta en su borde de ataque.....	84
Ilustración 38. Curva de sustentación de un alerón con aleta.....	85
Ilustración 39. Alerón delantero con flap y lámina en el borde de ataque.....	85
Ilustración 40. Alerón de doble plano de un Benetton B197	86
Ilustración 41. Efecto de las derivas.....	88
Ilustración 42. Derivas laterales en el alerón trasero de un Ferrari 310B	89
Ilustración 43. Derivas laterales en el alerón trasero de un Arrows A18	89
Ilustración 44. Complejo alerón trasero de un Renault Laguna Super Turismo	90
Ilustración 45. Vista frontal de un alerón delantero complejo	92

Ilustración 46. Logo del software SolidWorks	97
Ilustración 47. Croquis de la deriva lateral.....	98
Ilustración 48. Operación de "Extrusión" de la deriva lateral	98
Ilustración 49. Operación de "Redondeo" de la deriva lateral	99
Ilustración 50. Operación de "Redondeo" de la deriva lateral	99
Ilustración 51. Realización de agujero en la deriva lateral	100
Ilustración 52. Agujero finalizado en la deriva lateral	100
Ilustración 53. Introducción de los parámetros de la curva en SolidWorks	101
Ilustración 54. Operación de "Extrusión" de la curva	101
Ilustración 55. Operación de "Extrusión" finalizada	102
Ilustración 56. Realización de agujeros en el perfil.....	102
Ilustración 57. Agujeros en el perfil terminados	103
Ilustración 58. Croquis para realizar el vaciado de la pieza.....	103
Ilustración 59. Operación de "Extruir-Corte" para vaciado de la pieza.....	104
Ilustración 60. Vista de sección del perfil.....	104
Ilustración 61. Vista de sección del perfil.....	104
Ilustración 62. Realización de agujeros en el perfil.....	105
Ilustración 63. Croquis del soporte del alerón	106
Ilustración 64. Croquis del soporte del alerón	107
Ilustración 65. Operación de "Extrusión" en el soporte del alerón.....	107
Ilustración 66. Soporte del alerón terminado	108
Ilustración 67. Croquis y "Extrusión" de la pieza.....	109
Ilustración 68. Alojamiento de los agujeros terminados	109
Ilustración 69. Montaje del soporte del alerón con los alojamientos de los agujeros ...	110

Ilustración 70. Montaje del soporte del alerón con los alojamientos de los agujeros ...	110
Ilustración 71. Relaciones de posición del alerón	111
Ilustración 72. Ensamblaje de la deriva lateral con el perfil mediante tornillo	112
Ilustración 73. Ensamblaje del perfil con las derivas laterales terminado.....	112
Ilustración 74. Ensamblaje de los soportes con el perfil mediante tornillos	113
Ilustración 75. Ensamblaje de los soportes con el perfil mediante tornillos	113
Ilustración 76. Realización de agujeros en la parte trasera del vehículo	114
Ilustración 77. Ensamblaje del alerón trasero completo en el vehículo mediante tornillos	115
Ilustración 78. Ensamblaje del alerón trasero completo en el vehículo mediante tornillos	115
Ilustración 79. Complemento "Flow Simulation"	120
Ilustración 80. Selección de la opción "Wizard"	120
Ilustración 81. Selección del nombre del proyecto	121
Ilustración 82. Selección de unidades.....	121
Ilustración 83. Selección del tipo de simulación	122
Ilustración 84. Selección del tipo de fluido de la simulación	122
Ilustración 85. Selección del eje de coordenadas.....	123
Ilustración 86. Selección de la opción "Computational Domain"	123
Ilustración 87. Ajuste del volumen de control	124
Ilustración 88. Selección de la opción "Global Mesh".....	124
Ilustración 89. Selección del nivel de precisión de la simulación.....	125
Ilustración 90. Selección de la opción "Goals"	125
Ilustración 91. Selección de la opción "Run"	126
Ilustración 92. Selección del botón "Run" para inicio de la simulación.....	126

Ilustración 93. Anuncio de simulación finalizada	126
Ilustración 94. Selección de la opción "Results"	127
Ilustración 95. Selección de la opción "Insert"	127
Ilustración 96. Selección de las caras del objeto a estudiar.....	128
Ilustración 97. Líneas de flujo a través del vehículo.....	128
Ilustración 98. Fluido a 60 km/h.....	129
Ilustración 99. Fluido a 60 km/h.....	130
Ilustración 100. Fluido a 80 km/h.....	130
Ilustración 101. Fluido a 80 km/h.....	131
Ilustración 102. Fluido a 100 km/h.....	131
Ilustración 103. Fluido a 100 km/h.....	132
Ilustración 104. Fluido a 150 km/h.....	132
Ilustración 105. Fluido a 150 km/h.....	133
Ilustración 106. Fluido a 200 km/h.....	133
Ilustración 107. Fluido a 200 km/h.....	134
Ilustración 108. Fluido a 250 km/h.....	134
Ilustración 109. Fluido a 250 km/h.....	135
Ilustración 110. Fluido a 300 km/h.....	135
Ilustración 111. Fluido a 300 km/h.....	136
Ilustración 112. Fluido a 60 km/h.....	136
Ilustración 113. Fluido a 60 km/h.....	137
Ilustración 114. Fluido a 80 km/h.....	137
Ilustración 115. Fluido a 80 km/h.....	138
Ilustración 116. Fluido a 100 km/h.....	138

Ilustración 117. Fluido a 100 km/h.....	139
Ilustración 118. Fluido a 150 km/h.....	139
Ilustración 119. Fluido a 150 km/h.....	140
Ilustración 120. Fluido a 200 km/h.....	140
Ilustración 121. Fluido a 200 km/h.....	141
Ilustración 122. Fluido a 250 km/h.....	141
Ilustración 123. Fluido a 250 km/h.....	142
Ilustración 124. Fluido a 300 km/h.....	142
Ilustración 125. Fluido a 300 km/h.....	143
Ilustración 126. Refuerzo de partículas	151
Ilustración 127. Refuerzo en fibras.....	151
Ilustración 128. Refuerzos estructurales.....	152
Ilustración 129. Precio y propiedades físicas del bambú	153
Ilustración 130. Propiedades mecánicas del bambú.....	153
Ilustración 131. Precio y propiedades físicas del cáñamo.....	154
Ilustración 132. Propiedades mecánicas del cáñamo	154
Ilustración 133. Precio y propiedades físicas del yute	154
Ilustración 134. Propiedades mecánicas del yute	155
Ilustración 135. Propiedades mecánicas del lino	155
Ilustración 136. Precio y propiedades físicas del lino.....	155
Ilustración 137. Complemento "Simulation"	160
Ilustración 138. Selección del análisis.....	161
Ilustración 139. Selección de la opción "Definir por caras seleccionadas"	161
Ilustración 140. Definición de elementos SHELL.....	162

Ilustración 141. Selección de caras	162
Ilustración 142. Selección de caras	163
Ilustración 143. Selección de caras	163
Ilustración 144. Selección de la opción "Equidistancia"	164
Ilustración 145. Selección del número de pliegues y ángulos de posición.....	164
Ilustración 146. Selección de la opción "Todos los pliegues tienen el mismo material"165	
Ilustración 147. Introducción de parámetros de la fibra de bambú	166
Ilustración 148. Introducción de parámetros de la resina epoxi.....	167
Ilustración 149. Introducción de parámetros de la fibra de bambú con resina epoxi...	168
Ilustración 150. Selección de la opción "Geometría fija"	168
Ilustración 151. Selección de caras para fijar el alerón	169
Ilustración 152. Selección de la opción "Fuerza"	169
Ilustración 153. Selección de caras e introducción del valor de la fuerza	170
Ilustración 154. Selección de la opción "Crear malla"	170
Ilustración 155. Creación de malla	171
Ilustración 156. Selección de la opción "Ejecutar estudio"	171
Ilustración 157. Tensiones del alerón trasero	172
Ilustración 158. Deformaciones del alerón trasero	173
Ilustración 159. Deformaciones del alerón trasero	173
Ilustración 160. Tornillo DIN 7991 ISO 10642	174
Ilustración 161. Tornillo DIN 912 ISO 4762	175
Ilustración 162. Moldeo por contacto manual.....	180
Ilustración 163. Moldeo por vacío.....	181
Ilustración 164. Moldeo por autoclave	181

Ilustración 165. Moldeo por infusión.....	182
Ilustración 166. Moldeo por proyección.....	183
Ilustración 167. Moldeo por bobinado	184
Ilustración 168. Moldeo por pultrusión	185
Ilustración 169. Moldeo por prensado en frío	185
Ilustración 170. Moldeo por compresión en caliente.....	186
Ilustración 171. Moldeo por inyección	186
Ilustración 172. Moldeo por inyección al vacío.....	187
Ilustración 173. Precio de la fibra de bambú	195
Ilustración 174. Precio de la resina epoxi	196
Ilustración 175. Coste de los rodillos para laminar la fibra.....	201
Ilustración 176. Coste de la bomba de vacío.....	201
Ilustración 177. Coste de la sierra de calar.....	202
Ilustración 178. Coste del taladro.....	202
Ilustración 179. Coste del rollo del papel de lija	203
Ilustración 180. Coste del rollo de bolsas de vacío	203
Ilustración 181. Coste del Gelcoat	203
Ilustración 182. Coste del adhesivo.....	204
Ilustración 183. Coste del desmoldeante.....	204
Ilustración 184. Coste del tornillo Allen DIN 912.....	204
Ilustración 185. Coste del tornillo Allen DIN 7991	205
Ilustración 186. Coste llave Allen para tornillo de 6 mm	205
Ilustración 187. Coste llave Allen para tornillo de 4 mm	205

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Resistencia al avance.....	144
Tabla 2. Carga aerodinámica	144
Tabla 3. Tiempos y coste de cada pieza con su respectivo proceso de fabricación.....	198
Tabla 4. Coste de herramientas, utensilios, moldes.....	198
Tabla 5. Tiempo y coste del ensamblaje del alerón.....	199
Tabla 6. Coste total de fabricación del alerón sin contar herramientas, moldes o utensilios	199
Tabla 7. Coste total completo del alerón.....	199

I. OBJETIVOS DEL PROYECTO

OBJETIVOS DEL PROYECTO

I. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo de este trabajo final de grado es la realización del diseño de un alerón trasero para un vehículo destinado a competir. Más concretamente, este alerón se realizará con el fin de poder ser ensamblado en un vehículo de competición de la categoría WTRC, más conocida como la Copa Mundial de Turismos. Para lograrlo, se seguirán una serie de pasos que se muestran a continuación:

1. Diseño del alerón trasero mediante el software Solidworks.
2. Realización de simulaciones aerodinámicas, mediante el complemento de Solidworks, llamado Flow Simulation, para poder observar como fluye el aire sobre el vehículo y el alerón trasero.
3. Estudio y elección del material para la fabricación del alerón trasero mediante la ayuda del software CES Edupack y eLamX.
4. Realización de un análisis resistente mediante el complemento de Solidworks, llamado Simulation, para comprobar que el material seleccionado cumple con las necesidades requeridas.
5. Selección del proceso de fabricación adecuado para el alerón trasero.
6. Elaboración de planos y presupuesto.

II. HISTORIA DE LA AERODINÁMICA

**HISTORIA DE LA
AERODINÁMICA**

II. Historia de la aerodinámica

No hay, seguramente, otro aspecto de la tecnología de los coches de competición que haya tenido una influencia mayor en el rendimiento como el desarrollo de la aerodinámica. En todos los campeonatos automovilísticos del mundo, incluidos los de Fórmula 1, CART, Fórmula 3000 y Fórmula 3, el apoyo aerodinámico es el elemento más importante en el rendimiento de los vehículos. En los coches de sport y GT, al igual que en los turismos, el apoyo aerodinámico también juega un papel primordial. En los rallies, en las carreras de dragsters, en carreras de montaña, en carreras de óvalos y en una larga lista de categorías automovilísticas, el apoyo aerodinámico es un elemento crucial para mejorar prestaciones.

La aerodinámica se volvió tan importante que, en la mayoría de los campeonatos de iniciación, los diferentes organizadores se vieron obligados a modificar con regularidad el reglamento que afecta a los apéndices aerodinámicos que se permite utilizar. En algunos casos, esto ha requerido de cambios drásticos con el fin de reducir las prestaciones, ya que el aumento de la velocidad de paso por curva y la reducción de la distancia de frenado comenzaban a ser peligrosos. Pero en algunas otras categorías, unas revisiones más lógicas sugeridas por especialistas tuvieron una respuesta más acertada a este problema y, en cierto grado, se consiguió estabilizar los tiempos de vuelta.

La aerodinámica jugó (y actualmente juega también) un papel tan importante en las prestaciones de un coche, que hay categorías en las que los apéndices aerodinámicos estaban completamente prohibidos, como en la fórmula Ford o la Fórmula Vauxhall Junior. En categorías superiores, la utilización de apéndices estaba estrictamente controlada para que los pilotos aprendieran progresivamente el modo de manejarlos, explotarlos y ponerlos a punto, para que trabajaran a su favor, antes de subir de categorías donde su uso era crucial.

La aerodinámica ha recorrido un largo camino en los últimos cuarenta años. El primer intento conocido de montar un alerón en un coche de carreras se considera que lo llevó a cabo un ingeniero suizo, Michael May, en un Porsche Spyder en el año 1956. El coche tenía un alerón montado encima del cockpit, actuando a través del centro de

II. Historia de la aerodinámica

gravedad, que se podía inclinar entre -3° y $+17^\circ$. Los comisarios de Nürburgring y Monza, donde pensaba competir, no permitieron su uso, por lo que nunca llegó a correr.



Ilustración 1. Porsche 550 Spyder de Michael May

Durante la primera parte de la década de los 60, diseñadores e ingenieros intentaron conseguir una ventaja a través de la aerodinámica mediante la reducción de la resistencia al avance, dando a la carrocería una forma lo más afilada posible, o construyendo un coche más bajo con el fin de reducir su área frontal. La reducción de la resistencia permitió unas velocidades punta más altas, pero, a pesar de que esto mejoró la velocidad en las rectas, sólo se mejorarían los tiempos de vuelta si se conseguía mejorar o mantener el rendimiento en las curvas. Y en el caso de los coches de sport, por ejemplo, construir un coche más bajo y afilado podría haber producido lo contrario del apoyo aerodinámico: sustentación o un efecto ascensorial.

Es difícil decir si éste fue el caso, ya que otras áreas en las que se mejoró el rendimiento, tales como la suspensión o la mejora de neumáticos, contribuían a alcanzar mayores velocidades de paso por curva, reduciendo así el efecto causado por la sustentación. Pero estos coches tenían las superficies en planta más grandes de todos los tipos de coches de carreras, y, en lugares como LeMans, las velocidades punta eran mayores que en ninguna otra categoría, y, superficie y velocidad, están relacionados con

II. Historia de la aerodinámica

la producción de sustentación aerodinámica (y con el apoyo aerodinámico). Así, el problema era mayor para los coches de sport que para cualquier otro tipo de vehículo. Por esto era más probable que aparecieran en estos coches las primeras soluciones aerodinámicas para resolver el problema de la sustentación positiva o levantamiento mediante el uso de spoilers que provocan turbulencia en el flujo suave (y ascensorial) del aire acelerado por encima de la superficie superior del coche.

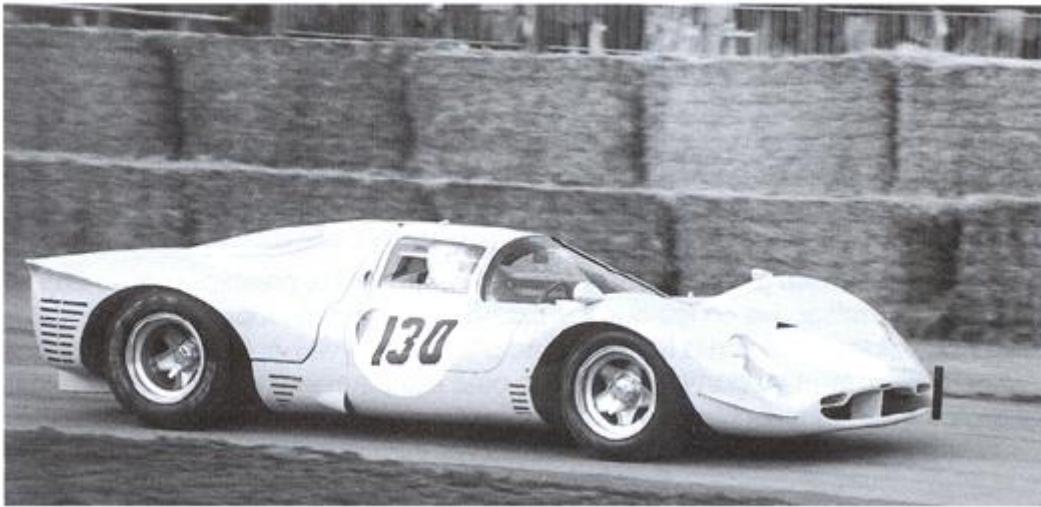


Ilustración 2. Ferrari 300 P3/4

Los ingenieros habían experimentado constantemente con ideas que parecían mejorar el rendimiento, y no pasó mucho tiempo antes de que comenzaran a aparecer alerones en los coches de sport y en los turismos de todo el mundo. Así se descubrió que, a pesar de que las velocidades punta eran inferiores debido al incremento de la resistencia al avance, los tiempos por vuelta comenzaban a ser cada vez mejores. La conclusión de todo esto era que la velocidad de paso por curva estaba aumentando, y esto sólo podía ocurrir gracias al aumento de agarre del coche con el suelo. Por fin, se estaba generando auténtico apoyo aerodinámico.

II. Historia de la aerodinámica



Ilustración 3. Chaparral 2F

Entonces, un ingeniero/piloto particularmente innovador recordó una vez más que las alas mantenían a los aviones en el aire mediante la creación de una fuerza de sustentación positiva, por lo menos tan grande como el peso del avión. Si eso era así, ¿por qué no podían los corredores fijar alerones invertidos sus coches y crear una fuerza que los empujara contra el suelo más aún? Este innovador ingeniero/piloto era Jim Hall, quién apareció con alerones montados en su Chaparral 2E en Bridgehampton, Nueva York, en 1965, y es Hall quien es conocido mundialmente por haber sido el primero en correr con un coche con alerones.

II. Historia de la aerodinámica



Ilustración 4. Chaparral 2E

Era el comienzo de una revolución en lo referente a las prestaciones de los coches de carreras. Casi inmediatamente, la Fórmula 1 adoptó la idea, y unos alerones de aluminio de simple fabricación comenzaron a montarse sobre unas varillas delgadas de bastante longitud. Pero, desgraciadamente, algunos equipos no dedicaron mucho esfuerzo a elaborar el diseño, ya que los fallos en las estructuras eran continuos, lo que hizo que las autoridades deportivas intentaran prohibir toda clase de alerones. Pero después de pensarlo detenidamente, la CSI (Comisión Deportiva Internacional) decidió permitirlos en ciertas restricciones, como que debían estar firmemente sujetos a la carrocería original del coche y que no fueran móviles. Muy pronto lo utilizaban todos los coches de Fórmula 1, y no pasó mucho tiempo antes de que comenzara a utilizarse en el resto de las categorías.

En los años 70 se vivió un desarrollo gradual de los alerones en los monoplasas y en los coches de sport, mientras que los turismos comenzaban a experimentar. En Europa, los famosos turismos del Grupo 2 montaban algo más que simples alerones, con verdaderas “presas de aire” y “divisores de flujo” en la parte frontal de los coches, y auténticas alas en la trasera.

El siguiente avance, que provocó, muy probablemente, el mayor salto en las prestaciones, tuvo lugar en la última parte de los años 70, cuando otro ingeniero, Peter Wright, que trabajaba con Colin Chapman en Lotus y con el apoyo de éste, introdujo el concepto de “efecto suelo” en la Fórmula 1, con el Lotus 78.

II. Historia de la aerodinámica



Ilustración 5. Lotus 78

A pesar de todo, el concepto general no era nuevo. Una patente de 1930 describía cómo un alerón simétrico creaba apoyo aerodinámico cuando estaba cerca del suelo, y el diseñador de los vehículos que batían todos los récords de velocidad, Sir Malcolm Campbell, había encontrado una fuerza de succión contra el suelo por debajo de la carrocería. Entonces, Jim Hall mostró lo que podía hacerse con un coche que creaba bajas presiones en su parte inferior con su Chaparral 2J en 1970. La intención era pegar el coche a la carretera, y Hall lo hizo utilizando unas grandes turbinas empujadas por motores auxiliares que succionaban el aire de la parte inferior del coche mientras que unos "faldones" (término que se volvió infame a finales de los 70 y principios de los 80) servían para sellar los laterales y permitir la creación de bajas presiones bajo el vehículo.

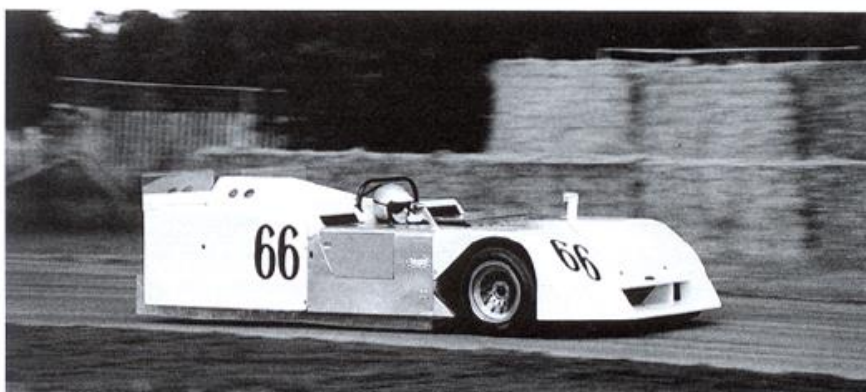


Ilustración 6. Chaparral 2J "Aspiradora"

II. Historia de la aerodinámica

Pero en la Fórmula 1, los “apéndices aerodinámicos” no podían ser móviles, lo que hacía que el concepto de las turbinas fuera ilegal. Hubo un intento de saltarse esta regla en 1978 con el Brabham “ventilador”, cuando el principal propósito de la turbina era refrigerar el motor, según declaró su creador Gordon Murray, lo que les permitió ganar una carrera antes de que fuera prohibido.

Así que, el gran paso adelante que dieron Wright y Chapman fue darse cuenta del hecho de que era posible crear una gran cantidad de succión debajo del coche utilizando solamente la velocidad del monoplaza, dándole una forma especial al fondo plano del mismo. En pocas palabras, toda la estructura central del coche se convirtió en un ala invertida que generaba baja presión en un área muy grande. Esto podía asimilarse a lo que sería un medio tubo Venturi, como el utilizado en los carburadores. Esto permitía la producción de unos niveles de apoyo aerodinámico no conocidos hasta ese momento y, por tanto, unas mayores velocidades de paso por curva. Este incremento de velocidad, y la reducción de las distancias de frenado (y, en algunos casos, el hecho de ya no tener que frenar en algunas curvas), hizo que los diseñadores rivales comenzaran a tomarse muy en serio el concepto de “coche ala”. Y hay que decir que el diseño del primer coche con efecto suelo, el Lotus 78, se mostró bastante ineficaz. Sin embargo, el Lotus 79 del año siguiente fue un elegante y eficiente monoplaza que le permitió a Mario Andretti dominar el campeonato del mundo y a Lotus lograr el título de constructores.

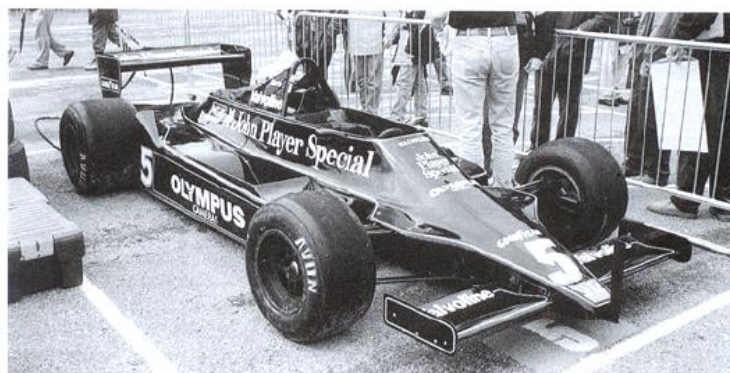


Ilustración 7. Lotus 79

Pero los otros equipos comenzaron a ganar terreno rápidamente, y no pasó mucho tiempo antes de que Lotus fuera superado en su propio juego, por así decirlo,

II. Historia de la aerodinámica

Williams Gran Prix Engineering realizó el más elegante de los coches con efecto suelo con el FW07.



Ilustración 8. Williams FW07

El principio del efecto suelo continuó su entrada en categorías a lo largo de todo el mundo, y así nació un número de diseños clásicos tales como el Ralt RT2/3/4, que tuvo tanto éxito en la Fórmula 2, 3 y en la Toyota Atlantic. Los coches de sport también explotaron este concepto y se beneficiaron de sus grandes superficies en planta para producir, literalmente, toneladas de apoyo aerodinámico.



Ilustración 9. Ralt RT2

Pero entonces las autoridades deportivas tuvieron una de sus famosas “reacciones rápidas”, y de repente el efecto suelo fue prohibido en la Fórmula 1 con la

II. Historia de la aerodinámica

introducción de un “fondo plano” obligatorio entre las líneas de los ejes delantero y trasero. El hacha llegó más tarde a las otras categorías, pero llegó, aunque en la Indycar, donde cuentan con su propio comité técnico independiente, el efecto suelo se sigue utilizando hasta hoy en día, si bien es controlado estrictamente.

En Europa, la Fórmula 1, la Fórmula 3000 (que reemplazó a la Fórmula 2 a principios de los 80) y la Fórmula 3 tuvieron que buscar otros métodos para recuperar el apoyo aerodinámico perdido con los cambios de reglamento. Los coches de Fórmula 1 comenzaron a ser menos elegantes debido a la introducción de pequeños apéndices adicionales fijados en el exterior del alerón trasero. Fue alrededor de este período cuando se utilizaron los motores más potentes, durante la época conocida como “la era turbo” y todo el apoyo aerodinámico que se pudiera conseguir en la parte trasera era necesario para poder transmitir las enormes potencias al suelo. La resistencia aerodinámica se volvió algo casi irrelevante cuando los motores superaban las cuatro cifras de potencia, gracias a los turbos en los propulsores de 1,5 litros. Las categorías con monoplasas menos potentes tuvieron que preocuparse por conseguir un equilibrio razonable entre resistencia y apoyo, y los diseños de los alerones no eran tan grotescos como en la Fórmula 1.

Los coches de sport siguieron con el desarrollo del efecto suelo, explotando la relativa libertad que su reglamento permitía, al igual que la enorme superficie en planta disponible para generar apoyo aerodinámico.

La Fórmula 1, vivió, en 1989, el regreso de los motores aspirados de 3,5 litros, con una reducción de la potencia a niveles más modestos. La cuestión de “apoyo contra resistencia” tuvo que ser reconsiderada, y los diseñadores comenzaron a mirar al fondo del coche como un productor de apoyo aerodinámico en potencia. Se llegó a la conclusión de que, con el suficiente espacio entre el coche y el suelo, y un morro delantero inclinado, se podía crear una forma cruda de sección VENTURI a pesar del fondo plano. Se comprobó que era vital que el aire que pasaba por debajo del coche saliera de la forma más eficaz posible por la parte trasera, y los difusores aparecieron para cumplir esa misión. Se había descubierto un aspecto del apoyo aerodinámico completamente nuevo; en los siguientes años la evolución fue constante.

II. Historia de la aerodinámica

La Fórmula 3000 y la Fórmula 3 siguieron también este camino, produciendo una generación de coches con muy poca distancia con respecto al suelo, y amortiguadores muy duros para mantener lo más constante posible esa distancia. La Fórmula 1 dio un paso adelante en esta área de control, y produjo sistemas de “suspensión activa”, que ofrecían la habilidad de controlar la distancia con respecto al suelo de forma mucho más eficaz que un sistema de muelles. La razón principal de este invento fue la aerodinámica, y no una búsqueda de mejoras en el manejo del coche, así que, en realidad, la suspensión activa era ilegal, ya que los coches se habían convertido en apéndices aerodinámicos móviles, con controles creados específicamente por razones aerodinámicas. Si bien el coche en sí, al estar en movimiento, ya es un apéndice aerodinámico móvil.

Otras categorías por todo el mundo no permitieron el uso de suspensiones activas, y finalmente fueron prohibidas en la Fórmula 1 también. Pero el desarrollo del fondo y de los difusores continuó. También los alerones fueron estudiados más a fondo, y comenzaron a surgir formas más complejas. Según los diseñadores empezaron a pensar en tres dimensiones, y el “control del flujo de aire” se convirtió en una frase de moda. Poco a poco se introdujeron más apéndices que ayudaban a aumentar el apoyo sin verse penalizados por la resistencia al aire.

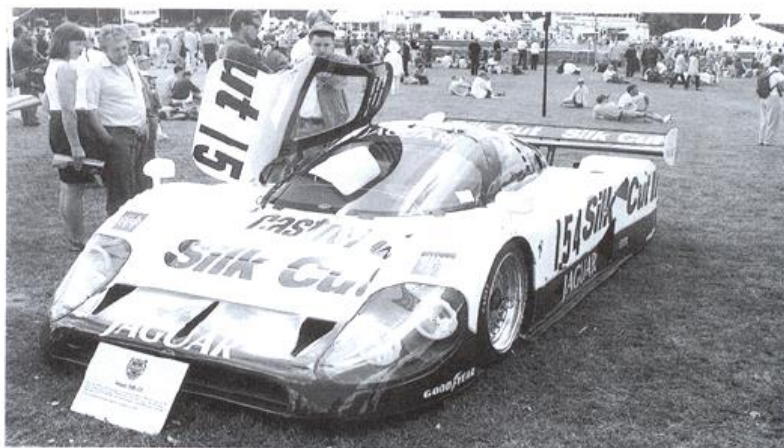


Ilustración 10. Jaguar XJR 12

Entonces, después del terrible fin de semana en Imola en 1994, donde Roland Ratzenberger y Ayrton Senna perdieron sus vidas en dos accidentes diferentes, la FIA, el organismo que rige los deportes del motor, realizó unos cambios destinados a reducir

II. Historia de la aerodinámica

el apoyo aerodinámico de manera significativa. Algunos cambios tuvieron efecto inmediato, y sirvieron para reducir el apoyo en cierto grado. Pero una regla introducida en 1995, que también fue aplicada en la Fórmula 3000 y la Fórmula 3, limitó el espacio mínimo entre gran parte del fondo del coche y el suelo; era el “fondo escalonado”. Esto produjo una reducción de los niveles de apoyo (quizás hasta un 40%), y además mejoró la sensibilidad de los monoplazas a los cambios de altura relativos al suelo, lo que hizo más predecibles y, por tanto, más seguros al pilotar.

A lo largo de este período de cambio en las competiciones automovilísticas europeas, la organización de la Fórmula Indy había estado realizando cambios frecuentes en las reglas con el fin de mejorar el rendimiento de los coches, e imponía casi cada año cambios en su reglamento. Este sistema parecía garantizar que no se produjeran cambios drásticos, y los organizadores limaban las impurezas para asegurarse de que las prestaciones no se les escaparan de las manos. Naturalmente, los diseñadores y aerodinamistas hacían todo lo posible para recuperar, por lo menos, lo que se había perdido. Los cambios en el reglamento en lo concerniente a los neumáticos y a los motores han creado algo de controversia, y queda por ver si los cambios tienen el resultado deseado.

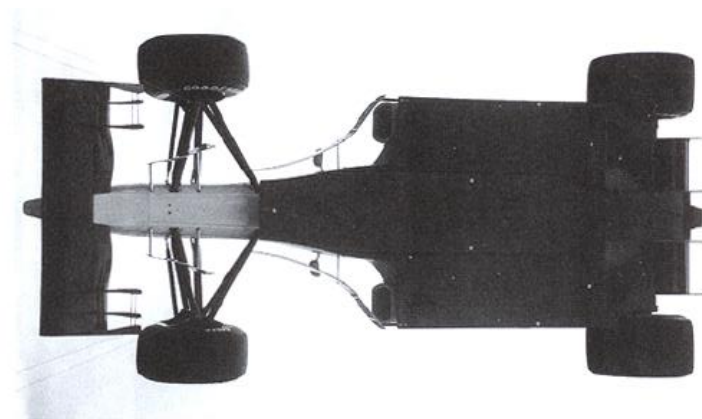


Ilustración 11. Fondo escalonado del Fórmula 1 Ferrari F310

Mientras tanto, los coches de sport sufrieron un cambio total, y los gloriosos sport prototipos habían sido reemplazados por coches de GT. Los apéndices para producir

II. Historia de la aerodinámica

apoyo aerodinámico fueron permitidos, incluidos los divisores de flujo, alerones y fondos perfilados, pero de forma mucho más controlada que en la fórmula anterior.

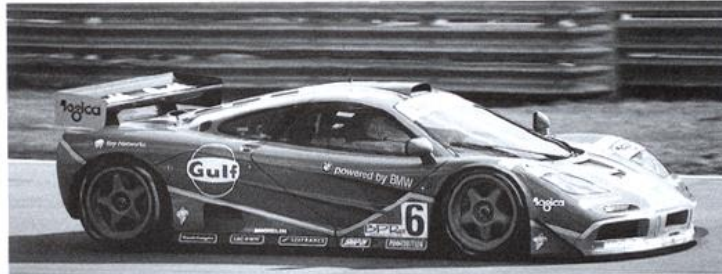


Ilustración 12. McLaren F1 GTR

Las carreras de turismos han sufrido también varios cambios durante este período, y ahora consisten en dos categorías, la Clase 1 y la Clase 2. La Clase 1 permite bastantes modificaciones a partir del coche inicial, y se pueden alcanzar niveles de apoyo aerodinámico. La Clase 2 comenzó con los coches prácticamente sin modificar, pero a partir de 1995 se permitieron alerones y divisores de flujo de tamaño limitado.

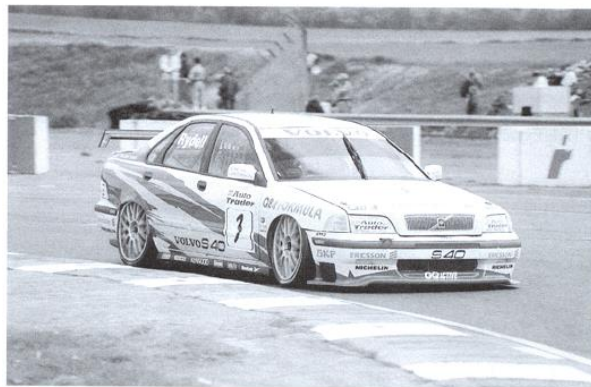


Ilustración 13. Volvo S40 Super Turismo

A lo largo de todo el período descrito, algunas categorías han desaparecido y otras se han creado, algunas han seguido sin cambios y otras se han adaptado a las nuevas tecnologías. Pero sea cual sea el modo en el que ha sido permitido, el apoyo aerodinámico ha tenido una influencia enorme en las prestaciones de todos los coches de carreras.

II. Historia de la aerodinámica

Existen, por supuesto, otros factores que contribuyen a la mejora del rendimiento de los coches, y éstos incluyen, obviamente, los neumáticos. Esos cuatro pequeños puntos de contacto entre el vehículo y el suelo definen y limitan la cantidad de agarre que un coche puede generar. Pero en el caso de los coches de carreras, donde se alcanzan cantidades significativas de carga aerodinámica, los neumáticos han avanzado paralelamente con las mejoras que los aerodinamistas han ido descubriendo.

Es interesante que la eterna lucha de los diseñadores para conseguir que los coches vayan más rápido es a veces considerada contradictoria con lo que supone el deporte del motor: dar espectáculo y diversión a los participantes y espectadores. En efecto, la aerodinámica es, para muchos, la principal causa de la falta de adelantamientos en muchas categorías. Los pilotos a menudo se quejan de que, en cuanto se acercan a otro coche en una curva con el fin de poder salir pegado y adelantarlo más adelante, su propio vehículo pierde tanta carga aerodinámica en la parte delantera que o pueden seguir el ritmo del coche que le precede. Además, se considera que el apoyo aerodinámico es el culpable de que las distancias de frenado se hayan reducido a unos pocos metros, lo que hace que la maniobra de “apurar la frenada” resulte más difícil.

No se puede negar la existencia de estos efectos, pero si son o no la causa principal de la falta de adelantamientos, no está claro. Otros factores tales como el diseño de la pista, las dimensiones de los coches y la mentalidad de los pilotos de “no pasarán” tienen parte de la culpa. Sin embargo, en 1996, la FIA realizó unos estudios sobre la aerodinámica de los coches cuando ruedan muy juntos, con el fin de lograr una configuración que permitiera adelantamientos.

Con mucho interés, el énfasis de estos estudios cambió por un tiempo de la aerodinámica a los neumáticos. Parece que los estudios indicaron que, si se reducía la cantidad total de carga aerodinámica, lejos de permitir que los coches pudieran rodar juntos, las cosas empeoraban, y el efecto era más negativo aún sobre el coche que iba detrás. Pero finalmente, en 1998, la FIA decidió introducir en la Fórmula 1 los neumáticos con dibujo, con la esperanza de que, reduciendo la cantidad de goma en contacto con el suelo, y con ello la velocidad de paso por curva, aumentarían las distancias de frenado. Al mismo tiempo, los coches se hicieron 20 cm más estrechos, lo que reducía el área de

II. Historia de la aerodinámica

planta que podía ser utilizada para generar carga aerodinámica, si bien las velocidades punta aumentarían.

III. INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA

INTRODUCCIÓN A LA AERODINÁMICA

III. Introducción a la aerodinámica

La aerodinámica es la rama de mecánica de fluidos que se ocupa del movimiento del aire y otros fluidos gaseosos, y de las fuerzas que actúan sobre los cuerpos que se mueven en dichos fluidos. Estudia las acciones que aparecen sobre los cuerpos sólidos cuando existe un movimiento relativo entre los cuerpos y el fluido que los baña, siendo este un gas y no un líquido. Como ejemplo del ámbito de la aerodinámica, podemos mencionar el movimiento de un vehículo a través del aire. La presencia de un objeto en un fluido gaseoso modifica la repartición de presiones y velocidades de las partículas del fluido, originando fuerzas de sustentación y resistencia. La modificación de unos de los valores (presión o velocidad) modifica automáticamente en forma opuesta del otro.

Existen diversas clasificaciones por las cuáles podemos dividir la aerodinámica. Estas son según su aplicación, según su naturaleza y según el número de Mach.

Según su aplicación, la aerodinámica se puede clasificar en aerodinámica aeronáutica (o simplemente aerodinámica) y aerodinámica civil. También, la podemos clasificar según la naturaleza del fluido ya sea compresible o incompresible. Por último, también se puede clasificar atendiendo al número de Mach o velocidad relativa de un móvil con respecto al aire, de tal modo que la aerodinámica es subsónica cuándo el número de Mach es inferior a la unidad ($M < 1$), es transónica cuándo Mach es cercano a la unidad (M cercano a 1), es supersónica cuándo Mach es superior a la unidad ($M > 1$) e hipersónica cuándo Mach es superior a seis unidades ($M > 6$).

Existen ciertas leyes y principios de la aerodinámica, los cuáles se expondrán más adelante, que son aplicables a cualquier objeto que está en movimiento a través del aire y que explican y permiten el vuelo a objetos más pesados que el aire. Son utilizadas para fabricar aviones, proyectiles, así como también influyen en el diseño de vehículos y su posterior movimiento a través de un fluido, el aire. Para realizar un estudio aerodinámico, es indiferente considerar el movimiento en el sólido o en el fluido, de forma que, cualquiera de los dos se puede mover a través del otro. A partir de esta afirmación, surgieron lo que se denominada túneles de viento, donde un sólido se mantiene fijo (normalmente un vehículo) y es el aire el que se mueve libremente a su alrededor. Tras la realización de estos estudios, se pueden llegar a conocer diferentes parámetros como la temperatura, la presión, la velocidad, las fuerzas...

III. Introducción a la aerodinámica

Las principales leyes y principios que son utilizados en aerodinámica son los siguientes:

III.1. Teorema de Bernoulli

El Teorema de Bernoulli fue formulado en 1738 por el matemático y físico Daniel Bernoulli (1700-1782), quien enunció que se producía una disminución de la presión de un fluido en movimiento cuando este aumentaba su velocidad. El teorema afirma que la energía total de un sistema de fluidos con flujo uniforme permanece constante a lo largo de la trayectoria de flujo. Como consecuencia de ello, el aumento de velocidad del fluido debe verse compensado por una disminución de su presión.

Este teorema se aplica al flujo sobre superficies, como las alas de un avión, los alerones de los vehículos o las hélices de un barco.

La fórmula matemática del teorema de Bernoulli es la que se muestra a continuación:

$$P_1 + \frac{1}{2} * \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} * \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Siendo:

- P = Presión del fluido (Mpa).
- ρ = Densidad del fluido (Kg/m³).
- v = Velocidad del fluido (m/s).
- g = Aceleración de la gravedad (m/s²).
- h = Altura.

En resumen, cuándo la velocidad del flujo de un fluido aumenta, su presión se ve disminuida, mientras que, si su velocidad disminuye, su presión se ve aumentada.

III. Introducción a la aerodinámica

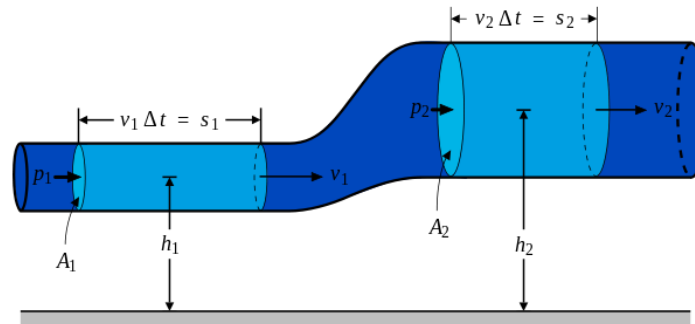


Ilustración 14. Principio de Bernoulli

III.2. Efecto Venturi

El efecto Venturi (también conocido como tubo de Venturi) fue demostrado en 1797 por Giovanni Battista Venturi (1746-1822), el cual demostró que al hacer pasar un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado, este disminuía la presión al aumentar la velocidad después de haber pasado por un estrechamiento. Este efecto se explica por el teorema de Bernoulli y el principio de continuidad. Si el caudal de un fluido es constante pero la sección se ve disminuida, necesariamente la velocidad se ve aumentada tras atravesar esa sección.

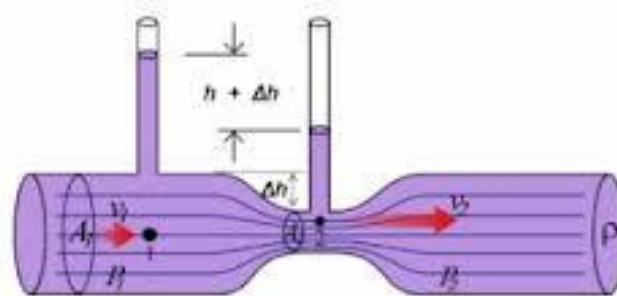


Ilustración 15. Tubo Venturi

III. Introducción a la aerodinámica

III.3. 3ª Ley de Newton

La Tercera Ley de Newton, también conocida como “Principio de acción y reacción”, expone que por cada fuerza que actúa sobre un cuerpo, éste realiza otra fuerza de igual intensidad y dirección pero de sentido contrario sobre el cuerpo que la produjo.



Ilustración 16. 3ª Ley de Newton
"Acción-Reacción"

III.4. Perfil Aerodinámico

Se denomina perfil alar, perfil aerodinámico o simplemente perfil, a la forma plana que al desplazarse a través del aire es capaz de crear a su alrededor una distribución de presiones que genere una fuerza de sustentación. Es uno de los elementos más importantes en el diseño de superficies sustentadoras como las alas de los aviones o los alerones de los vehículos.

Según el propósito que se quiera conseguir, el diseño de los perfiles pueden ser gruesos o finos, curvos, poligonales, simétricos o no simétricos e incluso el perfil puede ir variando a lo largo del ala.

III. Introducción a la aerodinámica

El diseño geométrico de un perfil aerodinámico parte del Teorema de Bernoulli, debido a que el fluido (el aire) recorre una mayor distancia por la parte superior (denominada extradós) que por la parte interior (denominada intradós). Las partículas del fluido, al impactar sobre el ala, se dividen y unas recorren el extradós y otras el intradós. Las partículas que recorren el extradós, van a una mayor velocidad que las que recorren el intradós, debido a que el extradós tiene un mayor recorrido que el intradós. Por tanto, en la zona del extradós se genera una menor presión que en la zona del intradós.

Como se ha mencionado anteriormente, en el extradós hay una menor presión que en el intradós. Debido a que el fluido tiende a igualar las presiones y las zonas de mayor presión tienden a ocupar las zonas de menor presión (depresión), aparece una fuerza vertical. Esta fuerza es la denominada sustentación, la cual permite a un avión poder mantenerse en el aire. Por otra parte, el ángulo de inclinación del perfil alar provoca que el fluido que lo recorre, choque con él y genere una reacción (3ª Ley de Newton), en dirección contraria a dicho choque, lo que se traduce directamente en una mayor fuerza de sustentación.

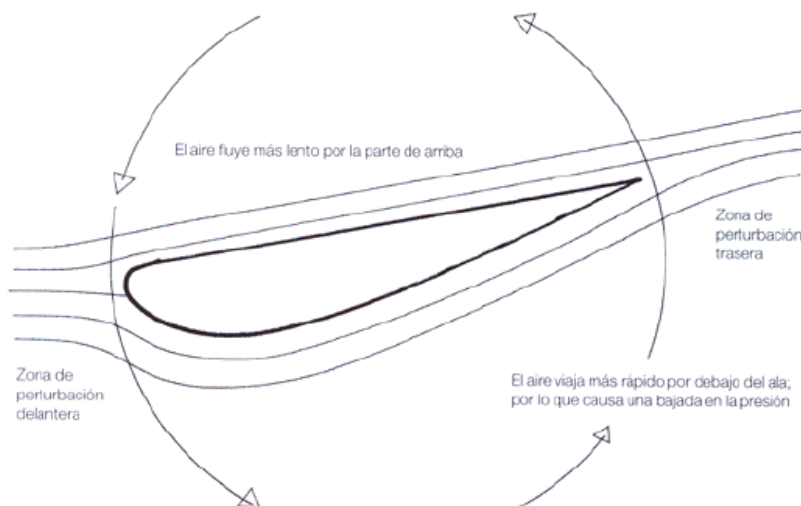


Ilustración 17. Cómo crea carga aerodinámica un ala

III. Introducción a la aerodinámica

De la misma forma, en automoción se utilizan los mismos principios para realizar el diseño de alerones, spoilers o deflectores. Si se diera la vuelta a la geometría del perfil aerodinámico, la depresión mencionada anteriormente se produce en la zona inferior del perfil, por lo que se produce una sustentación hacia abajo, denominada sustentación negativa o downforce. Esta fuerza, provoca que el vehículo se pegue al suelo y por tanto tenga una mayor adherencia en el paso por curva, lo que se traduce directamente en que se puedan tomar las curvas a una mayor velocidad.

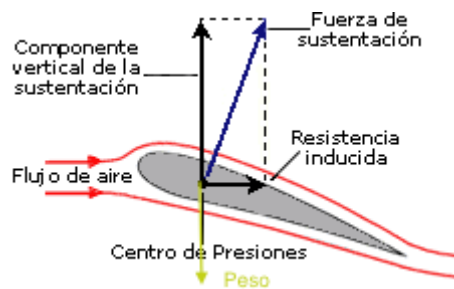


Ilustración 18. Fuerzas creadas por un ala

III.5. Capa límite

Un concepto importante a destacar en aerodinámica es el de Capa Límite. La capa límite o capa fronteriza de un fluido es la zona donde el movimiento de éste es perturbado por la presencia de un sólido con el que está en contacto. Se entiende como aquella en la que la velocidad del fluido respecto al sólido en movimiento varía desde cero hasta el 99% de la velocidad de la corriente no perturbada.

Existen dos tipos de capa límite: la capa límite laminar y la capa límite turbulenta. La segunda es ligeramente más gruesa que la primera, y como el fluido se mueve en todas las direcciones, disipa mayor la energía, por lo que la fuerza de fricción derivada de ella es mayor. Así que, en principio, a un avión le interesa que su capa límite sea

III. Introducción a la aerodinámica

laminar. El flujo laminar va perdiendo velocidad a lo largo de la capa límite, hasta que finalmente se para o incluso retrocede, provocando que la capa límite se desprenda y el flujo no siga la forma de la superficie. Este efecto es especialmente perjudicial en el ala de un avión, ya que la sustentación depende de que el flujo siga la forma del perfil alar. El desprendimiento de la capa límite de las alas es lo que ocurre cuando el avión entra “en pérdida”, es decir, deja de tener sustentación y cae hacia abajo como una piedra.

En el campo de la automoción, el desprendimiento de la capa límite no provoca que el vehículo entre en pérdida y caiga, sino que por culpa de este desprendimiento se crean ciertas turbulencias que se forman, normalmente, en la parte trasera del vehículo. Este fenómeno, genera una succión hacia atrás, con lo que la fuerza que se genera, irá en sentido contrario al avance del vehículo.

Por tanto, es muy importante el estudio de la capa límite en el diseño de los vehículos y de elementos aerodinámicos para conseguir que el desprendimiento de la capa límite ocurra lo más atrás posible del vehículo. Así se consigue evitar la succión anteriormente mencionada y en consecuencia, poder evitar fuerzas que perjudiquen el avance del vehículo y requerir de una mayor potencia del motor para vencerlas. Así mismo, al desprender la capa límite lo más atrás posible del vehículo, se evita la aparición de turbulencias, las cuales afectan negativamente en la estabilidad y manejabilidad del vehículo.

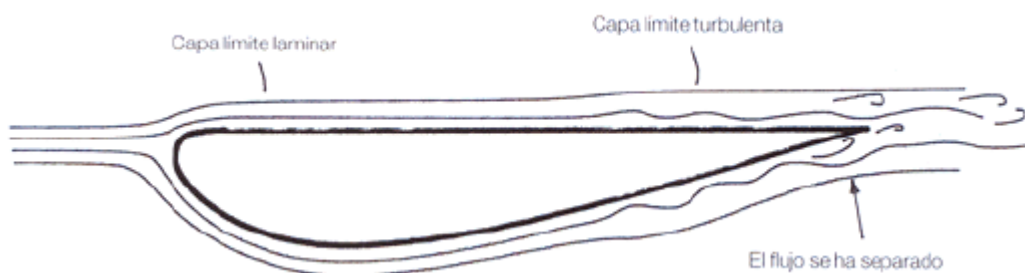


Ilustración 19. Transición de una capa límite laminar a turbulenta a lo largo de un ala

III. Introducción a la aerodinámica

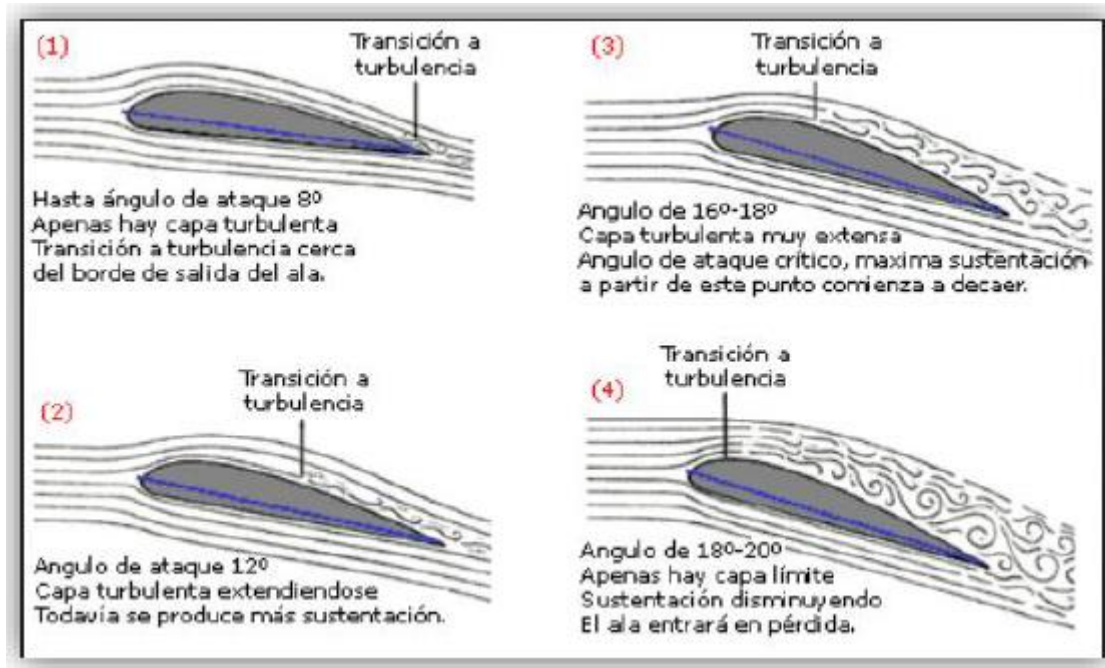


Ilustración 20. Transición de una capa límite laminar a turbulenta a lo largo de un ala con cierto ángulo

III.6. Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos, diseños de reactores y fenómenos de transporte. Relaciona la densidad, viscosidad, velocidad y dimensión típica de un flujo en una expresión adimensional, que interviene en numerosos problemas de dinámica de fluidos.

Desde un punto de vista matemático, Reynolds se expresa por medio de la siguiente fórmula:

$$Re = \frac{\rho * v * L}{\mu}$$

Donde ρ es la densidad del aire, μ representa la viscosidad, v es la velocidad y L es “longitud”, tal como la longitud de un coche o la dimensión de la cuerda de un ala.

El número de Reynolds es un cociente que relaciona los esfuerzos inerciales con los esfuerzos viscosos ejercidos sobre el objeto de estudio y es útil para comparar datos

III. Introducción a la aerodinámica

a diferentes velocidades y diferentes escalas. En el flujo laminar, el cociente anteriormente mencionado, es pequeño, debido a la alta viscosidad y las bajas velocidades. Sin embargo, en un flujo turbulento, Reynolds es mayor debido a las altas velocidades y a la baja viscosidad existente.

El Número de Reynolds puede usarse como un indicador de si el flujo será laminar o turbulento, ya que, en general, el flujo se vuelve más turbulento con el aumento de velocidad, además de con el aumento de longitud (L) del objeto. De este modo, un número de Reynolds alto puede indicar que el flujo es turbulento. Además, con números de Reynolds elevados, interesa tener una mayor capa límite laminar para poder obtener un coeficiente de fricción lo más bajo posible, debido a que al pasar a una capa límite turbulenta (mantenido los mismos parámetros del estudio) el coeficiente de fricción aumenta notablemente provocando a su vez un aumento en la resistencia del aire.

El coeficiente de fricción mencionado (C_f), es la división entre la presión dinámica del fluido y los esfuerzos tangenciales por unidad de superficie (τ).

$$C_f = \frac{\tau}{\frac{1}{2} * \rho * V_{\infty}^2}$$

Como dato, en el estudio de flujos en tuberías, existe una clasificación de valores conocidos del número de Reynolds que definen en qué situación se encuentran.

- Régimen de flujo laminar ($Re < 2000$)
- Régimen de flujo intermedio ($2000 < Re < 4000$)
- Régimen de flujo turbulento ($Re > 4000$)

III.7. Carga aerodinámica “ $C_z - C_L$ ”

La carga aerodinámica es la fuerza que se encarga de empujar el coche al suelo mediante la ayuda de apéndices y elementos aerodinámicos al atravesar el aire. La fuerza de sustentación es provocada por el rozamiento y el agarre que aumentan al mejorar el apoyo aerodinámico. Esta fuerza de fricción se expresa como:

III. Introducción a la aerodinámica

$$F = \mu * N$$

Donde:

- La variable F es la fuerza de fricción o la fuerza de agarre en el suelo; se expresa en N.
- La letra griega μ , representa el coeficiente de rozamiento o de fricción entre el neumático y el pavimento.
- La variable N es la fuerza normal, perpendicular al vehículo, ejercida por la carga aerodinámica. Esta se expresa en N y presenta la siguiente ecuación:

$$N = m * g + F_z$$

Donde:

- m, es la masa del vehículo, cuya unidad es el kg.
- g es la aceleración de la gravedad, cuya unidad es m/s².
- F_z es la fuerza de sustentación y las unidades que posee son N.

Como se puede observar en las fórmulas, suponiendo que el peso del vehículo es constante, al aumentar la carga aerodinámica, el agarre del automóvil con el suelo es mayor, permitiendo así poder tomar las curvas a una mayor velocidad sin poner en riesgo la estabilidad del vehículo, evitando así derrapar.

Un coche puede crear fuerzas verticales sustanciales cuando viaja a través del aire, y éstas pueden sumarse o restarse al propio peso del vehículo, de forma que la fuerza normal N se ve modificada. De esta forma, también se logra alterar la fuerza de rozamiento máxima del neumático con respecto al suelo. Si un coche crea sustentación positiva, las fuerzas de rozamiento máximas generadas se reducen mientras que si el coche crea carga aerodinámica o sustentación negativa, las fuerzas de rozamiento máximas se ven aumentadas. Así pues, un vehículo con carga aerodinámica evita que

III. Introducción a la aerodinámica

este se levante y permita una mayor velocidad en el paso por curva al permitir giros, frenadas y aceleraciones con una mayor eficacia.

