



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHÍCULO DE INERCIA

MEMORIA PRESENTADA POR:

SALVADOR TEROL SERRANO

GRADO DE INGENIERÍA MECÁNICA

Convocatoria de defensa: [septiembre de 2017]

AGRADECIMIENTOS

En este Trabajo Final de Grado, primeramente, querría agradecer el apoyo de todas las personas que han acompañado en el camino de este mar de conocimientos y experiencias que se brindan en el periodo universitario. Pasando desde compañeros de clase hasta la “familia escogida” en esta etapa de la vida, aquellos que a pesar de dificultades y desilusiones siempre han puesto el hombro para que este momento se hiciera realidad.

Por otro lado, a la familia que han soportado las lágrimas de felicidad y tristeza han sabido cómo dar ese “empujón” que, toda persona necesita para superar todos los baches que se han presentado durante esta carrera. Gran parte de esta satisfacción es gracias a vosotros y a esas frases de “ya queda menos” que, aunque no se vea el fin, existe.

Por último, y no menos importante, a esa persona que quería disfrutar este fin, al menos poder haber visto el fruto de esos libros en el “taller”. Ha llegado el momento abuelo y aún sin poder apreciarlo, esto ha acabado y empieza la etapa que tu querías que llegara y lo dedico con emoción y entusiasmo.

Añado por último la frase de un cantautor que dice “Bendigo haber podido conocerlos” y esto es gracias a todos vosotros.

Gracias de corazón.

RESUMEN

En la actualidad se ha impuesto especial importancia a la eficiencia de los vehículos reduciendo así el consumo de combustible. Para ello, se han creado estructuras más ligeras en comparación a versiones anteriores y carrocerías más aerodinámicas.

Concretamente, en la parte de aerodinámica, se han presentado cambios mucho más notables debido a que hace unos años se presentaban carrocerías con líneas rectas. Esto producía una mayor oposición contra el viento, una peor estabilidad de los vehículos y un aumento notable de combustible en comparación a los modelos actuales. Este ámbito de la aerodinámica en automóviles se ha empezado a implementar hace relativamente poco tiempo, debido a que no tenía contraste con respecto a la aerodinámica en aviones.

De esta manera, este proyecto se centrará en el estudio y diseño de distintas carrocerías para un vehículo de inercia o también denominado carrilana, con el principal objetivo de reducir la resistencia contra el viento generada durante las competiciones a las que están sometidos dichos vehículos. De igual manera, se buscarán materiales ligeros que suponga el menor peso posible en el conjunto del vehículo.

Palabras clave:

Carrocería, vehículo de gravedad, carrilana, vehículo de inercia, Goitibehera.

RESUM

En l'actualitat s'ha imposat especial importància a l'eficiència dels vehicles reduint així el consum de combustible. Per a això s'han creat estructures més lleugeres en comparació a versions anteriors i carrosseries més aerodinàmiques.

Concretament, en la part d'aerodinàmica, s'han presentat canvis molt més notables pel fet que fa uns anys es presentaven carrosseries amb línies rectes. Açò produïa una major oposició contra el vent, una pitjor estabilitat dels vehicles i un augment notable de combustible en comparació als models actuals. Este àmbit de l'aerodinàmica en automòbils s'ha començat a implementar fa relativament poc de temps, pel fet que no tenia contrast respecte a l'aerodinàmica en avions.

D'esta manera, este projecte se centrarà en l'estudi i disseny de distintes carrosseries per a un vehicle d'inèrcia o també denominat carrilana, amb el principal objectiu de reduir la resistència contra el vien

Palabras clave:

Carrosseria, vehicle de gravetat, carrilana, vehicle de inèrcia, Goitibehera.

ABSTRACT

Nowadays, the efficiency of vehicles have more importance than before, because it should to reduce fuel consumption. For this, they had created lighter structures than previous versions and better aerodynamic bodies

Specifically, in the aerodynamic part, there had presented changes much more remarkable because a few years ago the bodies used to have straight lines. It produced greater opposition to the wind, worse stability of the vehicles and a remarkable increase of fuel compared to the current models. This area of automotive aerodynamics has started to be implemented recently, because it had no contrast with aerodynamics in airplanes.

In this way, this project will focus in the study and design of different bodies for an inertia's vehicle or also it called "carrilana", with the main objective of reducing the resistance against the wind generated during the competitions to which the vehicles are subjected. In the same way, in this project will be sought light materials which to reduce weight in the whole of the vehicle.

Palabras clave:

Body, vehicle of gravity, carrilana, inertia's vehicle, Goitibehera.

ÍNDICE

OBJETIVO DEL PROYECTO	2
JUSTIFICACIÓN	3
TEMPORALIZACIÓN	3
1. INTRODUCCIÓN A LA COMPETICIÓN	1
2. IMPORTANCIA DE LA AERODINÁMICA	3
2.1 Historia de la aerodinámica	3
2.2 La eficiencia en la aerodinámica	10
3. Normativa.....	14
4. Estado del arte	17
4.1.1 Carrilanas de madera (con o sin rodamientos)	17
4.1.2 Neumática G1	17
4.1.3 Neumáticas G2	18
4.1.4 Carrilanas neumáticas C1, C2, C3, C4	18
4.1.5 Carrilanas neumáticas C8 y C9.....	19
5. CONCEPTOS AERODINÁMICOS	20
5.1 Efecto del peso en la aerodinámica de los vehículos	20
5.2 Aplicación a carrilanas	21
5.2.1 Aceleración	22
5.2.2 Deceleración	23
5.2.3 Frenos y suspensiones	25
5.2.4 Colocación y elección de lastres	26
5.3 Introducción a la aerodinámica. Aplicación a carrilanas	27
5.3.1 Bernoulli.....	27

5.3.2	Efecto Venturi	28
5.3.3	Leyes de Newton	28
5.3.4	Capa límite	29
5.3.5	Flujo laminar y turbulento	30
5.3.6	Efecto suelo	30
5.4	Resistencia aerodinámica	32
6.	MÉTODOS EXPERIMENTALES	34
6.1	Ensayo con parafinas	34
6.2	Ensayo con aceites o talco	35
6.3	Túnel de viento	35
7.	CONDICIONES DE VUELCO Y DERRAPE EN UNA CARRILANA	36
7.1.1	Comportamiento a 5 <i>m/s</i>	39
7.1.2	Comportamiento a 10 <i>m/s</i>	40
7.1.3	Comportamiento a 25 <i>m/s</i>	40
7.1.4	Comportamiento a 30 <i>m/s</i>	42
7.1.5	Comportamiento a 35 <i>m/s</i>	43
7.1.6	Comportamiento a 38.27 <i>m/s</i>	44
7.2	Gráficas de comportamiento	45
8.	CUESTIONES DE MEJORA	48
8.1	Software	49
8.2	Modelos de vehículos de inercia	50
8.2.1	Primera carrocería	51
8.2.2	Segunda carrocería	52
8.2.3	Tercera carrocería	54
8.2.4	Cuarta carrocería	55
9.	RESULTADOS	56

9.1	Estudio de la primera carrocería.....	56
9.1.1	Caso 1: Velocidad de 5 m/s	57
9.1.2	Caso 2: Velocidad de 10 m/s	59
9.1.3	Caso 3: Velocidad de 25 m/s	61
9.1.4	Caso 4: Velocidad de 30 m/s	63
9.1.5	Caso 5: Velocidad de 35 m/s	65
9.1.6	Caso 6: Velocidad de 38.27 m/s	67
9.2	Estudio de la segunda carrocería.....	69
9.2.1	Caso 1: Velocidad de 5 m/s	70
9.2.2	Caso 2: Velocidad de 10 m/s	70
9.2.3	Caso 3: Velocidad de 25 m/s	72
9.2.4	Caso 4: Velocidad de 30 m/s	73
9.2.5	Caso 5: Velocidad de 35 m/s	74
9.2.6	Caso 6: Velocidad 38.27 m/s	75
9.2.7	Comparativa de ambas carrocerías	76
9.3	Estudio de la tercera carrocería.....	78
9.3.1	Caso 1: Velocidad de 10 m/s	78
9.4	Estudio de la cuarta carrocería	81
9.4.1	Caso 1: Velocidad de 5 m/s	81
9.4.2	Caso 2: Velocidad de 10 m/s	83
9.4.3	Caso 3: Velocidad de 25 m/s	84
9.4.4	Caso 4: Velocidad de 30 m/s	86
9.4.5	Caso 5: Velocidad de 35 m/s	87
9.4.6	Caso 6: Velocidad de 38.27 m/s	88
9.5	Optimización de la cuarta carrocería.....	91
9.5.1	Modificación del frontal del prototipo	91