Para poder comparar perfiles aerodinámicos, tales como alerones o apéndices que crean carga aerodinámica, se ha de hacer uso del coeficiente de sustentación (C_z). El coeficiente de sustentación es un coeficiente adimensional cuya expresión es la siguiente:

$$C_z = \frac{F_z}{\frac{1}{2} * \rho * v^2 * S}$$

Donde:

- F_z es la fuerza de sustentación expresada en N.
- ρ es la densidad del aire, cuya unidad es kg/m^3 .
- V es la velocidad medida en m/s .
- S es la superficie de referencia en m^2 (Por ejemplo, el área frontal del vehículo o el área del perfil alar)

El coeficiente de sustentación depende del perfil y el ángulo de ataque del elemento aerodinámico. Para un determinado perfil, sea cuál sea, la dependencia C_z tiene dos zonas bien diferenciadas como se aprecia en la siguiente figura:

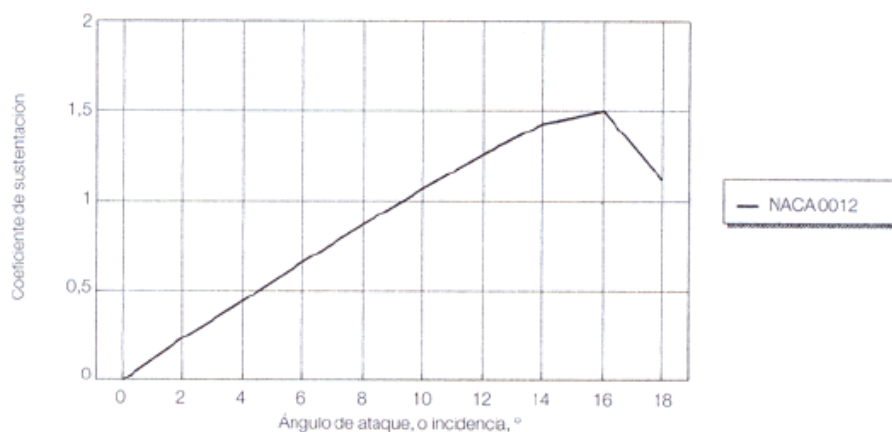


Ilustración 21. Sustentación contra ángulo de ataque

III. Introducción a la aerodinámica

- 1º Zona: En esta zona el coeficiente de sustentación aumenta linealmente debido a que el ángulo de ataque también aumenta.
- 2º Zona: Una vez que se llega al zénit de la primera zona, el coeficiente de sustentación decrece a la vez que aumenta el ángulo de ataque. Esta situación es debida a que la capa límite se está desprendiendo ya que el aire no es capaz de seguir la trayectoria del perfil del elemento aerodinámico, provocando su separación y disminuyendo el coeficiente de sustentación.

Por último, como la mayoría de los coeficientes de sustentación son conocidos, se puede conocer la fuerza de sustentación negativa o carga aerodinámica despejando esta variable de la fórmula del coeficiente de sustentación, quedando de la siguiente manera:

$$F_Z = C_Z * S * \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

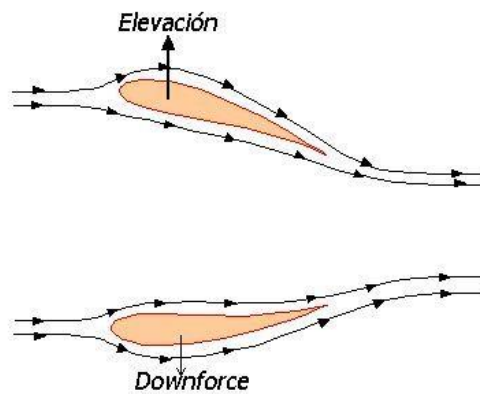


Ilustración 22. Sustentación positiva y negativa de un ala

III.8. Resistencia aerodinámica “C_x-C_D”

La resistencia aerodinámica, también conocida como “drag”, es la resultante de la fuerza que experimenta o sufre un cuerpo que se mueve a través del aire en la

III. Introducción a la aerodinámica

dirección de la velocidad relativa entre el mismo aire y el cuerpo. Esta fuerza se opone al avance del cuerpo a través del aire, por tanto, es siempre de sentido contrario a la velocidad llevada por el cuerpo. La fórmula matemática de la resistencia aerodinámica es la siguiente:

$$F_X = C_X * S * \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

Donde:

- C_X es el coeficiente de resistencia aerodinámico.
- S es la superficie de referencia (Por ejemplo, el área frontal del vehículo).
- ρ es la densidad del aire, cuya unidad es kg/m^3 .
- V es la velocidad medida en m/s .

El coeficiente C_X expresa la resistencia que ofrece un cuerpo al moverse dentro de un fluido por razón de su forma. Por otra parte, se puede definir también como la efectividad de un cuerpo al atravesar el aire. Es un factor muy importante en el diseño de vehículos y es determinado por la variación de los diferentes ángulos que presenta un perfil determinado. El coeficiente aerodinámico se define como:

$$C_X = \frac{F_X}{\frac{1}{2} * \rho * v^2 * S}$$

- Las variables de la ecuación son exactamente las mismas que en la expresión de la fuerza de resistencia.

III. Introducción a la aerodinámica

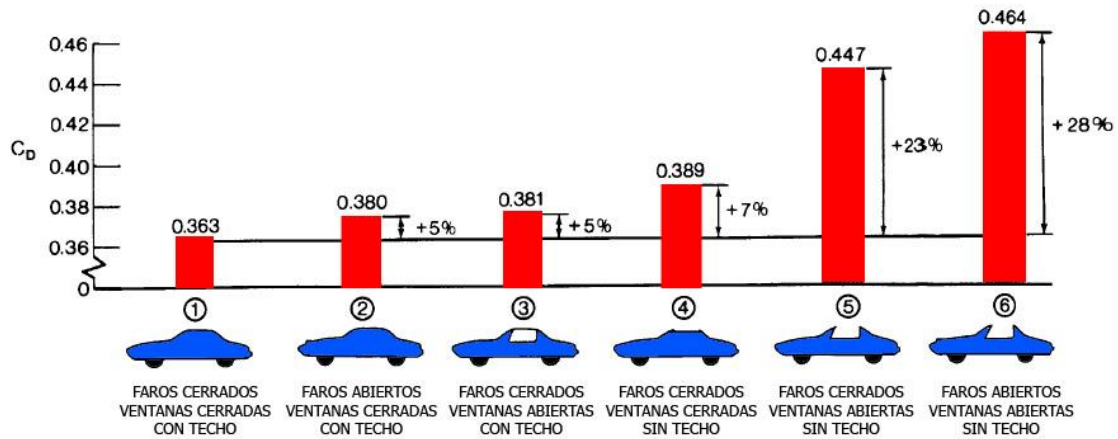


Ilustración 23. Variación del coeficiente aerodinámico en diferentes disposiciones de un vehículo

Además, es un factor que influye en la velocidad del vehículo, puesto que con una mayor aerodinámica, se obtiene una mejor incidencia en el medio. El coeficiente de resistencia, C_x , se ve influenciado por:

- La velocidad; Cuánta más velocidad lleve un vehículo, mayor es la resistencia aerodinámica que se ejerce.
- Suciedad exterior; Se ejerce una mayor resistencia al avance debido a que se produce una pérdida de la forma de la carrocería. (La fuerza de resistencia debido a la suciedad exterior es mínima si se compara por ejemplo con una baka).
- La baka del coche, ya que esta aumenta el área frontal del vehículo y el peso, por tanto se provoca una mayor resistencia al avance.
- El peso del coche, debido a ocupantes, equipaje, etc...
- Una desigualdad de reparto de peso en el vehículo.

Por tanto, al aumentar la velocidad del cuerpo que se mueve a través del fluido o al aumentar el ángulo de ataque del perfil se consigue aumentar el coeficiente de resistencia.

III. Introducción a la aerodinámica

La resistencia aerodinámica puede ser clasificada en dos tipos, la resistencia parásita y la resistencia inducida. La resistencia parásita es producida por aquellas partes del vehículo o de una aeronave que no contribuyen a la sustentación (Por ejemplo el tren de aterrizaje). Esta se incrementa con el aumento de la velocidad). Por otro lado, la resistencia inducida es la resistencia que genera la sustentación en el vehículo o en un avión por motivo de diferencia de presiones en el intradós y extradós provocando vórtices en el borde del perfil. Esta resistencia inducida disminuye al aumentar la velocidad.

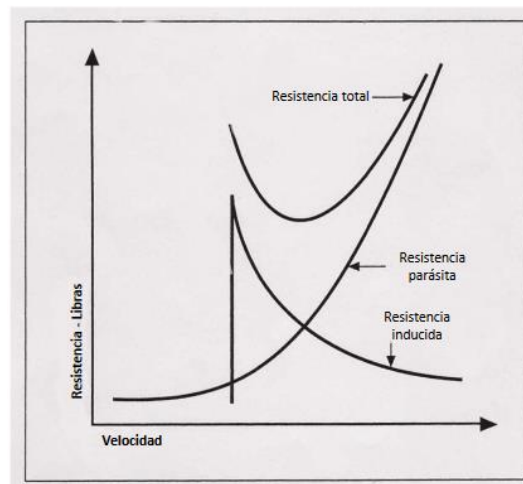


Ilustración 24. Diagrama de curvas de resistencia

Por otra parte, la resistencia aerodinámica influye, además, en la velocidad punta y en la potencia disponible de los motores de los vehículos. Existe una relación matemática directa entre la velocidad punta y la potencia disponible de un motor, que está basada en la fórmula para calcular la fuerza de resistencia al avance (resistencia aerodinámica). En términos simplificados, la expresión es la siguiente:

$$CV = \frac{C_X * A * v^3}{1225}$$

Donde CV es la potencia del motor disponible expresado en caballos de vapor, A es el área frontal del vehículo en m², v es la velocidad del coche en m/s y C_X es el

III. Introducción a la aerodinámica

coeficiente de resistencia. El número 1225 es un factor de conversión para obtener las unidades en el Sistema Internacional.

III.9. Eficiencia aerodinámica

La eficiencia aerodinámica es la relación entre el coeficiente de sustentación y el coeficiente de resistencia aerodinámica, o lo que es lo mismo, el cociente entre la fuerza de sustentación y la fuerza de resistencia aerodinámica. El objetivo que tiene la eficiencia aerodinámica es la de maximizar el coeficiente de sustentación minimizando a su vez el coeficiente de resistencia, para obtener así la máxima fineza.

$$f = \frac{F_Z}{F_X} = \frac{C_Z}{C_X}$$

La fineza, denominada por la letra f , es un coeficiente que hace referencia a la eficiencia aerodinámica y es adimensional.

IV. ALERONES

ALERONES

IV. Alerones

IV.1. Términos y definiciones

El alerón, se considera otra forma de decir ala, y es un cuerpo con tal forma que el aire que pasa a través de él crea sustentación, o en este caso, carga aerodinámica, sin causar una resistencia excesiva. Un alerón es la sección transversal que define la forma de un ala tridimensional y, debido a que las formas de los alerones pueden ser bastante complejas, un alerón puede tener varias secciones a lo largo de él. El alerón se compone de varias secciones las cuáles vamos a desarrollar más adelante.

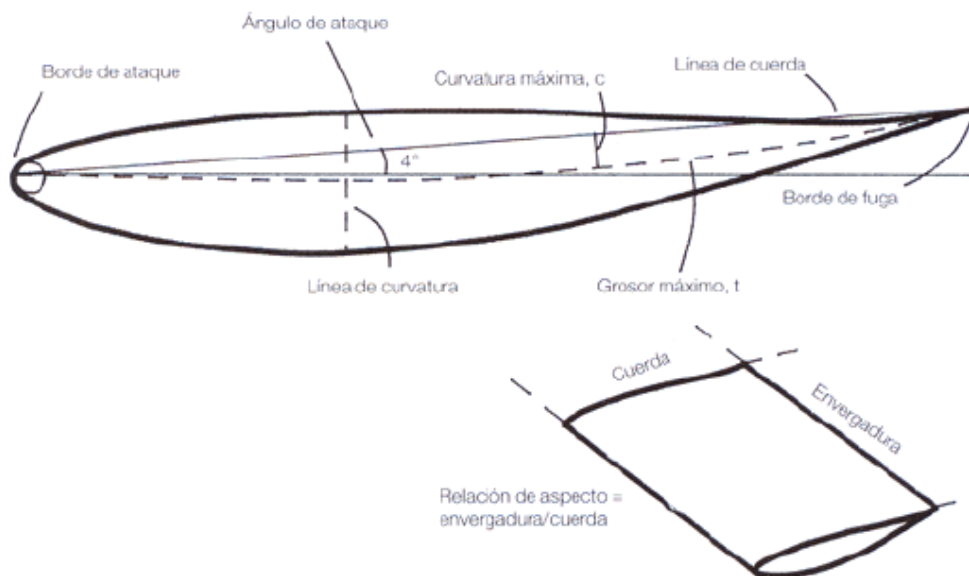


Ilustración 25. Terminología de un alerón

- El borde de ataque (BA): es la parte delantera de un ala y normalmente tiene una forma poco refinada, con forma radial.
- El borde de fuga (BF): se encuentra en el otro extremo del alerón y normalmente es una zona estrecha.
- Ángulo de ataque o ángulo de incidencia: Es el ángulo de un ala que existe entre el flujo de aire y la línea de cuerda del ala.

IV. Alerones

- La línea de cuerda: es la línea recta que une el borde de ataque con el borde de fuga y la distancia a lo largo de esta línea (desde BA hasta BF) se le llama dimensión de cuerda.
- El grosor máximo (t): se expresa como un porcentaje o fracción decimal de la cuerda, " c ". Por ejemplo, si la dimensión de la cuerda mide 200 mm y " t " = $0,5 \cdot c$, el grosor máximo es de $200 \cdot 0,5 = 100$ mm. La posición de máximo grosor se expresa con una fracción decimal de la cuerda, medida desde el borde de ataque, por lo que si t_{\max} es de $0,3 \cdot c$, el grosor máximo será de 60 mm.

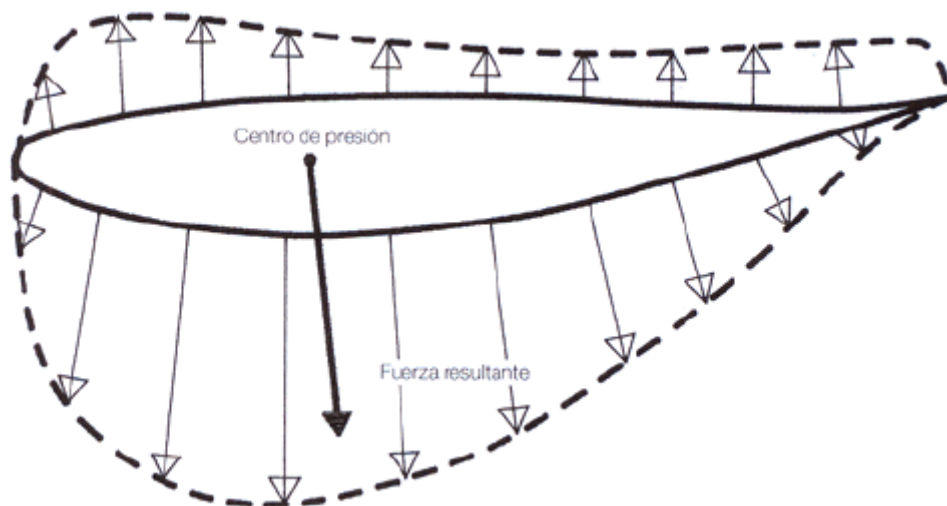


Ilustración 26. Distribución generalizada de la presión alrededor de un ala

El perfil de un alerón puede ser simétrico o asimétrico. El primero no ejerce una carga aerodinámica para un ángulo de ataque cero pero el segundo sí ejerce una carga aerodinámica para un ángulo de ataque cero. El perfil asimétrico tiene una curvatura, lo que significa que su superficie inferior está más curvada que la parte superior (En el contexto del alerón de un coche). Los alerones de los coches de carreras de hoy en día generalmente tienen curvatura, mientras que en los primeros intentos, los perfiles eran prácticamente simétricos. Para poder diferenciar los alerones simétricos de los

IV. Alerones

asimétricos, los alerones simétricos tienen un coeficiente de sustentación mayor que los alerones asimétricos, sin embargo, estos últimos entran en pérdida a ángulos menores.

La línea que pasa por los puntos medios de un perfil, desde BA a BF, se conoce como línea mediana o línea de curvatura. La cantidad de curvatura presente es a menudo definida como la distancia máxima entre la línea de curvatura y la línea de cuerda, expresada como una fracción decimal de la dimensión de la cuerda. La localización de la curvatura máxima se define del mismo modo que el grosor máximo.

Entre otras definiciones, cabe destacar la envergadura, que es conocida como el ancho de un perfil aerodinámico, y la relación de envergadura con la cuerda es la relación de aspecto. Los aviones tienen unas relaciones de aspecto muy altas mientras que los coches las tienen muy bajas.

Si se utiliza una relación de aspecto elevada para un alerón para un mismo ángulo de ataque, el coeficiente de sustentación C_z aumenta.

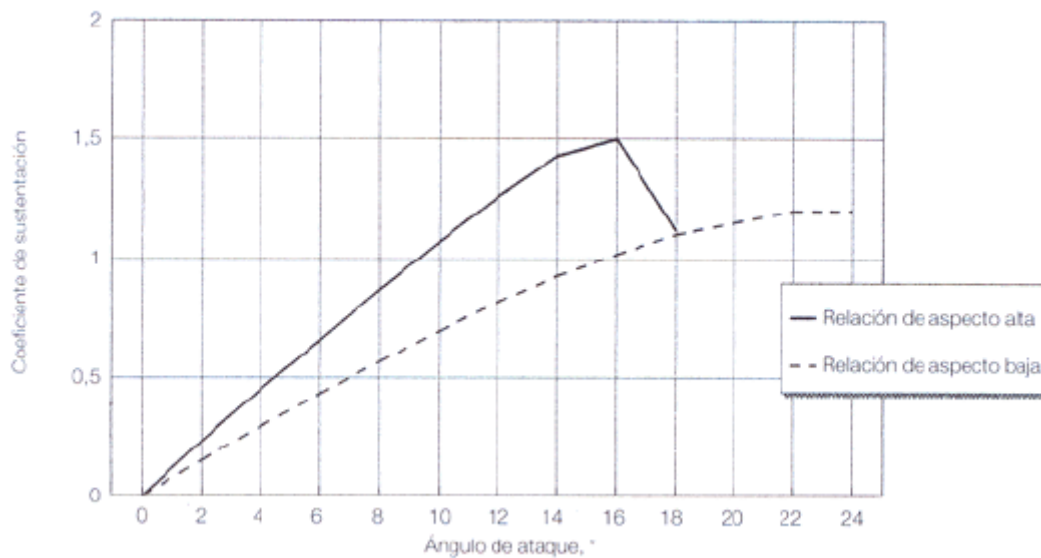


Ilustración 27. Efecto de la relación de aspecto en la sustentación

IV. Alerones

La carga aerodinámica y la resistencia aumentan con un ángulo de ataque más pronunciado. Sin embargo, existe un cierto ángulo, y todos los alerones tienen uno, en el cuál el flujo de aire se desvía por el lado de succión del ala, y en lugar de fluir suavemente, se vuelve muy inestable y se separa de la superficie del alerón. Este efecto se ve acompañado por una pérdida repentina de carga aerodinámica y un aumento de igual tamaño de la resistencia. Este fenómeno, el cual ya se ha mencionado alguna vez anteriormente, se le conoce como que el alerón está en pérdida.



Ilustración 28. Un ala en pérdida

Por último, cabe destacar que la carga aerodinámica que puede generar un alerón depende en parte de la superficie de planta del alerón.

IV.2. Tipos de alerones

Los alerones de los coches de competición pueden tener un solo elemento, dos elementos, varios elementos o pueden ser múltiples, dependiendo de la categoría en la que compitan y las configuraciones que permita el reglamento, así como de las necesidades impuestas por cada circuito y la tolerancia de un coche a la carga aerodinámica y la resistencia. En los siguientes subapartados se expondrán todos los

IV. Alerones

aleroses anteriormente mencionados, incluso también se hará mención a ciertos elementos adicionales que componen un alerón.

IV.2.1. Alerón de un solo elemento

Los principios básicos para la creación de sustentación o carga aerodinámica comienzan por la premisa de que, como se ha visto anteriormente, la carga aerodinámica es mayor cuanto mayor es el ángulo de ataque, hasta el punto o ángulo conocido como de pérdida. Un alerón simétrico de un solo elemento puede no producir carga aerodinámica si tiene un ángulo de incidencia cero, pero la carga aumenta casi de forma lineal con el incremento del ángulo de incidencia, hasta que alcanza los 14-16°. Sin embargo, el ángulo de entrada en pérdida varía, dependiendo de la sección del ala y las condiciones del flujo.

El grosor “ t ”, afecta a la carga aerodinámica y, según el grosor aumenta hasta 0,12*c, el ángulo de pérdida se alcanza más tarde, permitiendo así una mayor cantidad de carga aerodinámica. Para algunos perfiles simétricos (como por ejemplo los NACA 0006, 0009 y 0012, que tienen una curvatura de cero y un grosor de 0,06*c a 0,12*c) la pérdida es más abrupta según se acercan al ángulo de pérdida, mientras que en otros (como los NACA 2412, 2415 y 2418, con un 2% de curvatura máxima en 0,4*c, con un grosor de 0,12*c a 0,18*c), el aumento del grosor tiende a generar una pérdida más suave. Si se incrementa el grosor por encima de 0,12*c, el máximo valor de C_L vuelve a bajar algo, y esto implica que, si el alerón tiene el fin de seguir constando de un solo elemento, un grosor de 0,12*c puede ser interpretado como un parámetro válido para el diseño.

Sin embargo, los perfiles de ala muy delgados suelen estar relacionados con una pérdida abrupta, causada por la separación del flujo en el borde de ataque. El efecto de cambiar la curvatura es bastante diferente que el de cambiar el grosor. Agregar curvatura a un perfil alar permite generar más carga aerodinámica a un determinado ángulo de ataque. De hecho, las alas curvadas crean carga aerodinámica incluso a un ángulo de ataque de 0° o menos. El ángulo de carga cero puede ser un ángulo de incidencia

IV. Alerones

significativo en estas alas. La curvatura hacia atrás, es decir, con una curvatura máxima de $0,6^\circ$ en lugar de $0,4^\circ$, tiene un efecto mayor en la creación de carga aerodinámica, y produce una pérdida más gradual que si la curvatura es hacia delante. Pero la curvatura situada más hacia delante puede tener más aplicaciones en una configuración con poca resistencia y con ángulo de ataque bajo. Cambiando la geometría de las secciones traseras de un perfil alar, se pueden alterar las características de carga y, la manera más sencilla de hacerlo es mediante flaps regulables, de los que se tratará más adelante. Un ala curvada puede entrar en pérdida con un ángulo menor que un ala simétrica.

El radio del borde de ataque es otro parámetro en el que se pueden encontrar referencias contradictorias. Puede darse el caso de que un borde de ataque afilado, especialmente con una sección de ala estrecha, cause la separación del borde de ataque, creando así una disminución abrupta de carga cerca del ángulo de pérdida. Sin embargo, con un ángulo de ataque bajo, también puede darse el caso de que un borde de ataque afilado ayude a mantener una capa límite estrecha sobre la primera parte del ala, mejorando la eficacia, como lo determina la relación de sustentación/resistencia. Ambos efectos pueden ocurrir en el mismo alerón, con diferentes ángulos de ataque. Además, en el caso de alerones de varios elementos con mucha carga aerodinámica, el incremento en la succión es tan pronunciado que el aire fluye significativamente más rápido alrededor del borde de ataque. Con el fin de evitar la separación prematura del flujo en el borde de ataque, puede hacer falta un cambio en la forma del mismo, y crear así un perfil más afilado. Históricamente, los perfiles de los bordes de ataque en las categorías más importantes de monoplazas de todo el mundo han ido cambiando de redondeadas y con grandes radios a formas más afiladas, quizás del orden de 1-3% de la cuerda. Así, una cuerda de 300 mm puede tener un radio en el borde de ataque de 3 a 9 mm.

Por tanto, para un alerón de un solo elemento, los parámetros de selección incluyen:

1. Un ángulo de ataque bajo para conseguir poca carga aerodinámica y poca resistencia, un ángulo de ataque alto, hasta un máximo de $14-16^\circ$ relativo al flujo

IV. Alerones

- de aire, para una mayor carga aerodinámica, con el consiguiente hándicap de la resistencia.
2. Poco grosor para poca carga aerodinámica y poca resistencia, y hasta 0,12*c para una mayor carga, aunque a velocidades bajas, el grosor es mucho menos crítico.
 3. Pequeñas cantidades de curvatura, de unos 0,3*c para poca carga aerodinámica, y una curvatura mayor, de entre 0,05*c hasta 0,15*c, para una mayor carga, junto con un desplazamiento hacia atrás, posiblemente hasta 0,5*c o 0,6*c.
 4. Radio del borde de ataque entre 1-3% de cuerda.

Existe aún una interminable lista de opciones en lo que se refiere al grosor y la curvatura, pero este plan general de cuatro puntos puede ayudar a reducir la lista de posibles perfiles para una determinada categoría de competición y los circuitos que se visite, aunque es imposible elegir un perfil que se adapte a todos los circuitos.



Ilustración 29. Alerón de un solo elemento

IV.2.2. Alerón de dos elementos

Si se necesita una mayor cantidad de carga aerodinámica de la que se puede obtener con un alerón de un solo elemento, y además se puede tolerar la consiguiente resistencia adicional, entonces puede ser necesaria la utilización de alerones más complejos. De la ecuación básica de carga aerodinámica ($F_X = C_X * S * \frac{1}{2} * \rho * v^2$), es evidente que a cualquier velocidad dada, la carga puede aumentarse aumentando el valor de A (área del ala), o de C_L (Coeficiente de sustentación). En la mayoría de las categorías de competición, los reglamentos definen el tamaño máximo de los alerones y tienen sentido explotar toda la libertad permitida lo máximo posible, hasta el punto de llegar a perjudicar la eficacia del alerón. Un modo eficaz de aumentar la carga aerodinámica puede ser mantener una relación de aspecto

IV. Alerones

moderada pero intentar aumentar el C_L , y esto se puede conseguir utilizando un perfil de un solo elemento con mayor curvatura, o, si se necesita mucha carga, usando un alerón de varios elementos.

El diseño de varios elementos más sencillo es, por supuesto, el alerón de dos elementos, donde el plano principal va acompañado de un flap. Si se añade un flap a un alerón de un solo elemento en la posición apropiada, pueden ocurrir una serie de sucesos. Primero, se aumenta el área de planta, que, como se ha visto anteriormente, permite la creación de más carga aerodinámica. Segundo, la curvatura efectiva del ala de dos elementos se ve aumentada y también aumentará la carga a un cierto ángulo de ataque. Y tercero, la crucial interacción entre el plano principal y el flap surgida por la posición relativa del uno contra el otro, ayuda a la generación de más carga mediante la modificación del flujo de aire en el lado de la succión del alerón.

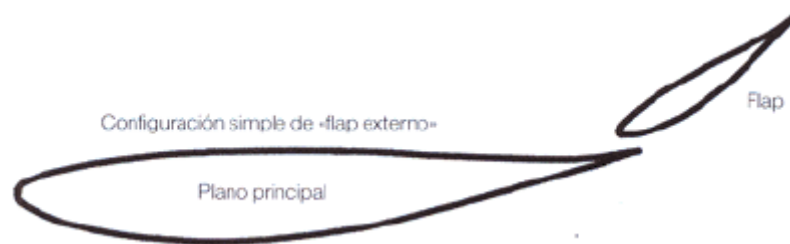


Ilustración 30. Alerón de dos elementos con una configuración de "flap externo"

Existen dos geometrías comunes para alerones de dos elementos, y se conocen como la configuración del "flap externo" y la del "flap de ranura", conocido también como "flap tipo Fowler".

El flap de ranura, más complejo por su forma y por tanto más difícil de construir, parece derivado de aplicaciones aeronáuticas, donde el flap es una pieza móvil que puede subir y bajar, así como rotar. La forma del plano principal es dictada tanto por la capacidad de albergar el flap dentro del perfil general del plano principal en el modo de poca resistencia, con el flap casi horizontal, como por las consideraciones del flujo de

IV. Alerones

aire cuando se encuentra más elevado. El flap externo utiliza un plano principal más sencillo, y resulta más fácil de construir. Puede parecer que existan ventajas en una u otra configuración. Sin embargo, hay algunas pruebas de que se consiguen mejoras en el C_L y C_x con la configuración Fowler pero, no obstante d ello, la tendencia hoy en día es la de utilizar la configuración de flap externo.

Existen, sin embargo, ciertos puntos con respecto al tamaño del flap y, especialmente, con respecto a la posición que es importante mencionar. El tamaño del flap, es decir, la dimensión de su cuerda, es generalmente del orden del 25-30% de la cuerda general (plano principal más flap). También se utilizan cuerdas de flap mayores, del orden del 30-40% para generar incrementos en el coeficiente de carga aerodinámica. La forma del flap es normalmente una versión a escala de la forma del plano principal, pero también puede ser un perfil sencillo de la NACA y funcionar perfectamente. Las consideraciones prácticas pueden dictar que sea algo más ancho que el plano principal, en relación con su propia dimensión de cuerda, con el fin de darle una mayor rigidez.

Sin embargo, la consideración más importante con un alerón de dos elementos es la posición del flap en relación con el plano principal. La clave, aquí, es formar una ranura estrecha entre el borde de fuga del plano principal y el borde de ataque del flap. Para esto hace falta que se solapen, con el flap situado encima del borde de fuga del plano principal como elemento inductor de carga aerodinámica. El tamaño del espacio entre el plano principal y el flap es normalmente de 1-2 %*c, y el solapamiento entre el borde de ataque del flap y el borde de fuga del plano principal, aunque no resulta crítico, es normalmente de un 1-4 %*c. Sin embargo, el punto más crítico de todos es que la forma de la ranura debe ser convergente, es decir, que se vaya estrechando desde su apertura hasta su salida. El único modo de optimizar la geometría de un alerón y un flap es realizar muchas pruebas, preferiblemente en un túnel de viento.

Frecuentemente, se dice que la función de un flap no es sólo aumentar el área y la curvatura para mejorar la carga aerodinámica, sino también permitir que algo del aire de la zona de alta presión del alerón pase por la ranura hasta la zona de succión.

IV. Alerones

Forzando al aire a pasar por una ranura convergente, éste se acelera, y así ingresa en la zona de succión con mayor energía y menor presión. Esto ayuda a controlar la capa límite y a retrasar la separación del flujo que, a cambio, debería permitir un mayor ángulo de ataque antes de que el ala entrara en pérdida. Sin embargo, ésta es una creencia popular errónea, ya que éste no es el mecanismo fundamental por el cual un flap aumenta la sustentación. El efecto de montar un flap es demasiado grande para que esto sea un mecanismo primario de aumento de la sustentación. La realidad es que ocurren al mismo tiempo una serie de fenómenos. El flap, en realidad, induce a que la velocidad del aire aumente sobre las zonas de succión y de presión del elemento principal; en el caso de la zona de succión ayuda a reducir la inclinación del gradiente de presión adverso, lo que sirve para evitar la separación del flujo. De manera que la combinación del área adicional, el incremento de curvatura y la beneficiosa modificación del campo del flujo alrededor del plano principal sirve para conseguir un aumento significativo de la carga aerodinámica.

El aumento de los valores disponibles de C_L utilizando un alerón de dos elementos es considerable, y es posible que el C_L máximo sea casi el doble. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, la entrada en pérdida puede ocurrir con un ángulo de ataque algo menor en un alerón con flap, efecto que disminuye según aumenta su desviación. A pesar de todo, se puede conseguir un aumento sustancial en la carga aerodinámica en proporción directa al aumento del valor de C_L . El flap, además, proporciona un método más sencillo de ajustar los alerones para una puesta a punto afinada del equilibrio del coche.

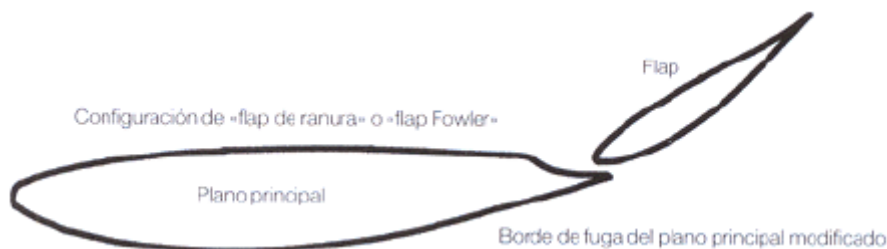


Ilustración 31. Alerón de dos elementos con una configuración de "flap de ranura" o "flap Fowler"

IV. Alerones

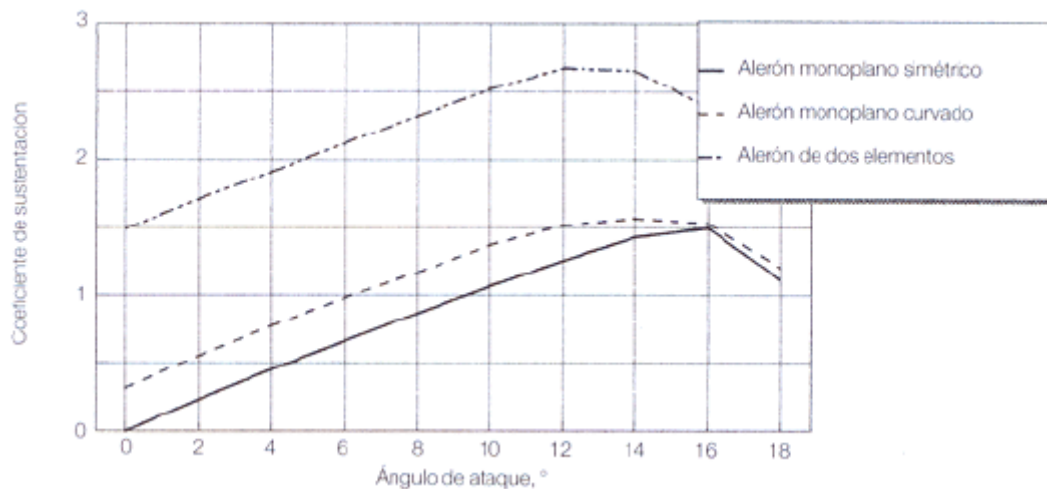


Ilustración 32. Curva de sustentación de un alerón de dos elementos

IV.2.3. Alerones de varios elementos

Se pueden obtener valores de C_L mayores si se añaden aún más flaps a un alerón. La configuración de “doble flap ranurado”, en la que se colocan dos flaps sobre el borde de fuga del plano principal, es una extensión lógica de la configuración de un solo flap, y sirve para aumentar la curvatura del ala incluso más. Las geometrías de los dos flaps se muestran a menudo en textos aeronáuticos con bastantes diferencias el uno del otro, con el primer flap un poco más pequeño y ancho que el segundo, y algunos coches de carreras han adoptado este principio. El tamaño de la ranura entre el plano principal y el flap delantero, y entre éste y el segundo flap, puede ser similar o, si no, el primero debe ser más grande que el segundo. Los datos aeronáuticos dan una mezcla de información, pero esto puede ser así porque la geometría de los alerones utilizados en los aviones puede ser alterada en vuelo, y los espacios son diferentes dependiendo del ángulo del flap desplegado. Sin embargo, en un coche de carreras, los flaps deben estar fijos una vez que el coche deja los boxes, y las posiciones de los flaps y los espacios entre ellos deben ser elegidos de antemano. A pesar de todo, esto permite una menor forma de optimización de los espacios que en un avión, en el que se tiene que considerar aspectos como el ocultamiento de los flaps. Frecuentemente, se puede ver que el segundo

IV. Alerones

espacio es más pequeño que el primero. La mejor configuración sólo se alcanza después de muchas horas de pruebas, aunque, sin la ayuda de un túnel de viento o algún aparato medidor, todas las pruebas que se realicen sólo servirán para tener un estimativo. En este punto, y en ausencia de cualquier información, es mejor configurar los dos espacios entre los flaps a la misma distancia sugerida para el alerón de un solo flap.



Ilustración 33. Alerón de tres elementos

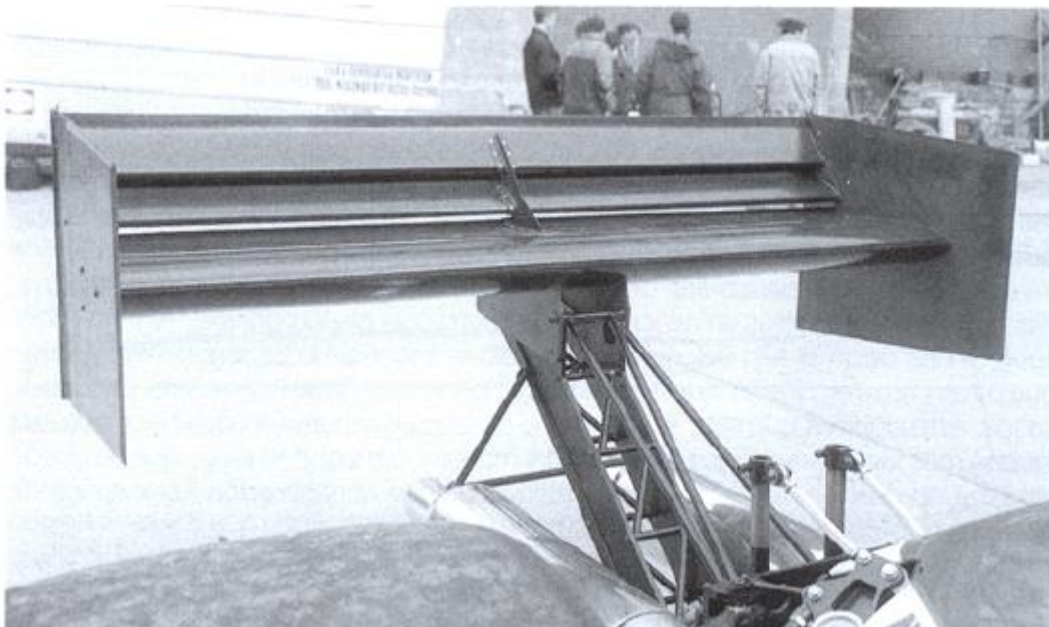


Ilustración 34. Alerón de tres elementos de un Gould-Ralt GR37

IV. Alerones

La dimensión combinada de la cuerda de los dos flaps podría situarse entre el 30-40% de la cuerda total del ala, así que en términos relativos, los flaps aquí son más pequeños individualmente que en el caso de un alerón de dos elementos, donde el flap tenía un tamaño del 30% de la cuerda total. Sin embargo, se ha de mirar las diferentes categorías de competición para ver los respectivos reglamentos en lo que se refiere al diseño de los coches. Los coches de Fórmula 1 tienen cuerdas de plano principal muy cortas en relación con las cuerdas de sus flaps, y es el resultado de la fuerte restricción en las dimensiones de la cuerda total. Los coches de la Indy tienen una serie de reglas diferentes, y en esta categoría, los planos principales para los circuitos ovales y urbanos cortos tienen una cuerda mucho más profunda.

Una vez más, existen pruebas de que una sección del plano principal más ancha produce mejores resultados cuando trabaja con flaps dobles que una más fina, y los valores de grosor que tienen hacia un 18 %^c están asociados con un incremento gradual de C_L . En términos de mejoras de las prestaciones, la adición de un segundo flap hace que aumente de forma sustancial el valor de C_L . Pero en términos generales, los flaps adicionales consiguen aumentar la carga aerodinámica de forma más reducida. Los ángulos de pérdida no son tan pronunciados como en los alerones de un solo elemento. Sin embargo, en los alerones de los coches de competición se puede llegar a ver ángulos de ataque de hasta el 20%. El ángulo de inclinación de los flaps puede estar en una banda entre 25-30° para el flap delantero y entre los 30-70° para el secundario, midiendo todos los ángulos en relación con la cuerda del plano principal. Algunas configuraciones dejan el flap delantero fijo y sólo el secundario es regulable, mientras que otras permiten que se ajusten a la par, estando uno fijado con el otro. En ambos casos, esto significa que sólo se altera una de las dos ranuras, lo que hace que sea mucho más fácil de manejar.

IV. Alerones

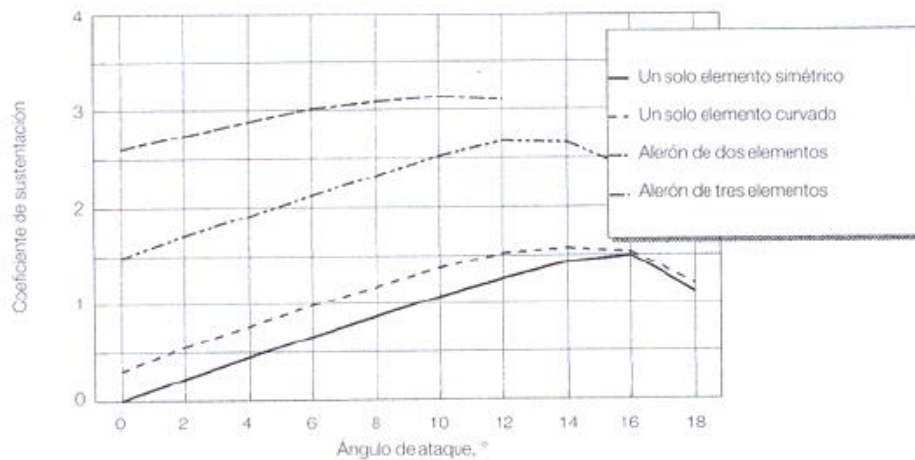


Ilustración 35. Curva de sustentación de un alerón de tres elementos

Para lograr más carga aerodinámica, se pueden añadir incluso más flaps, y en un caso extremo, conocido como la configuración del flap de la “Persiana veneciana”, se llegan a añadir cuatro flaps al plano principal. De este modo el elemento principal es bastante plano con un borde de ataque bajo para conseguir el ángulo de ataque más inclinado posible, y la curvatura está, claramente, desplazada hacia atrás.

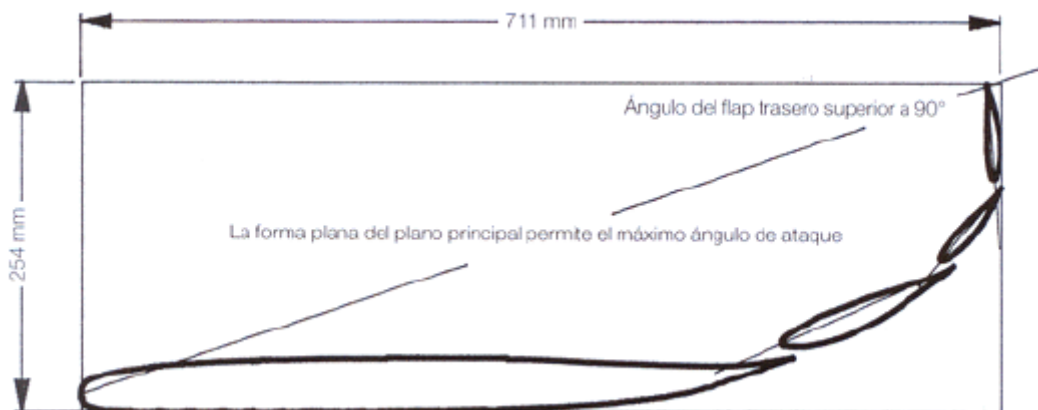


Ilustración 36. Alerón de la CART de 1997

Se ha mencionado anteriormente que los alerones con mucha carga aerodinámica pueden sufrir separación del flujo en su borde de ataque y que puede ser necesario un cambio en la geometría delantera del alerón para evitar que esto suceda. Un modo de

IV. Alerones

lograr esto, que evita tener que modificar el plano principal, es el uso de una aleta en el borde de ataque. Este tipo de dispositivo puede verse en las alas de muchos aviones de transporte de pasajeros.

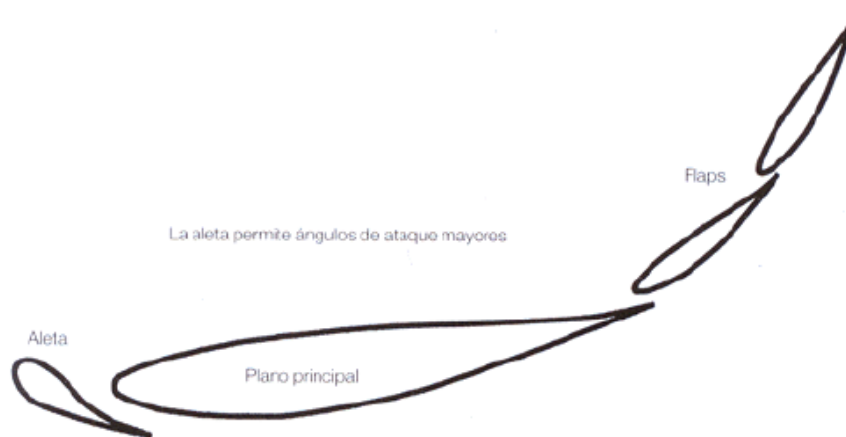


Ilustración 37. Alerón de tres elementos con una aleta en su borde de ataque

Se trata de un elemento que es bastante parecido a un flap, pero que está situado en el lado contrario del plano principal, en realidad, por debajo del borde de ataque. Hace el efecto de añadir "perturbación" por delante del ala, lo que reduce la velocidad en la parte inferior de la zona de succión, y con ello la posibilidad de separación que puede tener lugar como consecuencia de un ángulo de ataque muy pronunciado. La aleta, además, añade un incremento de sustentación por sí misma. El beneficio de una aleta sólo comienza a tener efecto con ángulos muy pronunciados, y además, se puede retrasar la entrada en pérdida hasta un ángulo mayor. Por lo tanto, dicho elemento permite que se cree un mayor C_L antes de entrar en pérdida, y también se obtiene un aumento en la carga aerodinámica.

IV. Alerones

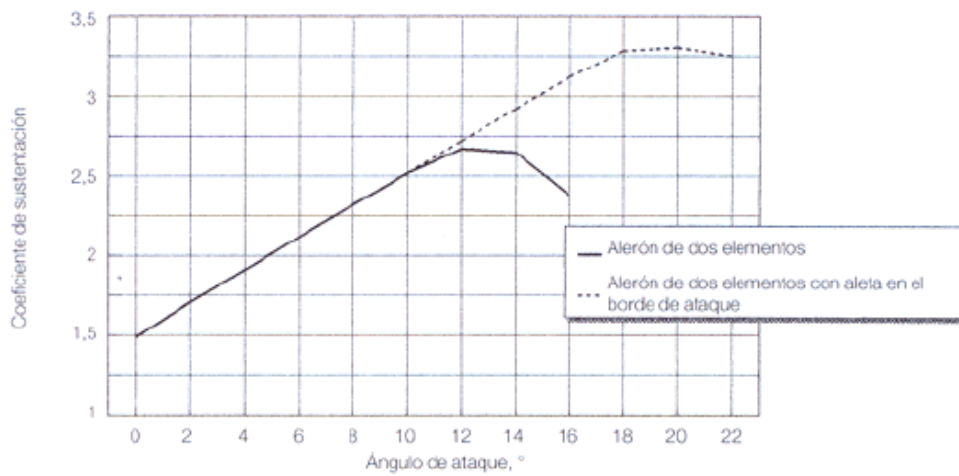


Ilustración 38. Curva de sustentación de un alerón con aleta

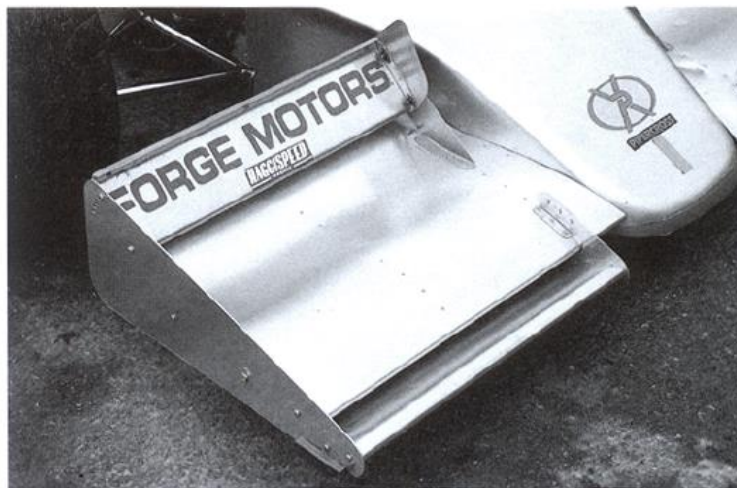


Ilustración 39. Alerón delantero con flap y lámina en el borde de ataque

IV.2.4. Alerones múltiples

Los alerones múltiples son aquellos que tienen dos o más planos principales. El beneficio aparente de incrementar el área del ala es la razón obvia para utilizar una configuración biplanar, especialmente cuando existen pocos lugares en los que fijar los alerones. Pero existe una desventaja que surge de este tipo de configuración. Basta

IV. Alerones

pensar que el plano superior genera una zona de baja presión en su parte inferior. Lo que ocurre cuando se coloca otro alerón más abajo es que, la zona de baja presión bajo el plano superior actúa sobre la superficie del ala inferior.



Ilustración 40. Alerón de doble plano de un Benetton B197

Desde luego existe interferencia entre los planos, y el resultado es que no se consigue el doble de carga aerodinámica sólo por tener dos alas superpuestas cuando éstas se encuentran relativamente cerca. Sin embargo, el efecto combinado puede dar beneficios y conseguir más carga aerodinámica que con un solo plano. Efectivamente, con una separación vertical igual a la dimensión de la cuerda, se piensa que dos alas idénticas producirán el doble de carga que una sola, pero existen otros posibles beneficios en la configuración múltiple. El primero es que, aunque la eficacia del alerón, determinada por la relación carga/resistencia, puede empeorar con el uso de tres o cuatro planos, el efecto del flujo de aire es tal que podría tolerar un incremento en el ángulo de ataque general, permitiendo generar más carga aerodinámica antes de que el alerón entre en pérdida. Y segundo, el plano inferior puede situarse de modo que interactúe de modo favorable con el flujo de aire del fondo plano del coche, ayudando y aumentando la producción de baja presión. De este modo, mediante el cuidadoso diseño y desarrollo de este aspecto se puede conseguir un aumento significativo en la cantidad de carga aerodinámica.

IV.3. Elementos secundarios: derivas laterales y perfiles Gurney

Existen dos apéndices casi siempre presentes que van fijados a los alerones, que tienen un profundo efecto en las prestaciones y que no puede ser olvidados: las derivas laterales y los flaps Gurney (o nolders). Las derivas no están ahí solo para esconder la forma del perfil de un alerón para que no lo vea la competencia o para poner el nombre del patrocinador. En realidad, tienen un propósito muy valioso, que es el de incrementar la carga aerodinámica del alerón de forma considerable, quizás hasta un 30% sobre el valor que se logra sin ellas. Sin derivas, la diferencia de presión de aire entre la parte inferior y superior de un alerón hace que el aire en la zona de alta presión intente escapar a la zona de baja presión y se derrama por las alas con movimientos diagonales (Creando el característico patrón de vórtices). Esto causa una pérdida de carga aerodinámica. Al incorporar las derivas, se reduce o se evita que ocurra este movimiento sobre la superficie del ala, lo que ayude a mantener la diferencia de presión por encima y por debajo. Las derivas necesitan ser bastante grandes para ser efectivas, aunque generalmente no existe mucho espacio para usar una deriva muy grande por encima del alerón trasero si éste ya se encuentra lo más arriba que el reglamento permite. Sin embargo, normalmente se tiene mucho espacio para extender las derivas hacia el suelo, y muchas veces las propias derivas constituyen la principal sujeción del coche (Si no se pueden sujetar de esta manera, el alerón se puede anclar por el centro) o por lo menos suelen servir como estabilizadores. Los alerones delanteros no suelen permitir grandes derivas debido a su proximidad al suelo.

IV. Alerones

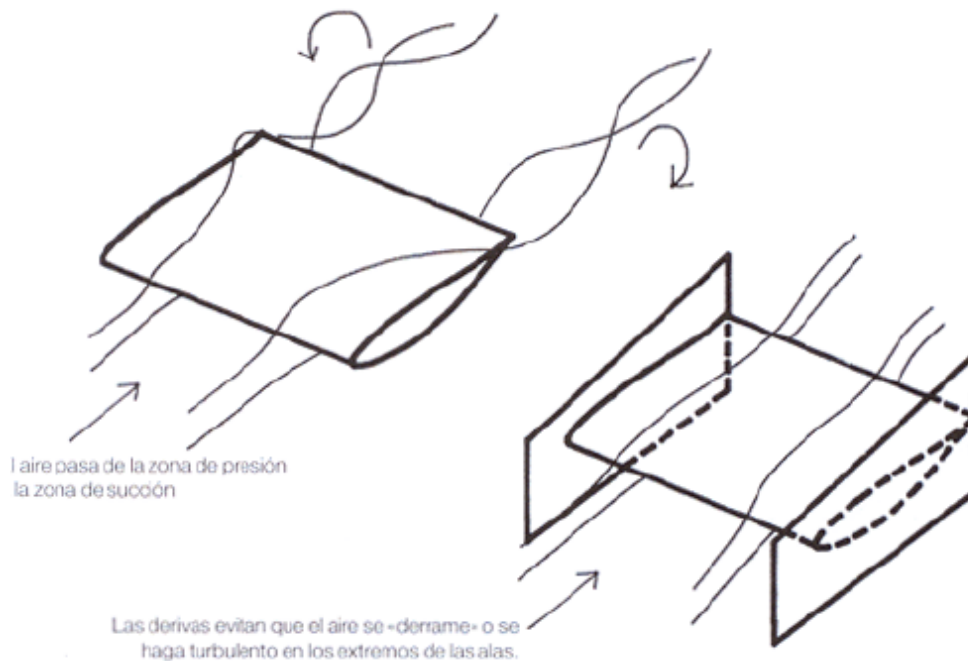


Ilustración 41. Efecto de las derivas

El flap o perfil Gurney es una pequeña aleta en ángulo recto fijada al borde de fuga del elemento situado más atrás de un alerón. Este elemento, utilizado por primera vez por el americano Dan Gurney, es un medio de añadir carga aerodinámica casi sin aumentar la resistencia. Los flaps Gurneys forman un par de vórtices invertidos justo detrás de ello, los cuales tienen el efecto de añadir un componente vertical a la velocidad del borde de fuga. Esto desvía el flujo hacia arriba e incrementa la carga aerodinámica. El efecto es el mismo que el de añadir más curvatura a un alerón. Una de las principales ventajas prácticas de los Gurney es que se pueden poner y quitar rápidamente, o ser reemplazados por otros de diferentes tamaños, y por esto, son un elemento importante a la hora de afinar la puesta a punto.

IV. Alerones

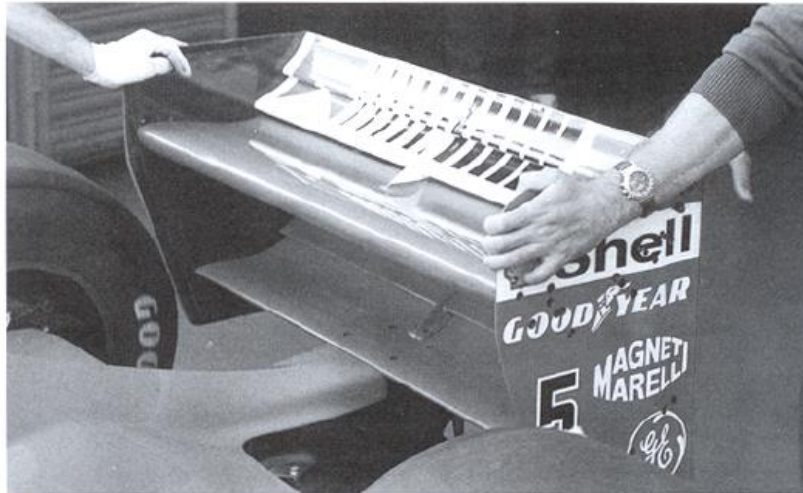


Ilustración 42. Derivas laterales en el alerón trasero de un Ferrari 310B

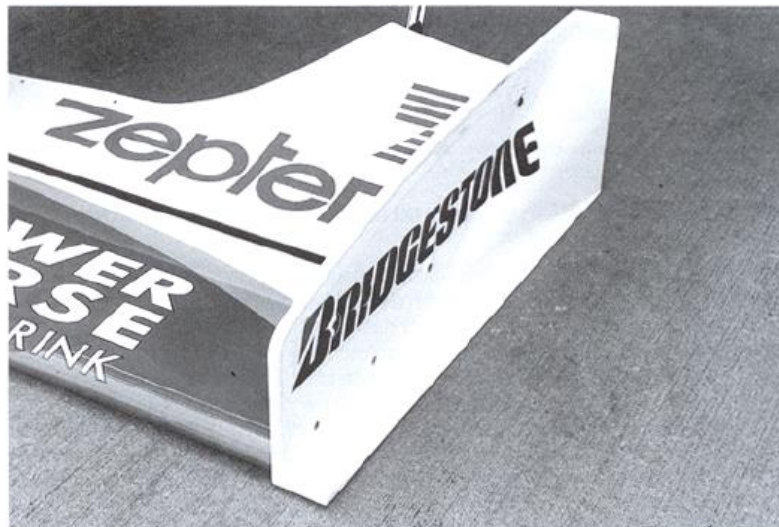


Ilustración 43. Derivas laterales en el alerón trasero de un Arrows A18

Los perfiles Gurney pequeños dan lugar a importantes aumentos en la carga aerodinámica a cambio de un mínimo incremento de la resistencia, mientras que los más grandes proporcionan un pequeño aumento de la carga y uno mayor de la resistencia. Por esto existen limitaciones lógicas en este apartado, y los flaps Gurney son

IV. Alerones

normalmente de menos de un 5 % de la altura de la cuerda. Cuanto más pequeño sea, más efectivo será, y un Gurney de alrededor de un 2 % de la cuerda puede aumentar hasta 0,30 del C_L con un mínimo aumento de la resistencia.

IV.4. Ambiente de trabajo

Los alerones en los coches de carreras tienen que funcionar en unas condiciones menos que ideales comparados con los de un avión, cuyas alas trabajan en lo que se considera aire limpio. Incluso los alerones delanteros de los coches, aunque siempre menos que los traseros, se ven afectados por la presencia adversa de las ruedas girando cerca de ellos, las piezas de la suspensión y el propio morro del coche. El alerón trasero debe trabajar con aire que ha sido revuelto por todas las protuberancias por delante de él, incluyendo las ruedas, la carrocería y los espejos, la cabeza del piloto, el arco de seguridad y el capó del motor. En el caso de un turismo de carreras, el alerón trasero se encuentra parcialmente bloqueado por la carrocería del coche y la calidad del flujo que le llegue dependerá de la forma del techo y de la luna trasera. Las complejas formas, que se observan en la elevación delantera o trasera, del alerón trasero de un Super Turismo demuestran cómo los diseñadores intentan arreglárselas con las variaciones en la calidad del flujo de aire que pasa por las diferentes partes de la envergadura de un alerón.