9.5.2	Modificaciones en la parte superior de la carrocería.....	95
9.5.3	Difusores traseros en la carrocería.....	98
9.5.4	Nuevo modelo	101
9.5.5	Coefficiente de penetración obtenido.....	102
10.	CÁLCULO DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL.....	103
10.1	Resina epoxi con fibra de vidrio.....	105
10.2	Resina poliéster con fibra de vidrio	107
11.	MOLDE PARA PROTOTIPO OPTIMIZADO.....	109
12.	PROPUESTAS DESESTIMADAS.....	112
12.1	Quinta carrocería	112
12.1.1	Caso 1: Velocidad de 10 <i>m/s</i>	113
12.1.2	Caso 2: Velocidad de 30 <i>m/s</i>	115
12.1.3	Valor de <i>c_x</i>	117
13.	MATERIAL Y CONFORMADO.....	117
13.1	Material.....	117
13.2	Conformado	119
14.	PLANOS.....	121
15.	PRESUPUESTOS.....	122
16.	PLIEGO DE CONDICIONES	124
17.	APLICACIONES FUTURAS	125
17.1	Ruedas carenadas	126
17.2	Carenado del sistema de suspensión y dirección	126
17.3	Perfiles en brazos de suspensión	127
17.4	Mejoras en la carrocería desestimada.....	128
	CONCLUSIONES.....	129
	BIBLIOGRAFÍA	131

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación Peso-Potencia.....	21
Tabla 2. Comportamiento a 5 m/s.....	39
Tabla 3. Comportamiento a 10 m/s.....	40
Tabla 4. Comportamiento a 25 m/s.....	41
Tabla 5. Comportamiento a 30 m/s.....	42
Tabla 6. Comportamiento a 35 m/s.....	43
Tabla 7. Comportamiento a 38.27 m/s.....	44
Tabla 8. Comparativa a 5 m/s.....	76
Tabla 9. Comparativa a 10 m/s.....	77
Tabla 10. Comparativa a 25 m/s.....	77
Tabla 11. Comparativa a 30 m/s.....	77
Tabla 12. Comparativa a 35 m/s.....	77
Tabla 13. Comparativa a 38.27 m/s.....	77
Tabla 14. Consumo de fibra y resina	122
Tabla 15. Presupuesto global de la fabricación de la carrocería.....	123

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Goitibehera C4.....	2
Figura 2. Carrilana Gx	2
Figura 3. Vehículos Ford T e Hispano Suiza	3
Figura 4. Vehículo Rumpler Tropfenwagen	4
Figura 5. Túnel Volkswagen	4
Figura 6. Búho volando.....	5
Figura 7. Chrysler Airflow	6
Figura 8. Tatra 77 A.....	6
Figura 9. Saab 92.....	7
Figura 10. V2 Sagitta	7
Figura 11. Chevrolet Corvette	8
Figura 12. Ferrari F12.....	9
Figura 13. Spoiler	9
Figura 14. Efectos sobre un cuerpo	11
Figura 15. Fuerzas neumático-calzada	12
Figura 16. Volkswagen Golf MK1.....	13
Figura 17. Lancia Stratos.....	13
Figura 18. Opel Calibra	14
Figura 19. Dimensiones exigidas C4	15
Figura 20. Ruedas para Goitibehera	15
Figura 21. Ejemplos arco seguridad.....	16
Figura 22. Carrilana madera	17
Figura 23. Neumática G1	18
Figura 24. Carrilana G2	18
Figura 25. Carrilana CX.....	19
Figura 26. Carrilana.....	19
Figura 27. Categoría C8, C9.....	20
Figura 28. Fuerzas sobre un vehículo	22
Figura 29. Resistencia a la rodadura.....	24
Figura 30. Suspensión y frenado	25

Figura 31. Efecto Venturi	28
Figura 32. 3º Ley Newton	28
Figura 33. Capa límite en ala	29
Figura 34. Flujo laminar y turbulento	30
Figura 35. Vehículo Lotus en los años 80	31
Figura 36. Efecto suelo en la Formula 1	31
Figura 37. Citroën Gs	33
Figura 38. Fiat Balilla.....	33
Figura 39. Estudio de la NASA	35
Figura 40. Túnel de viento	36
Figura 41. Visualización	37
Figura 42. Vehículos de inercia.....	49
Figura 43. Chasis.....	51
Figura 44. 1º carrocería.	51
Figura 45. Vehículo modelizado	52
Figura 46. 2º carrocería	53
Figura 47. Segunda carrocería	54
Figura 48. Tercer modelo	54
Figura 49. Cuarta carrocería	55
Figura 50. Presiones a 5 m/s.....	57
Figura 51. Presiones inferiores a 5 m/s	58
Figura 52. Velocidad a 5 m/s	58
Figura 53. Velocidades inferiores a 5 m/s	59
Figura 54. Presiones a 10 m/s.....	59
Figura 55. Presiones inferiores a 10 m/s	60
Figura 56. Velocidad a 10 m/s	60
Figura 57. Velocidades inferiores a 10 m/s	61
Figura 58. Presiones a 25 m/s.....	61
Figura 59. Presiones inferiores a 25 m/s	62
Figura 60. Velocidad a 25 m/s	62
Figura 61. Velocidades inferiores a 25 m/s	63
Figura 62. Presiones a 30 m/s.....	63

Figura 63. Presiones inferiores a 30 m/s	64
Figura 64. Velocidad a 30 m/s	64
Figura 65. Velocidades inferiores a 30 m/s	65
Figura 66. Presiones a 35 m/s.....	65
Figura 67. Torbellinos en presión a 35 m/s	66
Figura 68. Velocidad a 35m/s	66
Figura 69. Torbellinos en velocidad a 35 m/s.....	67
Figura 70. Presiones a 38.27 m/s	67
Figura 71. Torbellinos en presiones a 38.27 m/s	68
Figura 72. Velocidad a 38.27 m/s	68
Figura 73. Torbellinos en velocidad a 38.27 m/s.....	69
Figura 74. Presiones.....	71
Figura 75. Flujo sobre el vehículo	71
Figura 76. Velocidades.....	72
Figura 77. Presiones sobre el piloto	73
Figura 78. Velocidades tras el piloto	74
Figura 79. Presiones a 35 m/s.....	74
Figura 80. Velocidad a 35m/s	75
Figura 81. Presiones a 10 m/s.....	79
Figura 82. Presiones superiores a 10 m/s.....	79
Figura 83. Velocidades a 10 m/s.....	80
Figura 84. Velocidades superiores en 10 m/s	80
Figura 85. Presiones a 5 m/s.....	82
Figura 86. Velocidades a 5 m/s.....	82
Figura 87. Presiones a 10 m/s.....	83
Figura 88. Velocidades a 10 m/s.....	84
Figura 89. Presiones a 25 m/s.....	85
Figura 90. Velocidades a 25 m/s.....	86
Figura 91. Presiones a 30 m/s.....	86
Figura 92. Velocidades a 30 m/s.....	87
Figura 93. Presiones a 35 m/s.....	88
Figura 94. Velocidad a 35 m/s	88

Figura 95. Presiones a 38.27 m/s	89
Figura 96. Presiones inferiores a 38.27 m/s	89
Figura 97. Velocidades a 38.27 m/s.....	90
Figura 98. Velocidades inferiores 38.27 m/s.....	90
Figura 99. Team Lotus	92
Figura 100. Frontal sin mejora.....	92
Figura 101. Frontal tras la mejora	92
Figura 102. Frontal sin mejoras	93
Figura 103. Frontal mejorado	94
Figura 104. Velocidad en el frontal sin mejoras	94
Figura 105. Velocidad en el frontal mejorado.....	95
Figura 106. Mejora parte superior	95
Figura 107. Presiones modelo inicial	96
Figura 108. Velocidades modelo inicial	96
Figura 109. Comportamiento zona trasera	97
Figura 110. Presiones.....	97
Figura 111. Presiones en el prototipo	98
Figura 112. Velocidades en el prototipo	98
Figura 113. Presiones modelo sin mejora	99
Figura 114. Presiones modelo mejorado	100
Figura 115. Velocidades modelo sin mejoras.....	100
Figura 116. Velocidades modelo mejorado.....	101
Figura 117. Carrilana mejorada	102
Figura 118. Carrilana mejorada posterior	102
Figura 119. Fuerzas aplicadas en el estudio	104
Figura 120. Sujeciones de la carrocería	104
Figura 121. Fijación en la pletina	105
Figura 122. Desplazamiento de la zona superior	106
Figura 123. Desplazamientos de la zona inferior	106
Figura 124. Tensiones Von Mises	106
Figura 125. Factor de seguridad	107
Figura 126. Desplazamientos en la parte superior.....	107