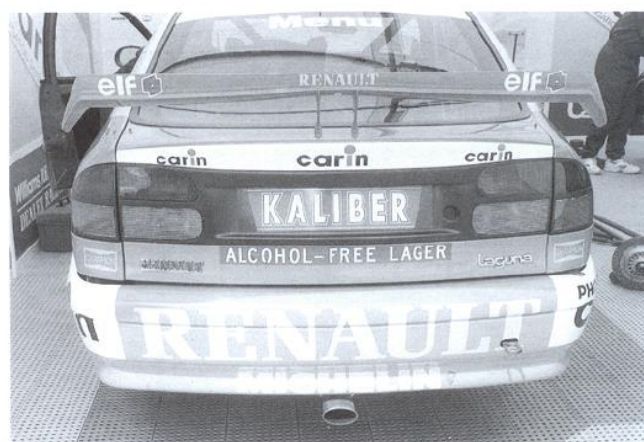


Ilustración 44. Complejo alerón trasero de un Renault Laguna Super Turismo

IV.5. Efecto Suelo y alerones delanteros

Muchas de las influencias sobre un alerón mencionadas en el punto anterior son esencialmente negativas, van en contra de la carga aerodinámica que generan y se alejan de la ventaja teórica que deben generar. Pero existen influencias que tienen un marcado efecto positivo en la carga producida por los alerones delanteros, una de los cuales es el "Efecto suelo". La carga aerodinámica producida por un alerón separado del suelo aumenta según el alerón acerca del suelo. La causa puede ser explicada pensando en este sistema como un tubo Venturi análogo: la reducción de presión se vuelve mayor entre el alerón y el suelo de lo que haría debajo del alerón con el aire pasando libremente. El efecto se vuelve mayor cuanto más cerca está, hasta que se encuentra tan cerca que el efecto se invierte y la carga aerodinámica cae de nuevo. Esto ocurre cuando la capa límite interfiere con el suelo y bloquea el flujo que pasa por debajo del alerón.

Para intentar definir este efecto en números, un alerón operando en la zona de los 50 mm de distancia al suelo puede producir el doble de carga aerodinámica que produciría a una distancia considerable del suelo en zona de flujo "libre"; normalmente se considera que esta altura del flujo libre no debe ser menor que la dimensión del acuerda. Esto se vuelve muy importante a la hora de seleccionar un perfil de alerón delantero para equilibrar el alerón trasero. Una comparación interesante es que el valor C_L con 50 mm de distancia al suelo puede ser hasta un 50-60 % mayor que el generado a 152 mm. Esto demuestra la sensibilidad del C_L con respecto a la proximidad al suelo.

En una situación dinámica, un coche se balancea continuamente, cabecea y varía el ángulo de orientación de su eje longitudinal en respuesta a las cargas mecánicas a las que es sometido y, según aumenta y disminuye su velocidad, la carga aerodinámica sobre el mismo sube o baja. Estos efectos se combinan para producir cambios en la altura del coche y en la actitud de cabeceo (el morro sube o baja), lo que puede tener una

IV. Alerones

marcada influencia en la proximidad del alerón delantero con respecto al suelo, así como en su ángulo de ataque. Esto, a su vez, crea cantidades de carga aerodinámica variables, y el resultado es que el coche se vuelve impredecible, e incluso inestable, ya que la variable generación de carga sirve para confundir al piloto y le hace perder confianza en el coche. Existe un suceso incluso peor que la sensibilidad al cabeceo, que puede ocurrir cuando los alerones delanteros se encuentran pegados al suelo. En esta situación, los alerones actúan en lo que puede llamarse efecto suelo extremo. En circunstancias que causan una reducción excesiva del espacio del alerón delantero con respecto al suelo, el alerón puede entrar en el área en la que la capa límite interactúa con el suelo y bloquea el flujo de aire bajo el alerón. Esto causa que la carga decrezca rápidamente, con lo que el morro del coche vuelve a elevarse, permitiendo el paso del aire de nuevo, lo que crea otra vez carga aerodinámica y vuelve a pegarle al suelo. Esta extraña oscilación es conocida como “porpoising” o cabeceo descontrolado y fue un problema serio en la era del efecto suelo de los años 80. Por esto, la sensibilidad al cabeceo y los métodos para mejorar sus efectos, utilizando sistemas de suspensión activa y, hoy en día, sistemas de amortiguación que permitan el ajuste independiente de velocidades de pistón altas y bajas, con el fin de controlar las reacciones a altas velocidades, se encuentran en la parte más alta de la lista de prioridades de los diseñadores.



Ilustración 45. Vista frontal de un alerón delantero complejo

Se ha conseguido aún más mejoras en la reducción de la sensibilidad al cabeceo mediante el uso de alerones delanteros con complejas formas a lo largo de las

IV. Alerones

envergaduras. Muchos alerones delanteros de monoplazas de las altas categorías tienen cierto grado de curvatura o “diedro negativo”. En parte, esto se relaciona con el manejo del flujo de aire que pasa por la parte de abajo del coche y por los radiadores a través de los conductos de los pontones. Pero un beneficio añadido es que la sensibilidad al cabeceo se ve reducida porque el espacio entre el alerón y el suelo es variable a lo largo de la envergadura del alerón. De este modo, la situación en la que el flujo de debajo del alerón es bloqueado por completo cuando se reduce la distancia con el suelo, no puede darse. Este alerón tal vez no genera tanta carga aerodinámica como uno que está constantemente cerca del suelo, pero es más fiable y proporciona al piloto mayor confianza.

**V. DISEÑO DEL ALERÓN
MEDIANTE SOFTWARE CAD**

**DISEÑO DEL
ALERÓN
MEDIANTE
SOFTWARE CAD**

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

V.1. Elección del software

Para realizar el diseño en 3D del alerón y su posterior ensamblado en el vehículo se hará uso del software SolidWorks. SolidWorks es un software CAD que permite modelar elementos mecánicos en 2D y 3D, desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Por otra parte, con diversos complementos que implementa SolidWorks, se pueden llegar a realizar simulaciones aerodinámicas, simulaciones estructurales...



Ilustración 46. Logo del software SolidWorks

V.2. Modelado de las partes del alerón

En este apartado se va a explicar cómo se han realizado las piezas que conforman el alerón trasero mediante el software anteriormente mencionado. Las piezas que conforman este alerón son las derivas laterales, el perfil alar y los soportes, las cuáles se mostrarán en sus respectivos apartados a continuación.

Nota: cabe destacar, que el vehículo que se ha escogido para este trabajo estaba a escala y por tanto las medidas que poseía no eran las medidas reales. Por tanto, se ha tenido que adaptar las medidas del alerón al vehículo para no tener errores y problemas a la hora del ensamblado. Por otra parte, en los planos técnicos, las medidas que

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

aparecen son las medidas reales, las que debe de tener el alerón cuando sea fabricado y sea ensamblado en el vehículo real.

V.2.1. Derivas laterales

En este apartado se realizarán las derivas laterales del alerón, las cuáles irán ensambladas en los laterales del perfil alar, para así hacer que el aire no se escape por estas zonas laterales.

Para realizar el modelado de las derivas laterales, primero que todo, se ha realizado un croquis de la deriva lateral, para posteriormente, realizarle una operación de "Extrusión" para darle volumen.

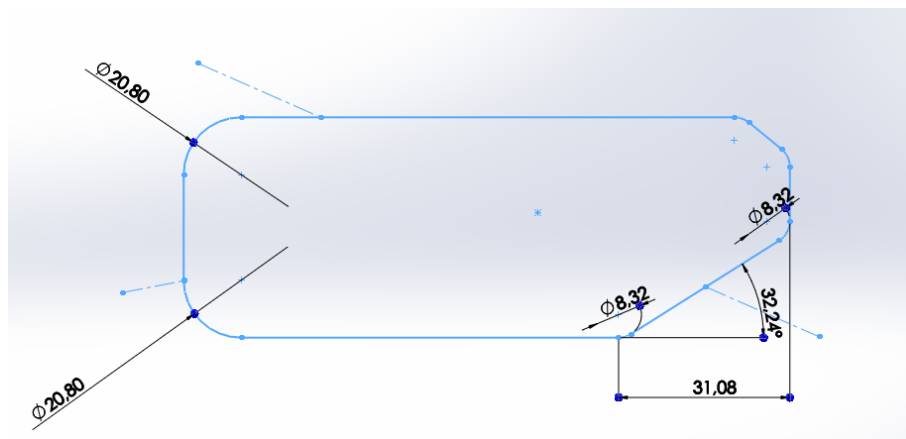


Ilustración 47. Croquis de la deriva lateral

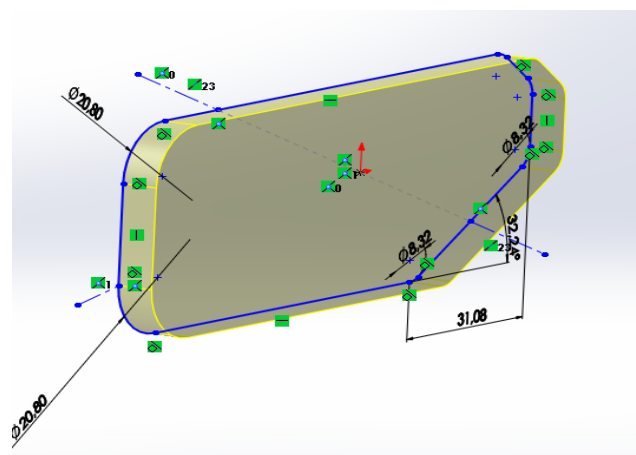


Ilustración 48. Operación de "Extrusión" de la deriva lateral

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

Posteriormente, se ha realizado una operación de "Redondeo" a la pieza, para quedar más estilizada y ser más efectiva en su función.

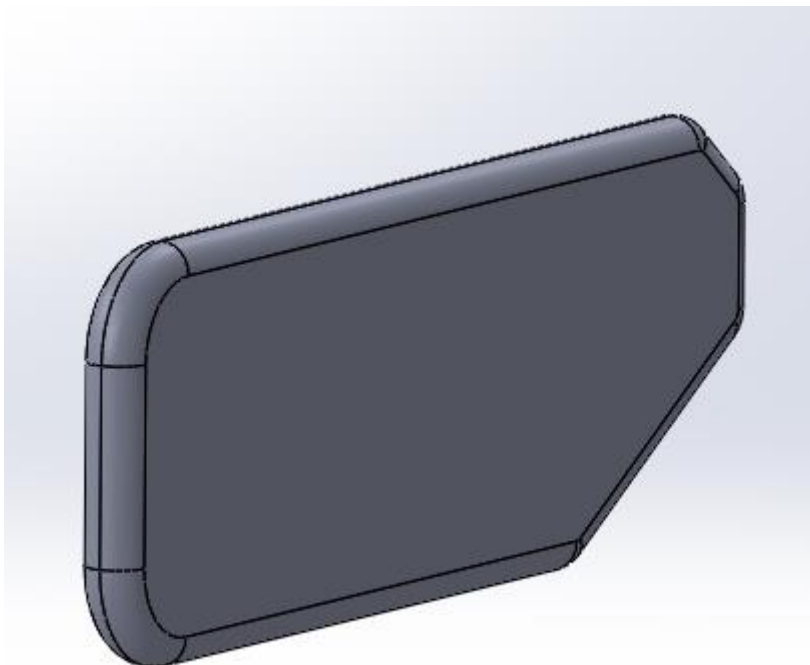


Ilustración 49. Operación de "Redondeo" de la deriva lateral



Ilustración 50. Operación de "Redondeo" de la deriva lateral

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

Para finalizar esta pieza, se le ha realizado una operación de “Corte-Extruir” para poder realizar unos agujeros, los cuáles alojarán unos tornillos M6 que sujetarán estas derivas con el perfil. De esta forma, se facilitará el ensamblado de la pieza.

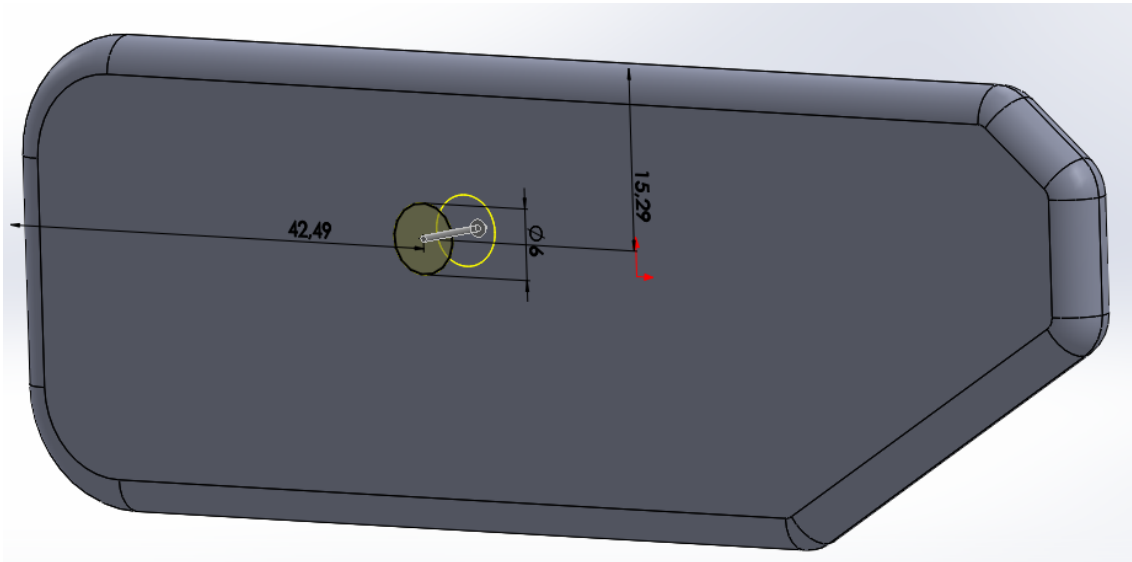


Ilustración 51. Realización de agujero en la deriva lateral

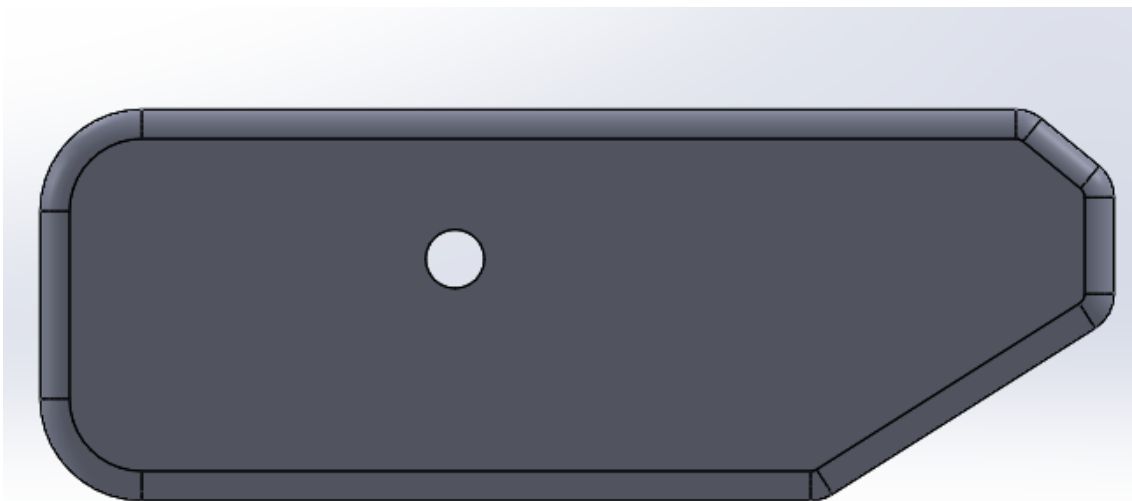


Ilustración 52. Agujero finalizado en la deriva lateral

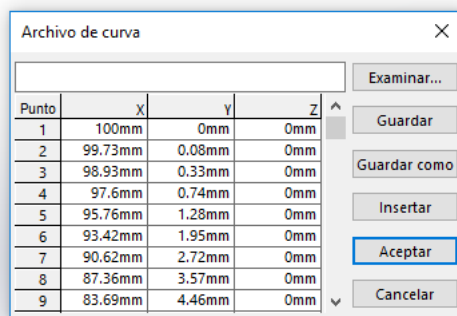
De esta forma, la deriva lateral del alerón trasero quedaría completamente acabada a la espera de ser ensamblada con el perfil alar del alerón.

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

V.2.2. Perfil alar

En este apartado se realizará el perfil alar del alerón. Es el elemento más importante ya que es el encargado de crear carga aerodinámica.

En primer lugar, para modelar el perfil alar, se ha introducido una Curva mediante coordenadas en el programa informático SolidWorks. Después de realizar esta operación, se ha seleccionado un plano, en nuestro caso el Alzado y a continuación, se ha seleccionado la Curva y se ha seleccionado también la operación de "Convertir entidades" para así poder hacer una operación de "Extrusión" y darle volumen a la curva.



Punto	X	Y	Z
1	100mm	0mm	0mm
2	99.73mm	0.08mm	0mm
3	98.93mm	0.33mm	0mm
4	97.6mm	0.74mm	0mm
5	95.76mm	1.28mm	0mm
6	93.42mm	1.95mm	0mm
7	90.62mm	2.72mm	0mm
8	87.36mm	3.57mm	0mm
9	83.69mm	4.46mm	0mm



Ilustración 53. Introducción de los parámetros de la curva en SolidWorks

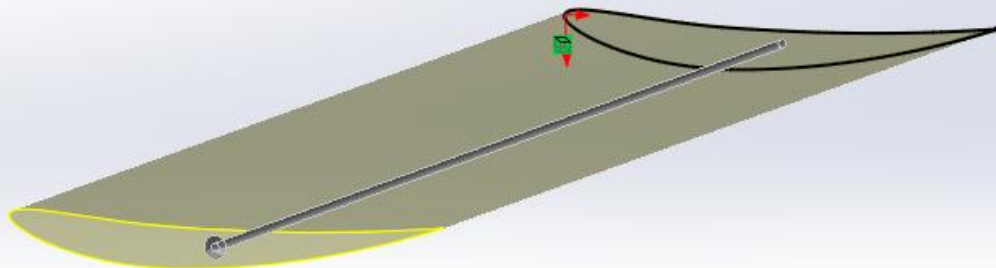


Ilustración 54. Operación de "Extrusión" de la curva

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

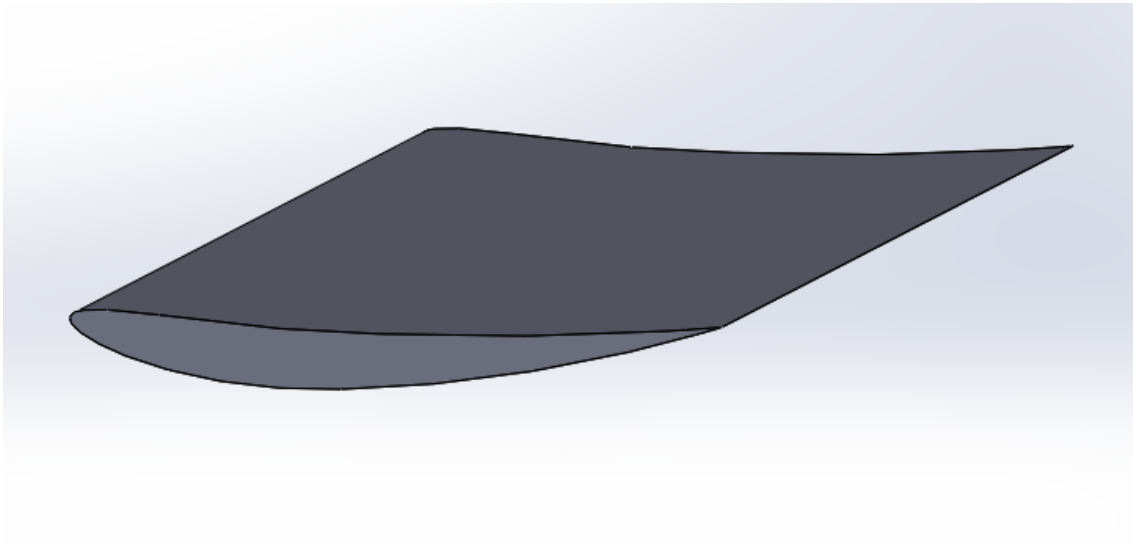


Ilustración 55. Operación de "Extrusión" finalizada

Por último, una vez realizada la operación de "Extrusión", se procede a realizar una operación de "Corte-Extruir". Esta operación servirá para poder hacer unos agujeros que alojarán los tornillos M6 y así fijar las derivas laterales con el perfil alar, de manera que todo quede bien ensamblado. Los agujeros tienen una profundidad de 10 mm.

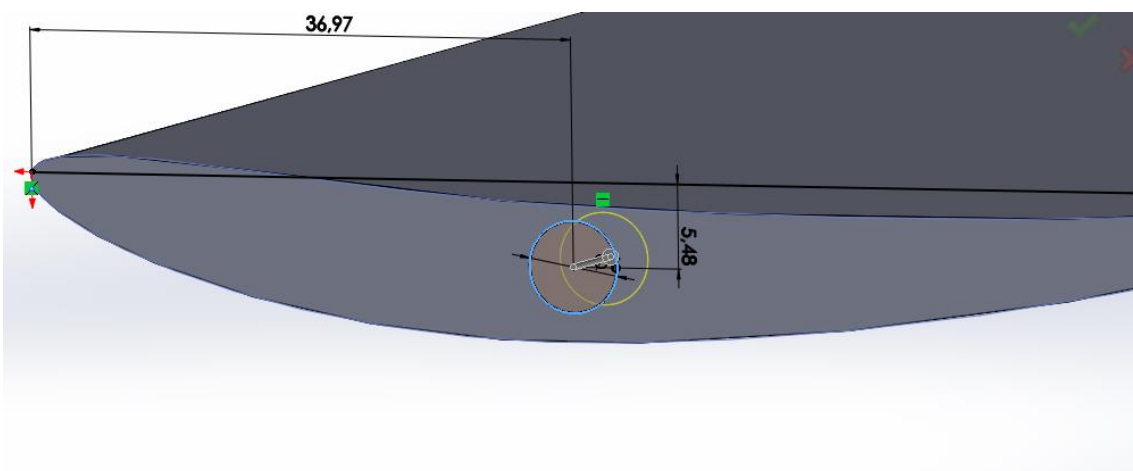


Ilustración 56. Realización de agujeros en el perfil

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

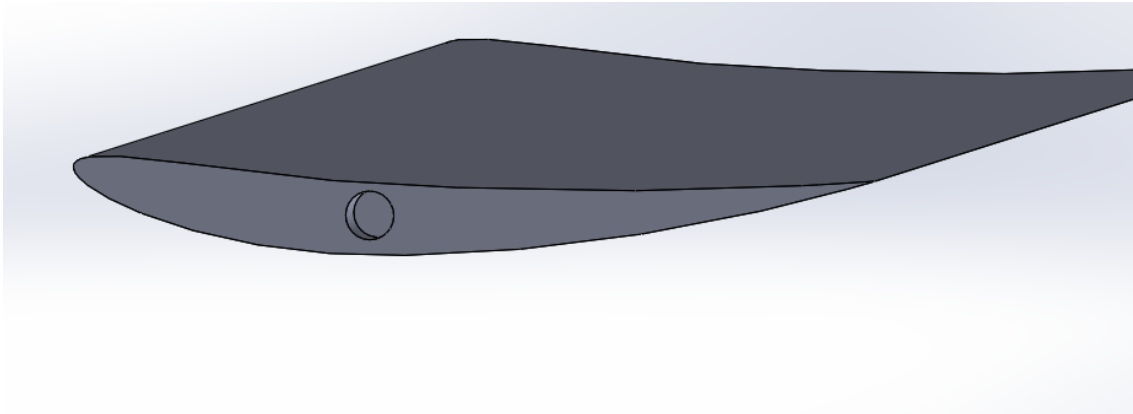


Ilustración 57. Agujeros en el perfil terminados

Hechos los agujeros, se procede a realizar el vaciado del perfil, de manera que este quede hueco por dentro para así tener un menor peso. Se ha realizado un croquis con la forma de la curva del perfil en un plano que se ha creado. Este plano se ha creado a una distancia de 10 mm desde el lateral del perfil, de manera que se proceda al vaciado una vez se pase el agujero del tornillo, ya que si se hiciera desde una distancia 0 mm, el tornillo no se podría roscar.

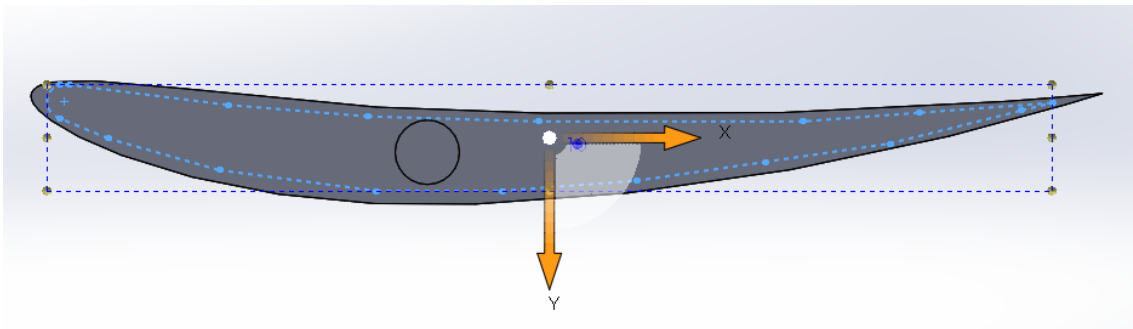


Ilustración 58. Croquis para realizar el vaciado de la pieza

Una vez realizado el croquis, con la ayuda de la operación “Cortar-Extruir”, se ha procedido al vaciado de la pieza, dejando toda la pieza hueca hasta 10 mm antes del agujero del tornillo de la otra parte del perfil.

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

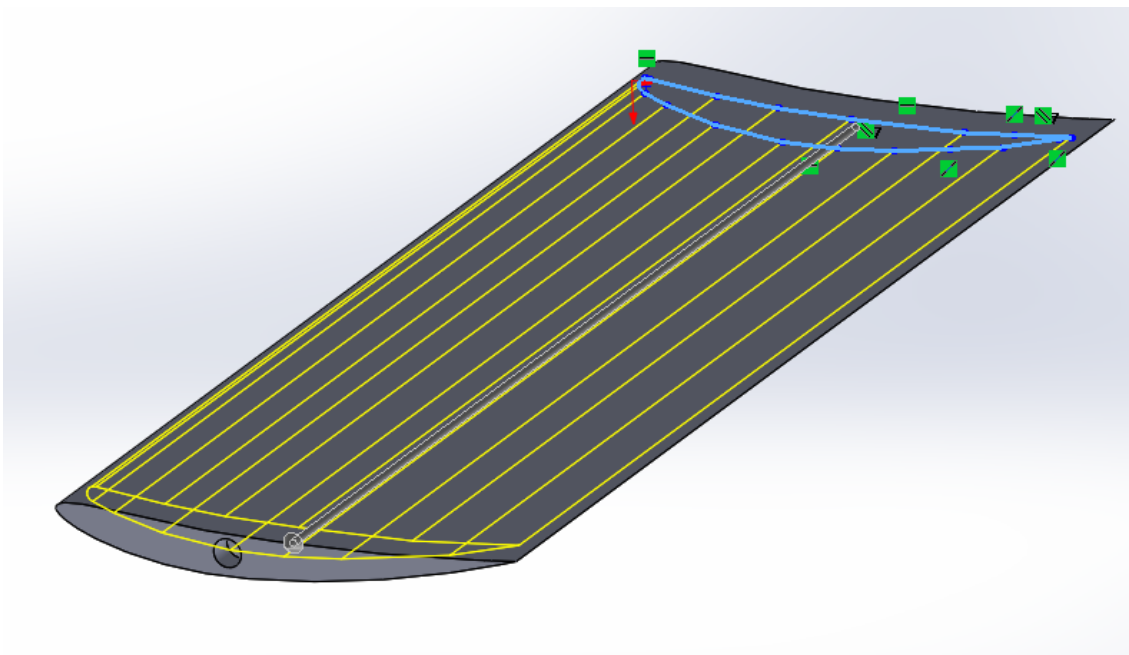


Ilustración 59. Operación de "Extruir-Corte" para vaciado de la pieza

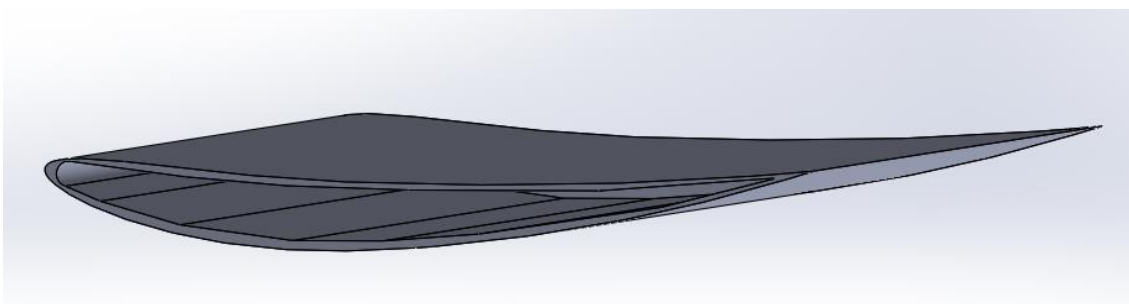


Ilustración 60. Vista de sección del perfil

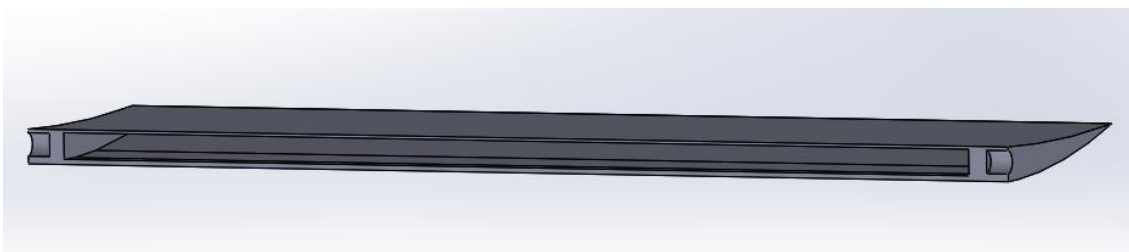


Ilustración 61. Vista de sección del perfil

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

El espesor que tiene la curva principal del perfil, con la curva realizada para hacer el vaciado, tiene un valor de 10 mm. Se ha dejado un espesor debido a que el perfil, posteriormente, tendrá unos agujeros en la parte de abajo para albergar unos tornillos M4 que servirán para anclar esta pieza a los soportes y obviamente, estos tornillos han de poderse roscar.

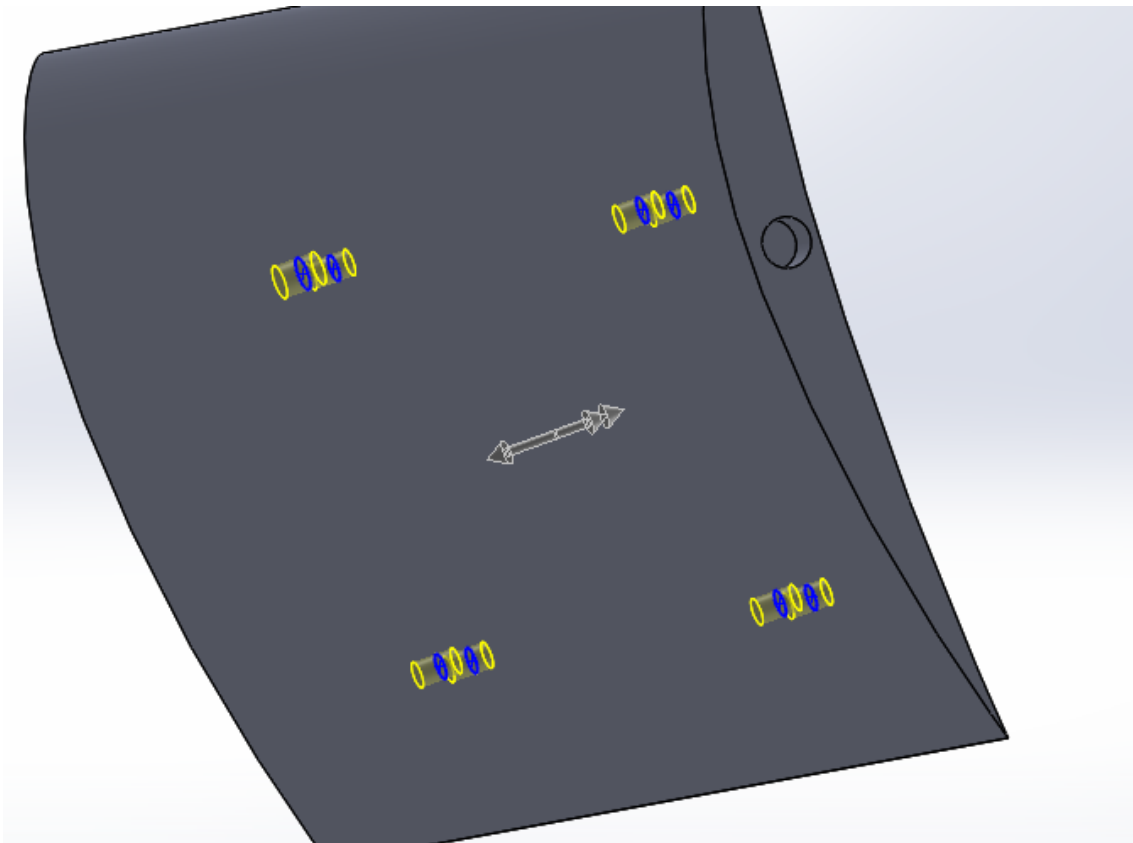


Ilustración 62. Realización de agujeros en el perfil

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

Una vez realizados los agujeros, la pieza quedaría completamente acabada para posteriormente ser ensamblada.

V.2.3. Soporte del alerón

En este apartado se realizará el diseño de los soportes del alerón. Estos irán sujetos al perfil y al maletero del vehículo.

Para realizar el soporte, se comienza haciendo un croquis del mismo, haciendo cuadrar la curvatura del perfil alar y la pendiente del maletero del vehículo.

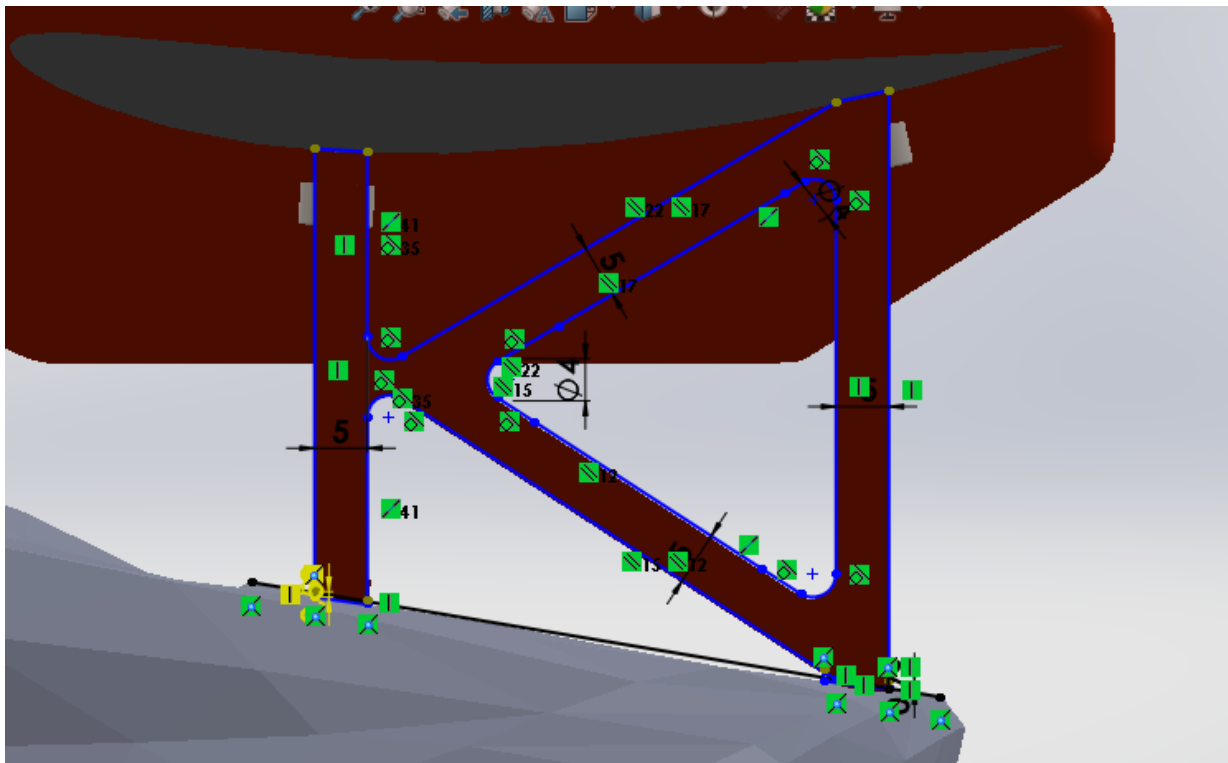


Ilustración 63. Croquis del soporte del alerón

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

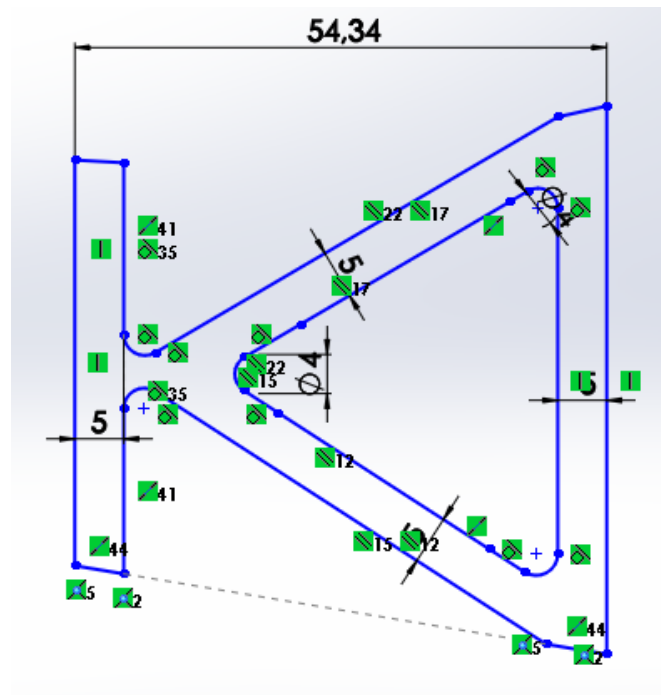


Ilustración 64. Croquis del soporte del alerón

Realizado este croquis, se procede darle espesor mediante el comando "Extruir", quedando la pieza de la siguiente forma:

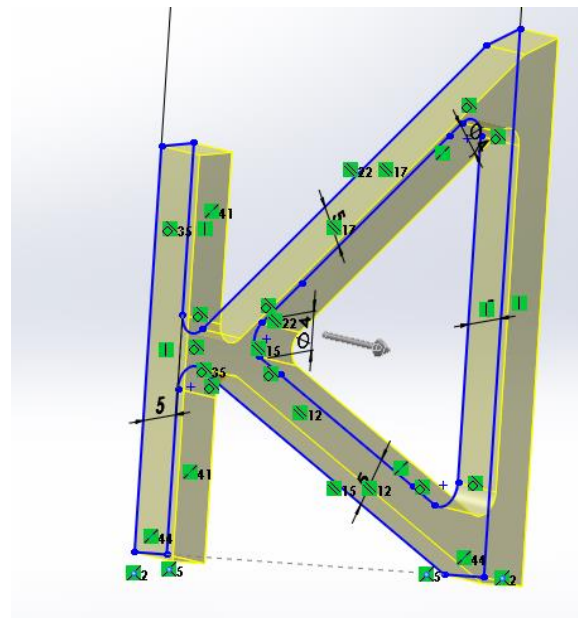


Ilustración 65. Operación de "Extrusión" en el soporte del alerón

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

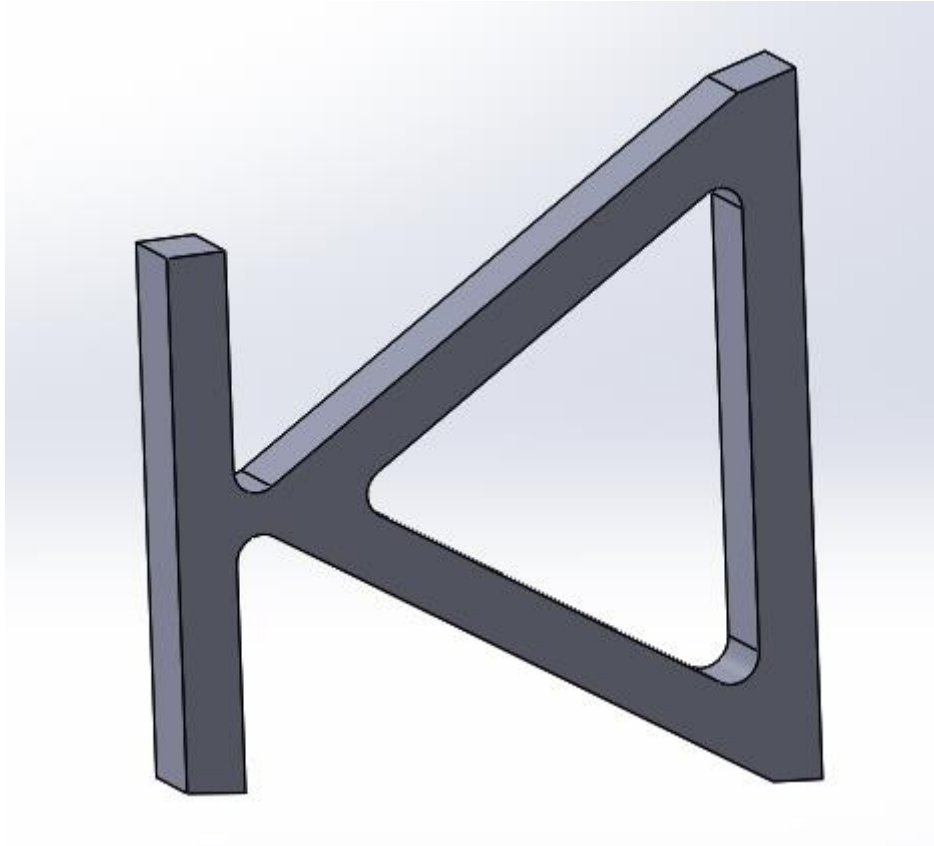


Ilustración 66. Soporte del alerón terminado

V.2.4. Alojamiento de los agujeros

Se realizan los croquis de los habitáculos donde irán alojados los tornillos para anclar el perfil al soporte, y este último al maletero del vehículo. Estos serán cuadrados y con un agujero en medio. Una vez realizado los croquis, se procede mediante el comando "Extruir" a darle volumen a estos habitáculos. Destacar que se hacen 4 pares de habitáculos, dos para arriba y dos para abajo, siguiendo completamente la forma del soporte.

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

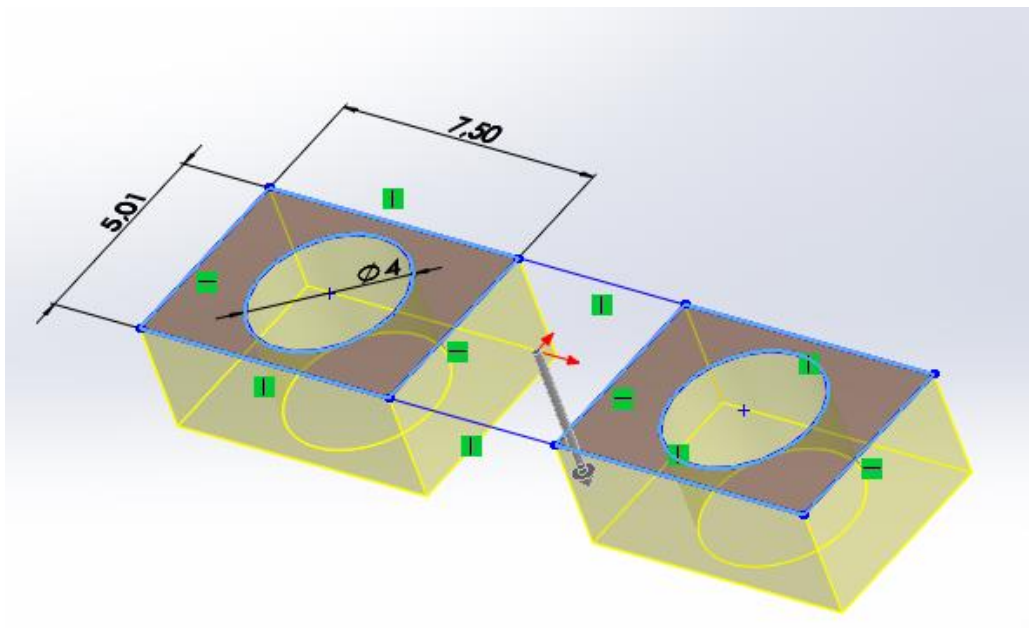


Ilustración 67. Croquis y "Extrusión" de la pieza

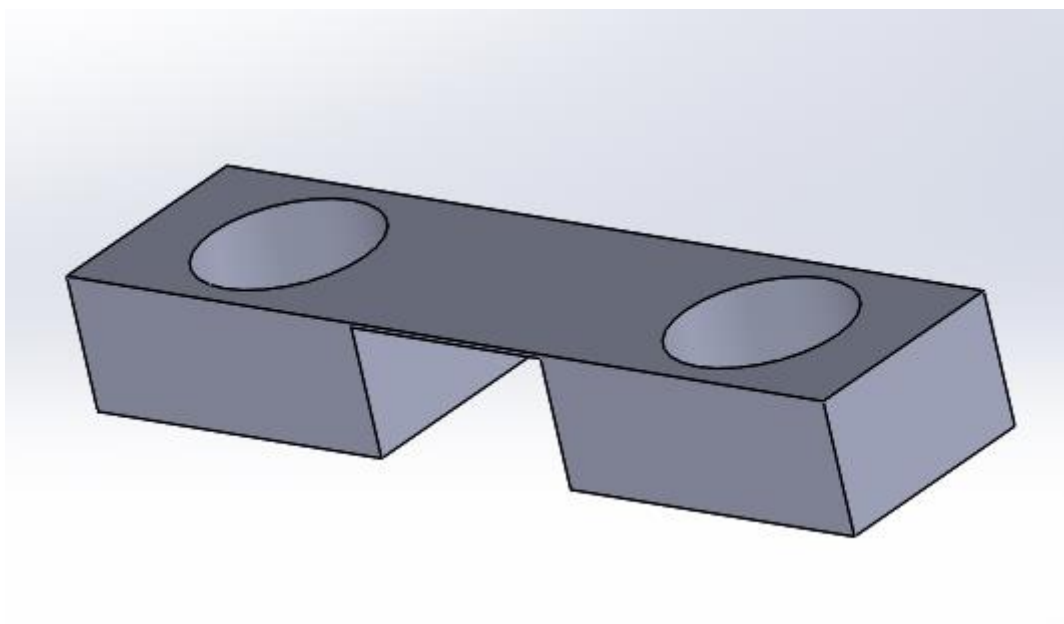


Ilustración 68. Alojamiento de los agujeros terminados

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

Una vez los habitáculos de los agujeros quedan finalizados, se procede a ensamblar estos con el soporte, quedando de la siguiente forma. Destacar, aunque más adelante se dirá, los alojamientos de los agujeros se ensamblaran con un adhesivo al soporte.

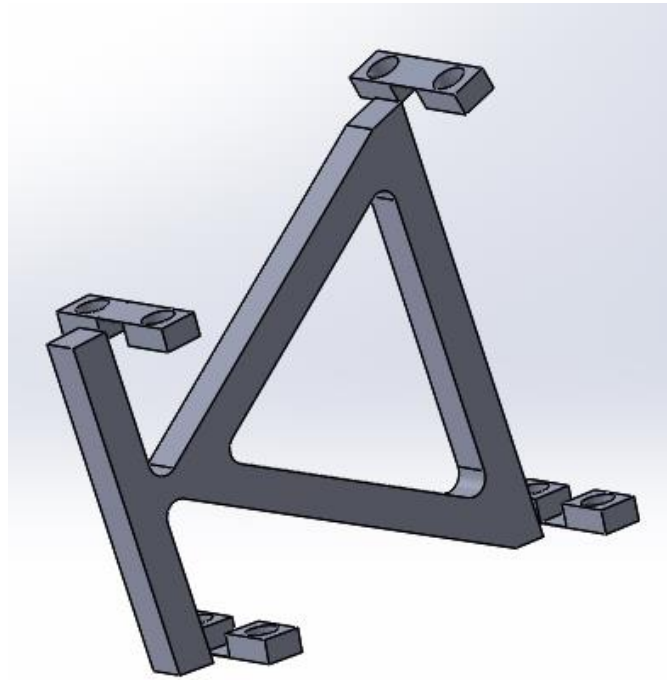


Ilustración 69. Montaje del soporte del alerón con los alojamientos de los agujeros

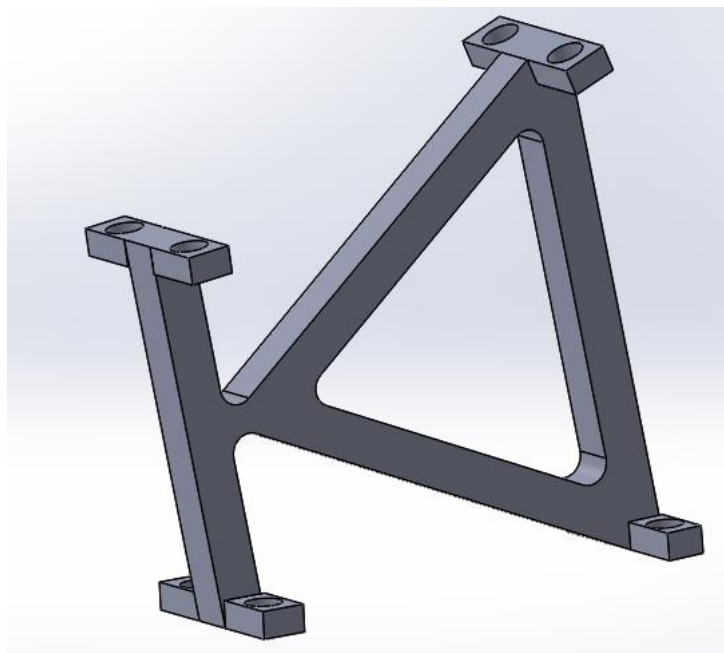


Ilustración 70. Montaje del soporte del alerón con los alojamientos de los agujeros

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

Realizado este ensamblaje, el soporte del alerón quedaría completamente acabado.

V.3. Ensamblado del alerón

En este apartado se realizará el ensamblado de cada una de las piezas anteriormente modeladas. Para ello, se hará uso necesario del comando “Relaciones de posición”. Este comando ayuda a cuadrar las piezas y mantenerlas fijas unas con otras. Sin embargo, las relaciones de posición se hacen a nivel de CAD. A la hora de fabricarlo y ensamblarlo en la realidad, se deben de hacer uso de sujeciones, bien sean tornillos, remaches... Aunque estas sujeciones nombradas se deben contemplar también en el software CAD.

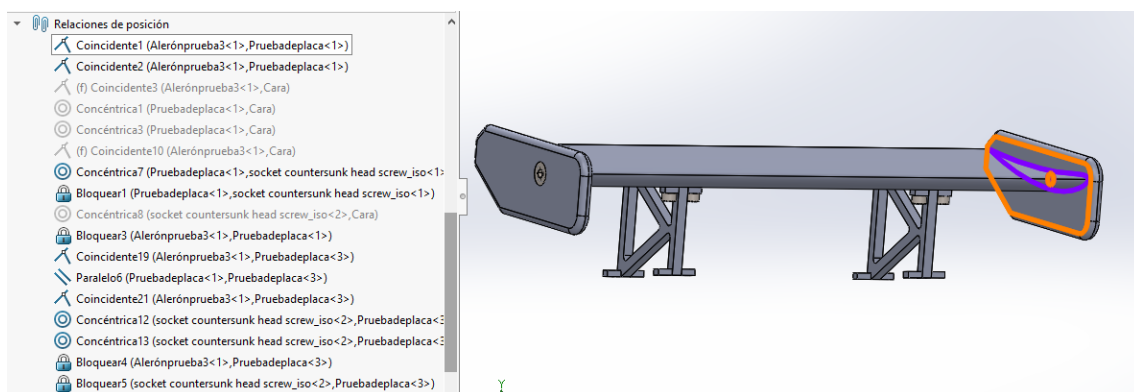


Ilustración 71. Relaciones de posición del alerón

En primer lugar se han ensamblado las derivas laterales con el perfil. Para poder ensamblar estos elementos, se han creado diferentes “Relaciones de posición en el software SolidWorks. También, se han utilizado tornillos de métrica 6 y 16 mm de longitud, proporcionados por la biblioteca de elementos de SolidWorks llamado “Toolbox”. Las piezas montadas se muestran a continuación.

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

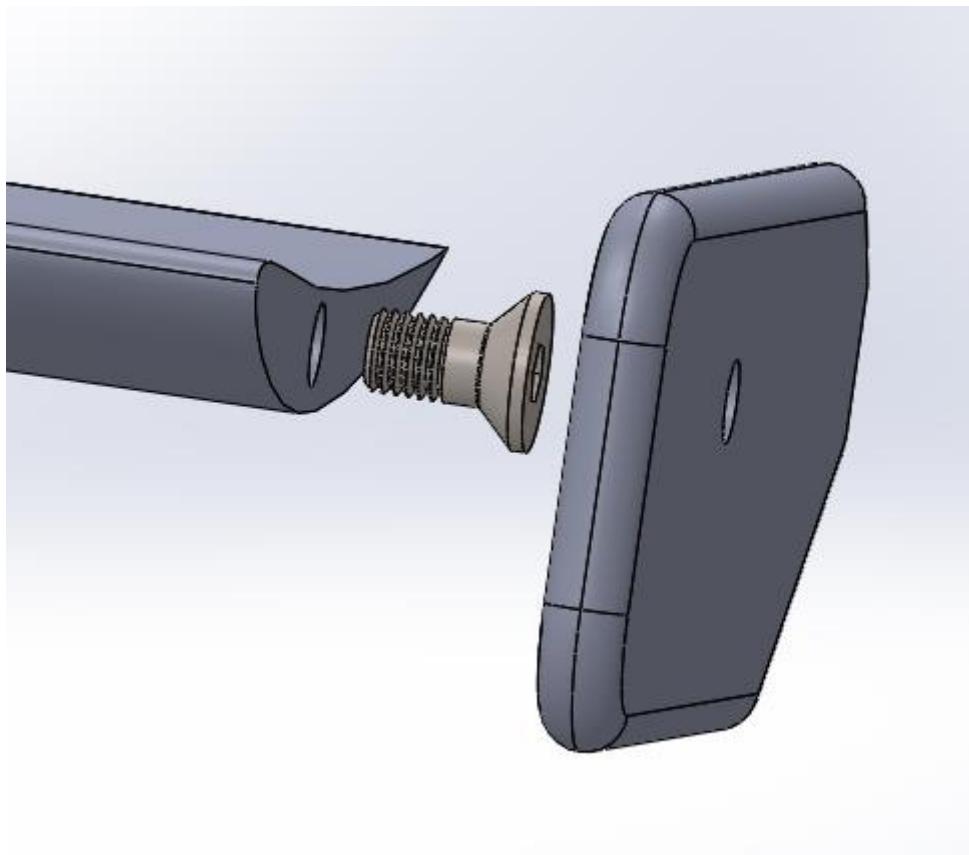


Ilustración 72. Ensamblaje de la deriva lateral con el perfil mediante tornillo

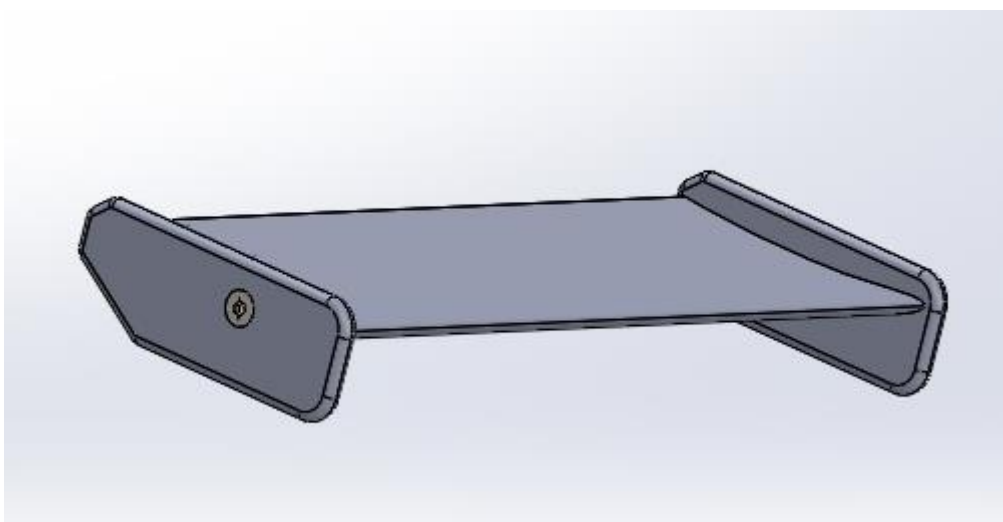


Ilustración 73. Ensamblaje del perfil con las derivas laterales terminado

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

A continuación, se ensamblan las piezas anteriores con los soportes. Se hace uso del comando “Relaciones de posición” y también, se utilizan tornillos, pero esta vez, se utilizan tornillos de métrica 4 y 30 mm de longitud. Por tanto, las piezas quedarían de la siguiente forma.