Figura 127. Desplazamientos en la parte inferior	108
Figura 128. Fijaciones en chasis real	108
Figura 129. Tensión de Von Mises.....	109
Figura 130. Factor de seguridad	109
Figura 131. Modelo para realizar el molde	110
Figura 132. Parte inferior del molde	110
Figura 133. Parte superior del molde	111
Figura 134. Pletina molde.....	111
Figura 135. Prototipo.....	112
Figura 136. Presiones a 10 m/s.....	113
Figura 137. Presiones superiores a 10 m/s	114
Figura 138. Velocidades a 10 m/s.....	114
Figura 139. Velocidades inferiores a 10 m/s	115
Figura 140. Presiones a 30 m/s.....	115
Figura 141. Presiones desde la parte superior	116
Figura 142. Velocidades a 30 m/s.....	116
Figura 143. Velocidades superiores a 30 m/s.....	117
Figura 144. Elección de material CES EDUPACK	118
Figura 145. Resina y fibra de vidrio empleada en el laboratorio del centro de enseñanza	118
Figura 146. Aplicación en la segunda carrocería.....	119
Figura 147. Proceso por capas manual.....	119
Figura 148. Aplicación del método en la primera carrocería	120
Figura 149. Fabricación de la segunda carrocería en el centro de enseñanza	120
Figura 150. McLaren carenado.....	126
Figura 151. Modelo alemán de competición.....	127
Figura 152. Perfiles en un F1	127
Figura 153. Modelo desestimado mejorado	128

Listado de simbología

<i>Símbolo</i>	<i>Unidades</i>	<i>Descripción</i>
m	kg	Masa
P	Cv	Potencia
a	m/s^2	Aceleración
F	N	Fuerza
g	m/s^2	Aceleración de la gravedad
R _v	N	Resistencia a la rodadura
f	-	Coeficiente de rodadura
μ	-	Coeficiente aerodinámico
r _r	m	Radio de la rueda
F _t	N	Fuerza a resistir en el avance
R _a	N	Resistencia aerodinámica
R _m	N	Resistencia mecánica
ρ	kg/m^3	Densidad del aire
v	m/s	Velocidad
h	m	Altura
p	MPa	Presión
C _x	-	Coeficiente de penetración
A	m ²	Área
F _c	N	Fuerza centrífuga
F _r	N	Fuerza de rozamiento
N ₁ y N ₂	N	Reacciones de las ruedas con respecto al suelo
R	m	Radio de curvatura

OBJETIVO DEL PROYECTO

En primer lugar, se tendrá en cuenta que el vehículo en estudio es un monoplaza de inercia conocido así de forma genérica o “carrilana”, denominado así en lugares como Asturias o Galicia. Éstos vehículos son destinados a carreras con descensos por asfalto sin ningún tipo de propulsión donde solamente actúa la fuerza de la gravedad sobre ellos.

Por tanto, se destaca el concepto de aerodinámica, ya que constantemente se nombrará en este proyecto. Dicha definición abarca los distintos movimientos ocasionados por los gases sobre los cuerpos estacionados o el comportamiento de éstos cuando se encuentran en movimiento con respecto al flujo.

El objetivo de este proyecto es realizar un análisis de dos carrocerías fabricadas en un centro de enseñanza y, posteriormente, ofrecer mejoras y propuestas de otros modelos para conseguir una mejor aerodinámica cuando éste se encuentra en movimiento. Dicha mejora supone una reducción de la resistencia producida por el contacto del aire con el vehículo, reduciendo así su coeficiente aerodinámico, el cual marca cuanto de aerodinámico es un cuerpo. Gracias a esto se reducirá la inercia necesaria para mantener en movimiento el vehículo en estudio. Estos vehículos llevan ligado unas restricciones de longitud, ancho y batalla, por lo que se tendrá en cuenta al realizar todos los diseños de carrocerías, tanto si están implementados ya, como si es de nuevo diseño. Además de estas restricciones se cuenta con puntos a tener en consideración como, por ejemplo; dirección por volante (manillar no), el diseño debe estar basado en el de un coche, con dos ejes y 4 ruedas quedando autorizado el uso de sistema de suspensión en dicha competición.

Por consiguiente, se estudiarán las distintas influencias que tienen lugar en el vehículo como por ejemplo el material utilizado en la fabricación de la carrocería del prototipo el cual va directamente ligado al proceso de fabricación del conjunto.

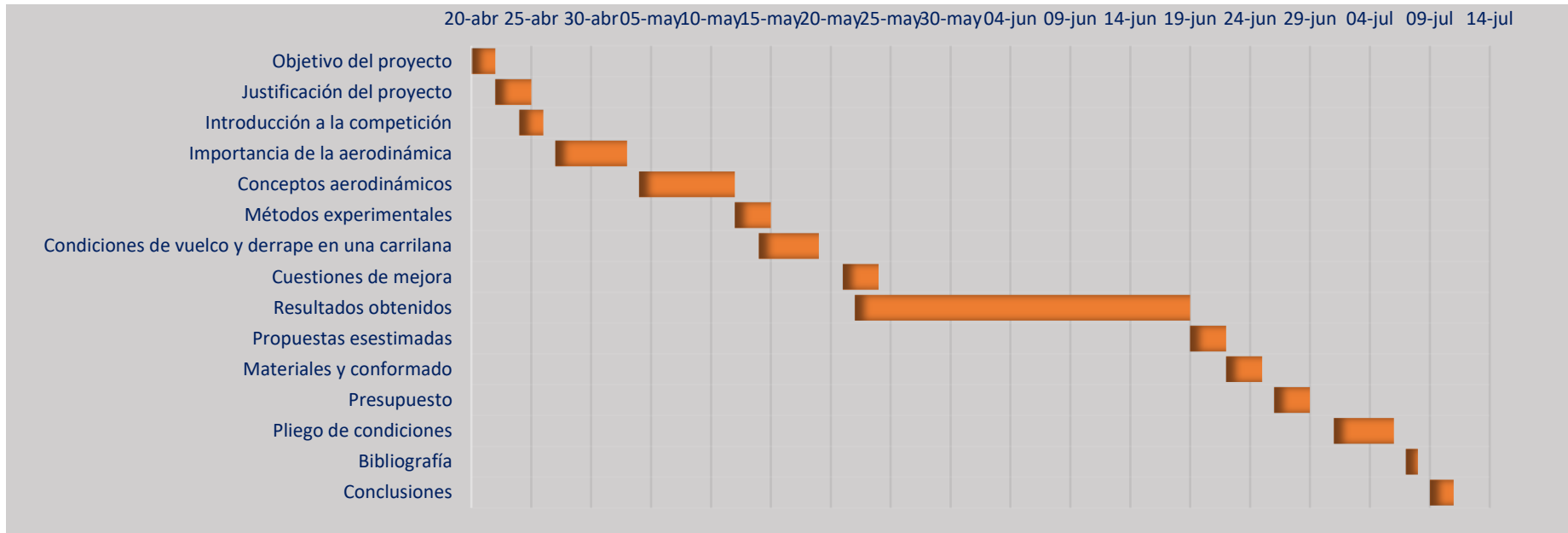
JUSTIFICACIÓN

El motivo de la realización de este proyecto es la necesidad de resolver los problemas existentes con la carrocería actual del vehículo y, por tanto, mejorar ésta con aristas más suaves y formas más redondeadas. Posteriormente se procederá a diseñar un nuevo modelo con una reducción de peso en comparación al anterior modelo y con una resistencia aerodinámica mejorada. Con esta mejora permitirá que el vehículo tenga un paso por curva mejorado debido a que el flujo de aire incide sobre el monoplaza de forma óptima dependiendo de las condiciones de la curva. En el resto de condiciones, como puede ser en una recta, el vehículo al haber reducido su coeficiente de resistencia contra el aire, alcanzará una velocidad máxima mayor y además podrá mantener una velocidad prácticamente constante a lo largo del circuito.

Por otro lado, otro principal motivo de realizar este proyecto, es el desarrollo de técnicas realizadas a lo largo del grado, como cálculos de resistencia aerodinámica, y estudios de mejora de materiales y resistencia, y la obtención del título de Ingeniería Mecánica. Por tanto, se pone en práctica en un caso real, todas las herramientas utilizadas a lo largo del grado como por ejemplo el uso de programas para optimizar las formas del sólido, peso o resistencia que éste pueda tener.

TEMPORALIZACIÓN

A continuación se muestra en la *Gráfica 1* el diagrama de Gantt de la distribución de tiempos a lo largo de la realización del proyecto. En el gráfico se representan los días dedicados al proyecto suponiendo cada 5 días un total de 30 horas realizadas. Esto supone una media de 6 horas al día de dedicación al proyecto hasta un total de 450 horas, por lo que finalmente se resume a una realización en 2,5 meses.



Gráfica 1. Diagrama de Gantt

1. INTRODUCCIÓN A LA COMPETICIÓN

La competición de vehículos de inercia o carrilanas se considera como el deporte más antiguo que existe en la actualidad. Se comenzó hace unas décadas en fiestas de barrios o pueblos como diversión, llegando a combinarse con la competición y convertirse en un deporte declarado por la Federación de Deportes de Inercia. Dicha competición trata del descenso de carreras por puertos o carreteras en general con pendientes con vehículos de 3 o 4 ruedas, los cuales cuentan con dirección y frenos. La peculiaridad de éstos es que no cuentan con ninguna propulsión mecánica ni eléctrica, sino que dependen en su totalidad de la aceleración de la gravedad.