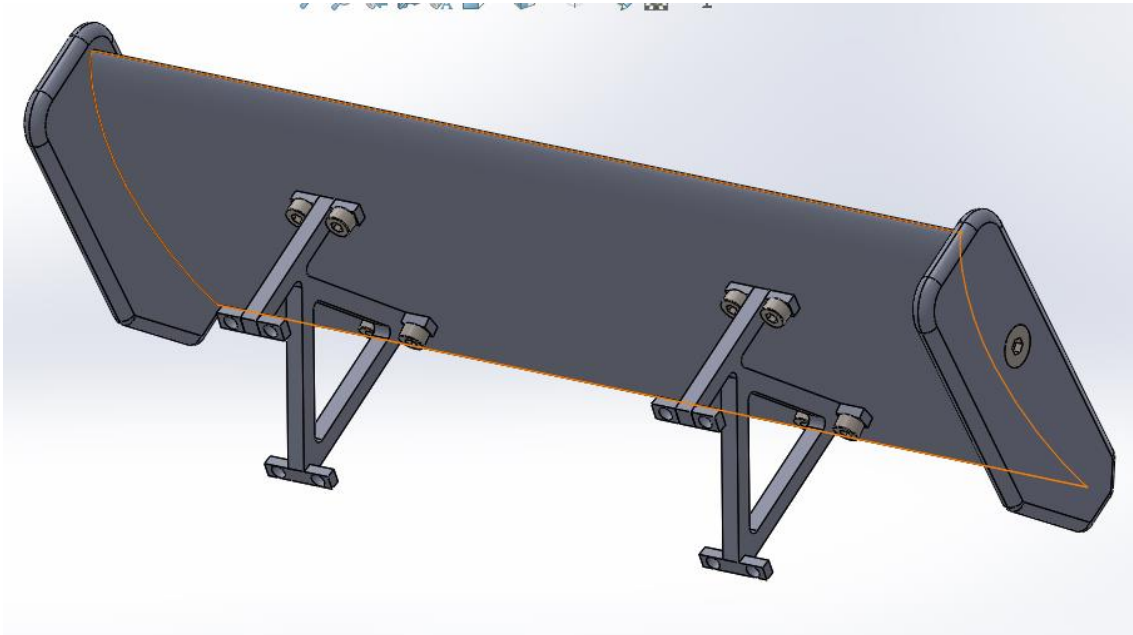


Ilustración 74. Ensamblaje de los soportes con el perfil mediante tornillos

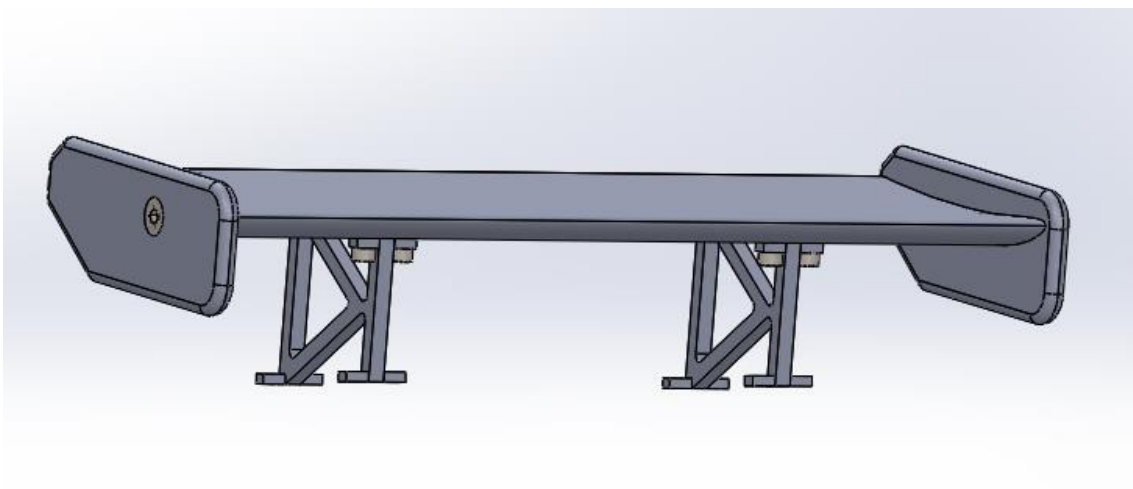


Ilustración 75. Ensamblaje de los soportes con el perfil mediante tornillos

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

Por último, el alerón trasero se ensambla con el vehículo en la parte trasera de este. Para poder ensamblarlo, también se utilizan tornillos de métrica 4 y 30 mm de longitud (Anteriormente se han realizado unos agujeros en el maletero del vehículo de 10 mm de longitud para poder roscar los tornillos perfectamente) y se hace uso, otra vez, del comando "Relaciones de posición". Así quedaría el alerón trasero montado en el vehículo. (Destacar que el alerón en este caso se ha pintado en rojo, para resaltar el alerón en el vehículo).

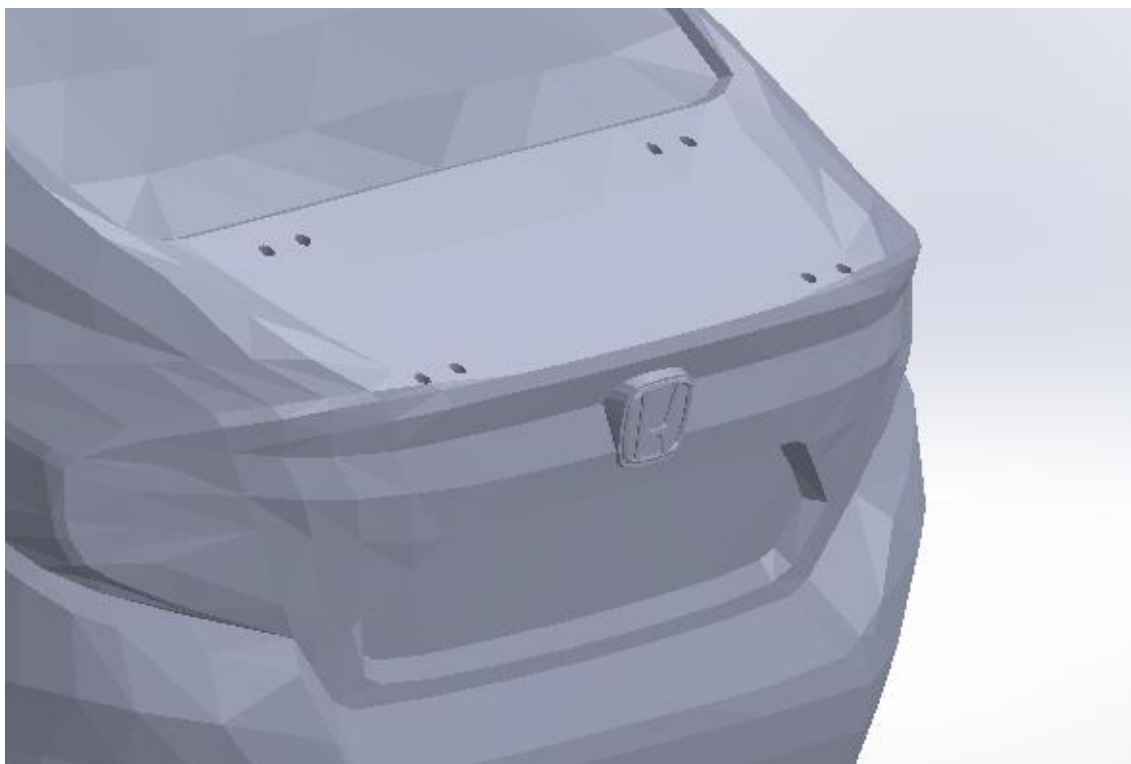


Ilustración 76. Realización de agujeros en la parte trasera del vehículo

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

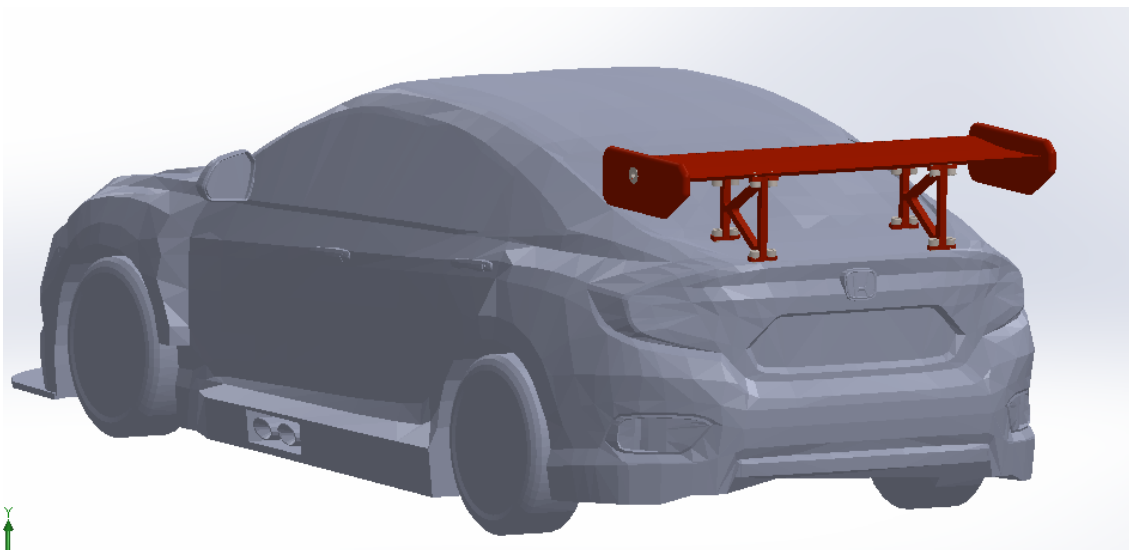


Ilustración 77. Ensamblaje del alerón trasero completo en el vehículo mediante tornillos



Ilustración 78. Ensamblaje del alerón trasero completo en el vehículo mediante tornillos

Una vez terminado el ensamblaje del alerón y su posterior montaje en el vehículo, se da por terminado este apartado.

IV. Diseño del alerón mediante software CAD

V.4. Normativa

La normativa aplicable en este proyecto se ha obtenido de la Federación Internacional de Automovilismo (FIA), siendo el documento “2019 FIA WTCR Technical Regulations”, el cual se adjunta en el “**Anexo Normativa**”.

En el documento anteriormente mencionado se pueden encontrar las dimensiones del alerón así como de los componentes.

Destacar que los soportes así como los alojamientos de los agujeros de los tornillos se han dibujado según el ingeniero ha considerado debido a que en la normativa no se menciona ningún tema relacionado al respecto. Tampoco se menciona nada sobre las sujeciones, por tanto, también se han considerado según el criterio del ingeniero. El perfil así como también las derivas están realizados según especifica la normativa vigente. Sin embargo, todas las dimensiones acotadas en los planos están correctamente definidas si se quisiera fabricar y cumplen con la normativa actual.

En cuanto a las dimensiones del alerón completo, cumplen también con la normativa vigente. Este no sobrepasa la altura total del vehículo así como tampoco sobrepasa los límites laterales.

VI. ESTUDIO AERODINÁMICO

ESTUDIO AERODINÁMICO

IV. Estudio aerodinámico

En este apartado se va a realizar un estudio aerodinámico mediante un complemento de SolidWorks, llamado "Flow Simulation", al vehículo escogido sin alerón y con alerón para ver las diferencias que ocurren. Por supuesto, el análisis se ha llevado a cabo a diferentes velocidades como 60, 80, 100, 150, 200, 250 y 300 km/h.

En primer lugar se explicará cómo se realiza un estudio aerodinámico en SolidWorks . Después se mostrarán unas imágenes del vehículo sin alerón y con alerón.

Por otra parte, se mostrarán unos resultados obtenidos como la carga aerodinámica ejercida por el alerón así como también la resistencia al avance del vehículo. Por último se comentaran los resultados obtenidos.

VI.1. Procedimiento

Una vez arrancado el programa SolidWorks, se carga el complemento "Flow Simulation".

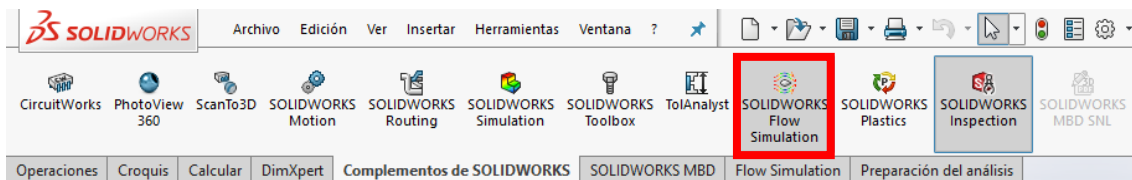


Ilustración 79. Complemento "Flow Simulation"

Cargado el complemento, se selecciona la opción "Wizard".

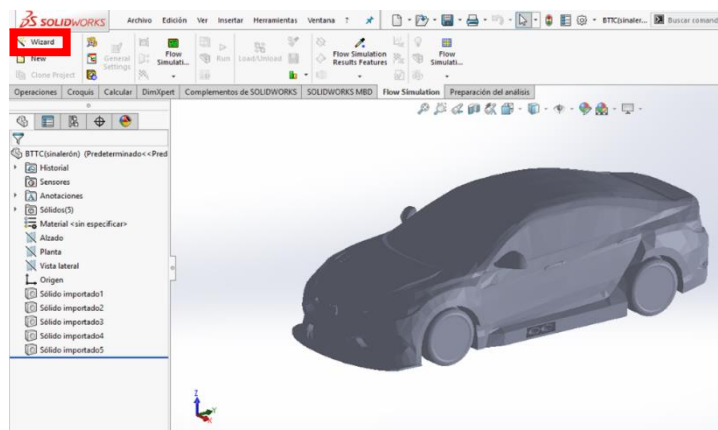


Ilustración 80. Selección de la opción "Wizard"

IV. Estudio aerodinámico

Seleccionada la opción anterior, se abre una ventana la cual se puede poner el nombre que se quiera al proyecto. Una vez hecho, se selecciona la opción “Next”.

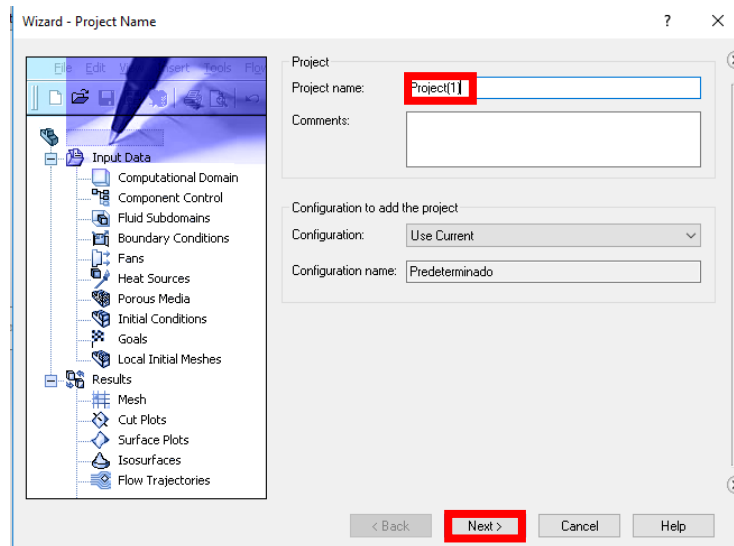


Ilustración 81. Selección del nombre del proyecto

En la siguiente ventana, se ha de poner las unidades con las que se quiera trabajar. En este caso se ha seleccionado “NMM”. Luego se selecciona el botón “Next”.

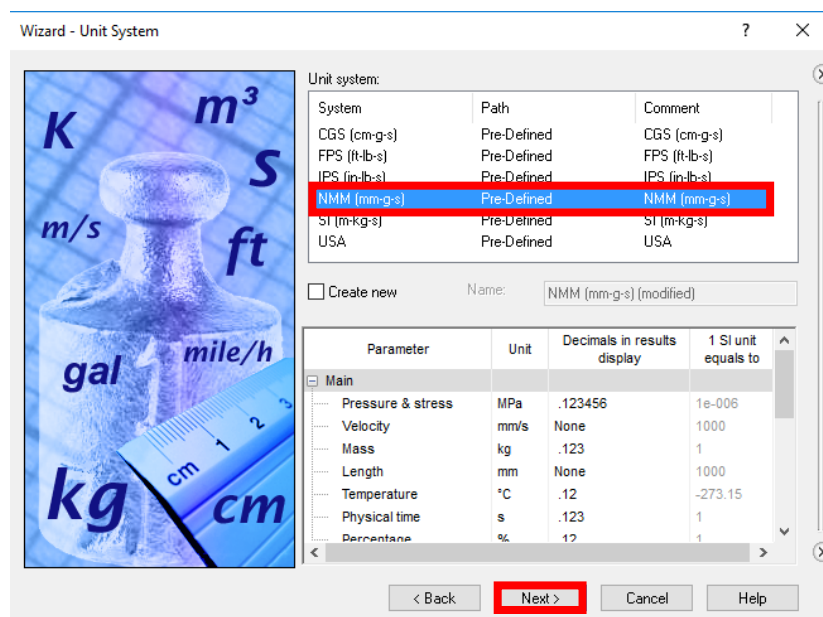


Ilustración 82. Selección de unidades

IV. Estudio aerodinámico

En la ventana siguiente, se selecciona el tipo de simulación que se quiere realizar. En este caso, se seleccionará que es una simulación externa en la opción “External” y se dará en la opción “Next”.

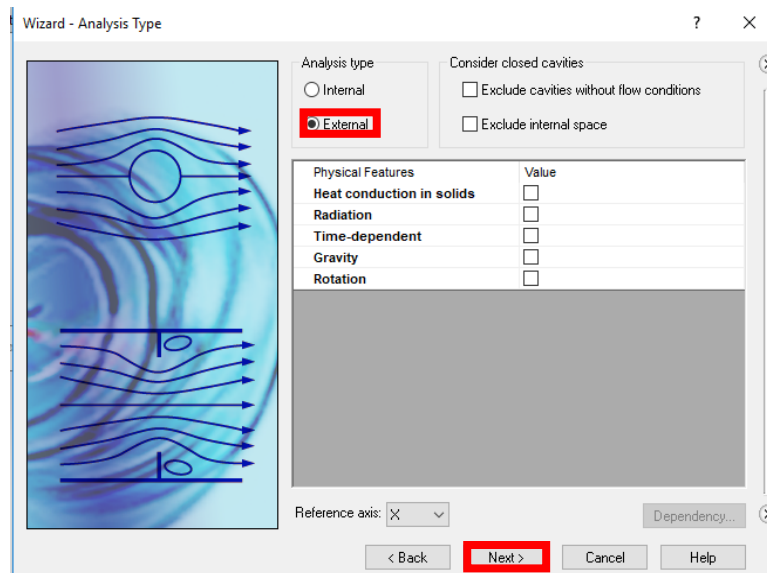


Ilustración 83. Selección del tipo de simulación

En la siguiente ventana, se selecciona el tipo de gas o líquido con el que se va a tratar la simulación. En este caso es aire y por tanto, se hará click en “Gases” y se clicará dos veces sobre la opción “Air”, para así seleccionarlo. Una vez seleccionado, se clicará sobre el botón “Next”

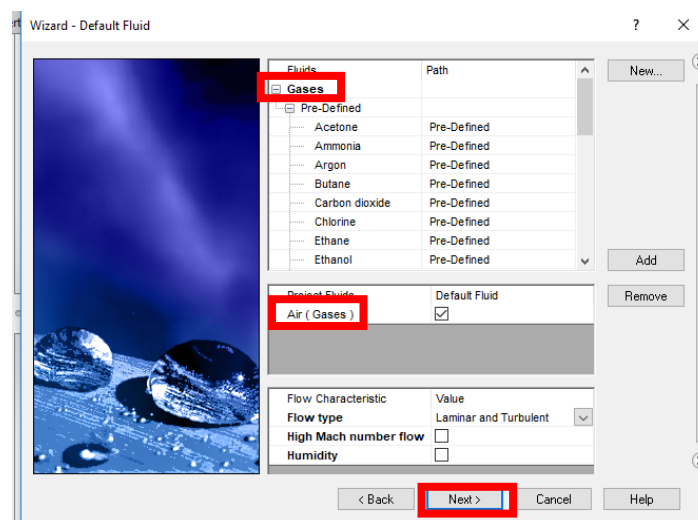


Ilustración 84. Selección del tipo de fluido de la simulación

IV. Estudio aerodinámico

En la ventana siguiente, se añadirá la velocidad del fluido a la que irá e impactará con el vehículo. La dirección del fluido va a salir en la dirección del eje el cuál se seleccione, por tanto, se ha de tener en cuenta como está colocada la pieza. En nuestro caso, el vehículo está situado en la dirección del eje Y, por tanto, se le aplicará la velocidad en esta dirección. Una vez terminado se seleccionará el botón "Finish".

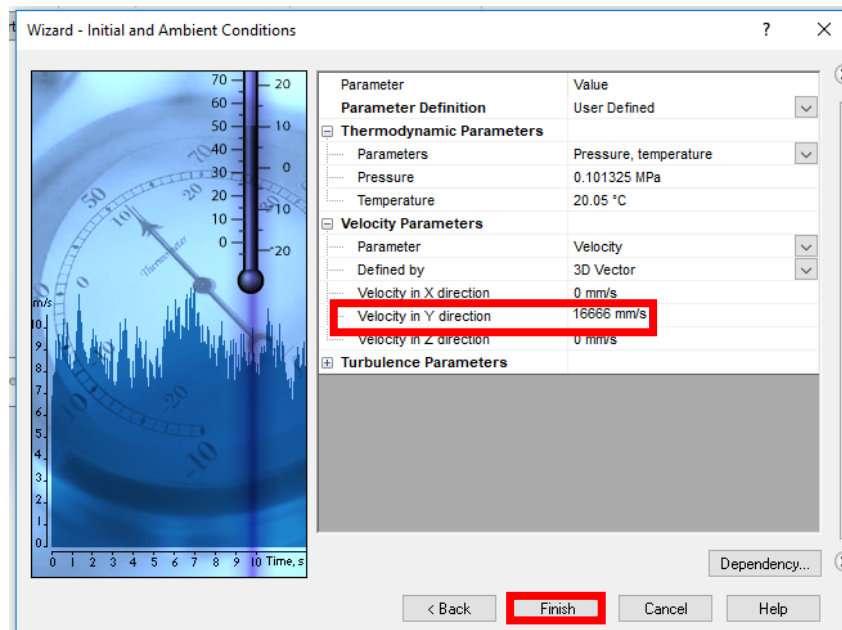


Ilustración 85. Selección del eje de coordenadas

Una vez terminada la primera parte de la simulación, se seleccionará la opción de "Computational Domain". Esta opción nos definirá el volumen de la simulación. Para activar esta opción se cliclará dos veces y para terminar se cliclará sobre el tick verde.

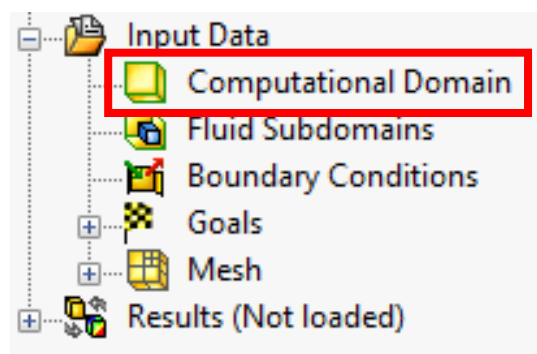


Ilustración 86. Selección de la opción "Computational Domain"

IV. Estudio aerodinámico

En esta opción se darán valores para crear el volumen de la simulación, de manera que este volumen quede adecuado a la pieza a analizar.

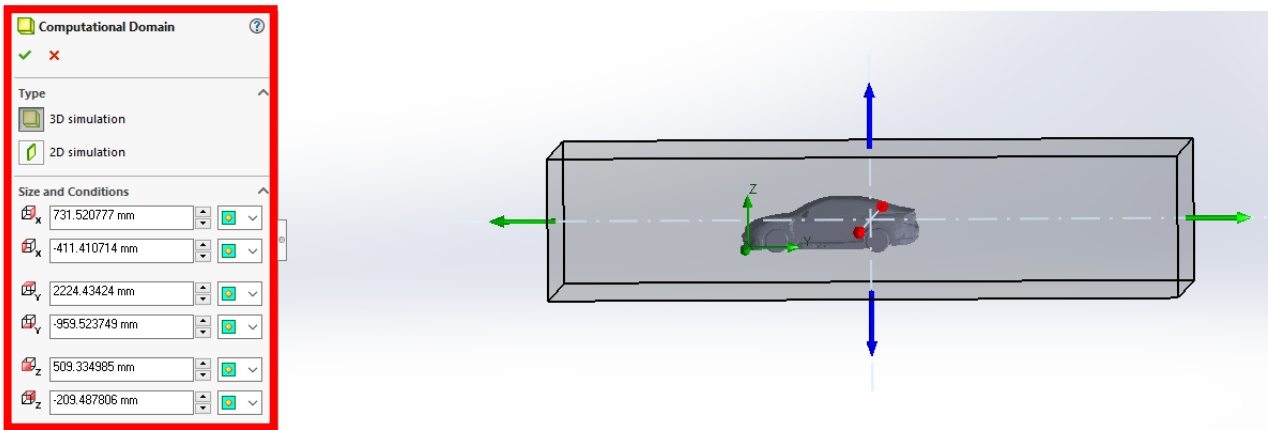


Ilustración 87. Ajuste del volumen de control

Ahora se procede a seleccionar el nivel de cálculo del programa. Para ello se selecciona la opción "Global Mesh". En esta opción, en nuestro caso, se ha seleccionado el nivel 7, para obtener más nivel de detalle. Una vez seleccionado el nivel se clicca sobre el tick verde.

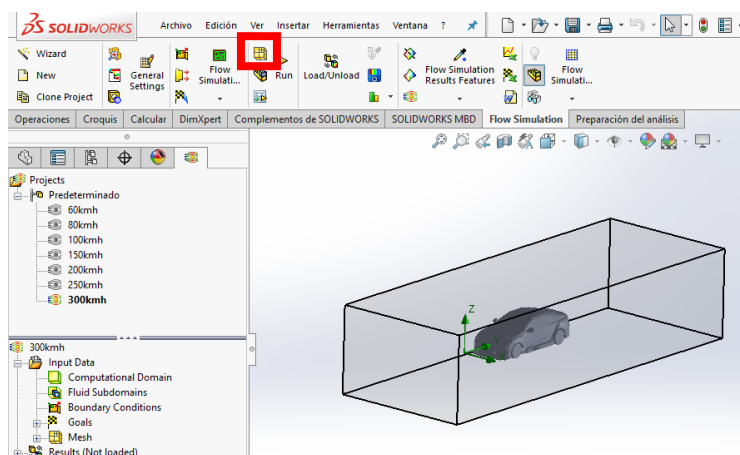


Ilustración 88. Selección de la opción "Global Mesh"

IV. Estudio aerodinámico

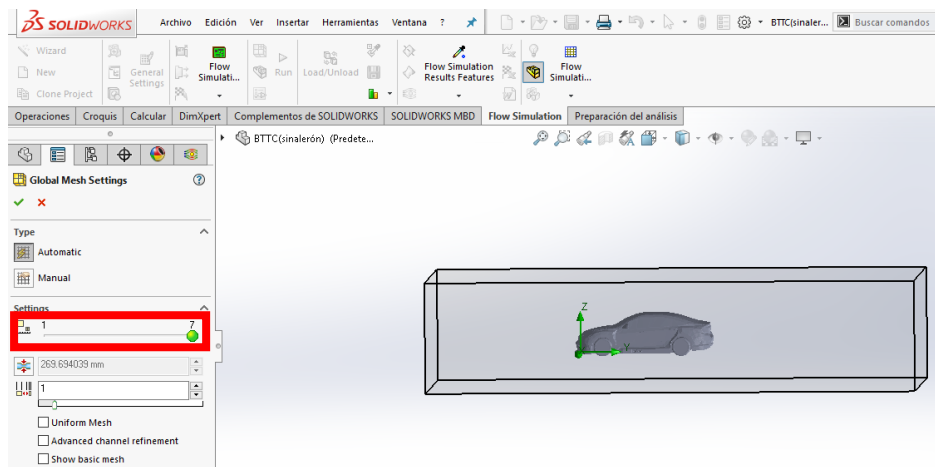


Ilustración 89. Selección del nivel de precisión de la simulación

Una vez seleccionado el nivel de estudio, se selecciona en el apartado “Goals”, los parámetros que se quieren analizar. En nuestro caso se ha seleccionado la fuerza sustentación (Fuerza en X) y la fuerza de resistencia al avance (Fuerza en Y).

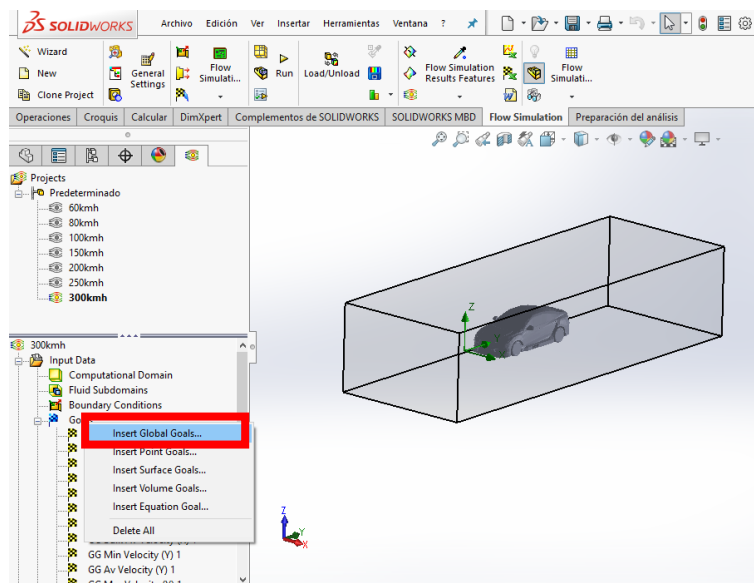


Ilustración 90. Selección de la opción "Goals"

Una vez finalizada la selección, se procede a realizar el estudio aerodinámico. Para ello se seleccionará la opción “Run”. Aparecerá otra ventana a la cual también se seleccionará “Run”.

IV. Estudio aerodinámico

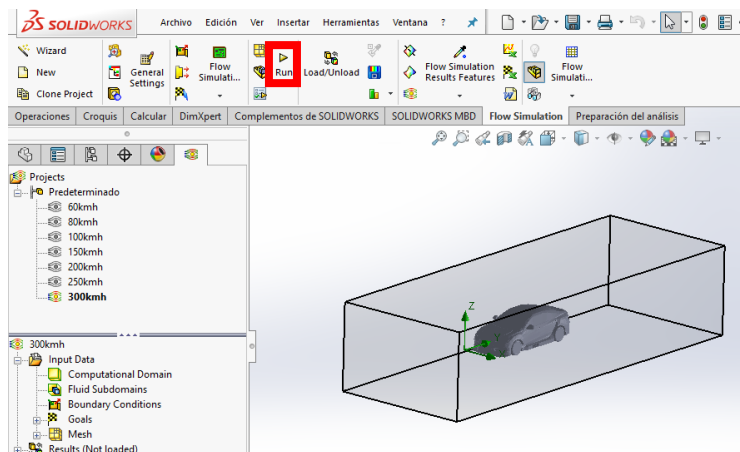


Ilustración 91. Selección de la opción "Run"

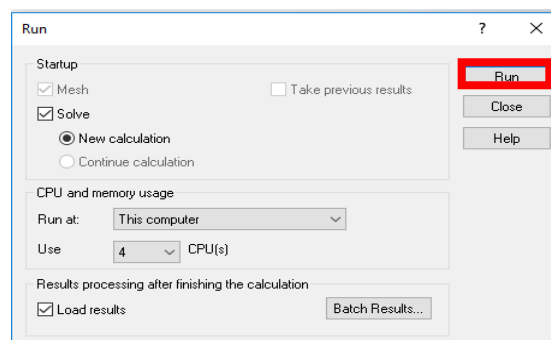


Ilustración 92. Selección del botón "Run" para inicio de la simulación

Una vez lanzada la simulación, aparecerá una ventana en la cual se puede ver cómo avanza la simulación a través de una barra azul. Una vez acabada la simulación esta barra estará llena del todo y aparecerá un letrero dentro que pondrá "Solver is finished".

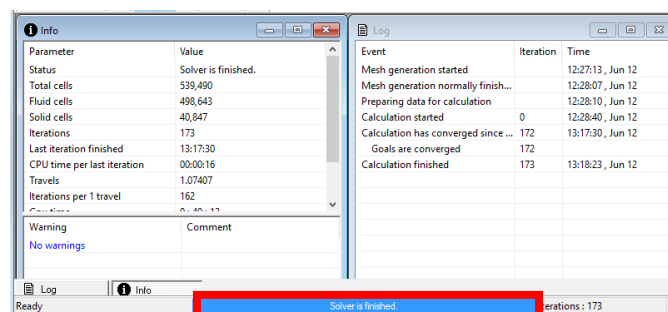


Ilustración 93. Anuncio de simulación finalizada

IV. Estudio aerodinámico

Esta ventana se podrá cerrar y la simulación se dará por terminada. Para poder observar las líneas de flujo que fluyen a través del automóvil, se seleccionará el apartado "Results" seleccionando el desplegable. Luego en la opción de "Flow trajectories se seleccionará con el botón derecho y se seleccionará la opción de "Insert". Una vez aquí, se seleccionarán todas las caras del vehículo, se seleccionarán el número de líneas así como su cantidad y se seleccionará el tick verde. Una vez procesada la información, se podrá ver como el flujo envuelve el vehículo.

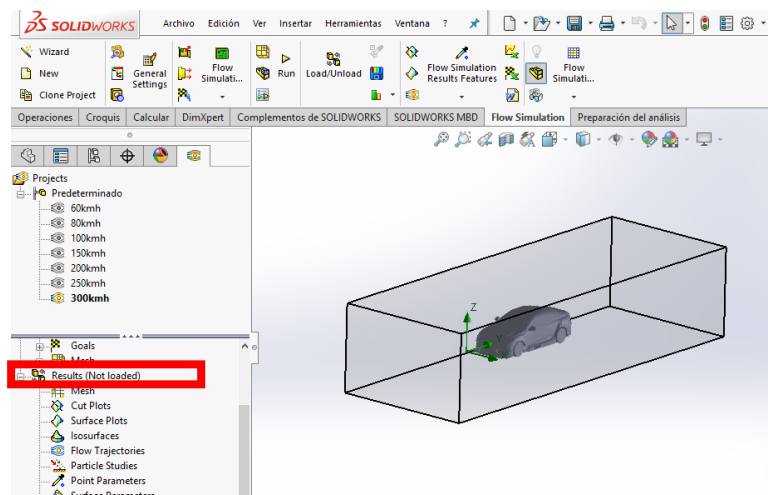


Ilustración 94. Selección de la opción "Results"

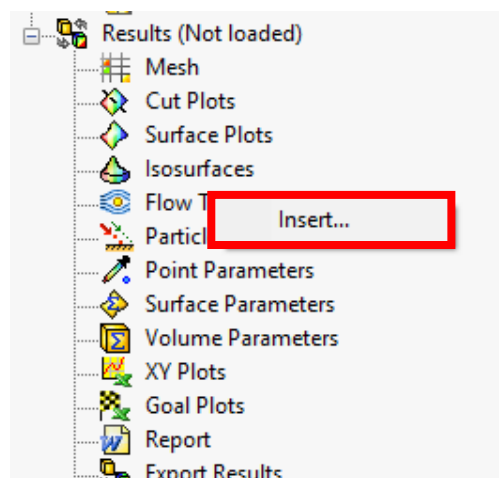


Ilustración 95. Selección de la opción "Insert"

IV. Estudio aerodinámico

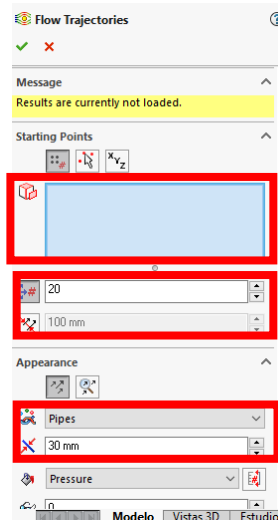


Ilustración 96. Selección de las caras del objeto a estudiar

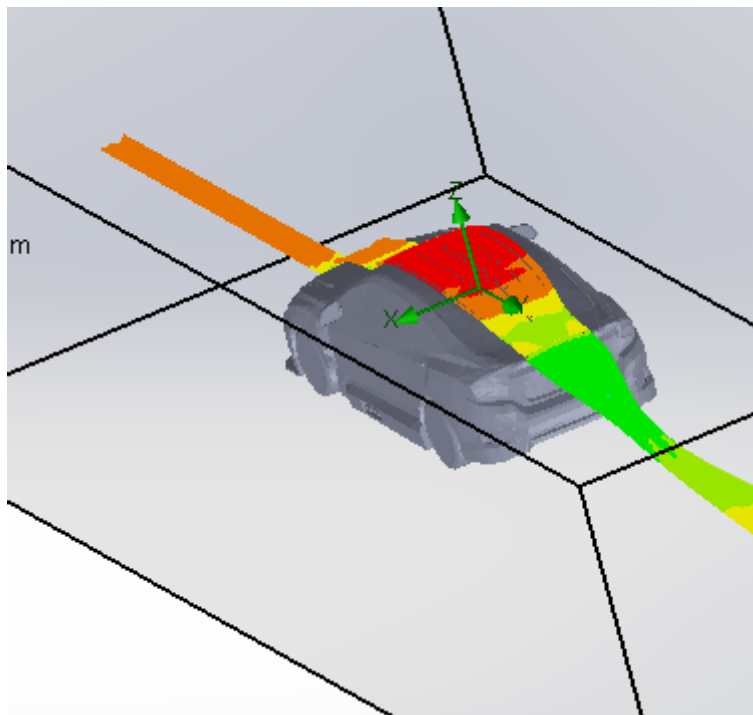


Ilustración 97. Líneas de flujo a través del vehículo

Una vez se visualizadas las líneas de flujo, el procedimiento del estudio aerodinámico queda concluido.

IV. Estudio aerodinámico

VI.2. Vehículo sin alerón

Destacar que se las imágenes que se muestran a continuación se centran en la parte trasera del vehículo que son las que realmente resultan más interesantes en este trabajo.