Los vehículos que pertenecen a esta competición son conocidos de distintas formas tales como:

- Goitik Behera o Goitibeheras en Euskadi y Navarra.
- Carretons o Cars de Coixinets en la Comunitat Valenciana o Cataluña.
- Carrilanas en el resto de España

Existen distintos tipos de carrilanas dependiendo del tipo de ruedas que se utilicen. Por un lado, se encuentran las neumáticas y las de rodamientos.

Las goitibeheras neumáticas cuentan con ruedas de igual forma que las de una moto, siendo así las más rápidas sobrepasando los 130 km/h.

Dentro de este grupo, se encuentra la categoría C4 *Figura 1*, las cuales cuentan con 4 ruedas con formas de carrocerías muy bajas y aerodinámicas. Cuenta con suspensiones y frenos y todo tipo de sistemas de seguridad, como el arnés de 4 o 5 puntos o los arcos de seguridad antivuelco.



Figura 1. Goitibehera C4

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=categories&op=newindex&catid=86>

Además, en este grupo se cuenta la categoría Gx, que es la tradicional en España, que trata de vehículos de 2 plazas con 3 o 4 ruedas. El significado de que ocupen dicho vehículo dos personas, es que el piloto controla los frenos y la dirección, y el copiloto se inclinará en las curvas para no perder el control. Para efectuar la salida, se tendrá que empujar al vehículo, y posteriormente se saltará dentro de él en marcha.

Finalmente, como grupo diferente dentro de las carrilanas, son las de rodamientos, que no disponen de neumáticos, rodando así con rodamientos metálicos.



Figura 2. Carrilana Gx

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=11>

2. IMPORTANCIA DE LA AERODINÁMICA

2.1 Historia de la aerodinámica

Desde el comienzo de la producción de vehículos, no se ha tenido en cuenta el aspecto aerodinámico hasta los últimos 30 años con la aparición de carreras de vehículos como las 500 millas de Indianápolis o el desarrollo de la Formula 1. Primeramente, se optó por carrocerías muy cuadradas, altas y con capotas o techos convertibles.



Figura 3. Vehículos Ford T e Hispano Suiza

Fuente: <http://www.elfinanciero.com.mx/bloomberg/manejar-un-ford-t-de-1914-te-ensenara-de-nuevo-a-usar-un-coche.html>

Hay que destacar la opinión de Enzo Ferrari que hizo que el mal comienzo de la aerodinámica sobre los vehículos, comenzara a ser implementada de manera que afirmó; “La aerodinámica es para fracasados que no saben hacer motores.”-Enzo Ferrari. Esta cita se le atribuye a Enzo Ferrari con la cual se remarcaba la importancia de la potencia de los propulsores de sus automóviles deportivos.

Por tanto, por los años 70 se comenzó a realizar los primeros intentos aerodinámicos en la reducción de la fricción y se implementó en la primera carrera de coches para reducir la resistencia y fue en Tropfenwagen en 1921 con un vehículo fabricado por Rumpler Tropfenwagen.



Figura 4. Vehículo Rumberg Tropfenwagen

Fuente: http://www.focus.de/auto/gebrauchtwagen/oldtimer/aerodynamik-legende-goettinger-ei-rollende-flugzeug-tragflaeche_id_4411461.html

Dicho prototipo comenzó con un motor W6 con 35 cv poco eficaz, el cual fue mejorando hasta convertirse en un motor de 4 cilindros en línea de 50 cv. Se fabricó hasta el año 1925. En los años 80 se ensayó en el túnel de viento perteneciente a Volkswagen obteniendo un valor de resistencia contra el aire baja. A raíz de esto, la compañía de Volkswagen diseñó el modelo Passat, que reduciría la resistencia contra el aire que presentaba el Tropfenwagen



Figura 5. Túnel Volkswagen

Fuente: http://www.carstyling.ru/en/car/1921_rumberg_tropfenwagen/images/27657/

El vehículo compitió en el Gran Premio de Europa en Monza el 9 de septiembre de 1923. Dos de los tres vehículos finalizaron la carrera y eran conocidos por su perfecto manejo, aunque eran vehículos de poca potencia en comparación a los Fiat sobrealimentados de la misma era. Además, el 16 de mayo de 1925 Rosenberger ganó la última carrera que se disputaría de Tropfenwagen, implementando el motor en la parte trasera del vehículo tal y como Benz había propuesto. Esto no obtuvo mucho éxito

y la compañía regresó a la construcción de motores con motor delantero. Tras dicha carrera, se observó la forma de los pájaros y peces a la hora de moverse por diferentes fluidos para conseguir mayores velocidades. De esta forma, se comenzaron a implementar los primeros estudios de la aerodinámica en la automoción y se optó por adoptar la forma de gota de agua en diseños posteriores. Por tanto, la idea por la que surgió este diseño es la silueta de un búho volando representada en la *Figura 6*, debido a que es totalmente aerodinámico y ofrece una resistencia contra el aire mínima.