VI.2.1. 60 Km/h

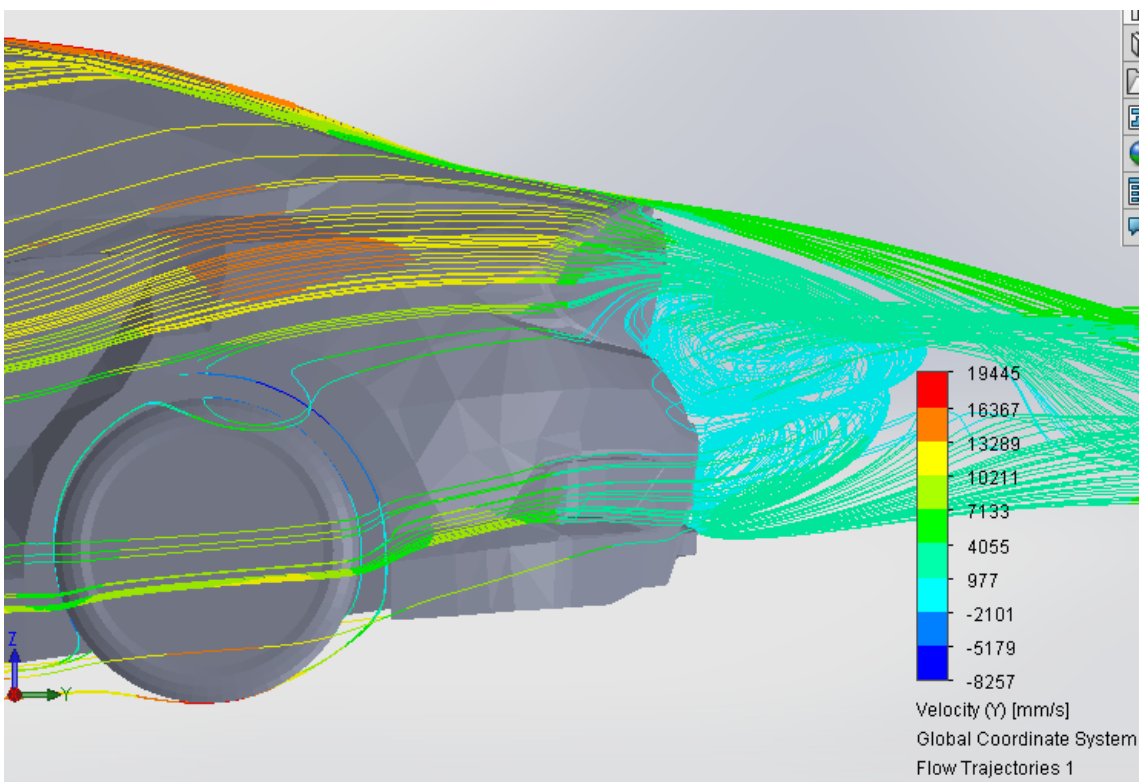


Ilustración 98. Fluido a 60 km/h

IV. Estudio aerodinámico

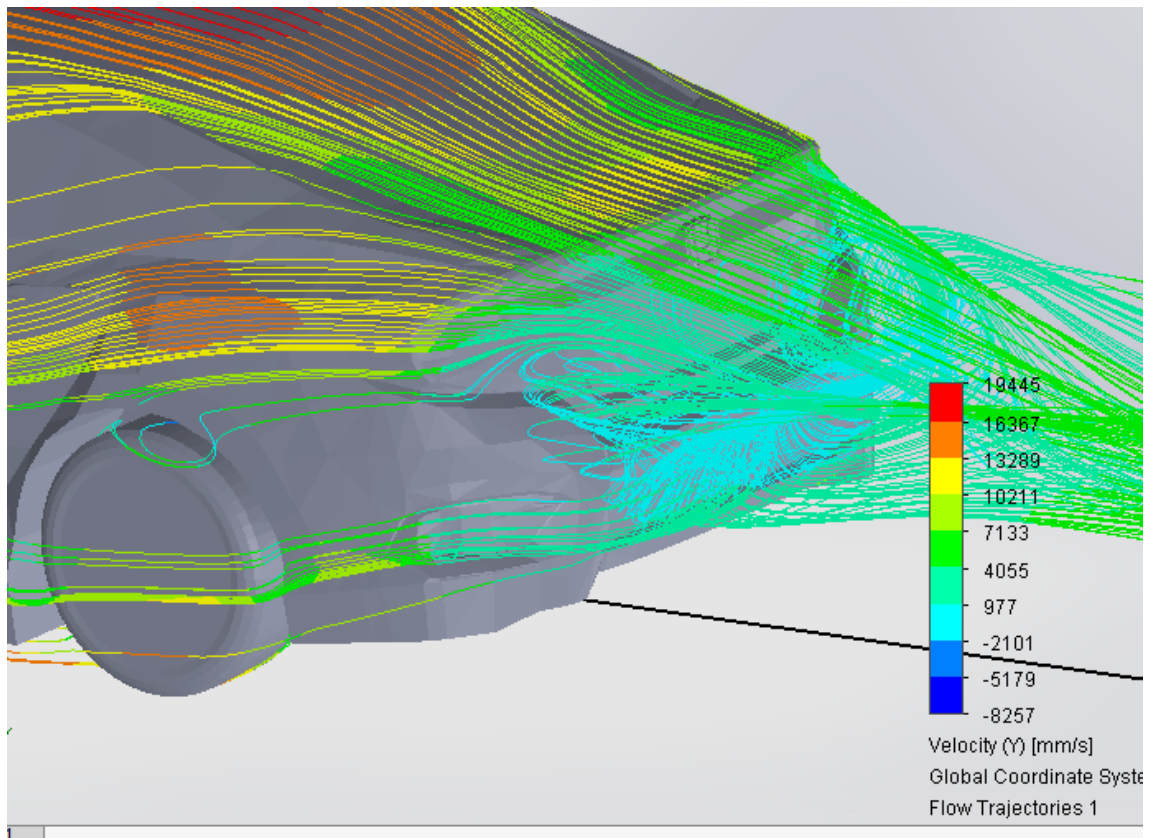


Ilustración 99. Fluido a 60 km/h

VI.2.2. 80 Km/h

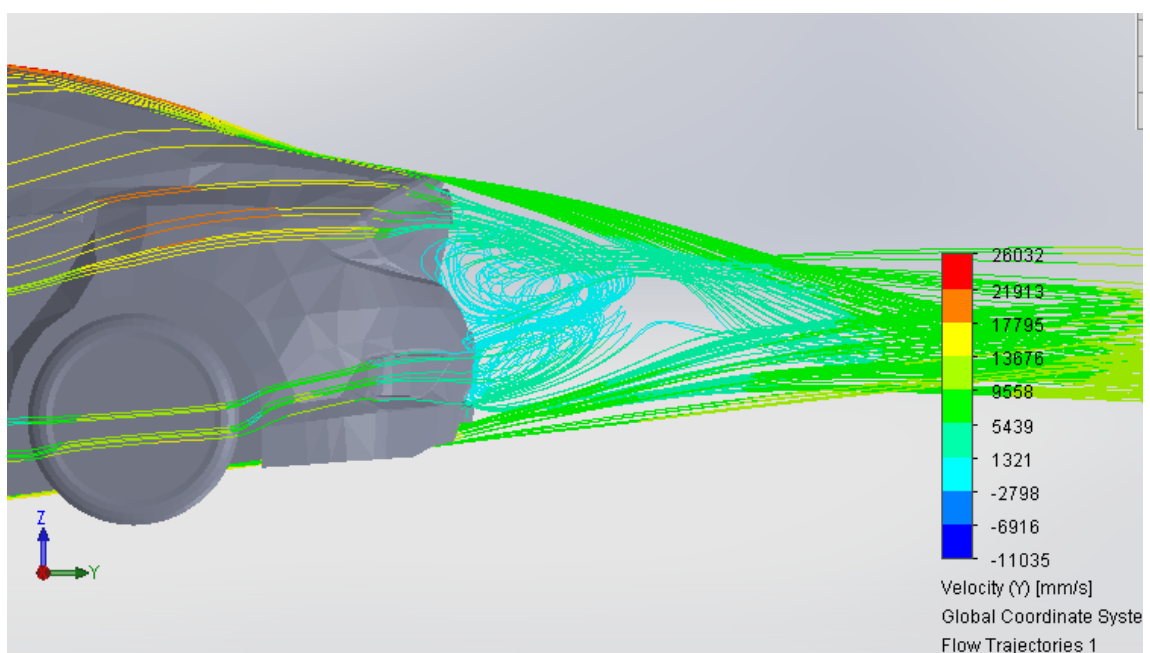


Ilustración 100. Fluido a 80 km/h

IV. Estudio aerodinámico

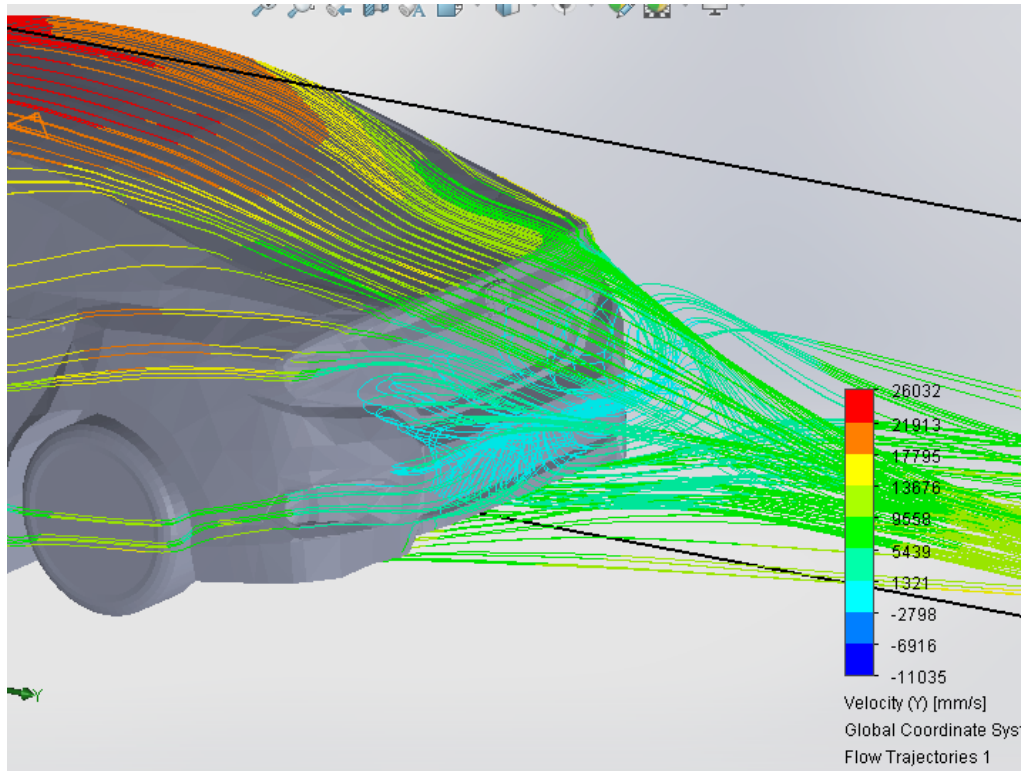


Ilustración 101. Fluido a 80 km/h

VI.2.3. 100 Km/h

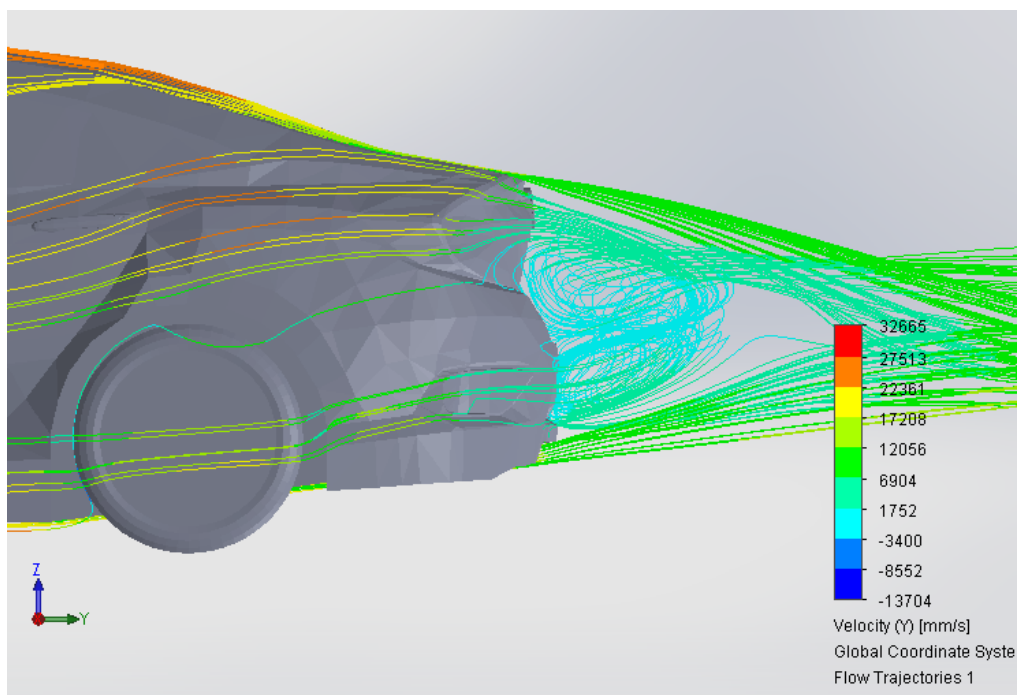


Ilustración 102. Fluido a 100 km/h

IV. Estudio aerodinámico

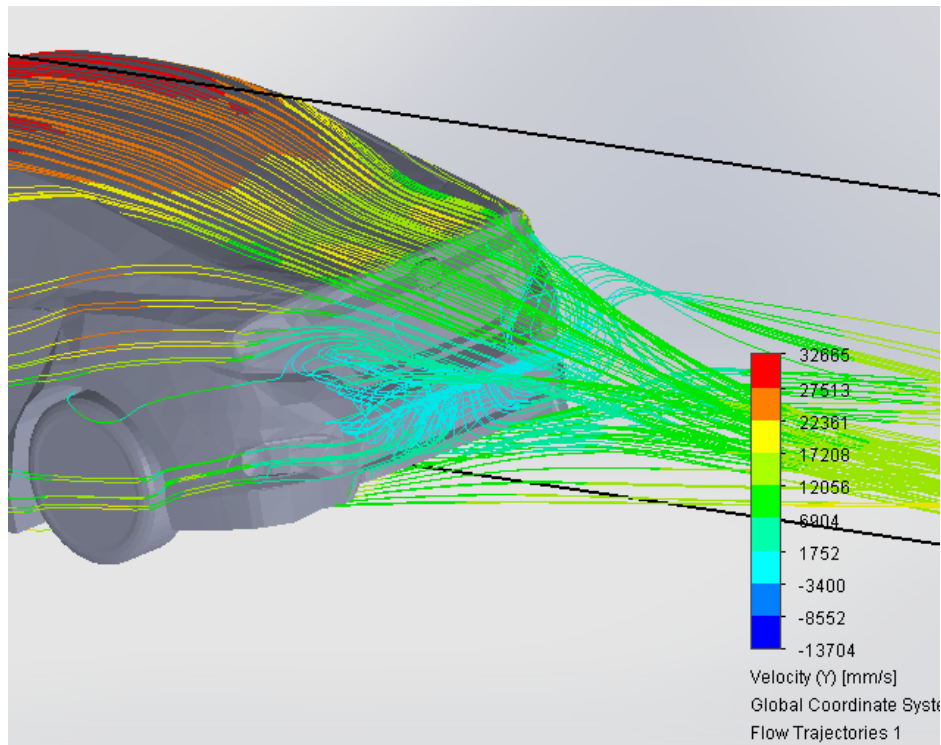


Ilustración 103. Fluido a 100 km/h

VI.2.4. 150 Km/h

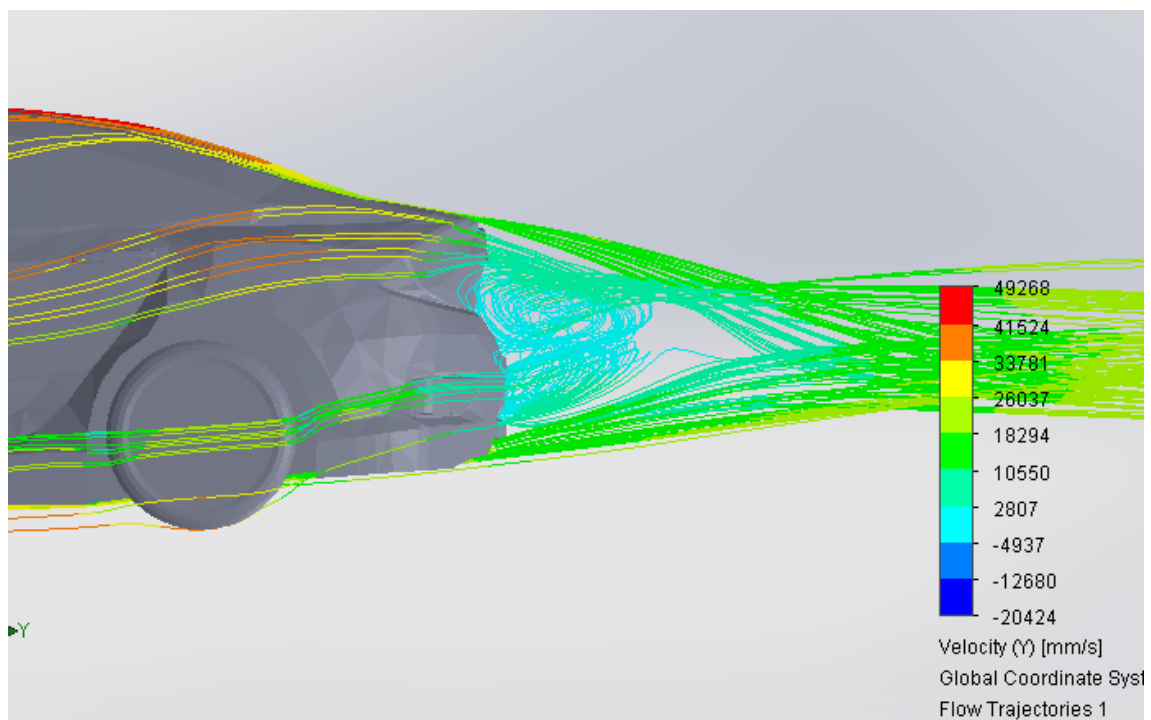


Ilustración 104. Fluido a 150 km/h

IV. Estudio aerodinámico

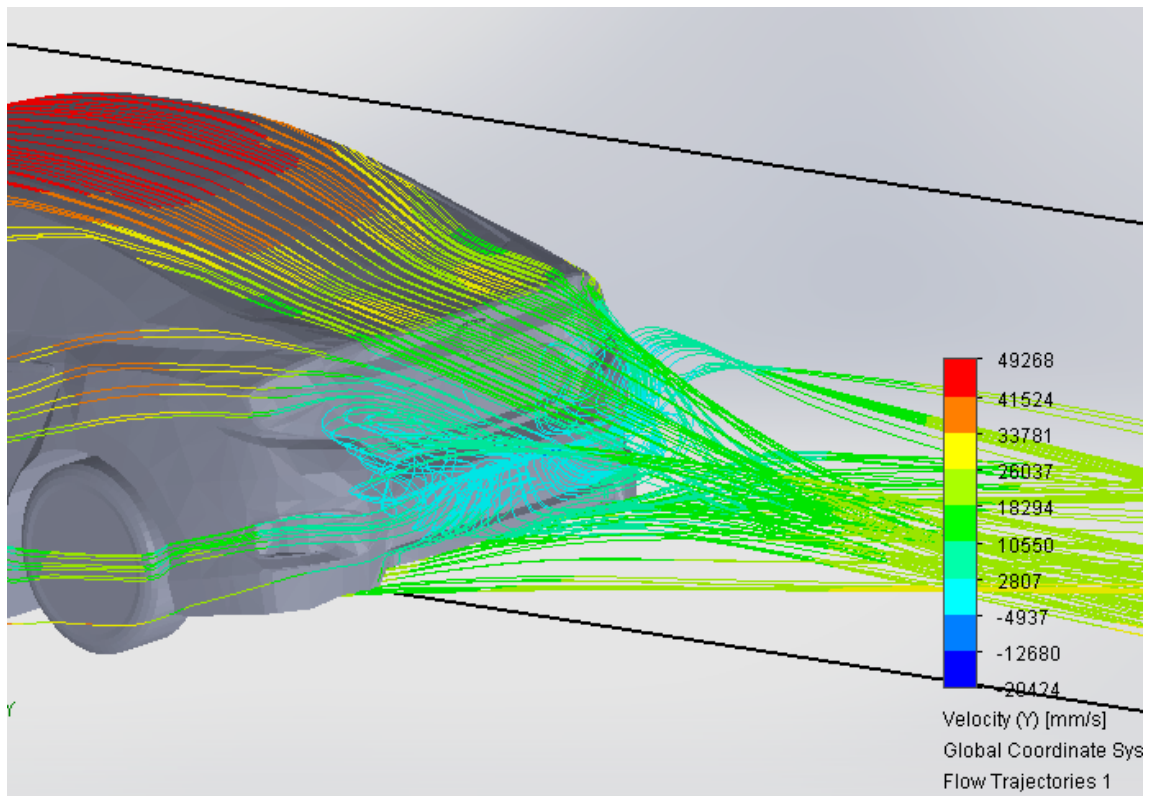


Ilustración 105. Fluido a 150 km/h

VI.2.5. 200 Km/h

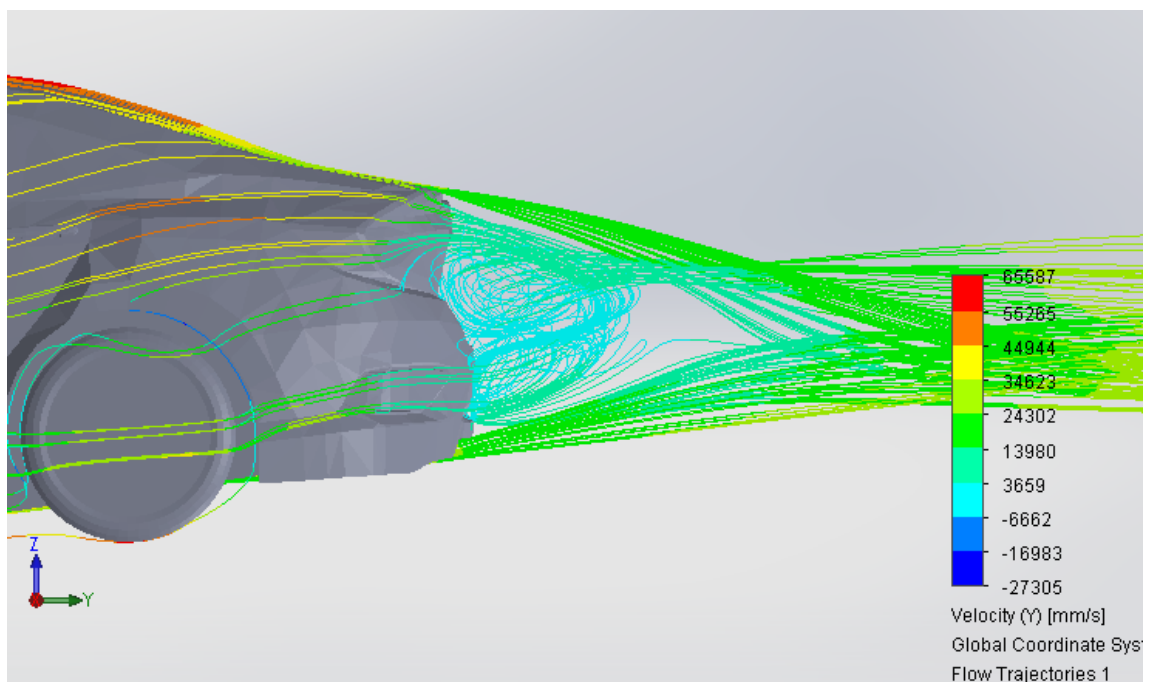


Ilustración 106. Fluido a 200 km/h

IV. Estudio aerodinámico

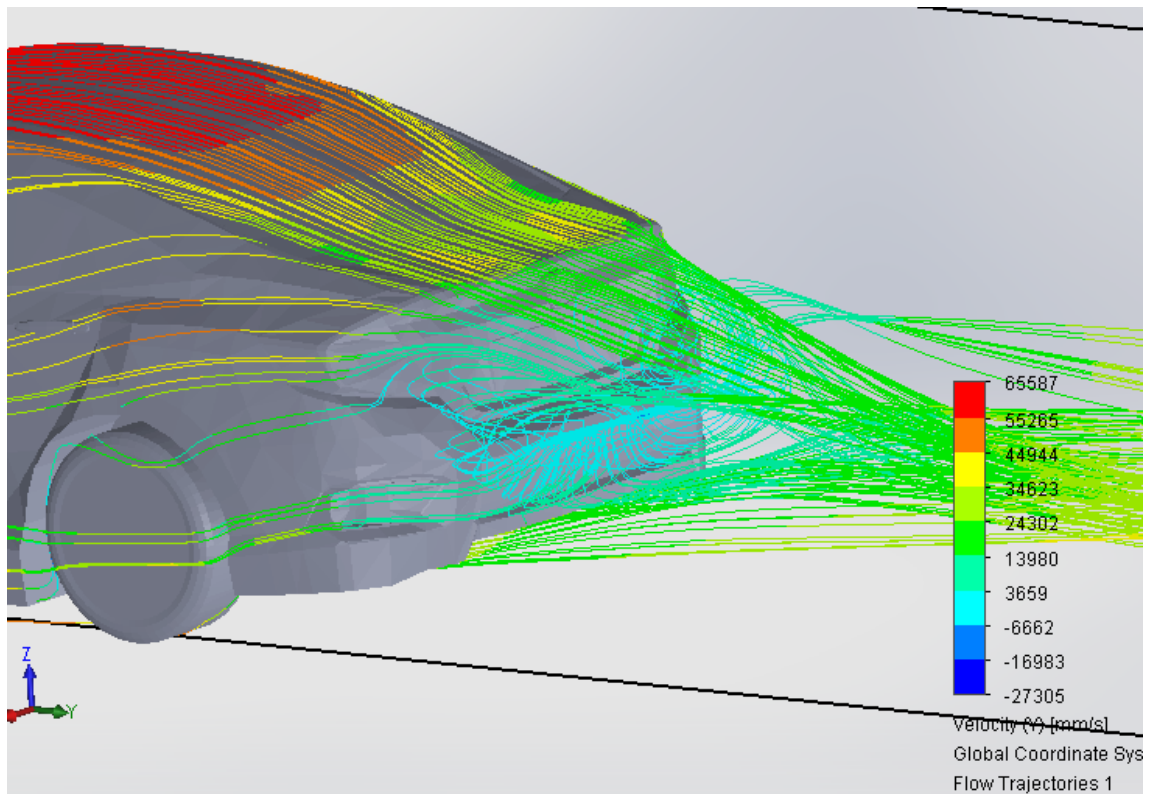


Ilustración 107. Fluido a 200 km/h

VI.2.6. 250 Km/h

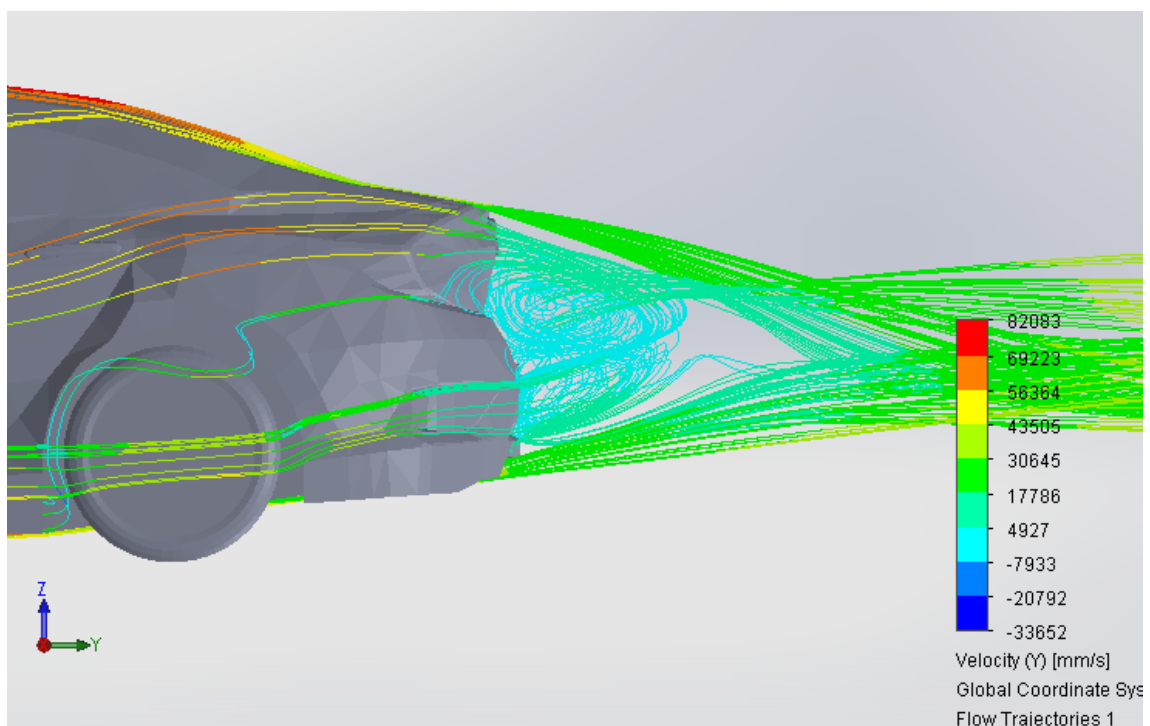


Ilustración 108. Fluido a 250 km/h

IV. Estudio aerodinámico

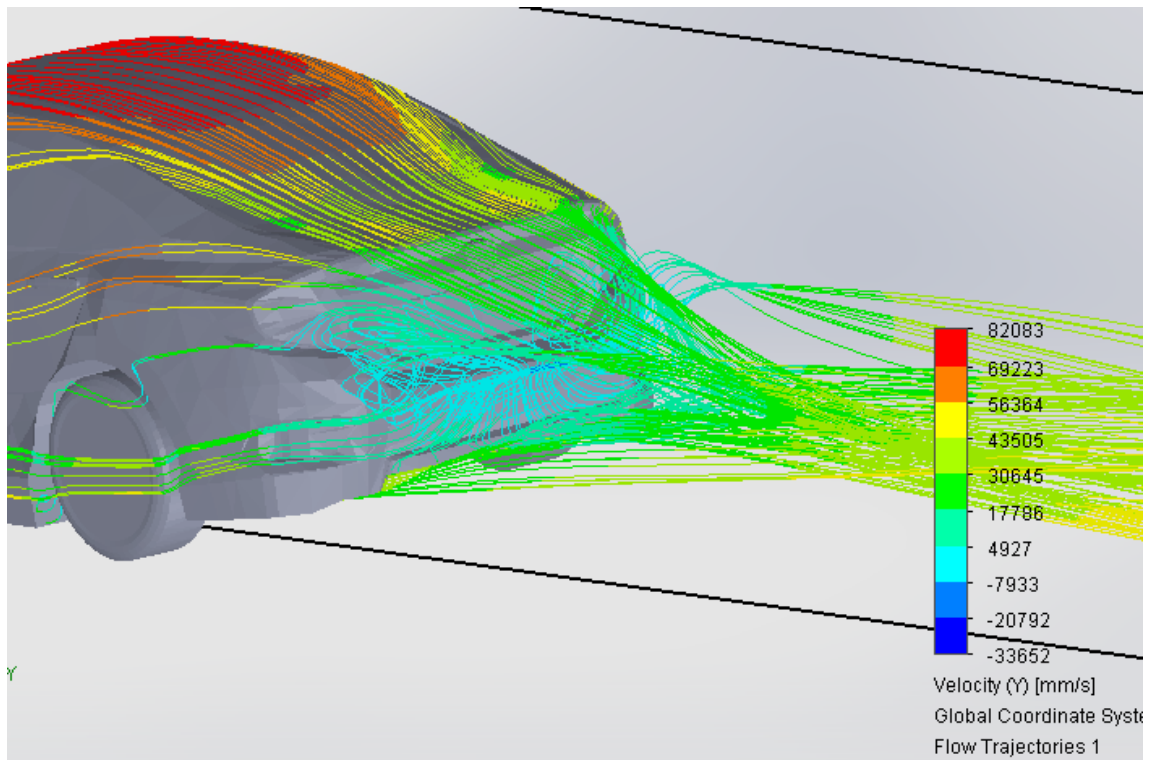


Ilustración 109. Fluido a 250 km/h

VI.2.7. 300 Km/h

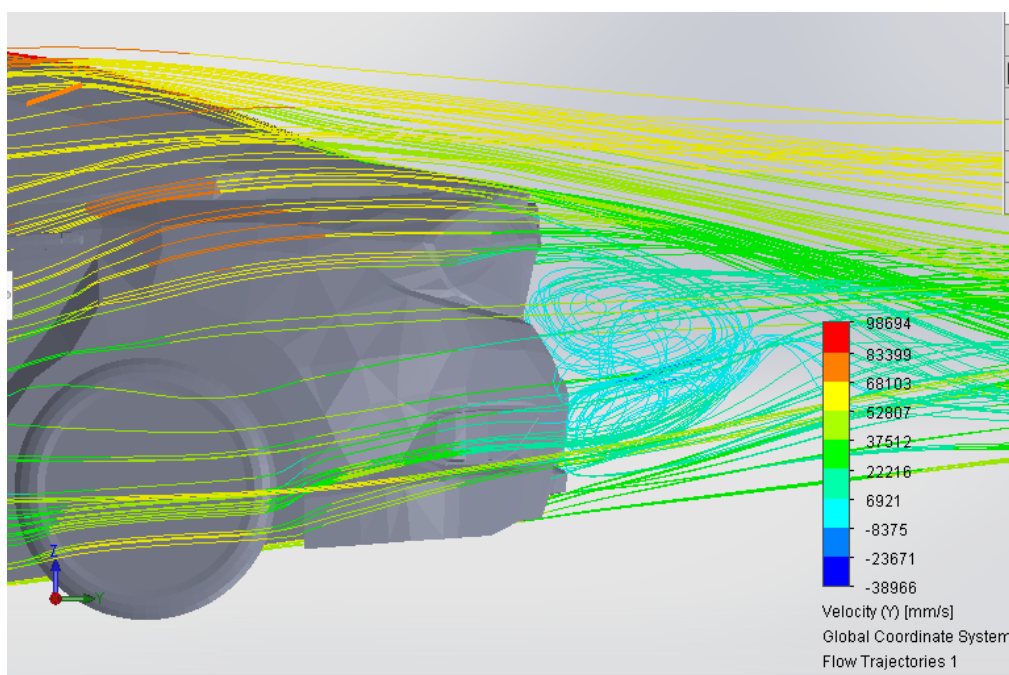


Ilustración 110. Fluido a 300 km/h

IV. Estudio aerodinámico

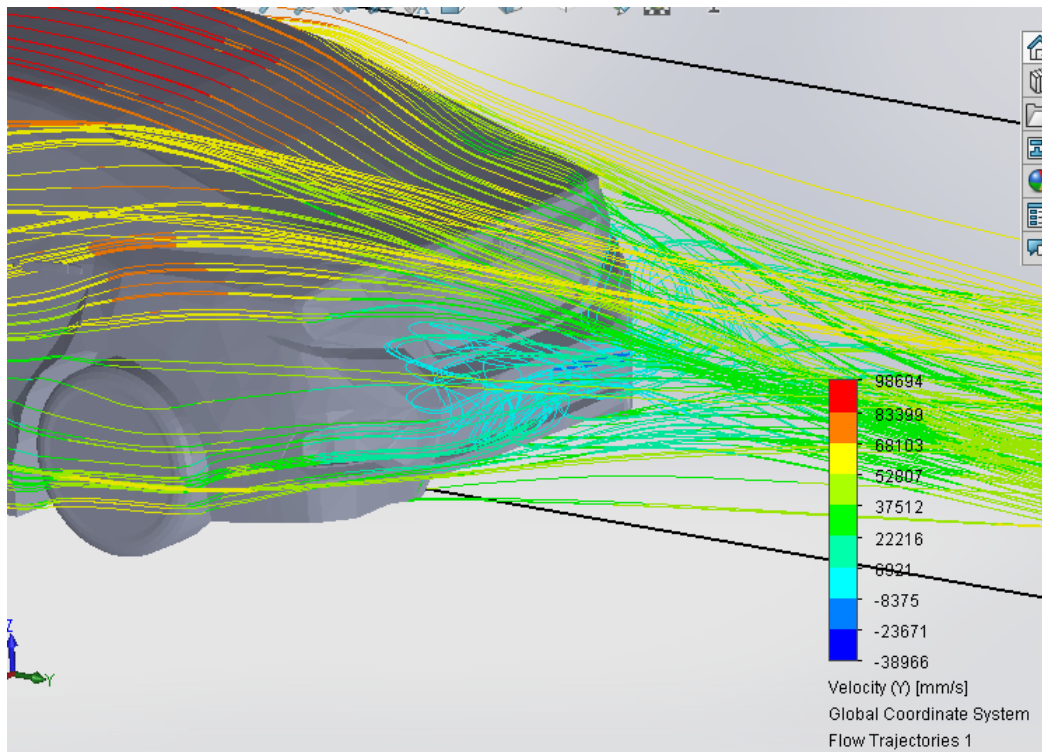


Ilustración 111. Fluido a 300 km/h

VI.3. Vehículo con alerón

VI.3.1. 60 Km/h

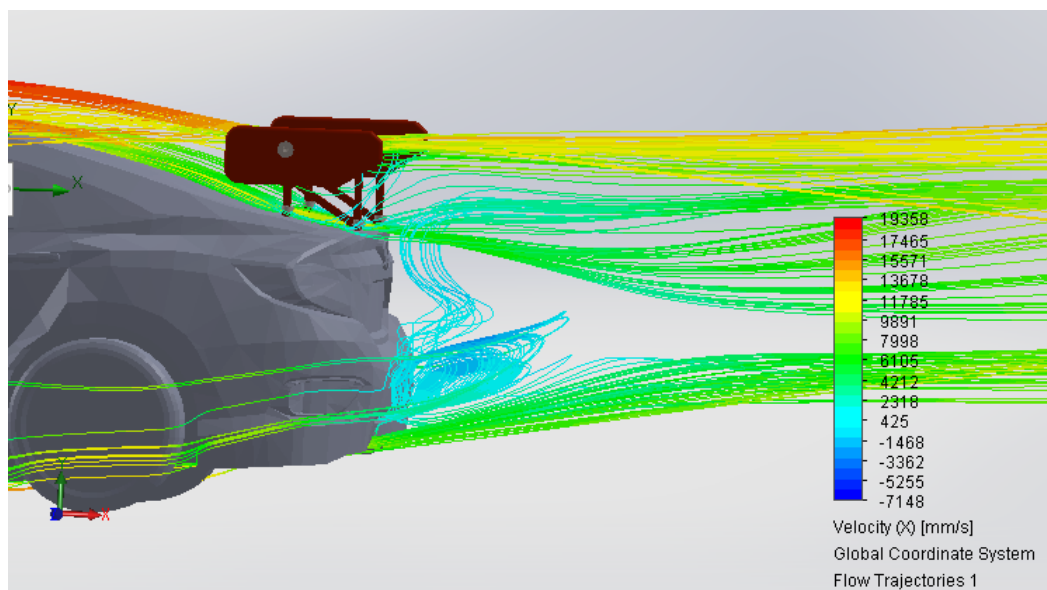


Ilustración 112. Fluido a 60 km/h

IV. Estudio aerodinámico

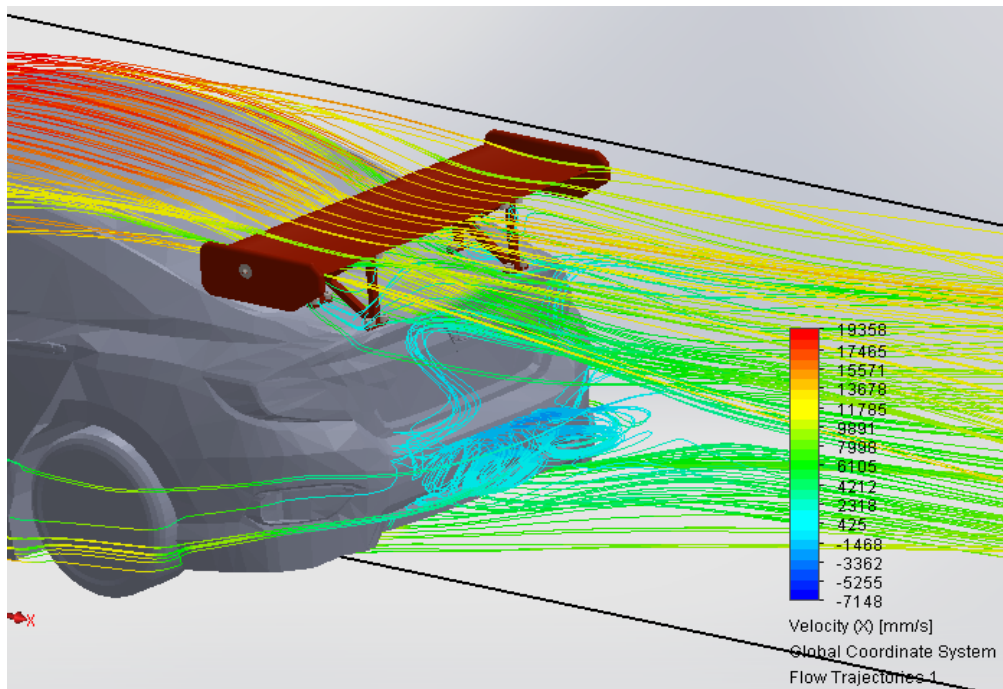


Ilustración 113. Fluido a 60 km/h

VI.3.2. 80 Km/h

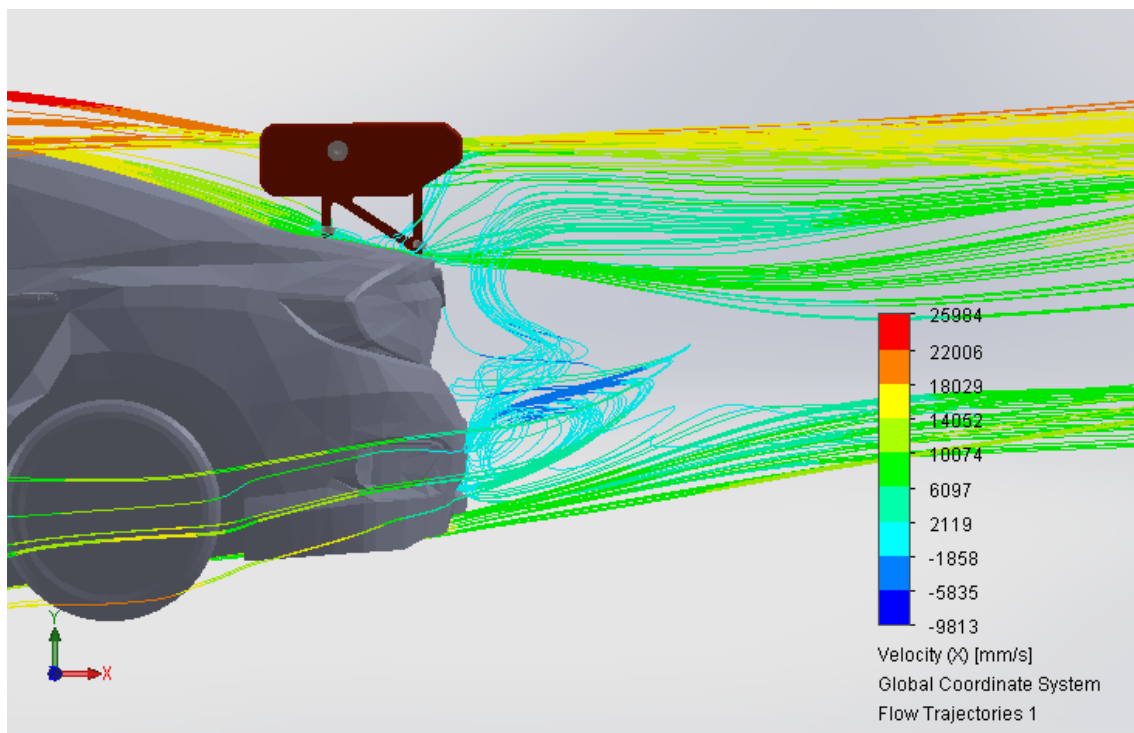


Ilustración 114. Fluido a 80 km/h

IV. Estudio aerodinámico

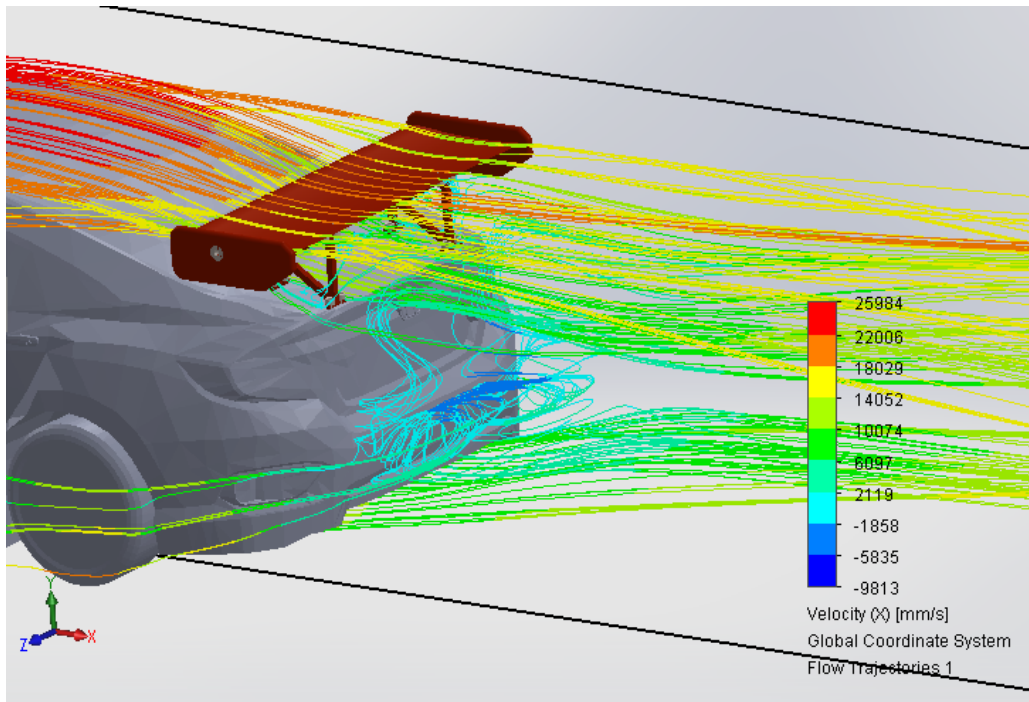


Ilustración 115. Fluido a 80 km/h

VI.3.3. 100 Km/h

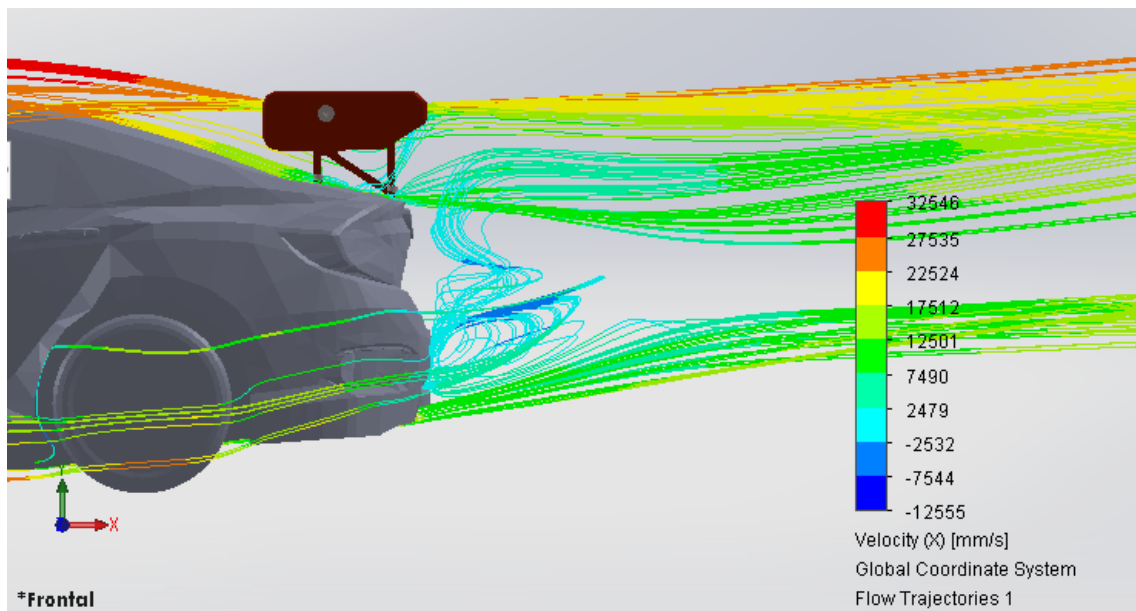


Ilustración 116. Fluido a 100 km/h

IV. Estudio aerodinámico

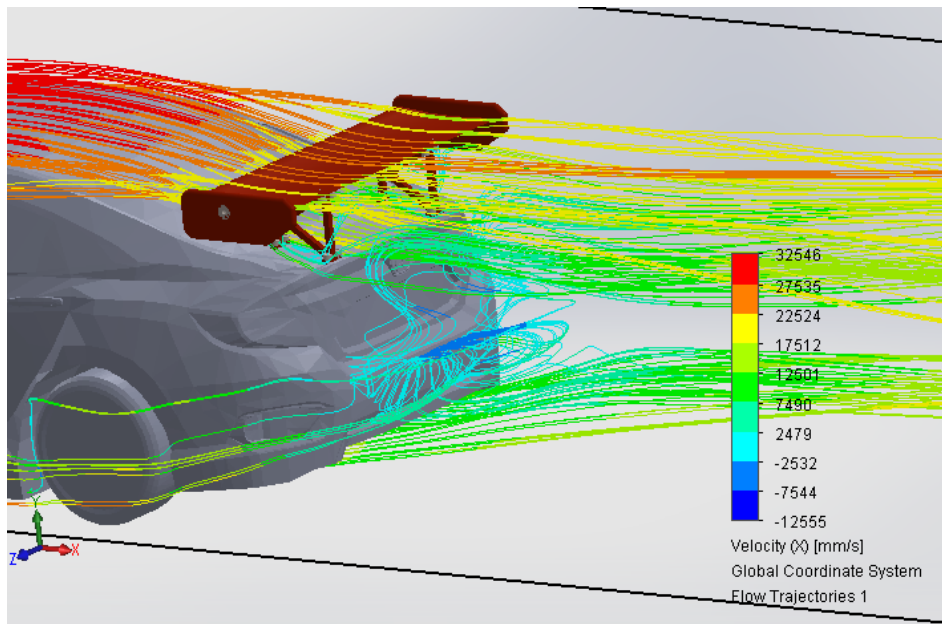


Ilustración 117. Fluido a 100 km/h

VI.3.4. 150 Km/h

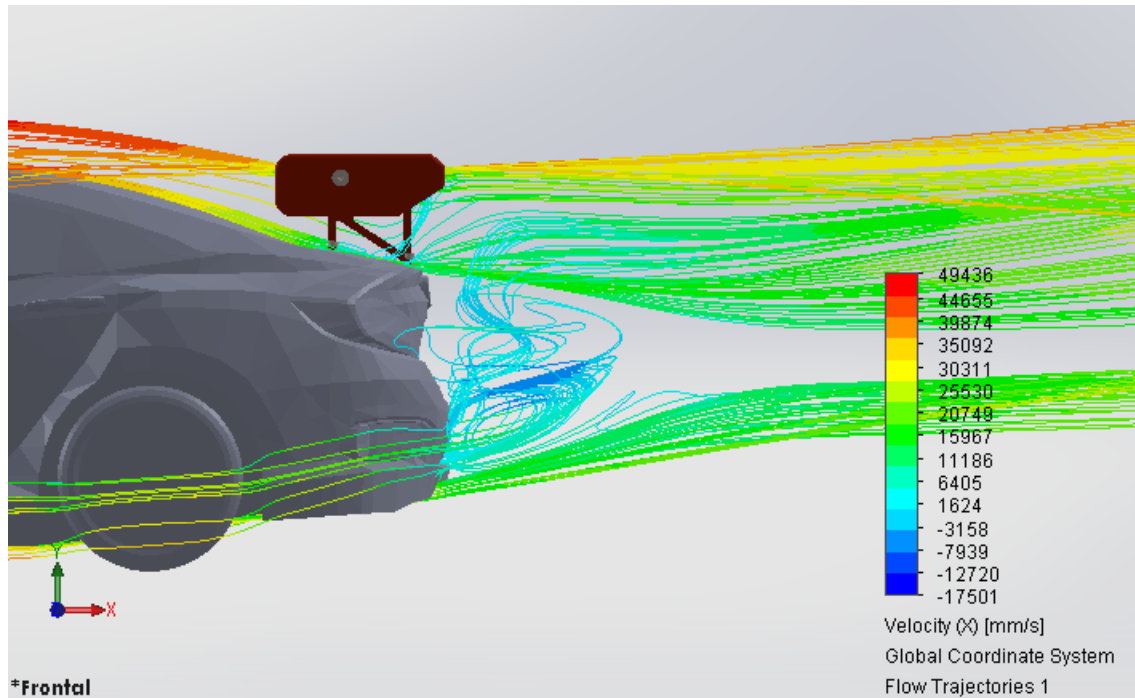


Ilustración 118. Fluido a 150 km/h

IV. Estudio aerodinámico

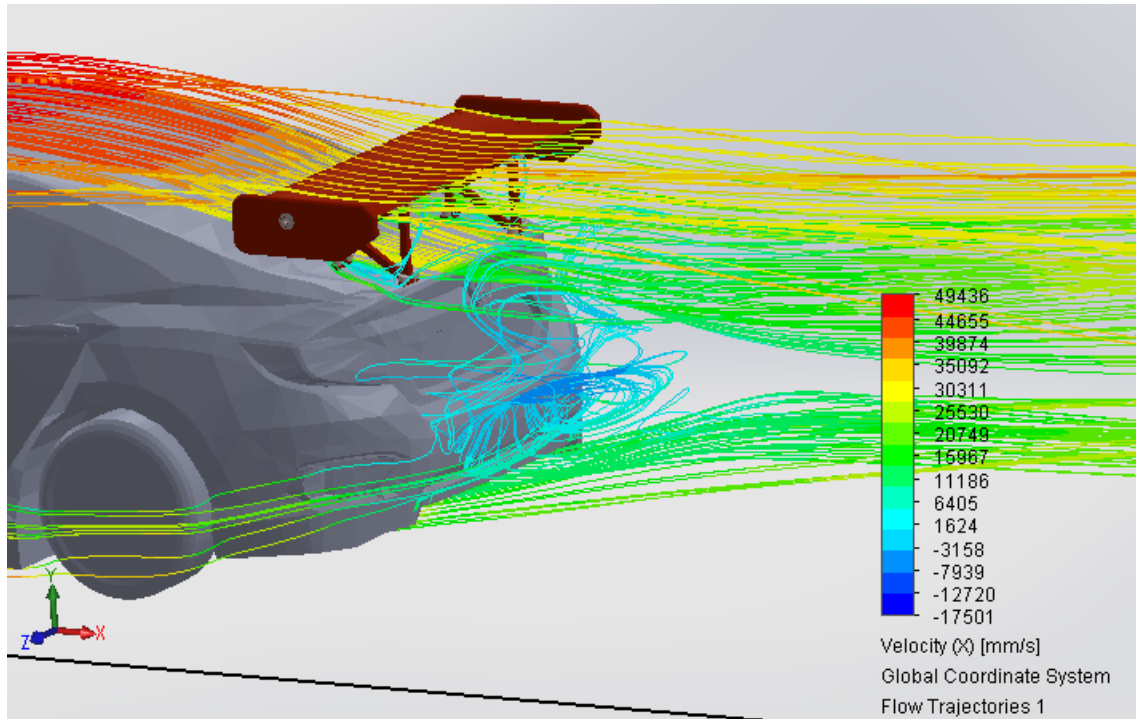


Ilustración 119. Fluido a 150 km/h

VI.3.5. 200 Km/h

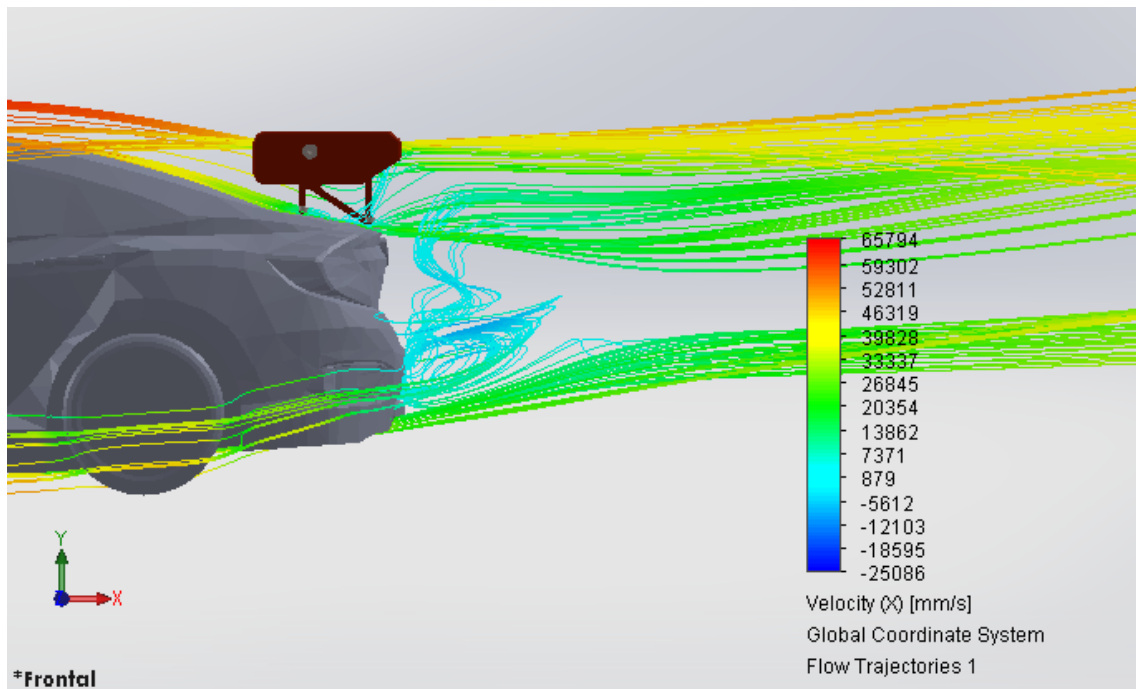


Ilustración 120. Fluido a 200 km/h

IV. Estudio aerodinámico

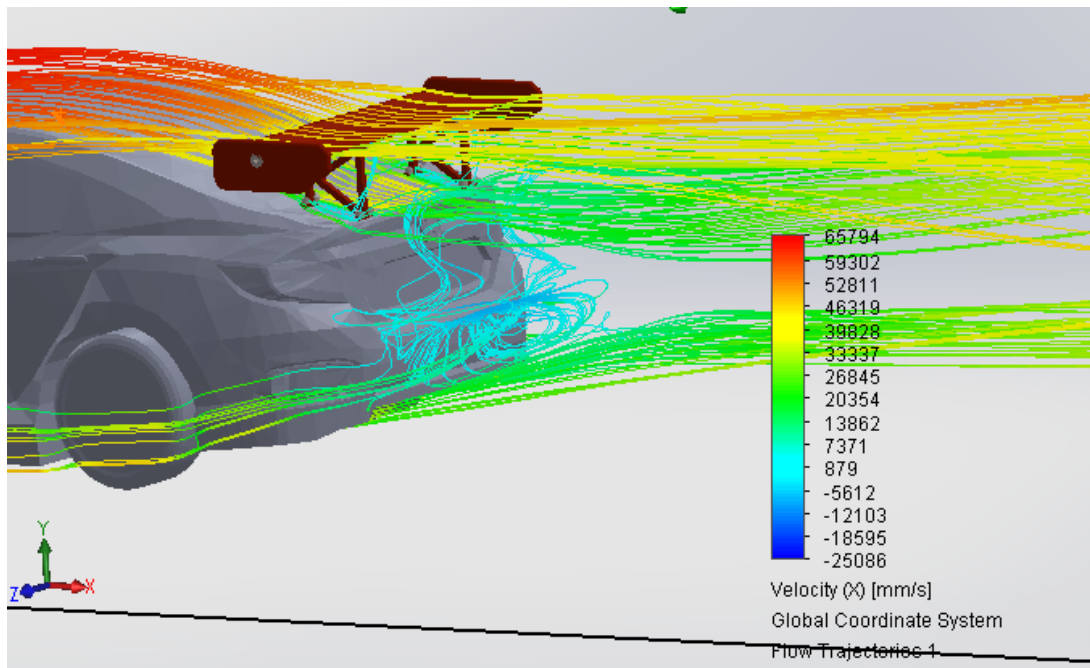


Ilustración 121. Fluido a 200 km/h

VI.3.6. 250 Km/h

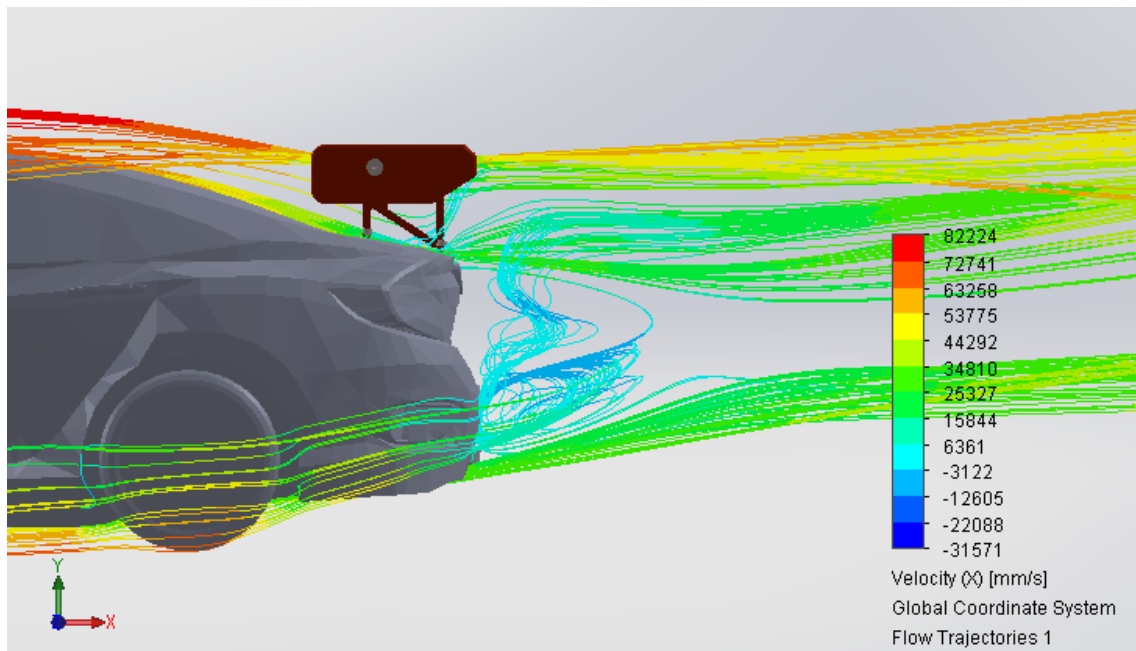


Ilustración 122. Fluido a 250 km/h

IV. Estudio aerodinámico

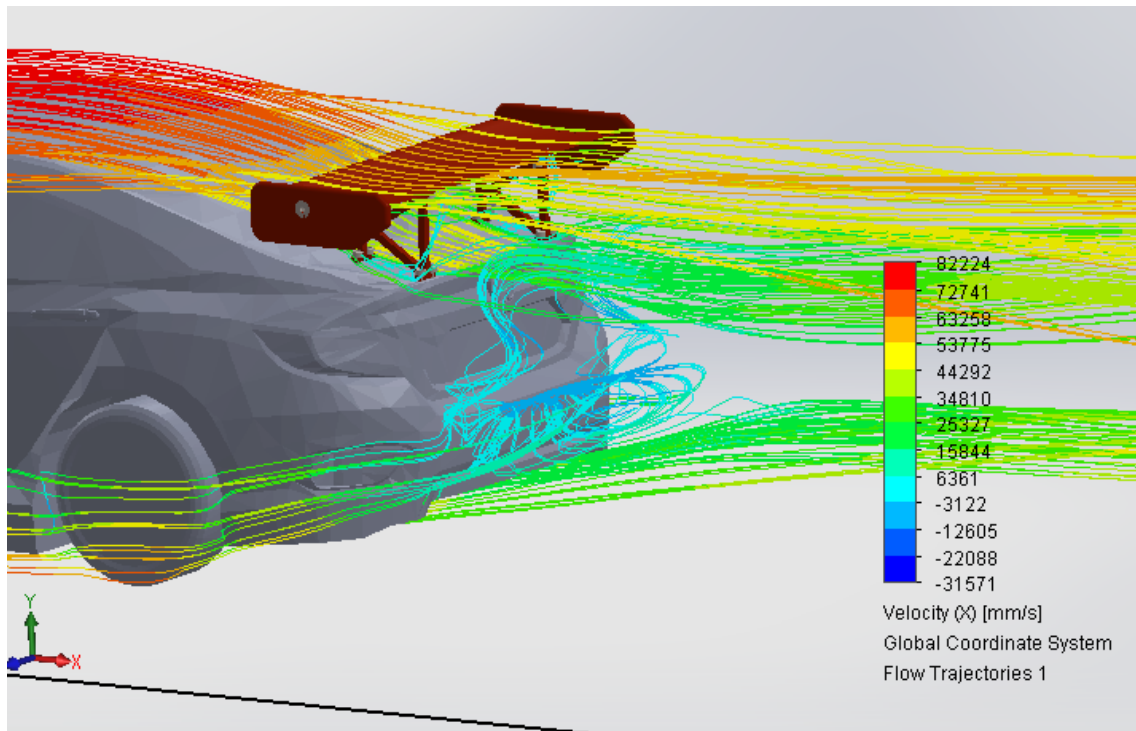


Ilustración 123. Fluido a 250 km/h

VI.3.7. 300 Km/h

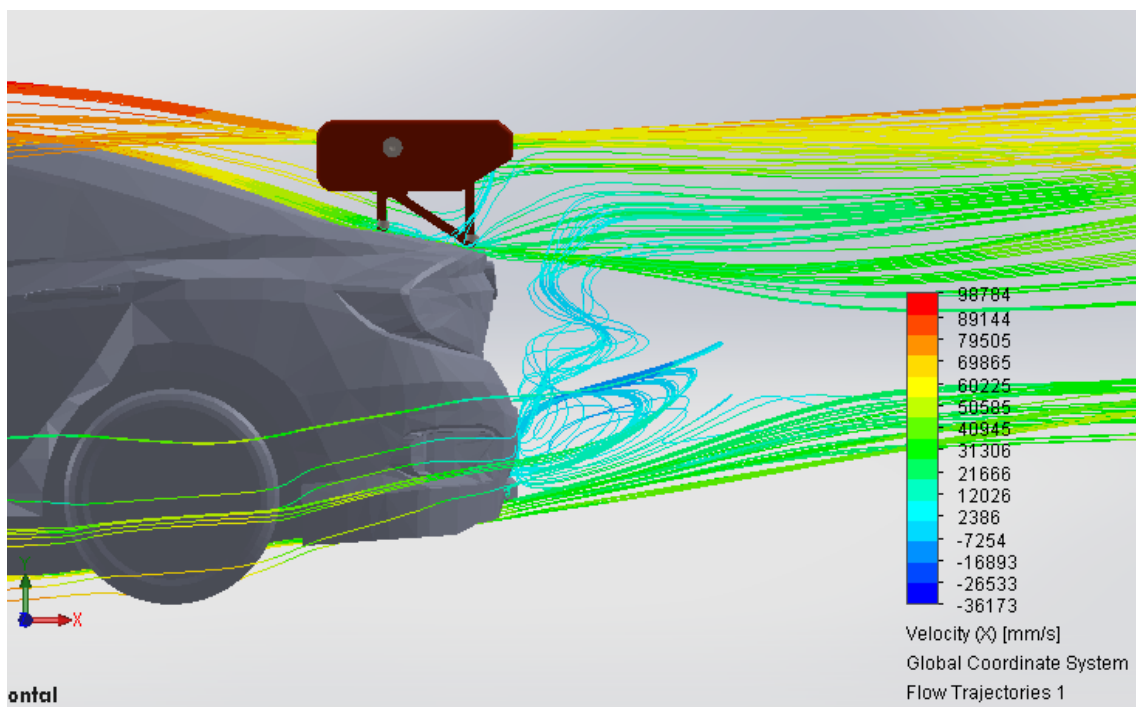


Ilustración 124. Fluido a 300 km/h

IV. Estudio aerodinámico

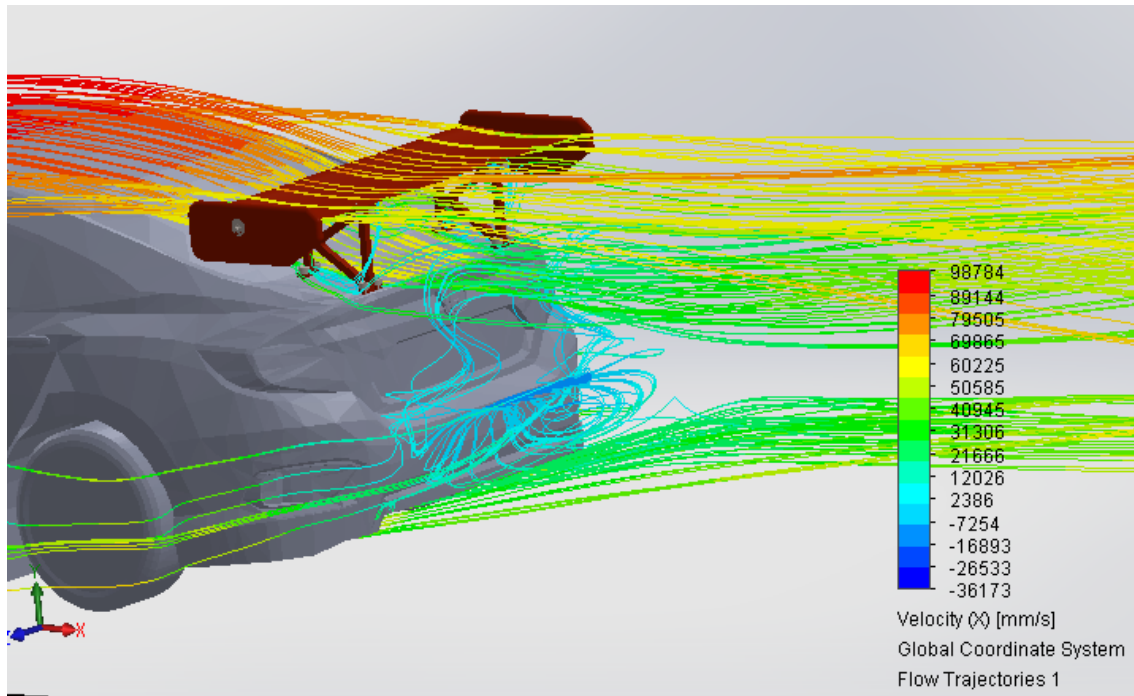


Ilustración 125. Fluido a 300 km/h

VI.4. Resultados

En este apartado se mostrarán e interpretarán los resultados obtenidos de las simulaciones aerodinámicas del vehículo sin alerón y con alerón. Por otra parte, se mostrarán y se compararán los valores de la resistencia al avance que han sido obtenidos mediante SolidWorks y mediante cálculo con fórmulas. También se mostrarán los valores de la carga aerodinámica ejercida por el alerón trasero del vehículo, cuyos valores se han obtenido mediante el apartado “Goals” de SolidWorks.

En cuanto a la realización de las simulaciones, se observa que al incorporar un alerón trasero al vehículo, los vórtices que se forman en la parte trasera disminuyen. Esto hace que el vehículo no tenga tanta inestabilidad en la parte trasera, además de que no se cree tanta fuerza de succión, la cual ejerce como una resistencia atrayendo el vehículo hacia atrás y generando un mayor consumo de combustible. Por consiguiente, también se consigue reducir la potencia que se debe de utilizar para vencer esta fuerza de succión, siendo esta potencia aprovechable para obtener una mayor velocidad.

IV. Estudio aerodinámico

A continuación, se muestran los resultados obtenidos a través de las simulaciones.

	Resistencia al avance (N)	
	Solidworks	Cálculo mediante fórmulas
60 km/h	95,54	98,03
80 km/h	170,68	174,18
100 km/h	265,23	272,07
150 km/h	598,54	612,59
200 km/h	1046,78	1088,67
250 km/h	1697,15	1701,17
300 km/h	2164,4	2450

Tabla 1. Resistencia al avance

	Carga aerodinámica (N)
	Solidworks
60 km/h	32,071363
80 km/h	59,6690405
100 km/h	87,266718
150 km/h	207,68326
200 km/h	381,72602
250 km/h	600,37902
300 km/h	817,4205874

Tabla 8. Carga aerodinámica

En la Tabla 1 se muestran los resultados de la resistencia al avance o fuerza en el eje X del vehículo con el alerón montado, ya que es la situación que interesa determinar. En la parte izquierda de la tabla, se muestran los resultados que se han obtenido mediante el software SolidWorks, mientras que en la parte derecha, se muestran los resultados de la resistencia al avance del vehículo calculados mediante fórmulas matemáticas.

Las fórmulas empleadas han sido la fórmula para el cálculo de la resistencia al avance y una fórmula que aproxima el área frontal del vehículo, ya que esta se desconoce.

IV. Estudio aerodinámico

$$Fx = \frac{1}{2} * Cx * S * \rho * v^2$$

$$S = 1,6 + 0,00056 * (m_v - 765)$$

Cabe destacar que el coeficiente C_x se ha aproximado a un valor de 0,3 debido a que este valor es desconocido. Por otra parte, la densidad se ha tomado un valor de 1,225 kg/m³ debido a unas condiciones atmosféricas estándar (15 °C y presión atmosférica normal). Por último, la masa del vehículo se ha tomado un valor de 1265 Kg puesto que este es el valor oficial que posee el vehículo en esta competición (El valor se ha obtenido de la página web oficial de la competición en la que compete el vehículo www.tcr-series.com).

Los resultados obtenidos mediante el SolidWorks, en comparación con los resultados obtenidos mediante fórmulas matemáticas son un poco menores. Esto es debido a que en el cálculo por fórmulas se ha tenido que aproximar algunos parámetros y puede existir un cierto error. Sin embargo, se ha querido realizar el cálculo mediante fórmulas para comparar los resultados que mostraba el software.

En la Tabla 2, se muestra la carga aerodinámica o fuerza en el eje Y que ejerce el alerón trasero del vehículo. Estos valores se han obtenido mediante el software SolidWorks.

VII. MATERIALES

MATERIALES

VII. Materiales

Los alerones de competición, dependiendo de categorías, se fabrican de diversos materiales, los cuáles, los más conocidos son el aluminio, la fibra de vidrio y la fibra de carbono. Son materiales que son resistentes, ligeros y poseen propiedades mecánicas que los hacen muy buenos para este tipo de aplicación.

En este trabajo, se quiere realizar el alerón trasero de material compuesto de fibras naturales. Para cumplir la función de alerón de dirigir el aire y crear fuerza de sustentación negativa o carga aerodinámica, el alerón debe de ser rígido, para deformarse lo más mínimo posible y por tanto perder su eficacia, resistente, para soportar los esfuerzos formados por la carga aerodinámica generada y ligero, para añadir el mínimo peso posible al vehículo.

VII.1. Materiales Compuestos

Un material compuesto es aquél que está formado por la combinación de diferentes componentes de tal manera que se consigue un efecto sinérgico en las propiedades finales, obteniéndose materiales con prestaciones muy superiores a las de los componentes individuales. Los materiales compuestos presentan características generales las cuáles son:

- Elevada resistencia mecánica frente a esfuerzos de tracción y flexión.
- Elevada ligereza.
- Alta estabilidad dimensional.
- Elevada resistencia a los agentes químicos y atmosféricos.
- Posibilidad de aislamiento térmico, acústico y eléctrico.
- Baja transmisión de vibraciones.
- Buen comportamiento a fatiga.
- Elevada resistencia térmica y buen comportamiento a la llama.

VII. Materiales

Estos materiales compuestos son capaces de competir con materiales metálicos y cerámicos en numerosas aplicaciones de ingeniería debido a su bajo peso, una gran estabilidad térmica y mecánica, elevadas propiedades mecánicas y su facilidad de procesamiento.

VII.1.1. Componentes de un material compuesto

Los materiales compuestos se basan en la combinación de dos componentes, la matriz plástica y el elemento de refuerzo. Estos dos componentes se van a tratar en los siguientes subapartados. Cabe destacar que las propiedades finales del material compuesto dependerán de las propiedades de los componentes, proporción de los componentes y la geometría del refuerzo (forma, tamaño y orientación).

VII.1.1.1. Matriz plástica

Este componente aporta una facilidad en el procesamiento del compuesto. Da cohesión al compuesto una vez procesado, mantiene los refuerzos en las direcciones deseadas una vez endurecido y protege a los refuerzos frente a agentes externos. Las matrices se pueden clasificar en tres tipos:

- Matriz metálica (MMC).
- Matriz cerámica (CMC).
- Matriz polimérica (PMC).

VII.1.1.2. Elementos de refuerzo

Los elementos de refuerzo se encargan de aportar elevadas propiedades mecánicas al compuesto.

Los refuerzos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Refuerzos en partículas.

VII. Materiales

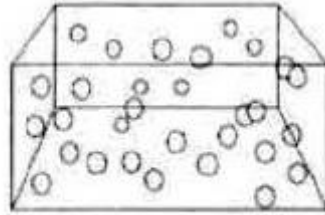


Ilustración 126. Refuerzo de partículas

- Refuerzos con fibras:
 - Según la longitud:
 - Fibras continuas (alineadas).
 - Fibras discontinuas (alineadas o al azar).
 - Según la configuración:
 - Unidireccionales.
 - Bidireccionales (tejidos, laminados).
 - Tridimensional (tejidos 3D).

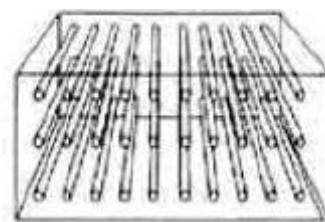


Ilustración 127. Refuerzo en fibras

- Refuerzos estructurales:
 - Laminares

VII. Materiales

- Paneles Sándwich

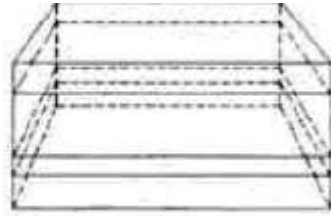


Ilustración 129. Refuerzos estructurales

VII.2. Estudio de materiales

Como se ha mencionado anteriormente, en este trabajo se quiere trabajar con materiales compuestos utilizando fibras naturales. Para poder ser un material compuesto de fibras naturales o Green composites, se ha de cumplir que el refuerzo tiene que ser de un material completamente ecológico.

En primer lugar, se ha hecho un estudio de diversos materiales, de los cuáles se pueden extraer fibras naturales. Se han escogido varios materiales y se han comparado sus propiedades mediante el software informático Ces Edupack. Este software consta de una base de datos muy grande donde se alojan la mayoría de materiales y procesos de fabricación que existen en el mercado.

Para este estudio y comparación, se han seleccionado diversos materiales, como el bambú, cáñamo, yute y lino. Se han escogido estos debido a que son los más conocidos y fáciles de encontrar en el mercado.

Las características mecánicas y físicas, así como su precio de cada material se muestran a continuación en cada subapartado.

Destacar que sea el material que se escoja, este debe de mezclarse con resina termoestable llamada resina epoxi para poder formar el material compuesto.

VII. Materiales

VII.2.1. Bambú

Price

Price	①	* 1,13	- 1,7	EUR/kg
Price per unit volume	①	* 680	- 1,36e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	①	600	- 800	kg/m ³
---------	---	-----	-------	-------------------

Ilustración 130. Precio y propiedades físicas del bambú

Mechanical properties

Young's modulus	①	15	- 20	GPa
Specific stiffness	①	20,5	- 30,5	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	①	* 35,9	- 43,9	MPa
Tensile strength	①	160	- 320	MPa
Specific strength	①	* 48,3	- 68	kN.m/kg
Elongation	①	* 2,88	- 3,52	% strain
Compressive strength	①	60	- 100	MPa
Flexural modulus	①	17	- 22	GPa
Flexural strength (modulus of rupture)	①	80	- 160	MPa
Shear modulus	①	* 1,21	- 1,36	GPa
Shear strength	①	10	- 20	MPa
Bulk modulus	①	* 0,77	- 1,03	GPa
Poisson's ratio	①	0,32	- 0,46	
Shape factor	①	5,6		
Hardness - Brinell	①	79,1	- 88,3	HB
Elastic stored energy (springs)	①	36	- 57,4	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	①	29,3	- 39,3	MPa
Radial shrinkage (green to oven-dry)	①	6,6	- 7,2	%
Tangential shrinkage (green to oven-dry)	①	4,1	- 8,2	%
Volumetric shrinkage (green to oven-dry)	①	10,9	- 15,8	%
Work to maximum strength	①	83,1	- 102	kJ/m ³

Ilustración 131. Propiedades mecánicas del bambú

VII. Materiales

VII.2.2. Cáñamo

Price

Price	ⓘ	* 0,88	- 1,75	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 1,3e3	- 2,63e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	ⓘ	1,48e3	- 1,5e3	kg/m ³
---------	---	--------	---------	-------------------

Ilustración 132. Precio y propiedades físicas del cáñamo

Mechanical properties

Young's modulus	ⓘ	27,6	- 100	GPa
Specific stiffness	ⓘ	19	- 69	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	150	- 338	MPa
Tensile strength	ⓘ	345	- 1,5e3	MPa
Specific strength	ⓘ	103	- 233	kN.m/kg
Elongation	ⓘ	2	- 3,2	% strain
Flexural modulus	ⓘ	* 27,6	- 100	GPa
Shear modulus	ⓘ	1	- 2,1	GPa
Bulk modulus	ⓘ	* 2	- 6	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	* 0,25	- 0,3	
Shape factor	ⓘ	1		
Elastic stored energy (springs)	ⓘ	205	- 1,13e3	kJ/m ³

Ilustración 133. Propiedades mecánicas del cáñamo

VII.2.3. Yute

Price

Price	ⓘ	* 0,296	- 1,27	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 385	- 1,9e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	ⓘ	1,3e3	- 1,5e3	kg/m ³
---------	---	-------	---------	-------------------

Ilustración 134. Precio y propiedades físicas del yute

VII. Materiales

Mechanical properties

Young's modulus	ⓘ	13	- 60	GPa
Specific stiffness	ⓘ	9,3	- 43	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	145	- 530	MPa
Tensile strength	ⓘ	240	- 860	MPa
Specific strength	ⓘ	104	- 380	kN.m/kg
Elongation	ⓘ	1,16	- 1,8	% strain
Flexural modulus	ⓘ	* 13	- 60	GPa
Shear modulus	ⓘ	* 13	- 22,2	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	* 0,343	- 0,357	
Shape factor	ⓘ	1		
Elastic stored energy (springs)	ⓘ	436	- 4,34e3	kJ/m ³
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	ⓘ	* 160	- 344	MPa

Ilustración 135. Propiedades mecánicas del yute

VII.2.4. Lino

Price

Price	ⓘ	* 1,75	- 3,51	EUR/kg
Price per unit volume	ⓘ	* 2,45e3	- 5,27e3	EUR/m ³

Physical properties

Density	ⓘ	1,4e3	- 1,5e3	kg/m ³
---------	---	-------	---------	-------------------

Ilustración 135. Precio y propiedades físicas del lino

Mechanical properties

Young's modulus	ⓘ	27,6	- 100	GPa
Specific stiffness	ⓘ	19	- 69	MN.m/kg
Yield strength (elastic limit)	ⓘ	150	- 338	MPa
Tensile strength	ⓘ	345	- 1,5e3	MPa
Specific strength	ⓘ	103	- 233	kN.m/kg
Elongation	ⓘ	2	- 3,2	% strain
Flexural modulus	ⓘ	* 27,6	- 100	GPa
Shear modulus	ⓘ	1	- 2,1	GPa
Bulk modulus	ⓘ	* 2	- 6	GPa
Poisson's ratio	ⓘ	* 0,25	- 0,3	
Shape factor	ⓘ	1		
Elastic stored energy (springs)	ⓘ	205	- 1,13e3	kJ/m ³

Ilustración 136. Propiedades mecánicas del lino

VII. Materiales

VII.3. Primera elección del material

En este apartado se va a seleccionar el material que será utilizado para poder fabricar el alerón trasero.

De los 4 materiales que se han expuesto anteriormente, el material que se escoge es el bambú. El primer criterio para escogerlo es que posee una densidad bastante menor al resto de materiales, por tanto, nos indica que el alerón va a ser más ligero, de modo que se añade el mínimo posible al vehículo. Por otro lado, las propiedades mecánicas, aunque sean inferiores a las de los demás materiales, son unos valores buenos que nos hacen una primera aproximación de que el material pueda cumplir con las necesidades que se habían propuesto al principio del apartado **VII. Materiales**.

Cabe destacar que en este apartado se hace una primera elección del material que se considera viable para la aplicación requerida. En el siguiente apartado se realizará un análisis resistente para poder comprobar si el material cumple con las necesidades requeridas o no. Si el material no fuera adecuado, se escogerá otro y se volverá a proceder a realizar de nuevo un análisis resistente.

VIII. ANÁLISIS RESISTENTE

ANÁLISIS RESISTENTE

VIII. Análisis resistente

En este apartado se va a realizar un análisis resistente para comprobar que el material seleccionado cumple con las necesidades requeridas que se le exige al material para esta aplicación.

VIII.1. Procedimiento

El análisis resistente se ha realizado en el programa SolidWorks mediante el complemento instalado llamado SOLIDWORKS Simulation. Se ha iniciado este complemento y lo primero que se ha realizado es pinchar en la opción “Asesor de estudios” y posteriormente pinchar en la opción “Nuevo estudio”. En la opción de estudio de seleccionará que se quiere realizar un “Análisis estático”.

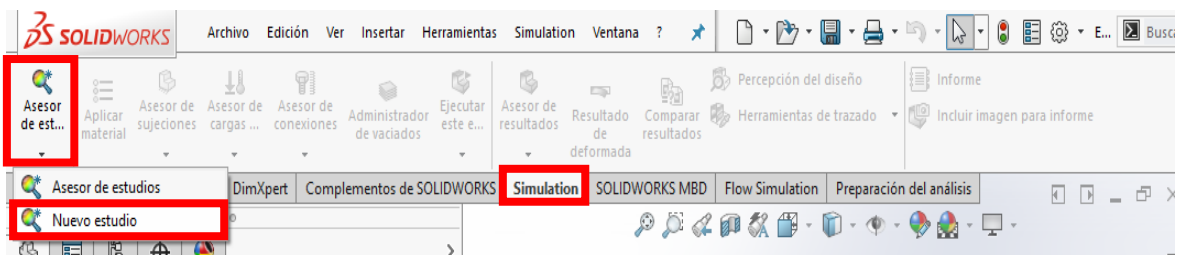


Ilustración 139. Complemento "Simulation"

VIII. Análisis resistente

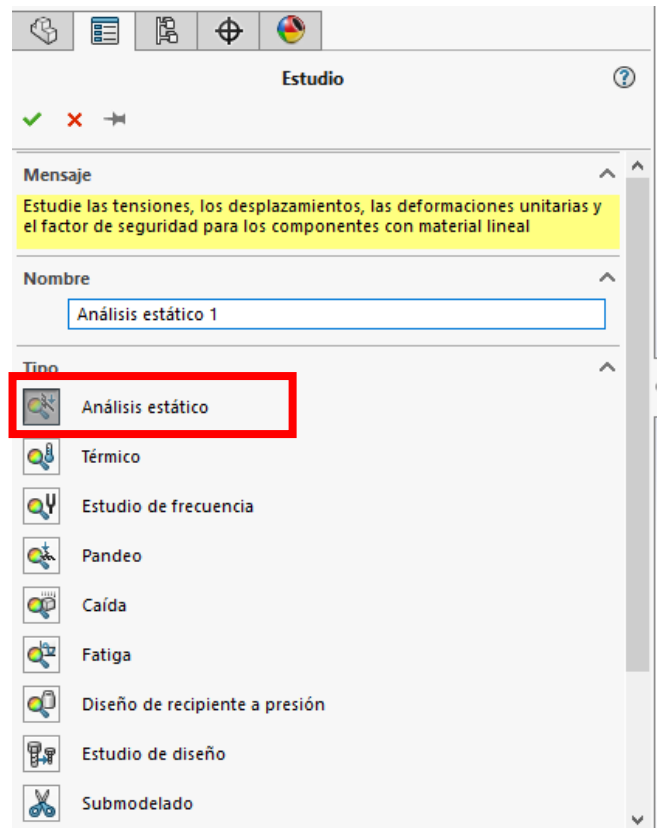


Ilustración 142. Selección del análisis

Más tarde, lo que se ha hecho es seleccionar cada uno de los componentes que posee la pieza (Uno a uno, por separado) y seleccionar la opción de “Definir vaciado por caras seleccionadas”.

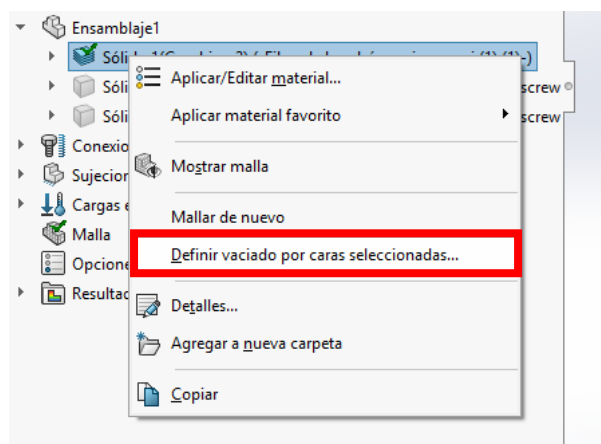


Ilustración 139. Selección de la opción "Definir por caras seleccionadas"

VIII. Análisis resistente

Llegados a este punto, se abrirá una ventana en la parte izquierda del programa informático llamada “Definición de elementos SHELL”.

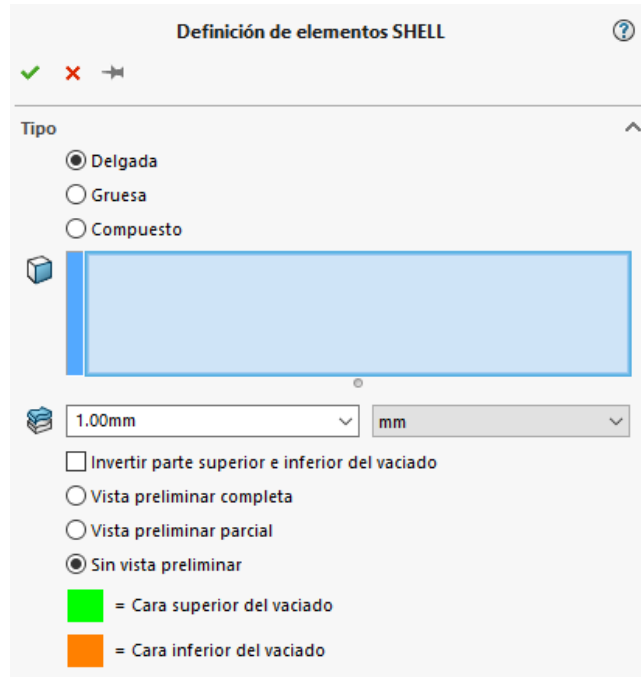


Ilustración 140. Definición de elementos SHELL

En esta ventana se ha seleccionado el tipo de material que es. En nuestro caso es un material compuesto, por tanto se seleccionará dicha opción. También, se seleccionarán las caras de la pieza a las que se aplicará dicho material.

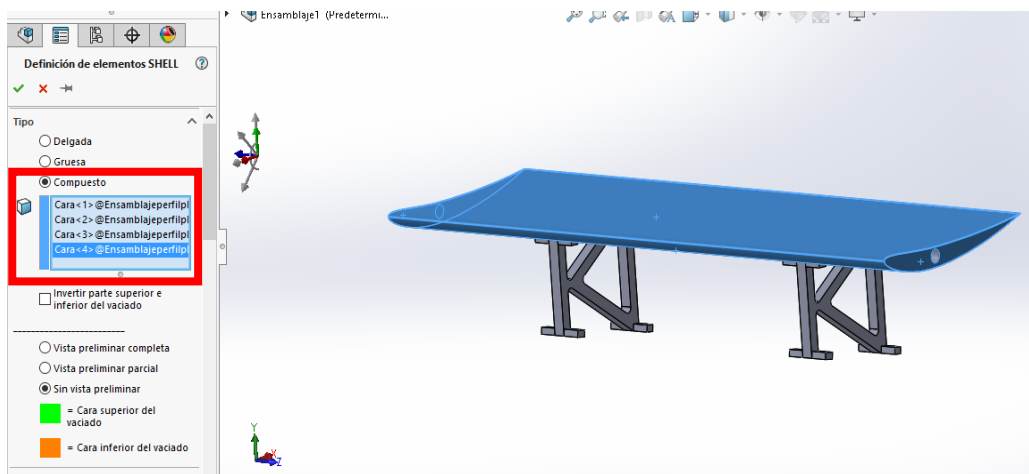


Ilustración 141. Selección de caras

VIII. Análisis resistente

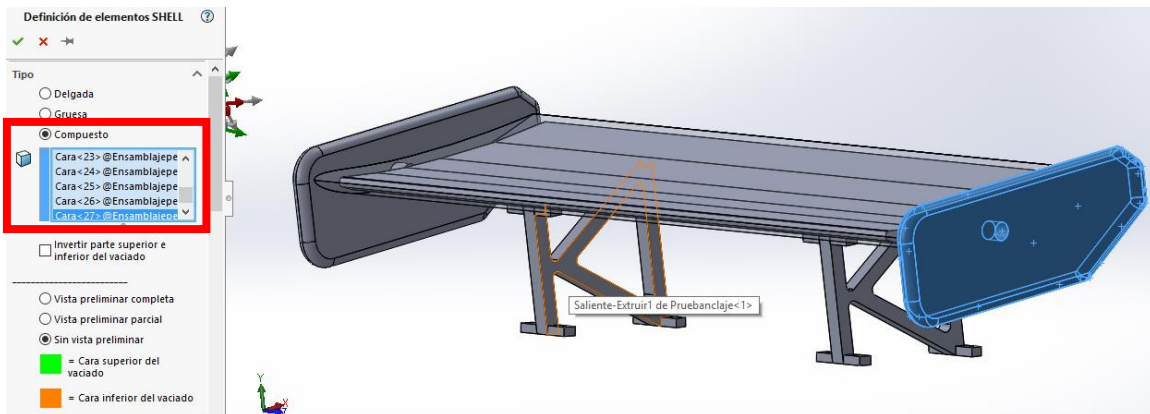


Ilustración 142. Selección de caras

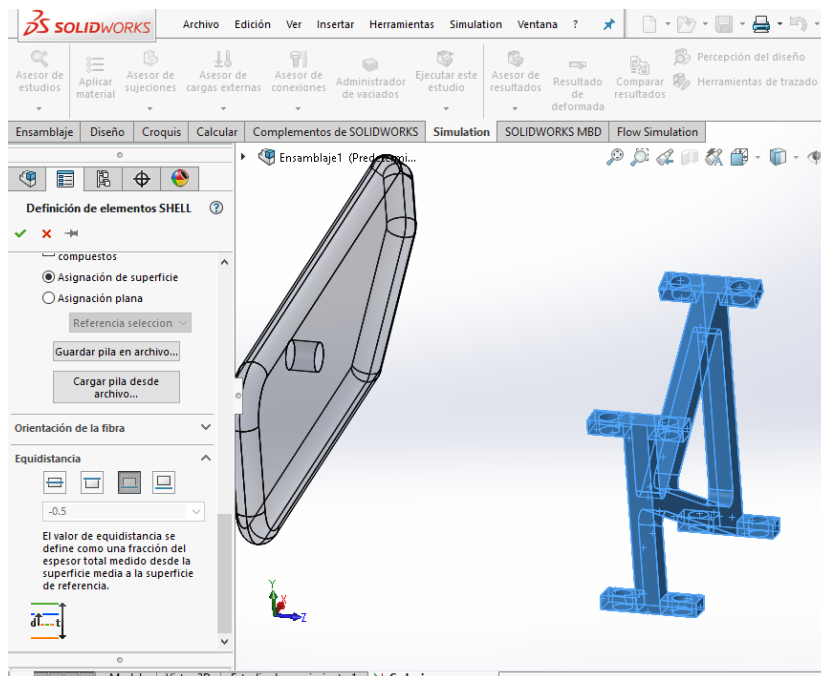


Ilustración 143. Selección de caras

Seleccionadas las caras de cada uno de los componentes que forman la pieza, se indica la posición en que se colocarán las capas con respecto a la superficie de referencia.

VIII. Análisis resistente

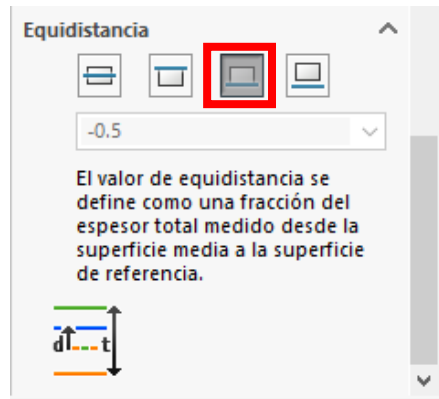


Ilustración 144. Selección de la opción "Equidistancia"

Por último, se introducirán los valores que pueden variarse para obtener otros resultados. Estos valores mencionados son "Número total de pliegues", "Espesor" y "Ángulo". Destacar que en nuestro caso el material es simétrico entre sus capas, por tanto, se activará esta opción.

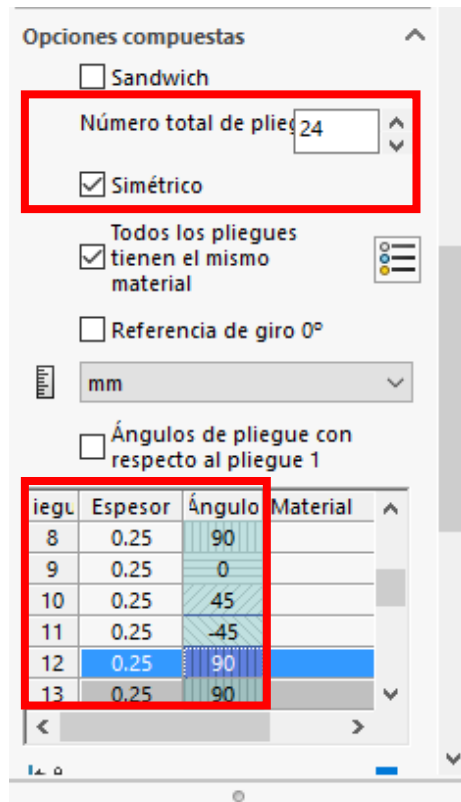


Ilustración 145. Selección del número de pliegues y ángulos de posición

VIII. Análisis resistente

Seleccionados los pliegues, el espesor y los ángulos, se procede a introducir el material que previamente se ha seleccionado que en nuestro caso es fibra de bambú con resina epoxi. Cabe destacar que antes de introducir el material, se ha de seleccionar la opción "Todos los pliegues tienen el mismo material" debido a que todas las capas van a ser del mismo material y no se va a intercalar capas de un material y otro.

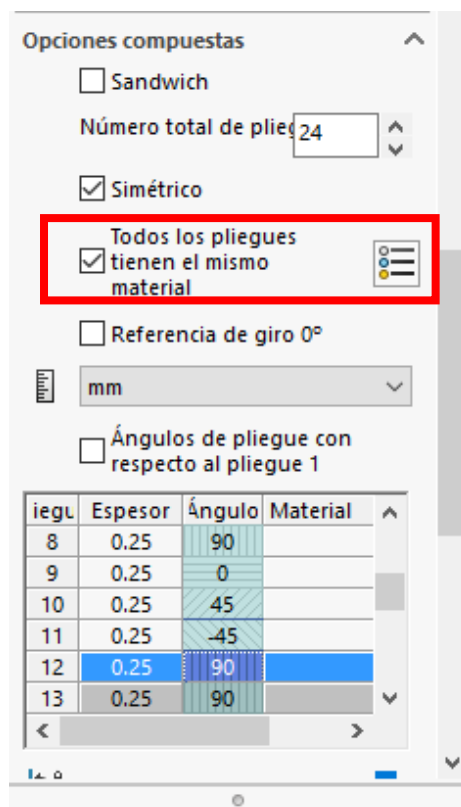


Ilustración 146. Selección de la opción "Todos los pliegues tienen el mismo material"

Una vez seleccionada esta opción, se procede a introducir el material. Este material, el cual es fibra de bambú mezclada con resina epoxi, no está contemplada en la base de datos de materiales del programa SolidWorks, por tanto se debe de crear. Para ello, se ha creado un material personalizado y se han metido sus propiedades. Llegados a este punto, se debe de hacer un inciso. Las propiedades que se han obtenido mediante el programa CES Edupack, son propiedades propiamente del material, es decir, sin mezclar con la resina epoxi. Si se introdujera esas propiedades del material no se estaría

VIII. Análisis resistente

haciendo el estudio correctamente debido a que faltarían propiedades propiamente de la resina.

Para ello, lo que se ha realizado es lo siguiente; Mediante otro programa informático, llamado eLamX 2.5, el cual es un software que permite calcular laminados de material compuesto, se han introducido las propiedades mecánicas y térmicas de la fibra de bambú y de la resina epoxi. Una vez introducidas las propiedades de cada uno de los componentes, el programa ha calculado las propiedades del material compuesto juntando los dos componentes mencionados anteriormente.

Destacar que las propiedades de la fibra de Bambú se han obtenido mediante el CES Edupack y el de la resina epoxi se han obtenido de la base de datos del software eLamX. Por otra parte, destacar también que la mezcla se realiza con un 60% de fibra de bambú y con un 40% de epoxi.

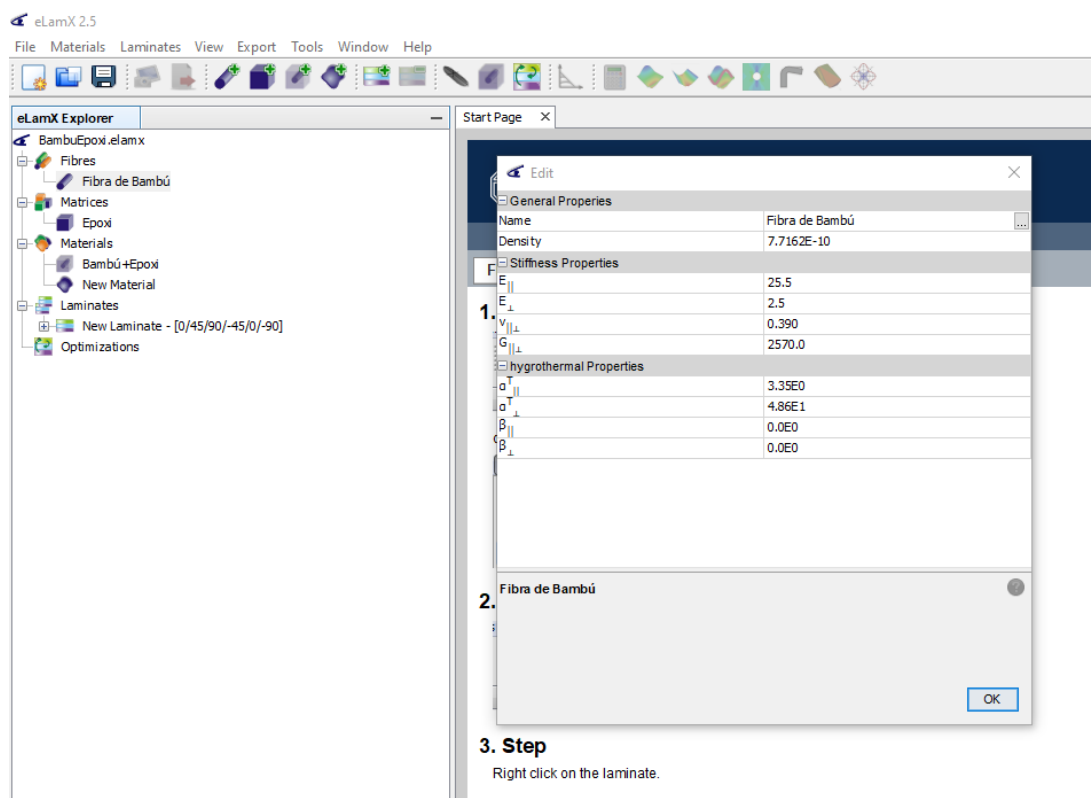


Ilustración 147. Introducción de parámetros de la fibra de bambú

VIII. Análisis resistente

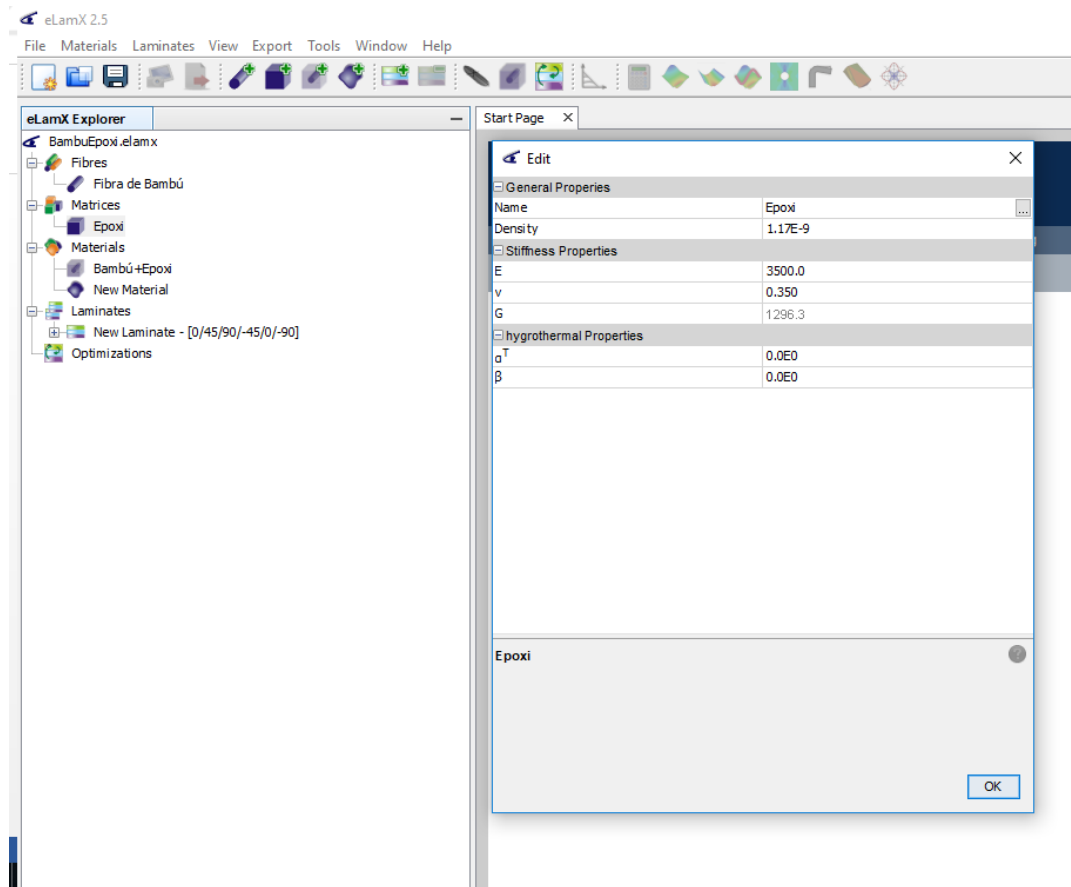


Ilustración 148. Introducción de parámetros de la resina epoxi

Para el material de estudio elegido se marca la opción de “Ortotrópico elástico lineal” en el programa SolidWorks y se introducen los valores de las propiedades del material compuesto obtenido por el software eLamX.

VIII. Análisis resistente

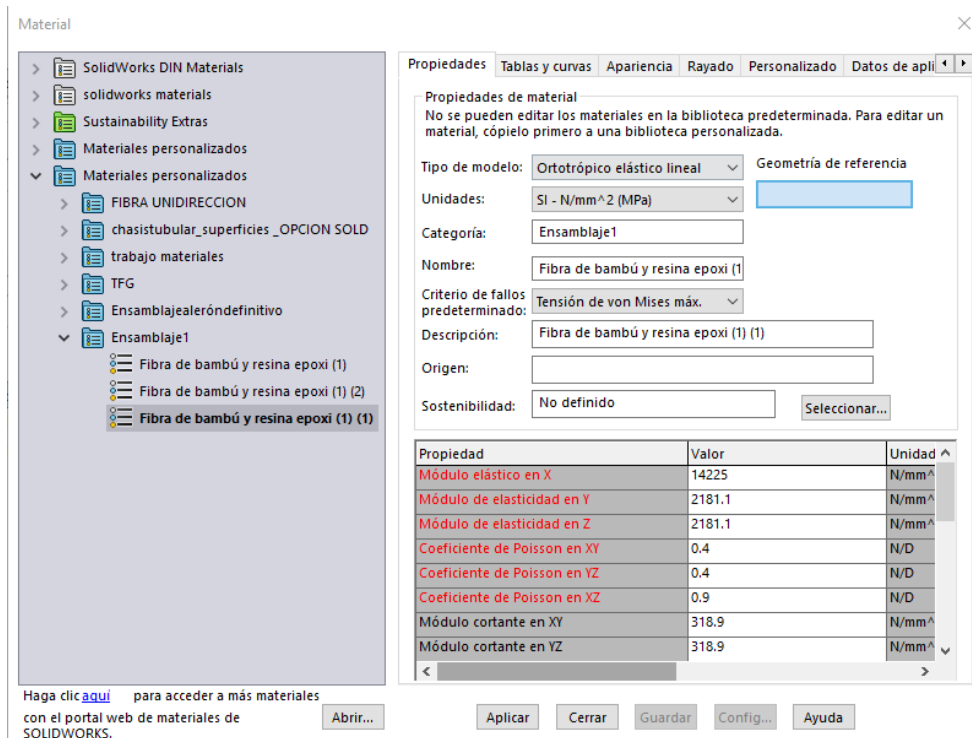


Ilustración 149. Introducción de parámetros de la fibra de bambú con resina epoxi

El alerón irá anclado al portón trasero del vehículo, por tanto en la opción de "Sujeciones" y "Geometría fija" se indicará que parte del alerón irá fijada, es decir, que parte estará sujeta.

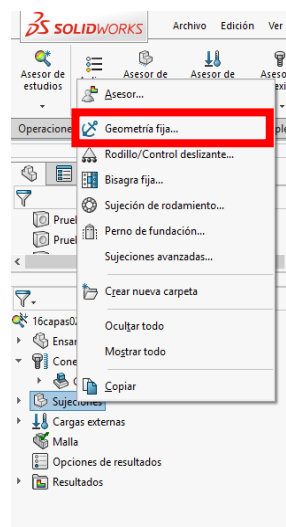


Ilustración 150. Selección de la opción "Geometría fija"

VIII. Análisis resistente

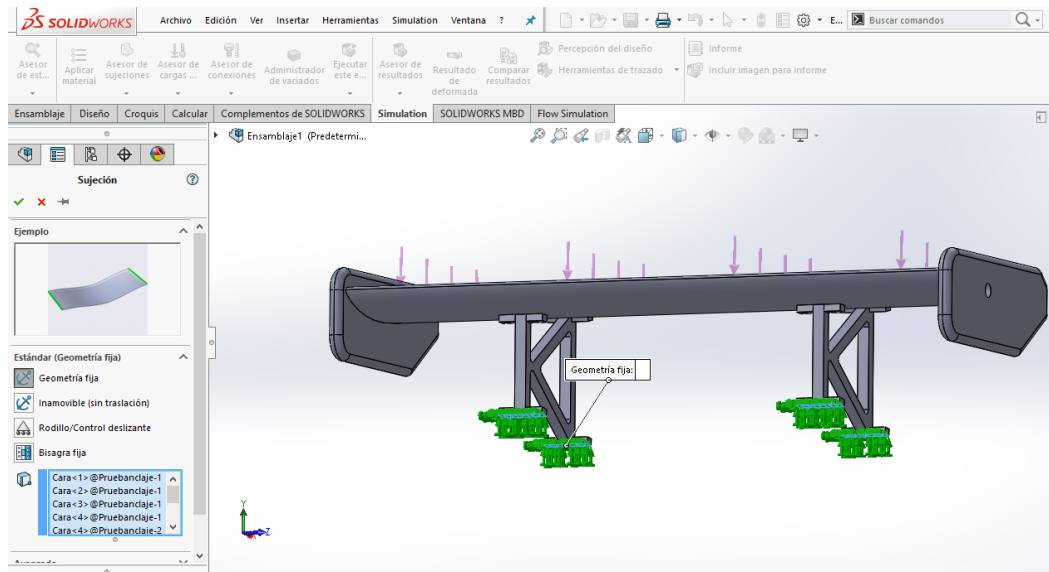


Ilustración 151. Selección de caras para fijar el alerón

El alerón creará una fuerza hacia abajo llamada carga aerodinámica. Esta fuerza se ha de ver contemplada en el estudio de la siguiente forma. Cabe destacar que el valor introducido ha sido de 850 N. Esta es la carga aerodinámica que crea el alerón más un pequeño margen de seguridad que se le ha añadido.

Para introducir la fuerza se ha seleccionado la opción de “Cargas externas” y se ha seleccionado tanto la dirección como el valor de la fuerza.

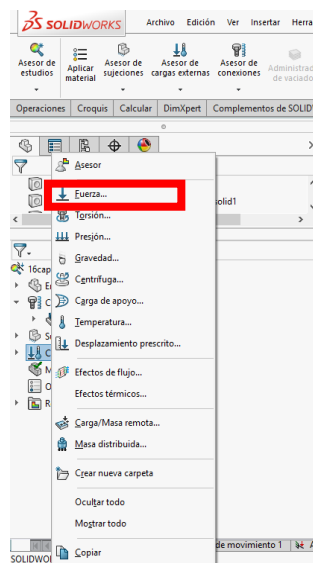


Ilustración 152. Selección de la opción "Fuerza"

VIII. Análisis resistente

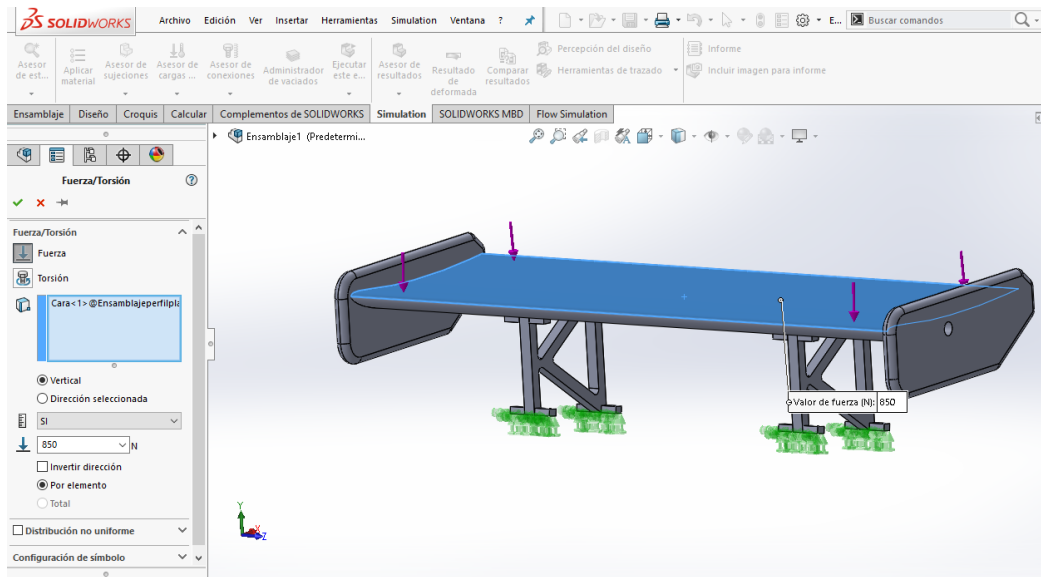


Ilustración 153. Selección de caras MBD e introducción del valor de la fuerza

Por último se crea el mallado del alerón trasero y se ejecuta el estudio.

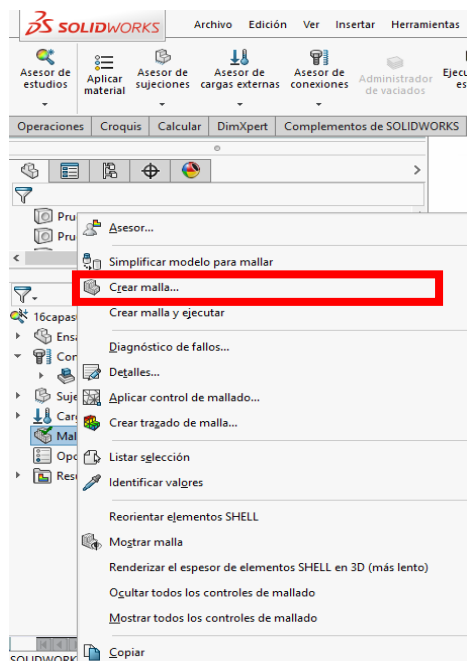


Ilustración 154. Selección de la opción "Crear malla"

VIII. Análisis resistente

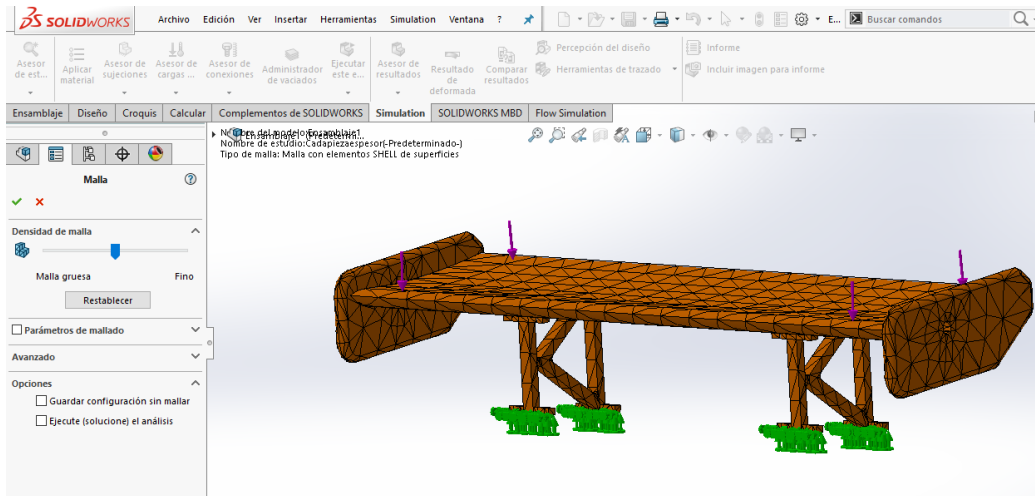


Ilustración 155. Creación de malla

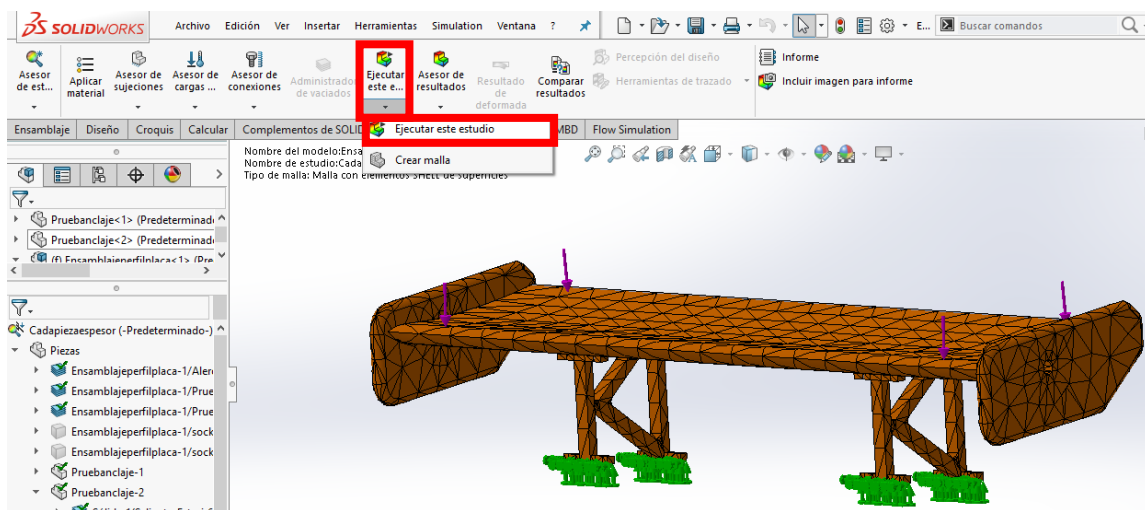


Ilustración 156. Selección de la opción "Ejecutar estudio"

Para dar finalizado el procedimiento de la realización de un análisis resistente, cabe destacar que el espesor y el número de las capas son diferentes para cada una de las piezas debido a que cada elemento del alerón posee unos valores de espesor diferentes. Respecto a los ángulos utilizados en las capas, se han utilizado estos valores para así garantizar que los esfuerzos soportados por el alerón pueden ser soportados en todas las direcciones.

VIII. Análisis resistente

VIII.2. Resultados

En este apartado se mostrarán los resultados obtenidos una vez realizado el análisis resistente. En las siguientes imágenes se pueden observar las tensiones así como los desplazamientos que se han obtenido.

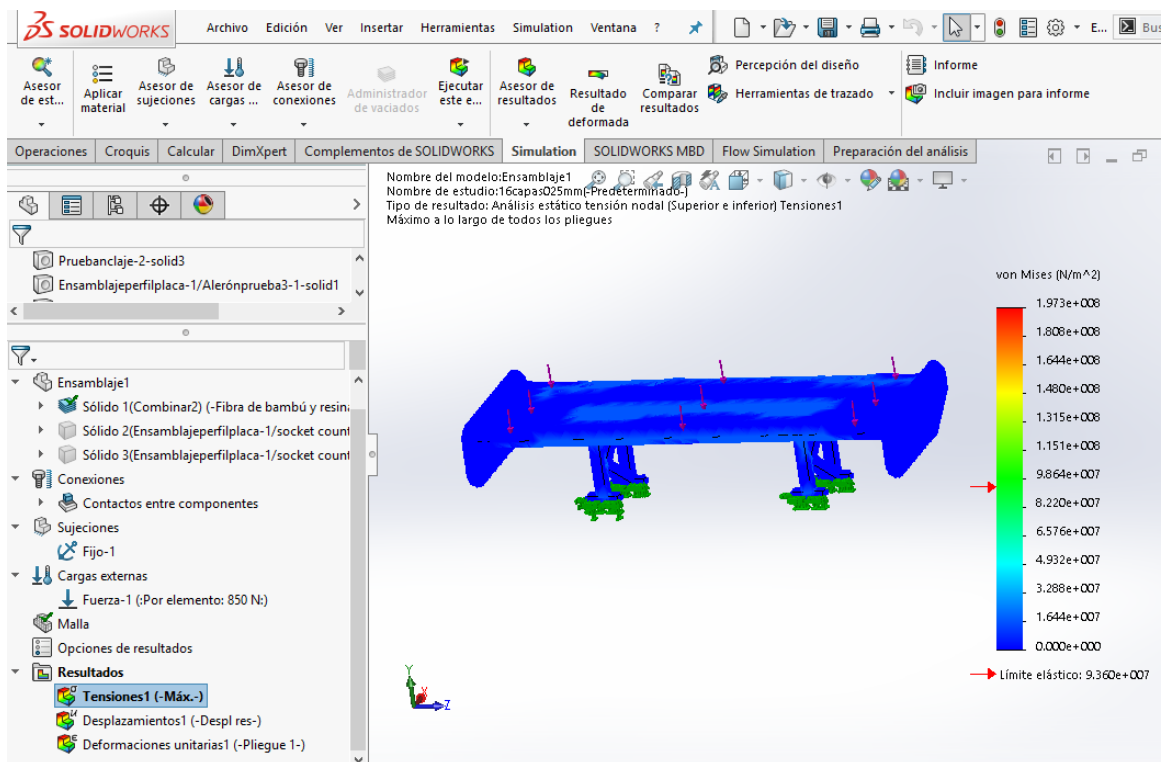


Ilustración 157. Tensiones del alerón trasero

VIII. Análisis resistente

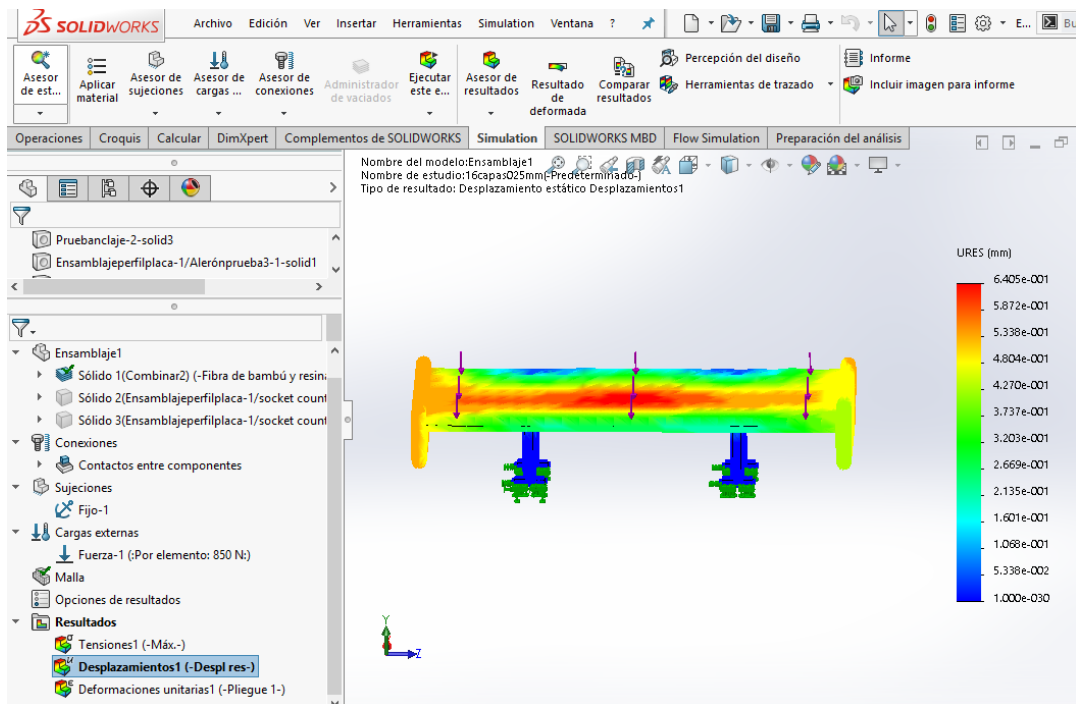


Ilustración 158. Deformaciones del alerón trasero

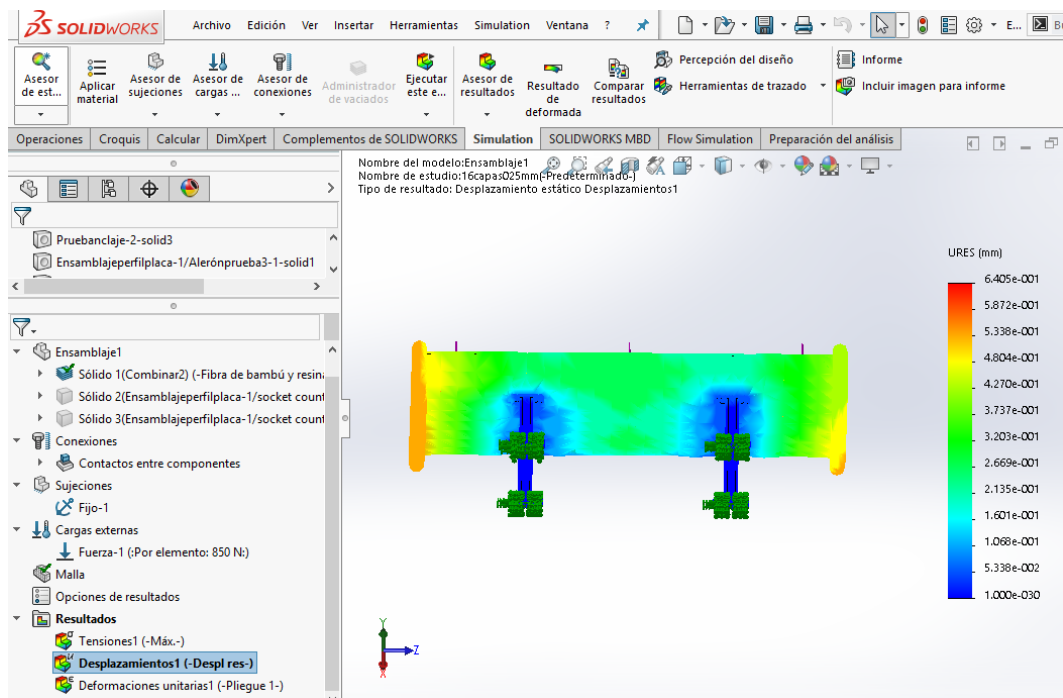


Ilustración 159. Deformaciones del alerón trasero

VIII. Análisis resistente

VIII.3. Conclusiones

Como se aprecia en los resultados obtenidos, la tensión máxima que alcanza el alerón no supera el límite elástico del material, puesto que la tensión máxima posee un valor de $4,932 \cdot 10^7$ N/m² y el límite elástico es de $9,360 \cdot 10^7$ N/m². Esto nos indica que el material resistirá perfectamente los esfuerzos a los que será sometido el alerón.

Por otra parte, en cuanto a la deformación, el alerón posee una deformación máxima de 0,6405 mm. Es un valor aceptable para la labor que va a desempeñar, y, siendo sus dimensiones de 1392*325 mm, este valor no va a afectar significativamente a la función e integridad del alerón.

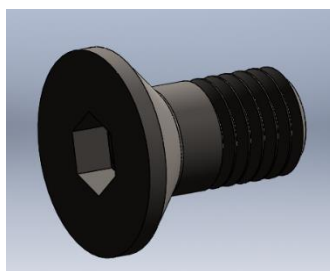
VIII.4. Elección definitiva del material

Como se ha podido comprobar, el material cumple con las necesidades requeridas para esta aplicación, por tanto, el material escogido finalmente será un material compuesto de fibra de bambú (60%) con resina epoxi.

VIII.5. Elección de sujeciones

Las sujeciones se habían mencionado por encima en el diseño del alerón en el software CAD pero se hará más hincapié en este apartado.

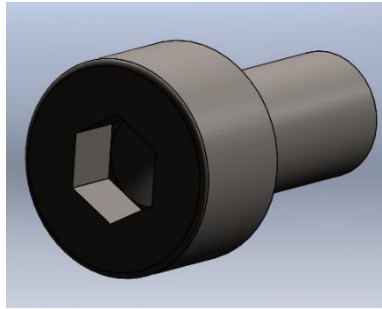
Para ensamblar las derivas laterales con el perfil del alerón se usarán tornillos DIN 7991 ISO 10642 de métrica 6 y 16 mm de longitud.



**Ilustración 160. Tornillo
DIN 7991 ISO 10642**

VIII. Análisis resistente

Por otra parte, para sujetar el perfil con los soportes y los soportes al portón trasero del vehículo, se usarán tornillos DIN 912 ISO 4762 de métrica 4 y 30 mm de longitud.



**Ilustración 161. Tornillo DIN
912 ISO 4762**

IX. PROCESOS DE FABRICACIÓN

PROCESOS DE FABRICACIÓN

IX. Procesos de fabricación

En este apartado se va a tratar los procesos de fabricación que pueden ser utilizados para el moldeo de material compuesto utilizando moldes. Se describirán todos los procesos que se pueden utilizar, distinguiendo entre moldes abiertos o moldes cerrados y se escogerá un proceso de fabricación para cada una de las piezas del alerón trasero.

IX.1. Tipos de procesos de fabricación

Como se ha mencionado anteriormente, los procesos de fabricación en los cuáles se utilizan moldes, se pueden clasificar en procesos de fabricación con moldes abiertos o moldes cerrados. A continuación, se explicarán tipos de moldeos que se pueden utilizar en cada uno de ellos.

IX.1.1. Procesos de molde abierto

IX.1.1.1. Moldeo por contacto manual (Hand lay-up)

La técnica del laminado manual, encuadrada en el grupo de técnicas de moldeo por contacto, es la más antigua de todas las técnicas conocidas en la fabricación de piezas de materiales compuestos.

A pesar de ser una técnica sencilla y artesanal, con mucha dependencia de la habilidad del operario, continúa siendo la más difundida tanto por su bajo coste como por la adecuación de piezas de diferentes tamaños y formas sin excesivos problemas.

El proceso de laminado manual consiste en la aplicación de sucesivas capas de material impregnadas con una resina y consolidadas mediante la acción de un rodillo o una brocha. La acción de pasar un rodillo sobre la superficie tiene dos razones fundamentales: la primera es ayudar a la impregnación del refuerzo, y la segunda, intentar evitar que queden burbujas de aire atrapadas entre las sucesivas capas del estratificado.

IX. Procesos de fabricación

La resina ha de mezclarse previamente con un catalizador para hacer que el curado sea eficiente. Por otra parte, sobre el molde se le añade una capa de un producto llamado gelcoat que, aparte de facilitar el desmoldeo de la pieza, deja un acabado superficial más fino de la pieza.

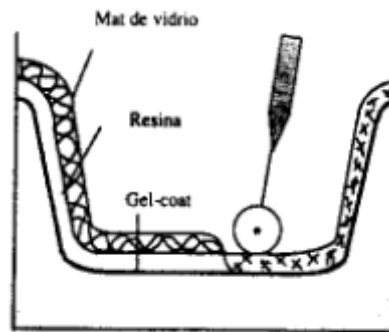


Ilustración 162. Moldeo por contacto manual

IX.1.1.2. Moldeo por vacío

La técnica del moldeo asistido por vacío consiste en crear presión sobre un laminado durante su ciclo de curado. La presurización del laminado cumple varias funciones. La primera es que remueve el aire atrapado entre capas y, la segunda, compacta las capas de refuerzo por transmisión de fuerzas, proporcionando laminados más uniformes.

Este método es básicamente una extensión del método de moldeo por contacto manual donde la presión es aplicada una vez éste se ha realizado al completo para ayudar a la consolidación del material.

IX. Procesos de fabricación

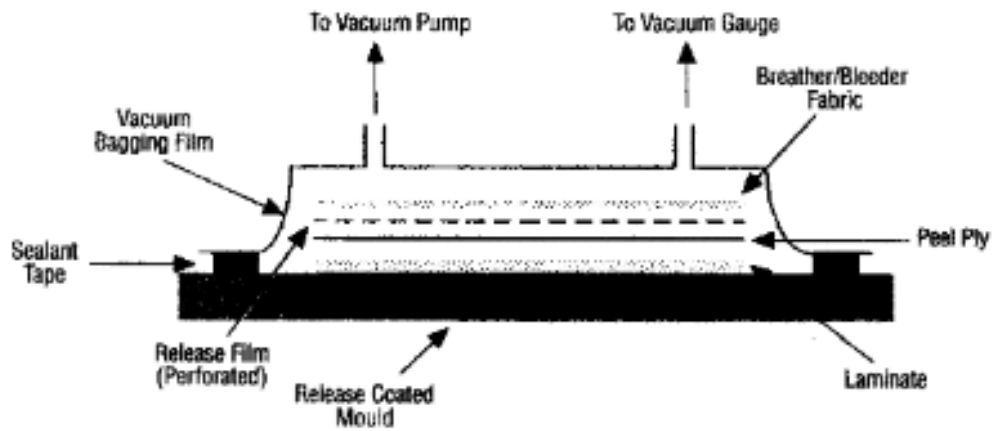


Ilustración 163. Moldeo por vacío

IX.1.1.3. Autoclave

Este proceso es igual que el moldeo por vacío, pero la diferencia está en que la pieza es introducida dentro de un recipiente metálico de paredes gruesas con un cierre hermético que permite alcanzar temperaturas y presiones muy elevadas que ayudan que la pieza cure mejor.

El coste de este proceso es muy elevado debido al precio de la maquinaria aunque el acabado de las piezas es muy bueno. Como ejemplo, con este proceso se fabrican las alas de los aviones.



Ilustración 164. Moldeo por autoclave

IX. Procesos de fabricación

IX.1.1.4. Moldeo por infusión

Este proceso de fabricación es similar al proceso de moldeo por vacío, pero en este caso, la resina está en un recipiente y es succionada por el vacío.

El moldeo por infusión consiste en la fabricación de piezas de material compuesto haciendo uso de la ayuda del vacío para favorecer la impregnación de las fibras de refuerzo con resinas termoestables de baja viscosidad. El moldeo consiste en colocar sobre el molde láminas del material deseado, cubrirlo con una bolsa de vacío y colocarle unos conductos que comuniquen con el recipiente de resina. Al aplicar presión de vacío mediante la ayuda de una bomba, estos conductos impregnarán de manera uniforme toda la pieza.

El aporte de presión constante en toda la pieza logra optimizar el espesor final de la pieza. Además, el vacío facilita la salida de todo el aire ocluido en los refuerzos, por lo que las piezas fabricadas mediante esta técnica tendrán excelentes propiedades mecánicas.

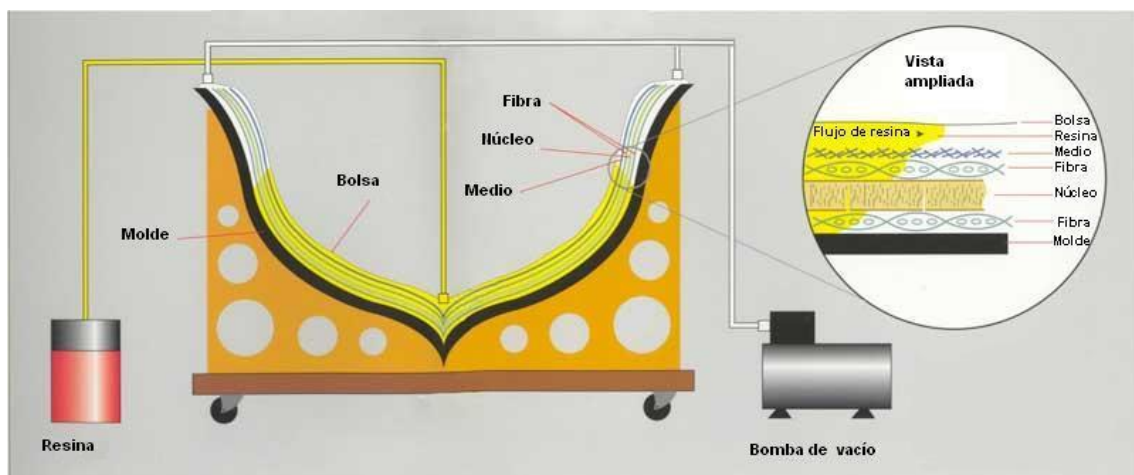


Ilustración 165. Moldeo por infusión

IX. Procesos de fabricación

IX.1.1.5. Moldeo por proyección

En esta técnica de moldeo se proyectan simultáneamente sobre el molde, mediante una pistola, fibras cortadas y resina catalizada. Además, sobre el molde se le añade Gelcoat, para facilitar el desmoldeo de la pieza.



Ilustración 166. Moldeo por proyección

IX.1.1.6. Moldeo por bobinado (Filamentwinding)

El bobinado, devanado o enrollamiento de filamento es una técnica de fabricación para la creación de estructuras de material compuesto. El proceso consiste en enrollar filamentos impregnados con una resina termoestable, sobre un molde macho cilíndrico o mandril. El mandril gira, mientras que un carro se mueve en sentido horizontal, el cual establece las fibras en el patrón deseado.

IX. Procesos de fabricación

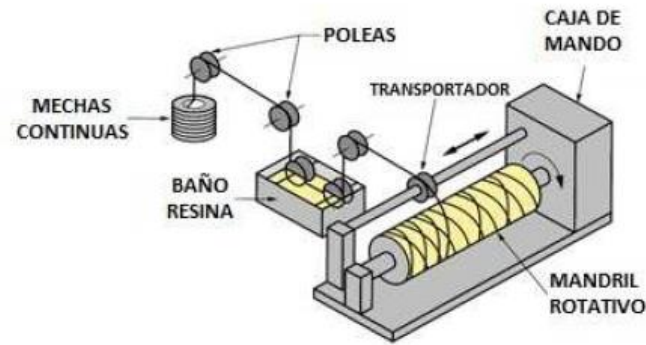


Ilustración 167. Moldeo por bobinado

IX.1.1.7. Moldeo por centrifugación

El moldeo por centrifugación es una técnica igual que la anterior, pero en este caso, el material se va introduciendo en un molde el cual está girando, y, mediante la fuerza centrífuga, el material compuesto es empujado a las paredes del molde.

IX.1.2. Procesos de molde cerrado

IX.1.2.1. Pultrusión

La pultrusión es un proceso automatizado para producir perfiles con refuerzo de fibra.

En este proceso, la fibra es suministrada de forma continua. Esta pasa por un recipiente de resina, la cual queda impregnada totalmente, para posteriormente, ser introducida en un molde. Este molde aplica calor para el curado de la pieza.

IX. Procesos de fabricación

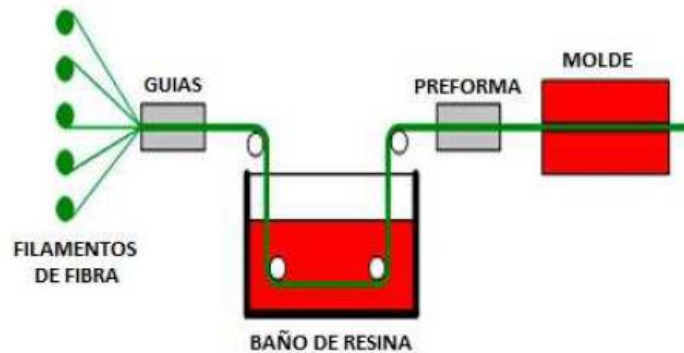


Ilustración 168. Moldeo por pultrusión

IX.1.2.2. Moldeo de prensado en frío

Esta técnica consiste en que, en una parte del molde, se coloca la fibra y la resina (mezclados ambos componentes) para posteriormente, cerrar a presión con la otra parte del molde. De este modo, el material adquiere la forma de este.

En este moldeo se trabaja con unas presiones y unas temperaturas bajas.

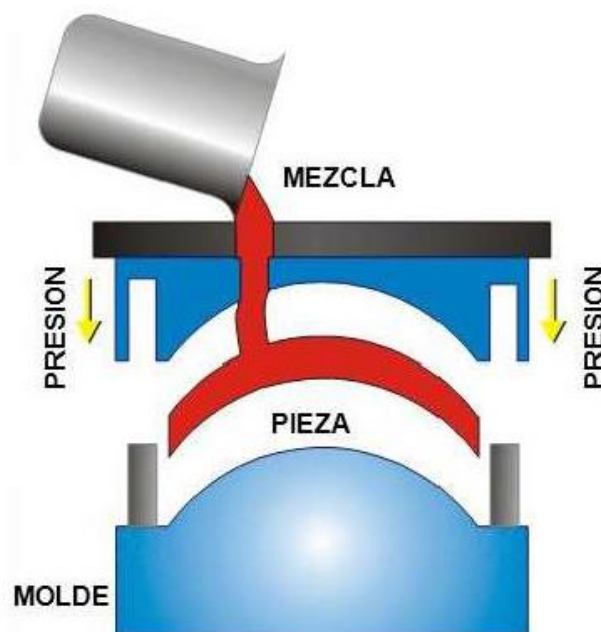


Ilustración 169. Moldeo por prensado en frío

IX. Procesos de fabricación

IX.1.2.3. Moldeo por compresión en caliente

Este proceso utiliza la misma técnica que el proceso anterior. Sin embargo, en este proceso se trabaja con más presión y temperatura, de modo que la pieza cura más rápido.

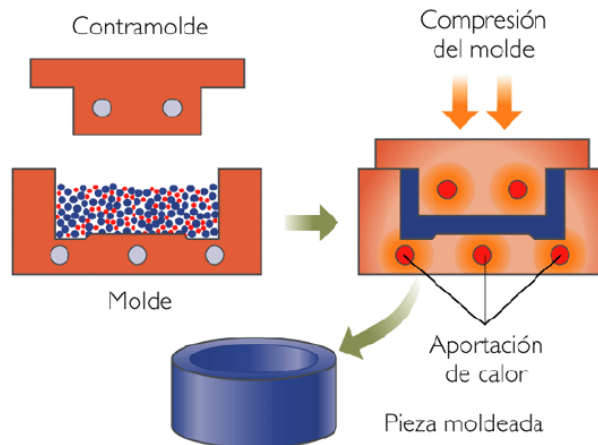


Ilustración 170. Moldeo por compresión en caliente

IX.1.2.4. Moldeo por inyección (Resing Transfer Molding)

Este proceso consiste en que un molde, compuesto por dos partes, se cierran dejando un hueco para la pieza que se desea fabricar. Anteriormente, se colocan las fibras en este hueco. Posteriormente, a través de unas cavidades que comunican con el hueco mencionado del molde, se inyecta la resina a presión, de manera que las fibras quedan impregnadas.

Este moldeo es ideal para fabricar piezas complejas.

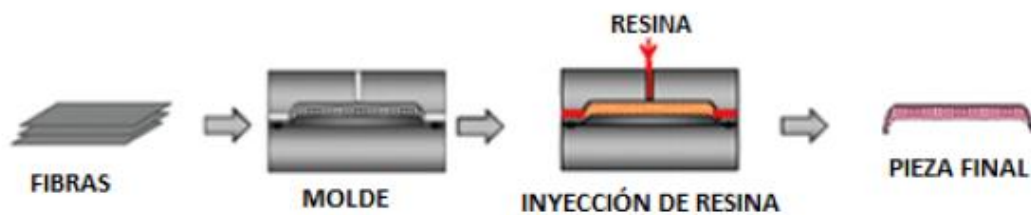


Ilustración 171. Moldeo por inyección

IX. Procesos de fabricación

IX.1.2.5. Moldeo por inyección al vacío (Vacuum Assisted Resine Transfer Molding)

Este proceso es prácticamente igual que el proceso anterior, sin embargo existe una pequeña diferencia. En el proceso anterior se inyectaba resina por las cavidades, mientras que en este proceso, la resina se inyecta por una cavidad pero es succionada por las demás cavidades mediante una presión de vacío. De esta forma, la resina impregna las fibras con la ayuda del vacío.

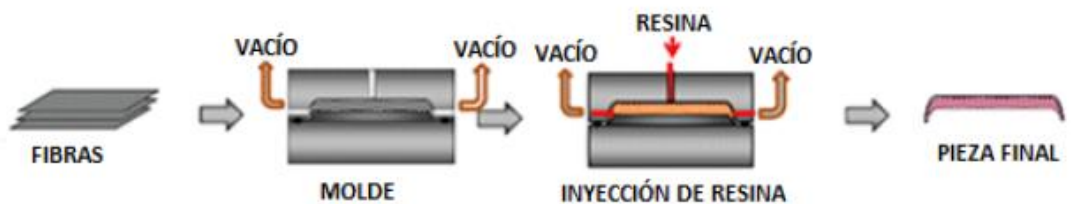


Ilustración 172. Moldeo por inyección al vacío

IX.1.2.6. Moldeo por vejiga

Este proceso consta de un molde, el cual posee dos partes y una vejiga que es hinchada por un gas. La técnica consiste en que, las fibras impregnadas previamente con resina, son pegadas a la vejiga. Después, esta es introducida por una cavidad al molde, el cual está cerrado con la forma de la pieza a fabricar, y la vejiga es hinchada con un gas, de forma que las fibras se peguen a las paredes del molde.

Es una técnica muy buena para fabricar piezas que son interiormente huecas. Se parece a un proceso de fabricación llamado extrusión-soplado.

IX. Procesos de fabricación

IX.2. Elección de procesos de fabricación

En este apartado se van a seleccionar los procesos de fabricación más adecuados que se van a utilizar para elaborar cada uno de los componentes que formarán el alerón trasero.

IX.2.1. Derivas laterales

El proceso que se seleccionará para fabricar las derivas laterales no es ningún proceso explicado anteriormente, pero hay una pequeña excepción, debido a que el primer paso para proceder a fabricar estos componentes sí que se hará uso de un proceso explicado.

El primer paso es fabricar una plancha de material compuesto con fibra de bambú y resina epoxi de un espesor de 6 mm. Para ello, se procede a utilizar el proceso de fabricación explicado llamado "Moldeo por infusión". Esta es la excepción, debido que para fabricar las derivas, primero se ha de tener el material compuesto fabricado.

Una vez explicada esa excepción, se procede a seleccionar el proceso de fabricación como tal para realizar las derivas laterales. Este proceso, como se ha comentado, no es ningún proceso explicado anteriormente. El proceso de fabricación seleccionado es el mecanizado del material compuesto fabricado.

El proceso realizado es el siguiente: La forma de las derivas laterales es dibujado en la plancha de material compuesto. Una vez dibujado se procede a cortarlo mediante una sierra de calar o instrumentos similares, con cuidado de no romper la plancha de material compuesto. Una vez cortado, se procede a realizar un proceso de taladrado para realizarle los agujeros a las piezas. Con los agujeros finalizados y para terminar la pieza, se realiza un lijado y un redondeado de los bordes, dejando la pieza con esa curvatura que se caracteriza.

IX. Procesos de fabricación

IX.2.2. Perfil del alerón

Para realizar el perfil del alerón se utilizará un proceso de fabricación explicado anteriormente.

El proceso seleccionado para realizar esta pieza es el “Moldeo por vejiga”. En este proceso se colocan las capas de fibra de bambú en la vejiga deshinchada, con el molde abierto, y se impregnan con resina epoxi, de modo que una vez esta se hinche (con el molde cerrado), las fibras quedarán pegadas en las paredes del molde tomando la forma del perfil quedando este hueco.

Destacar que el molde se debe de fabricar anteriormente con las medidas del perfil del alerón.

IX.2.3. Soportes

Para la fabricación de los soportes ocurre exactamente la misma situación que existe para la fabricación de las derivas laterales. En primer lugar, se debe de fabricar una plancha de material compuesto con fibra de bambú y resina epoxi del espesor deseado (30 mm) con el proceso de fabricación “Moldeo por infusión”.

Una vez fabricada la plancha, se procede a realizar los soportes. El procedimiento para fabricar los soportes es prácticamente el mismo utilizado en las derivas laterales. Se dibuja sobre la plancha el soporte y con una sierra de calar o instrumentos similares se procede a cortarlo. Una vez cortado, se realiza un lijado de la pieza y quedaría completamente acabada.

IX.2.4. Alojamiento de los agujeros

Para fabricar los alojamientos de los agujeros que irán incorporados en los soportes, se deberá hacer el mismo procedimiento que el apartado anterior.

En la misma plancha fabricada de material compuesto con fibra natural y epoxi se dibujan los alojamientos de los agujeros. Luego se procede a cortarlos mediante una sierra de calar o instrumentos similares. Una vez cortados, se cortan otra vez hasta la

IX. Procesos de fabricación

longitud deseada con una sierra, ya que el espesor de la plancha es de 30 mm y la longitud de esta pieza es de 20 mm. Una vez finalizado este proceso, se realiza el proceso de taladrado para realizar los agujeros pertinentes a la pieza. Finalizados los agujeros, se procederá a lijar la pieza y quedará completamente acabada.

Para incorporar esta pieza a los soportes se hará uso de un adhesivo

X. PRESUPUESTO

PRESUPUESTO

X. Presupuesto

En este apartado se va a calcular el coste total de fabricación del alerón trasero. Para ello, se calculará también el coste de diseño, el coste del material y el coste de fabricación. Destacar que los costes se calcularan de manera lo más aproximadamente posible.

X.1. Coste de diseño

En cuanto al coste de diseño, se ha calculado cuanto tiempo se ha tardado en realizar el diseño completo del alerón. Este ha sido de 40 horas, lo que equivaldría a 5 días de una jornada laboral completa de 8 horas.

Una vez calculado el tiempo destinado al diseño, se ha buscado el sueldo medio que obtiene un ingeniero mecánico en una base de datos de salarios en internet (www.tusalario.es). Este salario obtenido es de 2395 €/mes. Destacar que aproximadamente se trabajan 205 horas al mes y es un dato que se tendrá en cuenta a la hora de calcular el precio de la hora trabajada. Simplemente lo que se hace es dividir esas 205 horas entre el salario y así obtenemos el precio de la hora trabajada el cuál es de 11,68 €/hora.

Obtenidas las horas trabajadas así como el salario a la hora trabajada, se calcula el dinero que costaría el diseño del alerón. Simplemente se hace una multiplicación de las horas trabajadas (40 horas) y el sueldo a la hora (11,68 €) y se obtiene que el coste que supone realizar el alerón es de 467,31 €.

X.2. Coste del material

En este apartado se obtendrá el coste del material que es necesario para la fabricación del alerón trasero completo.

El material escogido finalmente es fibra de bambú con resina epoxi. Para realizar el cálculo del coste del material lo que se ha realizado es sumar las áreas de diferentes caras de cada uno de los componentes. Una vez obtenido el área de cada componente, se ha multiplicado este valor por el espesor de cada uno para así obtener el volumen de

X. Presupuesto

cada componente. Una vez obtenido el volumen de cada parte, se ha sumado para obtener el volumen total del alerón.

Conocido el volumen y la densidad calculada mediante el programa informático eLamX (Densidad obtenida mezclando la fibra de bambú (60%) con resina epoxi (40%)), se obtiene la masa que tendrá el alerón.

La masa total del alerón es de 8,58 Kg, el cuál un 60 % estará fabricado de fibra y un 40 % de resina. Lo que es lo mismo 5,148 Kg es fibra de bambú y 3,432 Kg de resina epoxi.

Por tanto, para calcular el coste del material de fibra de bambú, se ha calculado la masa de fibra utilizada y se ha multiplicado por el precio por kg obtenido por el CES Edupack. Al final, el coste total de fibra de bambú tiene un precio de 7,284€. Por otra parte, la resina utilizada se ha calculado de la misma forma pero el precio se ha obtenido de una página web. Por tanto, el coste total de la resina es de 64,25€. Destacar que el precio de la resina se ha calculado mediante los Kg que se necesitan y dividiendo estos por la cantidad de resina que contienen los botes (800 g). Por tanto obtenemos 4,29 botes, redondeado a 5 y el precio por unidad es de 12,85€.

En resumen, el coste total del material es de 71,534€.

Price

Price	ⓘ	* 1,13	- 1,7	EUR/kg
-------	---	--------	-------	--------

Ilustración 173. Precio de la fibra de bambú

X. Presupuesto



Inicio / RESINAS EPOXI TRASPARENTES MULTIUSO / RESINA EPOXI TRASPARENTE GR 800 < >

RESINA EPOXI TRASPARENTE GR 800

€16,90 **€12,85**

-24%
NOT

Resina Epoxi Transparente 800 g/l - Efecto agua - sistema epoxi bicomponente (compuesto de 500g de resina y 300g de endurecedor) de alto rendimiento para su aplicación en película (1 mm) y coladas de hasta 1,5 cm de espesor.

Resina epoxi transparente ideal para bricolaje, madera, artesanía, joyería, suelos, obras de arte, modelado, mesas creaciones artísticas, revestimientos protectores para uso exterior, reparaciones con fibra de vidrio, revestimientos protectores para uso exterior, pavimentos artísticos, piso cerámico, embarcaciones, impregnación de tejidos técnicos (fibra de vidrio, fibra de carbono, Kevlar).

La excelente resistencia a la humedad ambiental garantiza una superficie brillante y transparente. El producto es compatible con las principales pastas colorantes del mercado.

La resina epoxi transparente es un producto bicomponente a base de resinas epoxi y el correspondiente endurecedor aminico.

Las principales características de este producto son:

- > Alta transparencia.
- > Excelente resistencia mecánica.
- > Buena resistencia química.
- > Alta impregnación y refuerzo de tejidos técnicos.
- > Larga trabajabilidad.
- > Superficie brillante y autonivelante.

El producto puede colorearse con cualquier colorante epoxi (en pasta o en polvo) en un porcentaje de entre el 0,1 % y el

Ilustración 174. Precio de la resina epoxi

Para finalizar se tiene que tener en cuenta la compra de las sujeciones. En primer lugar, se deben de comprar 2 unidades de tornillos DIN 7991 ISO 10642 de métrica 6 y 16 mm de longitud. El precio se ha obtenido a través de una página de internet y valen 0,02€ cada unidad, por tanto el precio total de estos tornillos es de 0,04€. Por otra parte, también se deben comprar 16 tornillos DIN 912 ISO 4762 de métrica 4 y 30 mm de longitud. El precio también se ha obtenido de una página de internet y el precio por cada unidad es de 0,03€, por tanto el precio total de estos tornillos es de 0,48€.

X.3. Coste de fabricación

Las variables utilizadas para calcular el coste de fabricación son las siguientes:

- Tiempo de preparación del material: Esta variable contempla el tiempo de preparación del molde para fabricar el material compuesto, colocación del Gelcoat... En este apartado se contempla el tiempo de se necesita para preparar el molde, Gelcoat, desmoldeante, bolsa de vacío y colocación de la bomba.

X. Presupuesto

- Tiempo de moldeado y curado: Esta variable es el tiempo empleado para la fabricación del material compuesto así como el tiempo necesario de curado de la pieza. Este tiempo depende del número de capas de fibra y el espesor de la pieza.
- Tiempo de fabricación de la plancha de material compuesto: Es el tiempo empleado para fabricar una plancha de material compuesto de fibra de bambú con resina epoxi para su posterior mecanizado.
- Tiempo de mecanizado: Este tiempo es el correspondiente al cortado y el taladrado que son necesarios en algunas piezas del alerón.
- Tiempo de fabricación: Es el tiempo que se emplea en la fabricación de cada componente del alerón. Aquí se contemplaría la suma del tiempo de preparación del molde, el tiempo de moldeado y curado, tiempo de fabricación de la plancha del material compuesto y el tiempo de mecanizado (Las piezas que requieran). Las piezas que no requieran mecanizado y la fabricación de la plancha no se tendrán en cuenta, aunque de todas formas se volverá a repetir más adelante.
- Tiempo de poner las sujeciones: Este tiempo contempla el tiempo que se tarda en colocar todos los tornillos del alerón.
- Tiempo de fabricación total: Este tiempo es el tiempo de fabricación total, es decir, el tiempo que se tarda en fabricar el alerón completamente.
- Coste del operario: Es el sueldo medio de un operario de un taller de fabricación de piezas, obtenido a través de una página web especializada en el cálculo de salarios.
- Coste de las herramientas: Sería el coste de todas las herramientas utilizadas para la fabricación de las piezas.

En la siguiente tabla se pueden observar todos los tiempos y los costes mencionados anteriormente aunque después se explicarán algunos detalles:

X. Presupuesto

	Pieza y proceso de fabricación			
	Deriva lateral. Moldeo por infusión y mecanizado	Perfil. Moldeo por vejiga	Soporte. Moldeo por infusión y mecanizado	Alojamiento agujeros. Moldeo por infusión y mecanizado
Tiempo de preparación del material (min)	5	15	10	-
Tiempo de fabricación de la plancha de material compuesto (min)	40	-	60	-
Tiempo de moldeo y curado (min)	10	600	20	-
Tiempo de mecanizado (min)	50	5	90	30
Tiempo de fabricación (min)	105	620	180	30
Coste del operario (€/min)	13,21	78,03	22,65	3,77

Tabla 9. Tiempos y coste de cada pieza con su respectivo proceso de fabricación

	Coste de herramientas, moldes, utensilios...
Rodillo	11,5
Bomba de vacío	68,99
Sierra de calar	51,9
Taladro	144,99
Papel de lija	2,45
Bolsas de vacío	6,35
Coste del molde para moldeo por infusión	500
Coste del molde para moldeo por vejiga	5000
Vejiga	40
Gelcoat	47,19
Adhesivo	17,42
Desmoldeante	7,64
2 Tornillos DIN 7991 ISO 10642 M6X16	0,04
16 Tornillos DIN 912 ISO 4762 M4X30	0,48
Llave Allen M6	11,47
Llave Allen M4	16,37
Coste total	5898,95

Tabla 18. Coste de herramientas, utensilios, moldes...

X. Presupuesto

	Tiempo de ensamble del alerón
Derivas laterales y perfil (min)	5
Soportes y los alojamientos de los agujeros (min)	20
Soportes con alojamientos y perfil (min)	15
Tiempo total de montaje	40
Coste del operario (€/min)	5,034

Tabla 27. Tiempo y coste del ensamble del alerón

	Coste de fabricación total sin contar herramientas, moldes, utensilios...
2 Derivas laterales	26,42
Perfil	78,03
2 Soportes	45,3
8 Alojamientos de agujeros	30,16
Ensamblaje completo del alerón	5,034
Coste total	184,944

Tabla 36. Coste total de fabricación del alerón sin contar herramientas, moldes o utensilios

	Coste total de fabricación contando herramientas, moldes, utensilios...
Coste total de las herramientas, utensilios, moldes	5898,95
Coste total de fabricación y montaje	184,944
	6083,894

Tabla 43. Coste total completo del alerón

X. Presupuesto

El coste total de fabricación del alerón es de 6083,894€. El precio se eleva sobre todo por el molde de aluminio utilizado en el moldeo por vejiga, debido a que debe de ser un molde de gran calidad para soportar una presión y una temperatura algo elevada.

A continuación se va a especificar con detalle todos los precios mencionados anteriormente en las tablas para que todo quede justificado.

En la tabla (x), los tiempos de cada una de las fases se han aproximado lo máximo posible. El coste del operario, indica que es el coste de este por los minutos trabajados en cada pieza, es decir, no es lo que costaría el operario por un minuto, sino lo que cuesta el operario por los minutos trabajados. El sueldo del operario se ha obtenido de la base de datos en la página web www.tusalarario.es, de modo que sabiendo lo que se obtiene de salario por un mes trabajado (205 horas aproximadamente) se ha obtenido lo que gana el operario por esos minutos trabajados.

En la Tabla 4, se hace una lista de todas las herramientas, moldes, utensilios... que se hacen falta para poder realizar el ensamblado del alerón. Los precios que se han aproximado han sido el precio de los moldes y la vejiga, debido a que no se ha encontrado información al respecto. De todas las herramientas restantes, se han buscado su precio en internet. A continuación se mostrarán imágenes de su respectiva página web y su precio.

Destacar que, las herramientas así como el molde para fabricar las planchas de fibra de bambú con epoxi se van a utilizar para fabricar los componentes como las derivas laterales, los soportes y los alojamientos de los agujeros. Para las derivas se debe de fabricar una plancha de 6 mm de espesor y para los soportes una de 30 mm. Sin embargo, las planchas se harán en el mismo molde. Por otra parte, los alojamientos de los agujeros se cortarán de la plancha de los soportes que, aunque tengan una longitud de 30, luego con la sierra de calar se cortaran y se harán a la medida de 20 mm de longitud. Se quería recalcar todo esto ya que son detalles que se deben de tener en cuenta.

X. Presupuesto



REFURBISHHOUSE 3pzs Herramienta de la paleta de la burbuja Kit de rodillos de fibra de vidrio Juego de rodillos de laminacion para molde FRP

de REFURBISHHOUSE

★★★★★ 1 opinión de cliente

Precio: **11,50 €** Envío GRATIS.
Precio final del producto

Nuevos: 2 desde 11,50 €

- Las herramientas de rodillo de fibra de vidrio se utilizan para eliminar burbujas de aire de la laminacion, nivelacion y compactacion del recubrimiento de resina para impulsar las burbujas, mejorar la resistencia y la planitud del acero de vidrio.
 - En el proceso de productos, puede ahorrar resina, ahorrar tiempo y costos, mejorar la eficiencia de la construccion, puede mejorar efectivamente la eficiencia del trabajo y la calidad del producto.
 - Ampliamente utilizado en la produccion industrial de acero para vidrio, para nivelar y compactar la burbuja impulsada por el revestimiento de resina, comunmente utilizada para la puncion interna y superficial de los productos.
- [Ver más detalles](#)

Ilustración 175. Coste de los rodillos para laminar la fibra

TOP VENTAS



Bomba de vacío de una etapa 50 L/min

★★★★☆ (16)

Entrega gratuita

~~123€00~~

68€99 -43 %

Añadir a la cesta

Ilustración 176. Coste de la bomba de vacío

X. Presupuesto



Bosch PST 650 - Sierra de calar 240V (500 W, en maletín)

de Bosch Home and Garden
 ★★★★★ 169 opiniones de clientes | 39 preguntas respondidas
 Amazon's Choice de "sierra calar"

Precio recomendado: 66,99-€
 Precio: 51,90 € Envío GRATIS. Ver detalles
 Ahorros: 15,09 € (23%)
 Precio final del producto

Nuevos: 36 desde 51,90 € De 2ª mano: 1 desde 46,18 €

- Incluye: Sierra de Calar PST 650, 1 hoja de sierra T 144 para madera, maletín
 - Sierra de calar Easy PST 650 de Bosch: una todoterreno para curvas y rectas precisas
 - Nadie se lo pone más fácil: tamaño compacto, peso reducido y manejabilidad excepcional que garantizan gran comodidad al usuario y un control máximo de la herramienta
 - Vibraciones mínimas y trabajo seguro y cómodo con el sistema "Low Vibration" de Bosch con compensación lineal de masas y empuñadura ergonómica antivibraciones Softgrip
 - Potente motor de 500 W y profundidad de corte de 65 mm en madera: permite realizar con facilidad incluso los trabajos más pesados
 - La función de soplado de aire (conexión adicional) garantiza una vista clara de la línea de corte en todo momento
 - El SDS de Bosch facilita un cambio de la hoja de sierra seguro y sin esfuerzo en cuestión de segundos y sin herramientas
- » Ver más detalles

Ilustración 177. Coste de la sierra de calar



Bosch Professional GSB 19-2 RE - Taladro percutor (850 W, 0 – 1000 / 3000 rpm, Ø max perforación hormigón 19 mm, en maletín)

de Bosch Professional
 ★★★★★ 62 opiniones de clientes | 29 preguntas respondidas

Precio recomendado: 252,89-€
 Precio: 144,99 € Envío GRATIS. Ver detalles
 Ahorros: 107,90 € (43%)
 Precio final del producto

Financiación: Paga en 4 cuotas. Ver detalles

Nuevos: 21 desde 144,99 € De 2ª mano: 17 desde 92,24 €

Nombre de estilo: Bosch Professional GSB 19-2 RE

Bosch Professional GSB 19-2 RE 144,99 €	Taladro de percusión + Set de 7 brocas EUR 172,70	Taladro de percusión + Amoladora angular EUR 211,99
Taladro de percusión + Set de 13 brocas EUR 172,54	Taladro de percusión + Maletín de 91 unidades EUR 185,74	

- El potente taladro de percusión de dos velocidades GSB 19-2 RE de Bosch Professional con 850 W garantiza un avance rápido en el trabajo
 - Seguridad de trabajo gracias al embrague mecánico de seguridad y antirrotación
 - Portabrocas de sujeción rápida con sistema Auto Lock para cambiar rápidamente de herramienta con una sola mano
 - Escobillas giratorias para garantizar una potencia de giro homogénea tanto a derecha como a izquierda
 - Empuñadura de seguridad con innovadora sujeción para un correcto agarre de la máquina
 - Ø del cuello del husillo de 4,3 mm (Norma europea), que se puede utilizar con soporte para taladros
 - Incluye: GSB 19-2 RE, portabrocas de sujeción rápida: 13 mm, tope de profundidad: 210 mm, empuñadura adicional, maletín de transporte (S165140519335)
- » Ver más detalles

Ilustración 178. Coste del taladro

X. Presupuesto

1 rollo papel de lija 5 m x 93 Wolfcraft (Grano 100)

★★★★★ 1 Opinión



2,45 €

Medida seleccionada:

Grano 100

Otras medidas:

Grano 40

Grano 60

Grano 80

Grano 100

Grano 120

Grano 240

Cantidad: - 1 +

Comprar Ahora +

Ilustración 179. Coste del rollo del papel de lija



Referencia **WFIPO1805030T5** 1 Elemento

Bolsa vacío tubular 50 micrones de 30 cm FIPO180

6,35 € con IVA
5,25 € sin IVA

Suministro

5 m

Cantidad 1 - + **Añadir al carrito**

Ilustración 180. Coste del rollo de bolsas de vacío



Referencia **REE7UV-1.3** 7 unidades en stock

Castropox E7UV Gelcoat Epoxi
Transparente resistente UV

47,19 € con IVA
39,00 € sin IVA

Suministro

(1+0,3) kg

Cantidad 1 - + **Añadir al carrito**

Ilustración 181. Coste del Gelcoat

X. Presupuesto



Referencia **WRE3060** 24 unidades en stock

Resoltech 3060 Adhesivo Epoxi Rápido

17,42 € con IVA
14,40 € sin IVA

Cantidad - + [Añadir al carrito](#)

[Calcular Coste de Envío](#)

Ilustración 182. Coste del adhesivo



Referencia **WMD0009-0.5** 10 unidades en stock

Alcohol polivinílico

7,64 € con IVA
6,31 € sin IVA

Suministro

Cantidad - + [Añadir al carrito](#)

Ilustración 183. Coste del desmoldeante



PRECIO REBAJADO

Tornillo Allen DIN 912 8.8

Referencia: 9128
~~0,04 €~~
0,03 € Impuestos incluidos [Descuento 45%](#)

Tornillos Allen cabeza cilíndrica DIN-912 ISO-4762.
Calidad 8.8 pavonados.
Rosca métrica según DIN.

Métrica x Longitud

Sobre pedido

+ - [Añadir a la cesta](#)

Ilustración 184. Coste del tornillo Allen DIN 912

X. Presupuesto




Tornillo Allen DIN 7991 10.9 cincado
Referencia: 7991C
~~0,06 €~~
0,04 € Impuestos incluidos Descuento 45%

Métrica x Longitud M6x16

Stock

1 + - Añadir a la cesta

Ilustración 185. Coste del tornillo Allen DIN 7991



Alyco 193106 Llave Allen, 6 mm
de Alyco
Sé el primero en opinar sobre este producto

Precio: **11,47 €** Envío **GRATIS** en pedidos superiores a EUR 29. Ver detalles
Precio final del producto

Nuevos: 1 desde 11,47 €

Tamaño: **6 mm**

2 mm 2,5 mm 3 mm 4 mm 5 mm **6 mm** 7 mm 8 mm 10 mm 12 mm

14 mm

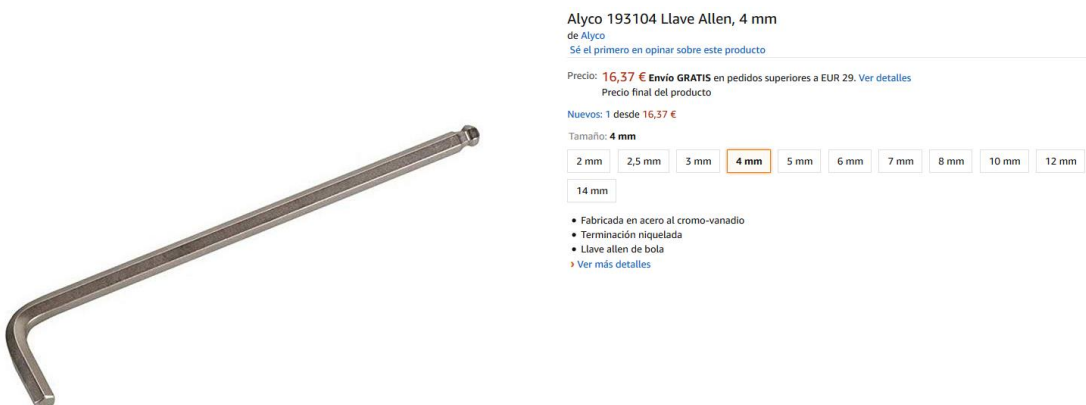
- Fabricada en acero al cromo-vanadio
- Terminación niquelada
- Llave allen de bola

Ver más detalles

WORKPRO W022011A - Juego de llaves hexagonales (18 piezas)
★★★★★ 8 | 14,99 € prime
Comprar ya >

Valoración del anuncio

Ilustración 186. Coste llave Allen para tornillo de 6 mm



Alyco 193104 Llave Allen, 4 mm
de Alyco
Sé el primero en opinar sobre este producto

Precio: **16,37 €** Envío **GRATIS** en pedidos superiores a EUR 29. Ver detalles
Precio final del producto

Nuevos: 1 desde 16,37 €

Tamaño: **4 mm**

2 mm 2,5 mm 3 mm **4 mm** 5 mm 6 mm 7 mm 8 mm 10 mm 12 mm

14 mm

- Fabricada en acero al cromo-vanadio
- Terminación niquelada
- Llave allen de bola

Ver más detalles

Ilustración 187. Coste llave Allen para tornillo de 4 mm

X. Presupuesto

En la Tabla 5, se han aproximado los tiempos del ensamblaje de las piezas entre sí para conformar el alerón.

Por otra parte, en la tabla, se ha calculado el precio de todos los elementos totales que componen del alerón. De tal forma que el precio total que se obtiene de fabricar únicamente las piezas es de 184,944€.

Para finalizar, se ha calculado en la Tabla 7 el precio total que supone el fabricar este alerón trasero de material compuesto con fibras naturales, teniendo en cuenta también el precio de todas las herramientas que se utilizan. Por tanto, el precio definitivo y total del alerón, aunque ya se ha mencionado, es de 6083,894€

XI. CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

XI. Conclusiones

Tras la realización de este trabajo de final de grado, se ha llegado a la conclusión de que la adición de un alerón trasero a un vehículo de competición mejora la aerodinámica así como se consigue crear una carga aerodinámica que hará capaz al vehículo de poder tomar las curvas más rápido. Sin embargo, en rectas, el vehículo irá más lento, por tanto, se ha de estudiar por completo cada circuito para así poder configurar el alerón trasero o los elementos aerodinámicos que posea el vehículo.

Por tanto, la escudería así como el piloto del vehículo, deben preferir entre una mayor velocidad en recta pero un peor paso por curva o reducir la velocidad en recta y un mejor paso por curva. Todo dependerá del circuito.

En cuanto al material, el material compuesto de fibras naturales seleccionado finalmente es el de resina epoxi con fibra de bambú. Es un material resistente, rígido y barato.

El criterio seleccionado para escoger, por una parte, la fibra de bambú, ha sido la densidad. Posee una densidad menor que los demás materiales seleccionados, por tanto, nos indica en un primer momento que pesará menos la aplicación que se haga con ella. Sin embargo, las propiedades mecánicas de la fibra de bambú son peores que los demás materiales. Por otra parte, la resina escogida ha sido la resina epoxi, encargada de unir la fibra.

Con los dos materiales mezclados, la densidad obtenida es de 1600 kg/m^3 . Es la misma densidad que la fibra de carbono, aunque la fibra de carbono posee mejores propiedades mecánicas, aunque el bambú no se queda atrás.

Mediante el análisis resistente realizado mediante el SolidWorks, se ha comprobado que el material compuesto de fibras naturales cumple con las necesidades requeridas, por tanto, sin la necesidad de recurrir a la fibra de carbono, la cual es más cara y más contaminante a la hora de realizarse, tenemos un alerón trasero de un vehículo para competición ecológico que rinde muy bien.

En cuanto a los procesos de fabricación, se han seleccionado los procesos que más se ajustan a las piezas que se deben fabricar. No se necesita realizar un desembolso

XI. Conclusiones

demasiado grande, sin embargo, lo que más encarece la realización de este alerón es el molde para hacer el perfil. Sin embargo, el molde es necesario para poder fabricar el alerón.

A continuación se comentarán los problemas que se han encontrado durante la realización de este trabajo de final de grado.

La falta de medios, especialmente un túnel de viento. La realización de simulaciones mediante software se aproxima bastante a la realidad pero no es tan preciso como lo es un túnel de viento.

Los costes de fabricación así como el coste de los moldes que se deben de utilizar se han aproximado debido a su complejidad así como la dificultad encontrar información.

Por otra parte, para complementar este TFG, se deberían de realizar los mismos análisis realizados con otro software para poder comparar los resultados y tener una mayor exactitud en los cálculos y valores. Así como también, fabricar el alerón y someterlo a los esfuerzos indicados para comprobar empíricamente su resistencia.

Para finalizar, comentar que este TFG ha supuesto un gran tiempo de trabajo, habiendo dado solamente una asignatura de aerodinámica y otra asignatura de materiales para automoción. Ha sido interesante y gratificante y ha ayudado a mejorar el aprendizaje teórico de la aerodinámica y de materiales compuestos en automoción, sobretodo, materiales compuestos de fibras naturales. Por otra parte, también ha ayudado a mejorar el uso de software como SolidWorks y eLamX así como en la búsqueda de información.

XII. BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

XII. Bibliografía

XII.1. Bibliografía

- [1]. McBeath, Simon. (2005). *Aerodinámica del automóvil de competición*. Barcelona: CEAC.
- [2]. Castillo, Yasmani. (2011). *Aerodinámica*. Acceso: 4/06/2019, de ECURED. Sitio web: <<https://www.ecured.cu/Aerodin%C3%A1mica>>
- [3]. San Juan, Pedro. (2014). *Aerodinámica*. Acceso: 4/06/2019, de Grupo Carman. Sitio web: <<https://grupocarman.com/blog/aerodinamica/>>
- [4]. Garrido, Antonio. (2013). *Capa límite*. Acceso 11/06/2019, de Aviación y un poco más. Sitio web:

<<https://aviacion-y-un-poco-mas.webnode.mx/news/capa-limite/>>
- [5]. Rodríguez Cabrera, Javier. (2014). *Número de Reynolds*. Acceso 15/06/2019, de ECURED. Sitio web:

<https://www.ecured.cu/N%C3%BAmero_de_Reynolds>
- [6]. Dirección nacional de seguridad operacional. (2008). *Piloto privado de avión*. Acceso 14/06/2019, de ANAC. Sitio web:

<http://www.anac.gov.ar/anac/web/uploads/pers_aeron/examenes/ppa/teor-a-y-analisis-de-respuestas-ppa.pdf>
- [7]. Da Riva de la Cavada, Ignacio. (2002). *Aerodinámica*. Acceso 12/06/2019, de Universidad Politécnica de Madrid. Sitio web:

<<http://oa.upm.es/13758/1/C14.pdf>>
- [8]. Arboledas, José Luis. (2011). *Resina de bambú, ¿alternativa viable a la fibra de carbono?* Acceso 25/06/2019, de HIGHMOTOR. Sitio web:

<https://www.highmotor.com/resina-bambu-alternativa-viable-fibra-carbono.html>

XII. Bibliografía

- [9]. Mendez, Roberto. (2014). *El bambú, ¿el mejor sustituto para la fibra de carbono?* Acceso 25/06/2019, de Omicrono. Sitio web:
<<https://omicrono.elespanol.com/2014/05/el-bambu-el-mejor-sustituto-para-la-fibra-de-carbono/>>
- [10]. Martínez, Francisco. (2016) *¿Es la fibra de bambú el sustituto natural de la fibra de carbono en coches?* Acceso 26/06/2019, de Dbambú. Sitio web:
<<https://bambu.opentiemendas.com/noticias/es-la-fibra-de-bambu-el-sustituto-natural-de-la-fibra-de-carbono-en-los-coches>>
- [11]. De la Fuente, Andrés. (2014). *Materiales compuestos o composites*. Acceso 26/06/2019, de ConstruInNova. Sitio web:
<<https://construinnova.net/2014/04/22/materiales-compuestos-o-composites-i/>>
- [12]. Pérez Ruiz, Alberto. (2009). *Infusion*. Acceso 26/06/2019, de Resinas Castro. Sitio web:
<<https://siteassets.pagecloud.com/castrocomposites/downloads/INFUSION-ID-12eff0e9-facb-4d19-c85c-8ef79f8e7cc4.pdf>>
- [13]. Reyes, Luis. (2014). *Así funciona el alerón trasero activo del Koenigsegg One:1 : La carga aerodinámica a 440 km/h*. Acceso 5/06/2019, de Autonoción. Sitio web:
<<https://www.autonocion.com/asi-funciona-el-aleron-trasero-activo-del-koenigsegg-one1-la-carga-aerodinamica-a-440-kmh/>>
- [14]. WageIndicator. (2019). *Ingenieros mecánicos*. Acceso 1/07/2019, de WageIndicator. Sitio web:
<<https://tusalarario.es/carrera/funcion-y-sueldo/los-ingenieros-mecanicos>>

XII. Bibliografía

- [15]. Universitat Politècnica de València – Escuela Politècnica Superior de Alcoy. (2019). *Trabajando con laminados compuestos en Solidworks*. Acceso 28/06/2019, de Riunet UPV. Sitio web: <https://riunet.upv.es/handle/10251/122069>
- [16]. Universitat Politècnica de València. (2016). *Fibras naturales para materiales compuestos ecológicos Green composites*. Acceso 1/07/2019, de Youtube. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=yMKQ9CIUBKQ>
- [17]. Universitat Politècnica de València. (2016). *Matrices para materiales compuestos ecológicos*. Acceso 1/07/2019, de Youtube. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=2hclJYun1Ok>
- [18]. Universitat Politècnica de València. (2011). *Materiales compuestos: tipos y clasificación*. Acceso 2/07/2019, de Youtube. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=kQ75hoKClf8>
- [19]. Universitat Politècnica de València. (2011). *Introducción a la estructura de materiales compuestos*. Acceso 27/06/2019, de Youtube. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=p17YMoZxbls>
- [20]. Universitat Politècnica de València. (2018). *Estimación de las propiedades mecánicas de una lámina de material compuesto mediante modelo*. Acceso 27/06/2019, de Youtube. Sitio web: <https://www.youtube.com/watch?v=a2taIa2jQEw>

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA
ESCUELA POLITÈCNICA SUPERIOR DE ALCOY



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOY

TRABAJO FIN DE GRADO

“Anexos”

XIII. ANEXOS

ANEXOS

Tabla de Contenidos

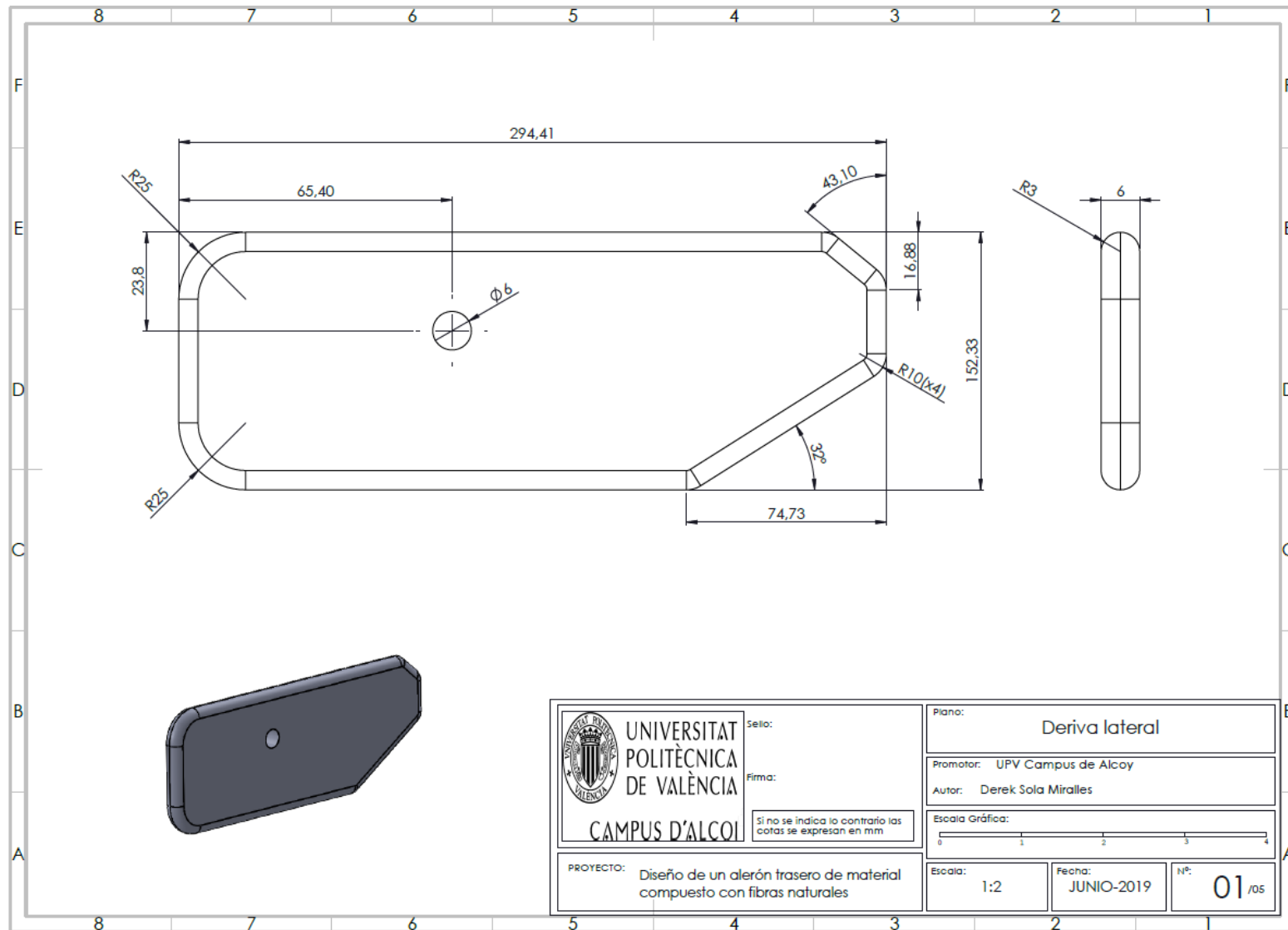
XIV. PLANOS.....225

XV. NORMATIVA.....233

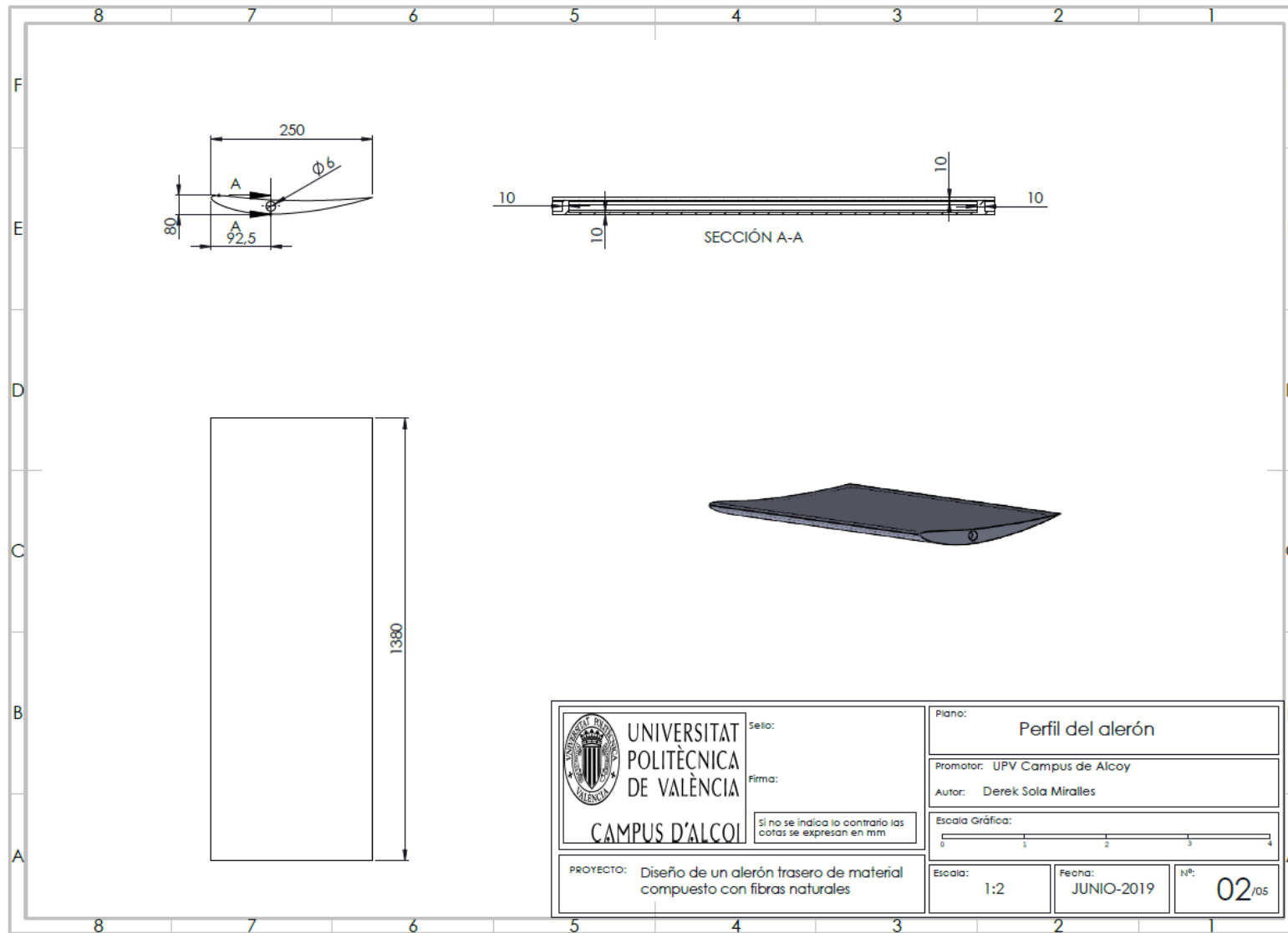
XIV. PLANOS

PLANOS

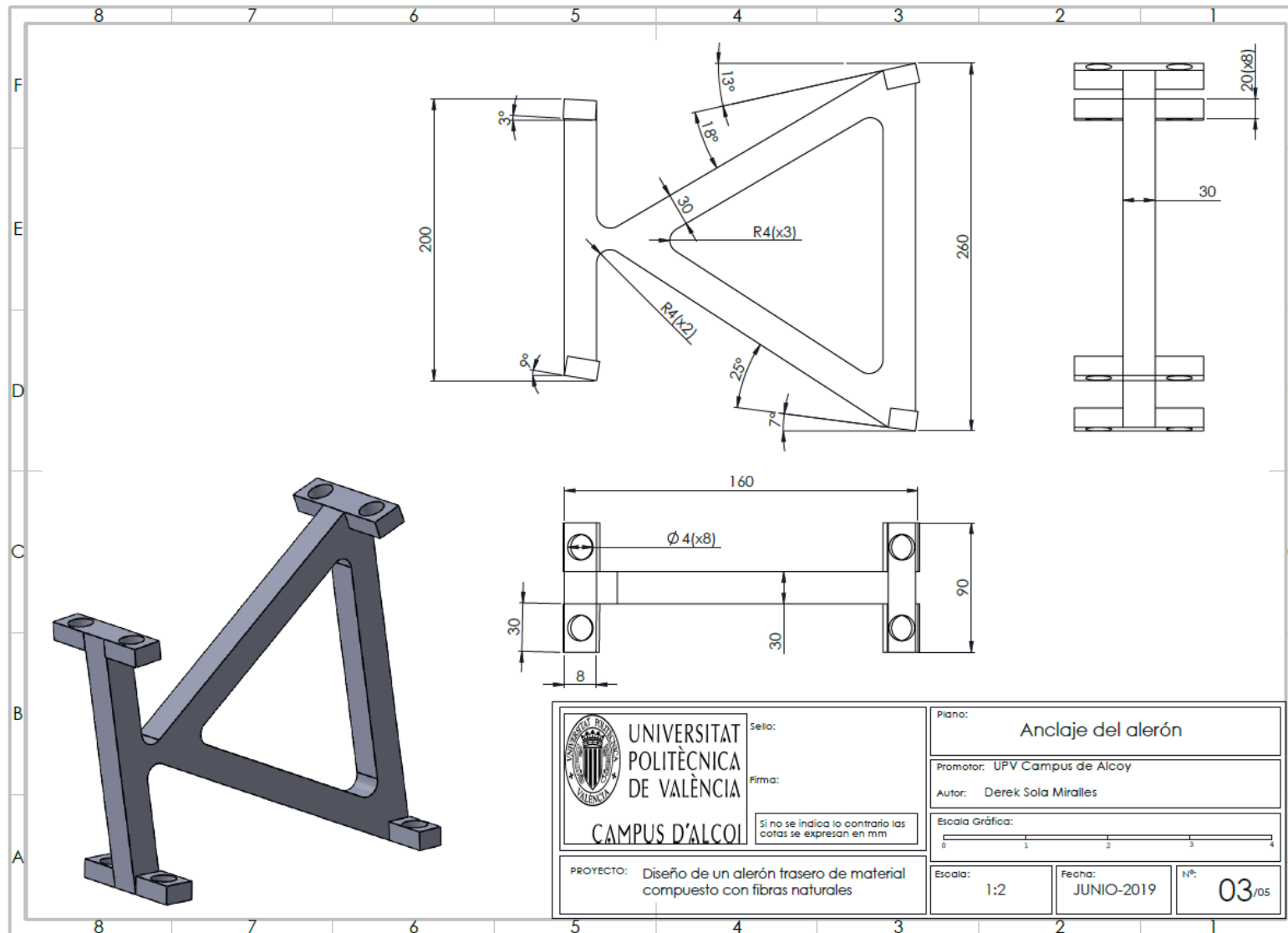
XIV. Planos



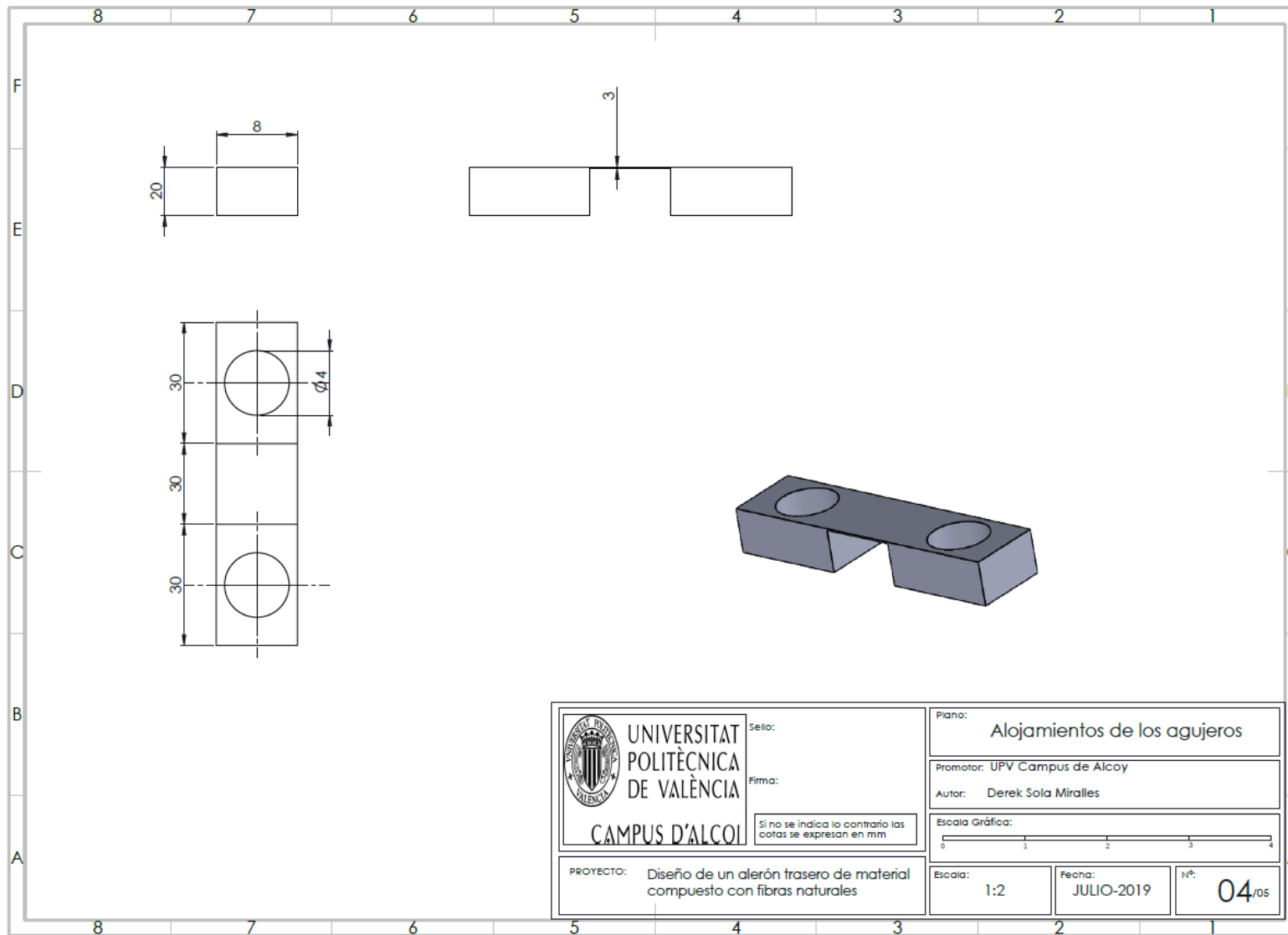
XIV. Planos



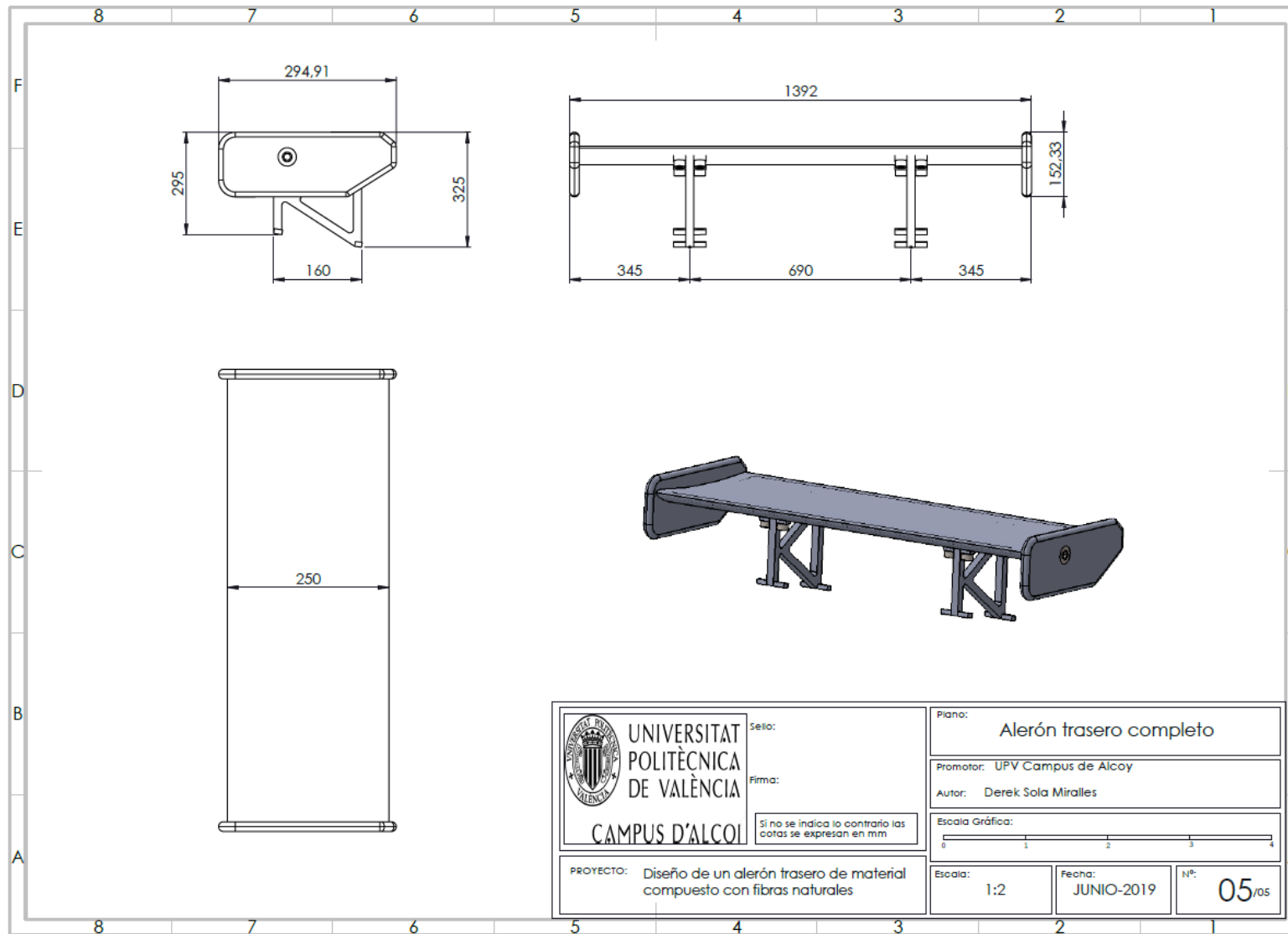
XIV. Planos



XIV. Planos



XIV. Planos



XV. NORMATIVA

NORMATIVA

XV. Normativa

12.03.2019



ART. 1	GENERAL REMARKS
	<p>Article 1 of the WSC TCR Technical Regulations applies. Unless otherwise stated, Articles 251, 252 and 253 of the FIA Appendix J are applicable, but the articles set out in the present regulations and the FIA WTCR Technical Passport have predominance. Articles 255 and 263 of the FIA Appendix J are also occasionally referred to. All modifications which are not explicitly allowed by the present regulations are forbidden. An authorised modification may not entail a non-authorised modification.</p>
ART. 2	DEFINITION
2.1	Bodywork <p>See App. J; Art. 251.2.5.2 Any air intake is considered to be part of the bodywork.</p>
2.2	Chassis (Body shell) <p>The main body of the car into which is fitted the engine, transmission, running gear, electrical systems, seats, controls, bodywork, etc.</p>
2.3	Production (part) <p>As fitted to the basic mass production car; the proof rests with the competitors.</p>
2.4	Original <p>As fitted to the WSC -certified car and in compliance with the TCR Technical Form.</p>
2.5	Minimum Weight <p>is the weight of the car without driver, with empty tanks of consumable fluids (fuel, wind screen wash & drinking water, etc.) and with all other tanks filled at the working level.</p>
2.6	Minimum Racing Weight <p>is the minimum weight of the car with the driver with full compulsory equipment (Appendix L) imposed to be respected at any time during the competition. The minimum racing weight can vary following decisions for BoP, compensation weight and the Success Ballast allocation. The minimum racing weight doesn't include the non-compulsory equipment.</p>
2.7	Cockpit <p>The interior volume of the main structure which is reserved for the occupants. Its limits are defined by the roof, the floor, the doors, the lateral parts, the glazed parts and the front and rear bulkheads (or the back plane of the rear seats).</p>
2.8	Turbo Charging <p>Increasing the mass of the charge of the fuel/air mixture in the combustion chamber (over the weight induced by normal atmospheric pressure, ram effect and dynamic effects in the intake and/or exhaust system) using a turbo charger.</p>
2.9	Location <p>A site defined relative to the production: centre line of the car, axles centre (middle of the wheelbase on the centre line), cockpit, luggage compartment and engine compartment.</p>
2.10	Position <p>The site defined by dimensions from the production car data, e.g. axles centre and centre line of the car. For position evaluation will be used a tolerance of $\pm 5\text{mm}$.</p>
2.11	Telemetry <p>The transmission of data between a moving car and the pit or to anyone connected with the entry of that car.</p>
2.12	Mass Production <p>The Minimum Production requested for eligibility of car models and parts coming from other cars like engine, turbocharger, water cooler, intercooler, etc. is 5000 pieces / 12 consecutive months.</p>

1

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

2.13	Model of car All the identical cars belonging to a family (see below) and to a production series distinguishable by an identical conception and identical external general lines of the bodywork, and by an identical mechanical conception of the engine and the transmission to the wheels.
2.14	Family of car Different series models belonging to one and the same production series of the same manufacturer.
2.15	Certification The TCR Technical Form with all valid extensions is the official documentation of TCR Cars certified by WSC. Parts described in the present Technical Regulations which are subject to certification by WSC cannot be considered of free design.
2.16	OEM (Original Equipment Manufacturer) OEM is a manufacturer of the mass produced cars and the supplier of the original spare parts.
2.17	Reference Part, Component or Unit Certificated part, electronic control unit or aggregate registered with the FIA, which are deposited with the technical delegate and can be installed in the race cars on his decision at any time of the competition.
2.18	OEM Part Component coming from any OEM mass produced car and in normal sale.
2.19	FIA WTCR Technical Passport Unique document issued by the FIA to single WTCR cars that: - features all the relevant technical information of a model of car according to the present technical regulations - identifies a single car uniquely by its manufacturer's chassis number and an FIA identification number
ART. 3	REGULATIONS
3.1	Eligible cars Eligibility criteria for WTCR cars: Each WTCR car must be the subject of an FIA WTCR Technical Passport. The FIA WTCR Technical Passport must be applied for by the competitor entered in the FIA WTCR World Touring Car Cup to the FIA Technical Department, provided that the model requested is already certified by WSC and has a valid TCR Technical Form. The FIA will require a technical inspection in order to create the FIA WTCR Technical Passport. The date and venue of the technical inspection is at the FIA's discretion. The competitor may be assisted by the manufacturer or authorized tuner. In order to obtain the FIA WTCR Technical Passport, competitors must previously be: - formally entered in the FIA WTCR World Touring Car Cup. - in possession of the TCR Technical Form of their car. The FIA WTCR Technical Passport will be valid only for the year of the present regulations.
3.2	Compliance with the regulations All vehicles must be conform to these regulations, FIA WTCR Technical Passport and to all FIA Notification and Technical Bulletins. In case of doubt, the FIA WTCR Technical Passport prevails over the TCR Technical Form and the present Technical Regulations. All parts not mentioned in these regulations have to remain those from the basic production car or another production model of the same manufacturer and correspond to the Manufacturer's Parts Catalogue for the produced model and may not be modified in any way. In case of doubt about the conformity of any part, the Technical Delegate may ask the replacement with a reference part without any further explanation. All cost of such operations will be covered by the Competitor. Manufacturers may be requested by the FIA to deposit certain parts of the car which will be used as a reference to assess compliance for the duration of the car in the WTCR (Complete engine with exhaust manifold, turbo, intake manifold, waste gate, engine control systems, flywheel, etc ...). Teams will deliver on request to the FIA technical staff the following information regarding cars: - Data from team's data logger - Video footage from team's camera - Any other technical documentation Upon request, manufacturers will deliver to the FIA technical staff any technical information regarding the cars. FIA and WSC have the right to archive all information regarding WTCR cars.

2

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

3

It is the duty of each competitor to assure the Scrutineers and the Stewards of the competition that his car complies with these regulations in their entirety at all times during a competition.

A car, the construction of which is deemed to be dangerous, may be excluded by the Stewards.

3.3 Measurements

All cars' measurements must be taken while the car is stationary on a flat horizontal surface in the location stated in the Sporting or in the Supplementary Regulations.

3.4 Material

Titanium or magnesium alloys, ceramic or exotic materials and sophisticated coatings are not permitted unless used for the production part or explicitly authorised by these regulations.

All flexible supports (engine, transmission, sub frames, etc.) may be replaced by stiffer brackets with same functional dimensions. If not otherwise defined by the present regulations the aggregate's position may not be modified. (Certification)

External bodywork parts may be repaired by adding material respecting the certified properties (minimum weight, functional shape, etc.). Such operation needs the approval of the technical delegate.

3.5 Data logging

The car must be fitted with a scrutineering data logging system providing the following data:

- Speed of the 4 wheels
- Engine revs & timing
- Longitudinal acceleration
- Lateral acceleration
- Throttle pedal position
- Throttle valve position and of any other control element
- Engine load target & delivered engine load (if the Throttle Valve doesn't follow the Throttle Pedal Position)
- Engine Water Temperature
- Inlet air temperature in the manifold
- Boost pressure (monitored by an additional sensor)
- Front & Rear Brake Calliper pressure
- Lap trigger
- Lambda-signal
- Ignition angle timing
- Injection duration, start & end
- Injection fuel pressure
- Camshafts timing and positions
- Variable timing positions
- GPS
- Steering wheel angle
- Launch-control button
- Gear position

The Scrutineering Data Logger complete system as defined per the FIA WTCR Technical Passport must be installed and operated according to the supplier instructions.

The collected data remain at FIA/WSC disposal.

The use of a Team Data Logger is allowed. The Team will allow access to the Technical Delegate to the data of the Team Data Logger at any time.

The scrutineering data logger may not be used as Team Data Logger and may not be accessed by the team.

Team Data Loggers with removable memory devices are allowed.

The use of the following sensors is not allowed:

- Pitot tube
- Tire pressure
- Tire internal and external temperature including the running surface
- Non-contact ground distance sensors (Suspension travel potentiometers are allowed)
- Inertial platform
- Turbine speed
- Combustion pressure
- Sensors using wireless data transmission
- Engine torque sensors
- Load cell on power train, running gear and suspension mounting points
- Non-contact sensors (temperature, distance, speed, yaw, etc.)

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

3.6	Telemetry The use of telemetry is forbidden.
3.7	Driving aids Driving aids are not permitted unless featuring in the FIA WTCR Technical Passport. If the race car using mass production engine management cannot be operated without the Driving Aids, the mass production systems including mechanical parts and Electronic Control Units [Anti-lock Braking System (ABS), Electronic Stability Program (ESP) & Traction Control System (TCS) not included] may be used on condition that the original hardware and software are maintained (only changes to the wiring are permitted). It is not allowed to the driver sitting in the car to change settings. The systems may be also switched off or removed. The pit speed limiter and the launch control (as described below) are permitted. For the launch control 1 (one) additional engine rev-limiter is allowed. The rev-limiter is activated and stopped by the driver and is constant during the launch control phase. There is no closed loop control considering engine revs, wheel speed and clutch actuation allowed. Other constant rev-limiter(s) is (are) permitted for imposed speed limits (pit speed, virtual safety car, circuit sections with speed limit, etc.).
3.8	Balance of Performance (BoP) All Manufacturers must communicate the requested specific car data for the definition of the numeric model for the BoP evaluation. Parameters which may be modified for BoP at any time of the season: <ul style="list-style-type: none">- Minimum Racing Weight; max. penalty 50kg; max. weight reduction 30kg- Engine performance level implemented by monitored electronic components (102.5%, 100%, 97.5%, 95%, 92.5% and 90%)- Smaller boost pressure steps implemented between the aforementioned engine performance levels- Minimum Ride Height (set up range 80mm +/- 20mm) All engine performance relevant parameters will be monitored related to engine speed. FIA/WSC reserves the right to take further measures in order to guarantee proper BOP.
3.9	Presentation of and modifications to the FIA WTCR Technical Passport Each Competitor must have at the scrutineering the stamped and signed original FIA WTCR Technical Passport for each car. Technical Form's modification will be allowed during the season only for following reasons: <ul style="list-style-type: none">- Safety- Reliability
ART. 4	BODYWORK
4.1	Chassis (Certification) The chassis cannot be modified unless permitted by the present regulations. All chassis modifications including the removal of unused supports have to be certified in the Technical Form. Following condition must be respected: <ul style="list-style-type: none">- Width of bodywork: Maximum 1950mm- All chassis modifications have to be approved.- If not otherwise defined by the present regulations any non-movable element must be attached with the use of tools.- Wheel arch modifications allowed, for the sole purpose to accommodate race tyres.- Front bulkhead may not be modified except for a modified passage of the gearshift control, electrical loom(s), brake lines, fuel lines and extinguisher lines.- No modification of McPherson turrets except of local reinforcement following the original shape and through metal ribs or fins as connection between turrets and front bulkhead for strengthening of strut mounting area. Production reinforcements and openings may be locally reworked without weakening the structure to allow access to the strut.- Seam welding replacing or reinforcing production part spot welding is authorized.- Local modifications of the chassis or sub frames are permitted to provide clearance to the exhaust system, transmission and suspension.- Temporarily removal of the roof outer skin is permitted only to allow the safety cage's correct installation. Sub frames may not be modified for the fixation on the body shell or for the attachment of suspension elements. All sub frame modifications have to be approved. Reinforcements and the removal of unused supports are permitted. Strengthening of the suspended parts of the chassis / body shell through the addition of parts and/or material is allowed under the following conditions: The shape of the reinforcing part/material must follow the surface of the part to be reinforced, having a shape similar to it and the following maximum thickness, measured from the surface of the original part : <ul style="list-style-type: none">- 4 mm for steel parts.- 12 mm for aluminium alloy parts.

4

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

	<p>Stiffening ribs are allowed but the making of hollow sections is forbidden. The reinforcing part/material must not have any other function than that of reinforcement.</p> <p>Passage for the gearshift control: Local modifications are authorised.</p> <p>Mountings and bearings of antiroll bars: The main rails may be modified to integrate the anti-roll bar bearings. The new mountings of the anti-roll bars must not have any other function.</p> <p>Mounting of pedal box and master cylinders: Modifications are authorised provided they have no other function than to allow the fixing of the master cylinders and/or the pedal box.</p> <p>Central tunnel and/or floor on the driver's side to allow Driver's seat installation for correct driver's position: Local modifications to the central tunnel and/or the floor on the driver's side are authorised with no other purpose than correctly installing the compulsory racing seat according to this regulation.</p> <p>Panel on top of fuel tank area for Fuel tank ancillaries' installation: Local modifications of the area situated on top of the fuel tank are authorised with no other purpose than creating a flat surface to install fuel tank ancillaries.</p>
4.1.1	<p>Bonnet and boot lids</p> <p>It must be possible to open them without use of tools. The retaining springs (not the hinges) may be removed, but the car must have supports to hold the bonnet and the boot lid in open position. Openings in the engine bay bonnet are allowed up to a maximum total surface of 1050cm², including any original opening(s) but must be covered by wire netting with maximum mesh surface of 500mm². Trims on the openings can be added to the bonnet provided that they do not protrude from the outer surface more than 15mm outwards and 50mm inwards. Cut-outs in the original production bonnet for the trims are allowed up to a total surface of maximum 2350cm² including any original cut outs. The production internal reinforcements may be removed in the opening zone.</p>
4.1.2	<p>Doors</p> <p>The production door locks, door-hinges, anti-intrusion bars, external door handles, and the driver side window lifters stay as original and in operation. It must be possible to open all doors from outside (original handles) and the front doors also from the inside. Controls for opening the rear doors from the inside may be removed.</p> <p>The other side window lifters may be removed, but the side windows must be locked in place and secured from all movement.</p> <p>The removal of door soundproofing material and decorative strips is allowed. Original inner trim panels must be replaced and be made from plastics (including composite materials) at least 1mm thick. The panels must totally cover the door, its handles, locks and window winding mechanisms.</p> <p>Air inlets for driver cooling in the area of the external mirrors are accepted.</p>
4.1.3	<p>Engine & Luggage Compartments</p> <p>The soundproofing, decorative, insulating material and parts may be removed.</p>
4.2	<p>Windscreen and windows</p> <p>The use of the mass production windscreen is permitted. The use of electric heated glass windscreen of artisanal production is allowed. Plastic windscreen (polycarbonate or PMMA ensuring the same transparency as the original glass) with the same shape of the reference part, with or without heating with minimum thickness 5.85mm is allowed.. Anti-intrusion arm(s) or support(s) for Plastic Windscreen may be used. The addition of a maximum of 4 protective transparent films on its external face is permitted.</p> <p>Plastic rear window min. 3.85mm is allowed.</p> <p>The internal face of side and rear glass windows as well as that of glass rear-view mirrors must be covered with a transparent and colourless plastic safety film with a maximum thickness of 0.1mm in order to avoid the shattering and spraying of glass in the event of an accident. It must be fitted in a manner that facilitates checking.</p>
4.3	<p>Exterior</p> <p>Bodywork - General A maximum of 3 holes (maximum diameter of 12.5 mm) are permitted in order to use supplementary measuring devices (radio, temperature, pressure, and similar). If a device is not used during a competition, the corresponding hole must be sealed off and the exterior of the bodywork must retain its original appearance.</p> <p>The only body parts that can be replaced and changed in shape are:</p> <ul style="list-style-type: none">- Front bumper; Shape resemble the original must be approved prior to production; no dive planes allowed.

5

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

- Front fenders' lower edge behind the wheel may not be higher than front door's bottom border. Shape must be approved prior to production (no louvres allowed)
- Side sills (these may be added if not present in the production car)
- Rear wheel arch extensions
- Rear door bulge compatible with the rear arch extensions
- Rear bumper; Shape resemble the original must be approved prior to production
- Wheel arch liners

No flat floor behind the vertical plane tangent to the back side of the front wheels and the foremost point of the rear bumper. Engine bay protection panel between the frame rails are permitted.

It is not allowed to tape the joints or use self-made gaskets (foam, rubber, etc.) between bodywork panels. The hood's and boot lid's original position may not be changed.

Installation of air jacks

The bodywork may be modified over a maximum area of 100 cm² to create housing for the air jack connector.

The connector for the feeding of compressed air must be situated rearward of the rear axle centreline and must not protrude beyond the surface of the bodywork.

Roof Hatch installation without structural parts' modification for access to the cockpit is permitted.

4.4

Aerodynamic devices

Rear wing with wing profile, brackets and side plates

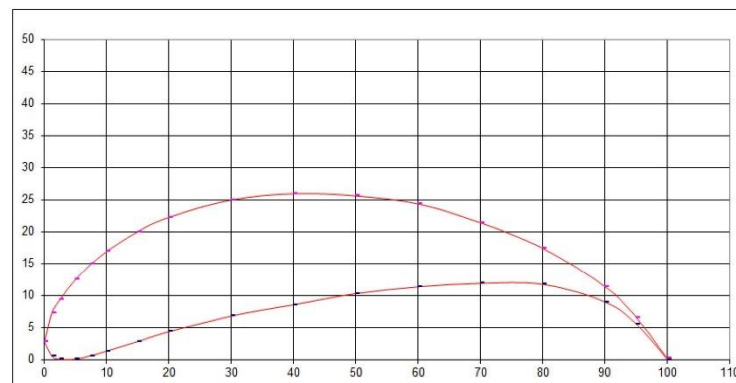
The original car's devices must be removed and must be replaced with one compulsory rear wing made up of:

- One aluminium extruded wing profile (WSC delivery corresponding to the profile defined below) or
- Specific part produced following exactly the WSC rear wing dimensions
 - Material: aluminium or fibre reinforced plastic
 - production drawings will be delivered for certification
 - scrutineering jigs will be delivered on request

Rear wing profile definition & dimensions:

- Straight, adjustable, single piece with no flap
- Type BE 183-176 +/- 0.5mm
- Chord = 250 +/- 1 mm
- Width = 1380 +/- 1 mm
- Trailing edge thickness = 2mm +/- 0.5 mm

Be 183-176														Ro = 2.69		Xo = 2.69		Yo = 2.79	
x %	0	1.25	2.5	5	7.5	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	95	100		
-Yv	2.79	0.53	0.07	0.1	0.62	1.32	2.86	4.35	6.79	8.8	10.02	11.4	11.95	11.8	9.03	5.58	0.1		
-Yo	2.79	7.31	9.4	12.52	14.95	16.94	20.05	22.3	25.01	25.98	25.65	24.39	21.44	17.43	11.43	6.63	0.2		



6

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

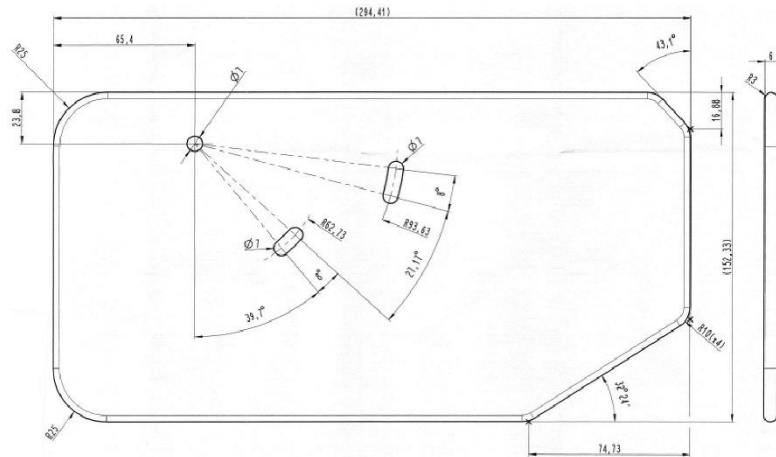
These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC. WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

- 2 Brackets

Dismountable, flat, plane surface perpendicular to wing profile surface.
 Mounted on the boot lid or on the rear window and to the lower or to the upper wing profile surface.
 Min. transversal distance between both supports and between supports and side plates = 100mm.
 The leading edge must be rounded with a constant radius.
 The trailing edge may be chamfered to a max. of 20 mm (min. thickness at the trailing edge = 2 mm).



- 2 side plates; All edges will be rounded with at least R3mm
 - Dismountable, flat, continuous surface perpendicular to profile centreline.
 - Side plates may rotate with respect to the wing profile.
 - This device must be rigid and offer no possibility for the penetration of air (groove, hole, opening, etc.).
 - Material: aluminium, plastic

No element of the rear wing may be located beyond the following limits:

- X = 1050 mm from rear axle centreline.
- Z = Highest point of roof.

The front splitter:

- Part produced following exactly the WSC CAD model (see drawings below) front splitter's dimensions (length, width and angles, front overhang, vertical projection, sections of areas licked by the airstream)
- lateral prolongation in "x" for cars with bigger front overhang is allowed (max. 50mm in "y")
- The distance between splitter's contour vertical projection and bumper fixation contact area on the front splitter is limited as follows:
 - In the middle area, ($y = \pm 400$ mm), will be between 35 and 85mm.
 - outside $y = \pm 400$ mm is limited to max. 210mm.
 - In the transition area to the wheel arch limited to max. 45 mm.
- The layout of the areas covered by the bumper is free.
- The areas next to wheel arches (Detail D) may remain flat.
- production drawings will be delivered for certification
- scrutineering jigs for external contour, leading edge and lower face will be delivered on request

The foremost edge of the front splitter at $y=0$ will protrude the bumper contour by max. 35mm in vertical projection.

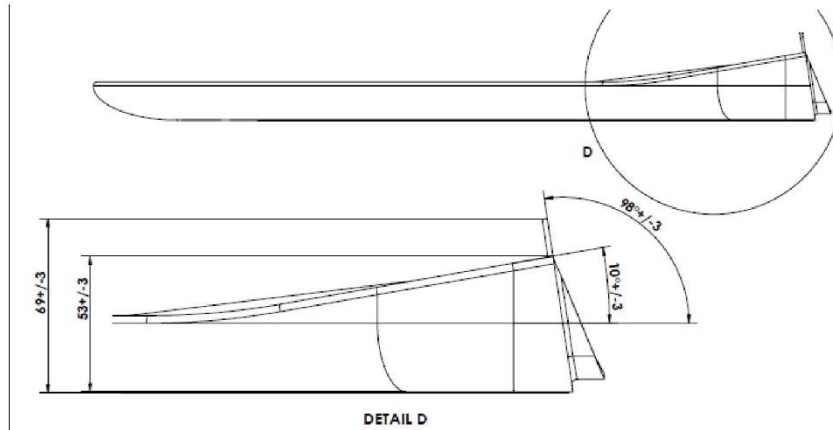
7

FIA Sport - Technical Department
 © WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
 WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019



DETAIL D

Front Splitter Brackets' design is free.

Rear diffuser included in the rear bumper:

- One single plane between a vertical plan minimum 380mm behind the rear axle centre line and the bumper's vertical projection
- Hollow area for the exhaust end pipe(s) allowed
- Maximal width: 1650mm
- Max inclination to the doors' lower edge: 25°
- No air circulation over the diffuser

Mass production flexible skirts reducing the ground clearance may be removed. The ground clearance check will consider these parts as bodywork

9

4.5

Interior

Dashboard trims; Centre console

Trims situated below the dashboard and which are not parts of it may be removed. It is permitted to remove the part of the centre console.

Dashboard

- General shape, appearance, mounting points and position must remain similar to production part.
- Thermoplastic or Fibre Glass plastic materials are free.
- Minimum weight: 2kg including ducting and fixation elements.

Instruments

Display and indicators can be freely fixed on the dash board or to the steering column. The installation shall not interfere with the driver's vision or safety.

Switches

Standard switches may be replaced by switches of different design (robust and reliable) and may be fitted at different locations on the dashboard or on the centre console. Any opening resulting from this must be covered.

Production Pedal Box: metallic pedals may replace the production plastic parts. New master cylinders and new arrangement in the engine bay may be used.

Commercial catalogue pedal box (hanging or floor mounted) and master cylinders in the cockpit: Modifications are authorised provided they have no other function than to allow the fixing of the master cylinders and/or the pedal box

ART. 5 WEIGHT

5.1 Minimum Racing Weight

The minimum front axle load proportion is 59% to be respected in any conditions during the event.

The Minimum Racing Weight will not include non-compulsory items like driver cooling, team camera, radio, etc.

5.2 Ballast, Success Ballast

Ballast, including success ballast, must be made from metallic plates or blocks and must be fixed in the cockpit and/or in the boot. It is permitted to complete the weight of the car with ballast.

The metallic blocks or plates must be fixed by means of tools, with the possibility of affixing seals.

The ballast must be attached to the body shell/chassis with bolts of at least 8.8-class with a minimum diameter of 8 mm, with counter plates, according to the principle of the following Drawing.

The minimum area of contact between body shell /chassis and counter plate is 40cm² for each fixing point.

FIA Sport - Technical Department

© WSC - 2018-2019

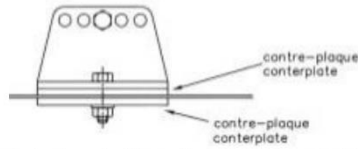
These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.

WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

Any movable ballast system is forbidden.



The ballast and success ballast will be declared as such at the scrutineering. The success ballast must be marked and it must be possible to remove separately.
The ballast fixing system must allow to the Technical Delegate to seal the bolts. The ballast must be designed such, that tools are required for its removal.

5.3 Liquids

The weight may be checked at any time during the competition with the quantity of liquids in the tanks, except after qualifying and the races when the car may be emptied of all the consumable liquids before weighing.

ART. 6 ENGINE

6.1 Engine generals

- The make and type of the spark plugs are free.

Engine position:; The crankshaft's axis may be moved within a cylinder with R=20mm

Only sealed engines by the manufacturers are eligible for FIA WTCR Events.

The engine will have the possibility to seal the oil sump and the cylinder head cover by the Technical Delegate.

It is not allowed to put ice or any other cooling system in the intake pipes or in front of the intercooler.

6.2 Engine Cooling

Intercooler

Mass production intercooler from another OEM (maximum core volume 8 litres) may be used.

Air Ducts: free between air inlet and intercooler core

The position and brackets are free without any modification of the bodywork. Air hoses and water pipes are free

Water Cooling

Radiator: mass production part free provided that the radiator is fitted in the production location without any modification to the bodywork (see exception below), brackets, water hoses and water pipes are free

Thermostat: free. The use is optional.

Electric & mechanic fans for radiator cooling: free

Air Ducts: free between air inlet and cooler core

Engine oil cooling

The type of the used oil cooler (air/oil radiators or water/oil heat exchanger) and their connections are free. No modifications to the bodywork are allowed. The parts have to be situated within the perimeter of the bodywork in safe position.

It is allowed to put tape in the grilles of the front bumper to regulate the engine cooler temperature (in car colour).

Only ambient air may be used for heat dissipation.

6.3 Lubrication

Following is allowed:

- Pressure accumulator
- Baffles and deflectors in production oil wet sump; The distance between the planes of the oil sump gasket on the engine block and on the oil sump may not be increased by more than 6mm.

If the lubrication system includes an open type sump breather, it must be equipped in such a way that the oil flows into a catch tank. (App. J, Art. 255. 5.1.14)

6.4 Engine control unit

The choice of the engine Electronic control unit (ECU), engine control software, sensors and engine loom is free.

The software and all data sets are frozen and cannot be overwritten. ECU box will be sealed by the Manufacturer and the access to modify software and parameters will be closed to prevent manipulation.

Manufacturers will deposit on request by the technical delegate free of charge for the duration of participation of their cars to the WTCR Engine Electronic Control Unit(s) (ECU) for all registered engine performance level(s) defined for BoP purposes.

10

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.

WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

	<p>The Technical Delegate may at any time oblige the competitor to use the reference unit registered with the FIA/WSC by the Manufacturer.</p> <p>Any manipulation, modification or disconnection of any certified sensor is forbidden. The Competitor is responsible for the quality of the sensor signals.</p> <p>The software and the map(s) for the all certified engine performance level(s) are frozen and cannot be modified</p> <p>Every manufacturer has to provide software tools (free of charge and without limitations concerning the required number of copies and licenses) to allow to the Technical Delegate to monitor the engine control software. The interface cable, that is needed to access the engine control unit while it is installed in the car, has to be provided for the Technical Delegate by all participating competitors free of charge. The engine control software and the datasets have to be provided in a binary format to the Technical Delegate by the manufacturer</p> <p>The software tools have a minimum functionality of:</p> <ul style="list-style-type: none">• Upload/Download program software and data sets• Calculate Checksum of program software and datasets after uploading them	
6.5	<p>Intake system</p> <p>One (1) supplementary opening in the front bumper without protrusion above bumper's exterior surface can be made.</p> <p>The maximum boost pressure will be defined during BoP test. The boost monitoring will be defined smoothing peaks and eliminating the upshifting discrepancies.</p> <p>The air filter housing and the air filter element may be replaced with a catalogue part. The air feed pipes to the air filter housing and from the filter housing to the turbo are free.</p> <p>It is allowed to change the impeller in case the Turbo Charger is integrated in the exhaust manifold.</p> <p>The turbo charger must have the possibility to be sealed.</p> <p>No fresh air connection pipes between inlet and exhaust manifolds are allowed.</p> <p>Antipollution air circulation parts have to be removed and the connection ports must be closed.</p>	
11	<p>6.6</p>	<p>Exhaust</p> <p>The exhaust system is free downwards the turbo charger and its regulating system. It will fit FIA homologated catalytic converter(s) (FIA List no. 8), will have nominal wall thickness minimum 1.2mm and will have the exit(s) at the car's rear end below the rear bumper.</p> <p>If a different turbo charger is certified an adapter between this and exhaust manifold may be used,</p> <p>The sound level must not exceed 110 dB(A) at 6000 rpm, measured in conformity with the FIA noise-measuring method.</p> <p>Manufacturers may apply for option (VO) exhaust muffler system which may be used according to specific events noise limits.</p>
	<p>6.7</p>	<p>Fly-wheel assembly</p> <p>Flywheel: production part or modified respecting following conditions:</p> <ul style="list-style-type: none">- Fly wheel can be re-manufactured solely to allow for a replacement clutch.- Minimum weight 6kg (without fasteners)- Machined from a single block of steel (no weight reduction bores, pockets or cut-outs)- The starter gear must have same or bigger dimensions.
	<p>ART. 7</p> <p>FUEL SYSTEM</p>	
	<p>7.1</p>	<p>Fuel tanks</p> <p>The fuel cell(s), the filling and ventilation systems must be separated from the cockpit by a fireproof and liquid-proof protective device and must be certified.</p> <p>The total fuel volume in the car is max. 100 liters.</p> <p>Designs have to be approved before implementation.</p> <p>External refuelling can be used (Art. 253).</p> <p>For fuel tanks with filler necks FIA homologated non-return valve is mandatory (App. J. Art. 253.14).</p> <p>In-board fuel tank filler must be protected by a fireproof and liquid-proof fire-wall.</p> <p>The use of safety fuel tanks according to FIA FT3-1999, FT3.5 or FT5 (Technical List n.1) is compulsory. They may be used according to options a) and b) below:</p>

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

a)	<p>FIA Safety Fuel Cells satisfying the following conditions:</p> <ul style="list-style-type: none"> - FIA/FT3 1999, FT3.5 or FT5 homologated - Comply with the prescriptions of App. J, Art. 253.14 - The fuel tank must be contained in a close-fitting flameproof and liquid-proof lower (external) housing that has no other mechanical function including a crushable structure on all surfaces except the one in contact with the body shell. - The crushable structure must be a honeycomb sandwich construction based on a fire-resistant core of a minimum crushing strength of 18N/cm². The sandwich construction must include two skins of 1.5 mm thickness having a tensile strength of minimum 225N/mm² and must have minimum thickness of 10 mm. - Located within the safety cage, forward of the centre line of the rear wheels, no more than 65cm from the vertical plane through the longitudinal axis of the car - Fuel cell cover's lowest surface should have similar area and position in the car as the production fuel cell. - The rest of the fuel cell including its cover has to be higher than 40mm in respect to production fuel cell's lowest surface. - Simple tunnel (no closed opening through fuel cell) for exhaust tube is allowed. - The level of the fuel cell lowest (external) surface including its cover has to respect the level of the production fuel cell's lowest surface. - Floor pan cut above the original fuel cell compartment exclusive for the installation of the supplementary fuel cell volume in the cockpit is permitted. Structural panels cannot be cut or modified. - The upper (internal) housing may be of mild steel 1.5mm minimum nominal thickness bolted or welded to the body shell or be crushable structure with similar properties as the lower housing. - Fuel cell housing fixation to the body shell will be made using at least 6 (six) fixing points with M8 grade 8.8 bolts installed according to the FIA Drawing 253-65. fixing systems with equivalent solidity may be used if previously approved and certified. An add-on fuel cell (FT3 1999, FT3.5 or FT5) on the top of the main fuel cell and installed in a housing corresponding to this regulation may be used up to the total maximal fuel volume.
b)	<p>It is also possible to use a catalogue rectangular shaped FIA Safety Fuel Cell coming from an FIA-approved manufacturer (FIA FT3 1999, FT3.5 or FT5).</p> <p>The Fuel Cell must be fitted as follows:</p> <ul style="list-style-type: none"> - located within the safety cage - forward of the centre line of the rear wheels - behind the vertical plane tangent to the most rear point of the driver's seat back - no more than 65cm from the vertical plane through the longitudinal axis of the car - Installed in a fabricated mild steel vane (housing) 1.5mm minimum nominal thickness bolted or welded to the body shell; or in a housing corresponding to the point a) of this article bolted to the body shell. The housing will follow the fuel tank's shape and will not have any other function. - Cut-out of the floor pan is permitted. - Lower surface of the tank vane at least 100mm above road (measured by ride hide of 80mm). - mild steel 1.5mm minimum nominal thickness fuel cell cover bolted or welded to the body shell (fire wall) - An add-on fuel cell (FT3 1999, FT3.5 or FT5) on the top of the main fuel cell and installed in a housing corresponding to this regulation may be used up to the total maximal fuel volume. - In case of bolting (fuel cell housing or cover) minimum M6 8.8 bolts spaced at max. 200mm must be used. Different designs have to be approved before implementation.
7.2	<p>Fuel circuit</p> <p><u>Fuel lines:</u> Mass Production Fuel Lines may be used outside the cockpit. The protection will correspond to Appendix J, Art. 253.3.1. Other fuel lines must correspond to the prescriptions of Article 253-3 of Appendix J. The installation is free provided that the prescriptions of Article 253-3 of Appendix J are respected.</p> <p><u>Fuel sampling connector</u> The car must be fitted inside the engine compartment with a FIA approved self-sealing connector for fuel sampling (Technical list n°5) on the fuel feed line directly before the fuel high pressure pump. The competitors will provide to the Technical Delegate on his request a connection hose to this connector.</p>
7.3	<p>Electric Fuel Pumps</p> <p>All Electric Fuel Pumps must stop when the engine stalls.</p>
ART. 8	ELECTRICAL EQUIPMENT
8.1	<p>Windscreen wiper</p> <p>Any production wiper motor system may be used with at least 1 (one) original working wiper blade to clear the screen directly in front of the driver. The windscreen washer tank may be modified (free position) or removed. Complete rear window wiper and washer system may be removed.</p>
8.2	<p>Engine Starter</p> <p>The production starter must be fitted and must be in working order at all times of the competition. The driver must be able to operate the starter when seated normally. Manufacturers may apply for alternative OEM Starter.</p>

12

FIA Sport - Technical Department
 © WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
 WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

8.3	Lighting equipment
8.3.1	The exterior lighting equipment must at least ensure the following functions: headlights, front and rear direction indicators, stop lights, rain light (see 8.3.2) and rear tail lights and must be in working order at all times of the competition. The exterior surface and appearance of the other lights cannot be modified but the interior elements may be removed.. Exception for the fender indicators which are free.
8.3.2	Rain lights: Rain Light is compulsory. Following arrangement may be used: <ul style="list-style-type: none">- One FIA approved unit (Technical List n°19) located in the tail gate, boot lid or replacing the 3rd brake light placed on the car's centre line.- Production 3rd brake light in combination with the production rear fog light(s).
8.4	Starter Battery Only 1 (one) dry starter battery is allowed. Type: certified (Li-Ion or other exotic types will not be accepted). Capacity: free Make: free as far as the certified capacity, location, protection and fixation are used. Location: In the production location, boot or in the cockpit. If in the cockpit, it must be situated behind a vertical and transversal tangent plane to the rearmost point of driver's seat or in the rear passengers' foot well. Fixation: Should the battery be moved from its production position App. J, Art.255.5.8.3 applies. Insulating cover: The terminals must be electrically protected with an insulating cover. It must be possible at all times to start the engine with the energy of the battery transported on board the vehicle.
8.5	Electric loom (engine, car & data logger) Production or racing loom.
ART. 9	TRANSMISSION
9.1	Transmission system For cars fitted with a paddle shift and/or a power-driven clutch with electronic or pneumatic control, the Technical Delegate may at any time oblige the competitor to use in competition the reference unit(s) registered with the FIA by the Manufacturer.
9.2	Clutch The clutch has to be the mass production one or certified under following conditions: <ul style="list-style-type: none">- Racing Catalogue pressed-type multi-discs sinter-cerametalllic- Minimum Discs Dia. 183mm (7 1/4")- Clutch Control System hydraulic or mechanic actuated by the driver's foot- Clutch release bearing is free (catalogue parts).
9.3	Gearbox Mass production gearbox coming from the production model or from another car of the same group may be used. In the latter case a gear box adapter to the engine and gearbox brackets may be used. The mass production gearbox will be certified and used under following conditions: <ul style="list-style-type: none">- Mass production ratios- 1 (one) reverse gear, selectable at any moment by the driver while the engine is running and the car is stopped- Every gear must be able to be engaged and in working order.- Gear changes must be made mechanically or using Paddle Shift (after-market or catalogue part).- Interference to Engine Control for shifting allowed (Ignition cut or power reduction)- Each individual gear change must be separately and solely initiated and commanded by the driver. The use of paddle shift on mass production gearbox using catalogue (after-market) parts may be certified. The gear box control unit will be sealed and may be at any time be replaced by the technical delegate with the reference part. It is not allowed to alter the certified operating data. Manufacturers will provide to the technical delegate free of charge for the duration of participation of their cars in WTCR transmission Electronic Control Unit(s) (ECU). One racing sequential gearbox with one set of ratios may be certified under following conditions: <ul style="list-style-type: none">- A maximum of 6 (six) forward gears- 1 (one) reverse gear, selectable at any moment by the driver while the engine is running and the car is stopped- Every gear must be able to be engaged and in working order.- Gear changes must be made mechanically or using Paddle Shift (catalogue part).- Interference to Engine Control for shifting allowed (Ignition cut or power reduction)- Each individual gear change must be separately and solely initiated and commanded by the driver.- Any system that permits more than one gear pair to be engaged to the drive train at any time is prohibited.- Instantaneous gearshifts are forbidden.

13

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

- Gearshifts have to be distinct sequential actions where the extraction of the current dog gear is subsequently followed by the insertion of the target dog gear.
- The dog gear is considered extracted when its position is not able to transmit any torque.
- Catalogue limited slip differential.

A new gearbox cooling using catalogue parts (pump, filter, cooler, lines, thermostat, etc.) may be certified. Mass Production Gearbox Cooling may be used without modification. Modified mass production gearbox cooling must be also certified.

Each car will have to keep declared transmission.

9.4 Final Drive

The final drive may be production or bespoke.

Final drive cooling using catalogue parts (pump, filter, cooler, lines, thermostat, etc.) may be certified.

9.5 Limited Slip Differential

Any mass production limited slip differential may be used in mass production gearbox with production parameters but the settings cannot be modified during driving.

The mass production differential fitted in the mass production gearbox may be replaced by a catalogue mechanical limited slip differential inside the drive unit housing.

It is permitted to remove material from the inside of the production housing. It must at all times be possible to clearly recognize the housing as the certified standard housing.

The use of metallic friction plates & disks is mandatory (no carbon friction plates / disks or CFRP plated parts allowed).

9.6 Drive shafts

Principle of the joint on the wheel side must be as original.
Drive shaft's length is free.

ART. 10 AXLES, SUSPENSION AND STEERING

10.1 Generals

Wheelbase: Nominal wheelbase of the race car must not exceed the nominal wheelbase of the original car + 60 mm with the following constraints:

- The wheels can only be moved towards their end (i.e. front wheel towards the front) by 30 mm maximum.
- This measurement must be taken from a datum-point on the body shell.
- Tolerance on race car wheelbase = +/- 10 mm

Front and Rear overhangs

- Front: Defined by front bumper & Front splitter position.
- Rear: Defined by rear bumper position.
- These measurements must be taken from a datum-point on the body shell.

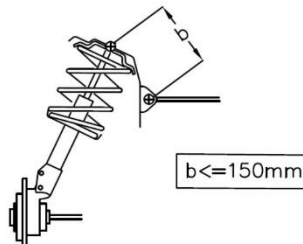
No modifications of the chassis for new suspension pick up points

- The position of the new pick-up points is free; max ± 20 mm adjustment in all directions
- Bolted brackets for suspension elements are free

Reinforcement bars may be fitted on the McPherson top mounting points to the body shell of the same axle, each side of the car's longitudinal centreline.

The distance between the McPherson top mounting and the anchorage point of the bar cannot be more than 150 mm (Drawing 255-4), unless the bar is a transverse strut homologated with the safety cage.

Reinforcement bars must be removable.



The mounting bracket may be welded or bolted to the body shell.

14

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC. WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

15

- If bolted, a maximum of three (3) holes (maximum diameter of 10.5 mm) are authorised on each side. The reinforcement bar must not be mounted elsewhere on the body shell or any mechanical part.
- 10.2 Wheel Hubs and Bearing**
- The wheel hubs may be re-machined using similar wheel fixation (number of fixation points, same bolt PCD and thread), to allow the use of a stronger mass production wheel bearing. Mass production wheel hubs may be used.
- 10.3 Bearings, Silent blocks, Rubber bearing**
- Production bearing on suspension arms may be replaced by uniballs or bush bearings. No rolling contact bearings accepted.
- 10.4 Front wishbones/upright/struts**
- The working principle and the number of pivot points on the wishbones/upright/struts and on the chassis/subframe have to be maintained. The parts are free.
Double-wishbone axle may be changed to triangular control arm axle.
- 10.5 Rear suspension**
- Production suspension parts may be reinforced or modified. Suspension arms may be replaced by new parts
- Twist beam may be changed into double trailing arm, keeping the same external pivot points and adding two additional points on chassis.
- 10.6 Anti-roll bars**
- Anti-roll bars made from ferrous material, their bearings and their actuation are free. Adjustable lever arms (no turning blades) may be used without adjustment from the cockpit.
- If the production axle is not fitting anti-roll bar, it may be added.
- The anti-roll bars may be disconnected but must remain in the car.
- 10.7 Springs**
- Cylindrical, linear steel springs are free; the combination of one helper with one suspension spring is allowed.
- The spring seats are free.
- Bump stops and packers are free.
- 10.8 Minimum Ride height**
- The minimum ride height has to be respected at any time during the event.
- For the checking of the minimum ride height, the pressure of the tyres must not be less than 1.5bars.
- Minimum Ride Height: 80mm.
- 10.9 Shock absorbers**
- Only commercial hydraulic 2 way adjustable shock absorbers are allowed.
All original internal parts offered by the manufacturer of the certified shock absorber in its commercial catalogues and free available on the market are allowed.
- Inertial shock absorbers and rolling contact bearings are forbidden.
- 10.10 Steering**
- The steering lock must be dismantled and the column adjusting system must be locked with tools. Steering column brackets may be replaced. The new brackets may be connected to the chassis or to the safety cage
- A catalogue closed steering wheel can be used. The fitting of displays, switches and control lights on the steering wheel is allowed if offered by the steering wheel supplier.
- It is possible to certificate a new steering rack. All components of the new one must be of OEM mass production origin with minimal modifications for race usage and parts matching. (Origin has to be proved). Chassis firewall could be locally modified to adapt new routing for steering column. Steering column could be modified to be adapted to new steering rack spline.
- The steering wheel must be fitted with a quick release system.
- 10.11 Power steering**
- For cars fitted with an automatically variable power steering the Technical Delegate may at any time oblige the competitor to use the reference unit FIA registered by the Manufacturer.
- In case of using different steering rack the correspondent assistance principle can be used with parts of OEM mass production origin.

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

ART.11	BRAKES
11.1	<p>Generals</p> <p>Master cylinder(s) are free; The type and make will be certified. Max brake diameter 380mm (width free); certified diameter and bells Steel brake discs (no ceramic coating allowed) Max 6 pistons front calliper Max 2 pistons rear calliper The brake callipers must be made from aluminium materials with a modulus of elasticity no greater than 80Gpa. Simple brake effort repartition system(s) (hydraulic or/and mechanic) is (are) allowed.</p>
11.2	<p>Brake fluid tanks</p> <p>The brake and clutch fluid tanks will be fixed in the engine bay. The brake fluid hoses may pass through the cockpit.</p>
11.3	<p>Brake cooling</p> <p>Ducts may be steel or aluminium sheet, flexible hoses or be made in composite material. Certified apertures in the bodywork may be used to bring the cooling air to the brakes. The connection of the air ducts to the certified apertures in the bodywork is free.</p> <p>Two supplementary openings in the front bumper may be done with no other function:</p> <ul style="list-style-type: none"> - The connection parts to the bumper will have an internal diameter of maximum 100mm, will not protrude more than 15mm above bumper's outer surface having transition radius to the bumper shape max 10mm. - Flexible or firm air ducts with maximal inside dimensions of nominal 100mm diameter for circular versions or the corresponding inside area for non-circular versions may be used. <p><u>Brake disc cooling :</u> Ducts must channel air towards the inner face of the brake disc and brake disc bell only and must not be bigger than the disc diameter.</p> <p><u>Brake calliper cooling :</u> Ducts may wrap the calliper up to a maximum of 20mm around it. Tape on the external air inlets to regulate the brake temperature is allowed (in car colour).</p>
11.4	<p>Parking brake</p> <p>The parking brake working on the brake system (not on the transmission) is mandatory. The production parking brake may be removed or replaced by a hydraulic valve or master cylinder operated manually by the driver without any intermediate system.</p>
ART. 12	WHEELS AND TYRES
12.1	<p>Generals</p> <p>Any system allowing the car to be driven without pressure in the tyres is forbidden. Pressure and temperature sensors are forbidden.</p>
12.2	<p>Dimensions</p> <p>Wheels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dimensions of the 4 wheels: identical - Rim's maximum dimensions : 10"x18" (width x diameter) - Complete wheel: Maximum width at 2bars : 280mm - The diameters at inner and outer rim edges must be identical with a tolerance of ± 2.0mm. - Wheel's minimum weight: 11kg - Wheel's material: Cast aluminium alloy - Wheel's Construction: Single unit - Metal inserts are allowed for the passage of the drive to the wheel. - Air extractors are forbidden. - Dry and wet weather tyres will have similar dimensions.
12.3	<p>Wheel visibility</p> <p>The upper part of the complete wheel (flange + rim + tire) in straight ahead position and above the wheel's centre must be vertically covered by the bodywork.</p>
12.4	<p>Wheel attachment</p> <p>Wheel fixations by bolts may be changed to studs fixations respectively knurled-head screws and steel nuts, provided that the number of fixation points, as mentioned above, remains unchanged.</p> <p>Certified wheel spacers are allowed.</p>
12.5	<p>Pressure control valves</p> <p>Pressure control valves on the wheels are forbidden.</p>

16

FIA Sport - Technical Department
 © WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
 WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

	ART. 13	COCKPIT
	13.1	Equipment permitted in the cockpit <p>The only components which can be added in the cockpit are:</p> <ul style="list-style-type: none">- Safety equipment and structures- Seat, instruments and any other controls necessary for driving including the brake balance adjuster- Electronic and electrical equipment; it is permitted to channel air towards the electronic equipment on condition that the ventilation devices comply with the present regulations.- team communication radio- Driver cooling and ventilation equipment- Ballast- Braking and clutch system hydraulic lines with properly secured connectors- Pneumatic jacks and their pipes- Battery- Fuel, hydraulic lines with properly secured connectors (App. J. Art. 253.3.2) <p>None of the above items may hinder cockpit exit or the driver's visibility.</p> <p>The above components must be covered where necessary by a rigid protective material to minimise injury, and their mountings must be able to withstand 25g deceleration.</p>
	13.2	Cockpit exit time <p>The driver, seated in his normal driving position, must be able to get out from the cockpit in 7 seconds through the driver's door and in 9 seconds through the passenger's door.</p> <p>For the purposes of these tests, the driver must be wearing all normal driving equipment, the seat belts must be fastened, the steering wheel must be in place, and the doors must be closed.</p>
	13.3	Test for helmet removal <p>With the driver seated in his normal driving position in the car with which he is entered, wearing a frontal head restraint system according to FIA Standard 8858-2010 (FIA List No. 29) appropriate to his size and with the seat harness tightened, it must be possible, that the helmet which the driver will wear in the race can be gently removed from his head without bending his neck or spinal column.</p>
17	ART. 14	SAFETY EQUIPMENT
	14.1	Fire extinguishers <p>All cars must be equipped with an extinguishing system homologated by the FIA in accordance with Article 253.7.2. (FIA Technical List 16). (Certification)</p>
	14.2	Safety belts <p>The safety belts must comply with FIA Standards N°8853/98. (FIA Technical List 24) and have to use the certified fixing points.</p>
	14.3	Rear view mirrors <p>The car must be fitted with 2 (two) production external rear view mirrors.</p>
	14.4	Driver Seat <p>The driver's seat must be FIA homologated and not modified:</p> <ul style="list-style-type: none">- FIA Standard 8855-1999 (FIA Technical List 12) using exclusively WSC certificated seat brackets. (Certification)- Several homologated seats of the certified seat model may be used with certificated seat brackets (Certification)- FIA Standard 8862-2009 (FIA Technical List 40) <p>Maximum total thickness of cushions used between the driver and the homologated seat is 50mm.</p> <p>If the original seat attachments points on the body shell are changed, the new attachments points for seat or seat supports must comply with the provisions of App. J, Art. 253.16.</p> <p>The seat must be mounted by means of at least four (4) M8 bolts of at least 10.9 quality.</p> <p>Seat position</p> <ul style="list-style-type: none">- Transversally: Seat centreline must not be less than 270mm from the car's centreline.- Longitudinally limit: No part of the seat may be situated beyond the vertical and transverse plane defined by the front edge of the original back seat. The most rear seat position will be documented in the Technical Form related to the chassis.
	14.5	General Circuit Breaker <p>The driver, when seated normally at the steering wheel with the safety belts fastened, must be able to cut off all the electrical circuits and switch off the engine by means of a spark-proof breaker switch.</p>

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

	<p>The switch must be positioned on the dashboard or in any other place easily accessible and must be able to be handled from inside the car by the driver seated and secured by his safety belts</p> <ul style="list-style-type: none">- An exterior General Circuit Breaker must be installed in compliance with Article 253.13 of the Appendix J Recommended location: at the lower part of the driver's side windscreen pillar.
14.6	<p>Protection Net</p> <p>A protective window net is compulsory.</p> <p>It must meet the following specifications:</p> <ul style="list-style-type: none">- the net must be made up of woven strips at least 19mm (3/4") wide;- the meshes must be a minimum of 25 x 25mm and a maximum of 60 x 60mm. The woven strips must be non-flammable and sewn together at each point of crossing. The net must not be of a temporary nature.- viewed from the side, it must reach from the centre of the steering wheel to the B-pillar. <p>Fixation:</p> <p>The net must be attached either to the safety cage or to the chassis, above the driver's window, by means of a rapid release system that will function even if the car turns over.</p> <p>The net must open from the top downwards when car is on wheels.</p> <p>The use of "Velcro" lock is not permitted.</p> <p>It must be possible to detach the net with one hand. To this end, the handle or lever must have coloured markings ("dayglo" orange).</p> <p>A push-button release system is authorised provided that it respects the prescriptions of this article.</p> <p>The push-buttons must be visible from the outside, be of a contrasting colour and be marked "press".</p> <p>If certified, Racing nets according to FIA 8863-2013 standard (Technical list n°48) must be used.</p> <p>Fixation: Racing nets must be attached to the certified mounting points following FIA specifications.</p>
14.7	<p>Towing devices</p> <p>All cars will be equipped with certified rear and front towing devices. It will be clearly visible and coloured in yellow, red or orange. The towing devices must be within the perimeter of the bodywork as viewed from above.</p> <p>It must allow the passage of a cylinder with a diameter of 60mm.</p> <p>It must allow moving the car with blocked wheels using the cars braking system on a dry surface (concrete or asphalt) by applying traction on a plane parallel to the ground, with an angle of $\pm 15^\circ$ to the longitudinal centreline of the car.</p> <p>The car must be fitted with the control dry weather tyres.</p> <p>Flexible towing devices must be always in good condition without abrasions or kinks.</p>
14.8	<p>Fuel system</p> <p>Fuel lines :</p> <p>Flexibles lines inside the cockpit must be of aviation quality (App. J, Art. 253.3.2).</p> <p>The installation is free provided that the prescriptions of App. J, Art. 253.3 are respected.</p>
14.9	<p>Hydraulic pressure lines</p> <p>App. J, Art. 253.3.2 applies.</p>
14.10	<p>Side Protection Panel</p> <p>A side protection panel, made of composite material, fixed to the body shell or the safety cage may be optionally used.</p>
ART. 15	<p>SAFETY STRUCTURES</p> <p>Safety cage</p> <p>The safety cage must be homologated or certified by an ASN (App. J, Art. 253.8.1.b), or homologated by the FIA (App. J, Art. 253.8.1.c).</p> <p>Article 253.8.4 of the Appendix J applies.</p>
ART. 16	<p>FUEL</p> <p>16.1 Fuel specification</p> <p>The fuel complies with FIA App. J, Art. 252.9 however not exceeding guaranteed Super Plus Quality 98 RON and 88 MON with maximum 5% ethanol content (EN228).</p> <p>The fuel must comply with the official samples at any time of the competition. Additives of any kind are forbidden.</p> <p>The fuel temperature may not be more than 20°C lower than the ambient temperature.</p> <p>16.2 Air</p> <p>Only air may be mixed with the fuel as an oxidant.</p>

18

FIA Sport - Technical Department
© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.
WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

XV. Normativa

12.03.2019

ART. 17

FINAL TEXT

The binding text of these regulations is the English version.

19

FIA Sport - Technical Department

© WSC - 2018-2019

These FIA-WTCR Technical Regulations are based on the TCR Technical Regulations which are the property of WSC.

WSC has granted a licence to the FIA and the official promoter of the Competition for the sole purposes of the organisation of the WTCR - FIA World Touring Car Cup. WSC reserves all its rights. Reproduction or distribution of this document, in whole or in part, without WSC's written permission is prohibited.