Figura 6. Búho volando

Fuente: <http://viejospellejos.com/post/47445235621/b%C3%BAho-volando>

Se comienzan a buscar coches eficientes tal y como se puede apreciar en la *Figura 7*, volviéndolos más ligeros y con una altura menor en comparación a modelos anteriores desembocando así en una mejora notable de aerodinámica. Se mejora así la aerodinámica carenando las ruedas incluyéndolas así en la carrocería y creando menos oposición al viento. Además de esta mejora, se opta por las formas redondeadas de la carrocería y alturas bajas para evitar en mayor parte del rozamiento con el aire. El lanzamiento de dichas mejoras se ven plasmadas en el vehículo Chrysler Airflow del año 1934 mostrado en la *Figura 7*. Chrysler Airflow.

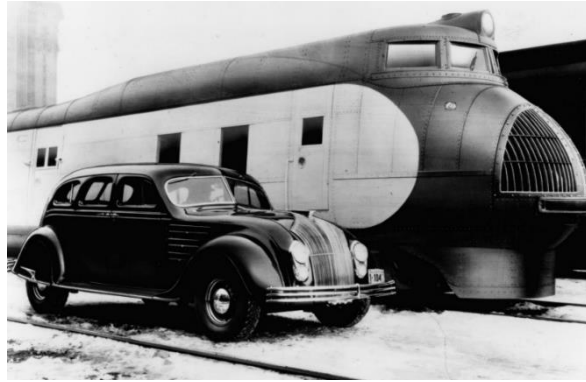


Figura 7. Chrysler Airflow

Fuente: <http://www.diariomotor.com/2010/06/16/chrysler-airflow-el-primer-coche-disenado-en-el-tunel-de-viento/>

Un año más tarde se lanza el vehículo Tatra 77 A representado en la *Figura 8* con una resistencia de la mitad con respecto al Chrysler Airflow. Se mejora notablemente de un año a otro la mejora aerodinámica de un vehículo con respecto a otro.



Figura 8. Tatra 77 A

Fuente: <http://coopertechnica.com/1934-Tatra-T77.php>

En el año 1947 se lanza un prototipo de un vehículo de cuatro plazas y dos puertas con una carrocería optimizada aerodinámicamente. El modelo es el Saab 92 con una resistencia contra el aire baja y con una carrocería con una forma muy redondeada.



Figura 9. Saab 92

Fuente: <http://the-rdn.com/2010/04/muller-quiere-construir-nuevo-saab-92/>

En ese mismo año se lanza un vehículo de carácter futurista con motor bóxer con 24 cv diseñado por Volkshart y con estructura de aluminio. Éste se representa en la *Figura 10* recibe el nombre de V2 Sagitta, que cuenta con un motor de 1100 cm³ en disposición bóxer como se ha reflejado anteriormente. Cuenta además con una superficie frontal de 2.1 m² que provoca que la resistencia contra el aire sea mínima debido a sus formas curvas y su parte trasera sin cambios bruscos de sección.



Figura 10. V2 Sagitta

Fuente: <https://www.pinterest.com/pin/269864202648012484/>

Con el paso del tiempo, se fueron mejorando las carrocerías para conseguir formas más aerodinámicas con la intención de aumentar la seguridad y mejorar el comportamiento de los vehículos.

En 1963 se comenzó a implantar carrocerías más deportivas y de un carácter más agresivo en cuanto a las formas definidas de los vehículos. Un ejemplo claro es el primer Chevrolet Corvette C2 representado en la *Figura 11* debido a que se buscó que la posición de los ocupantes y el centro de gravedad fuesen más bajos para una mayor estabilidad y una mejor carga aerodinámica, junto con una suspensión trasera independiente. Con esto se convirtió en un deportivo de primera clase de los años 1962 hasta los años 70 donde llegó su predecesor, el Corvette C3.



Figura 11. Chevrolet Corvette

Fuente: <http://www.amcarguide.com/muscle-cars/chevrolet-corvette-c2-1963-1967-sting-ray/>

A partir de esta década, se comienzan a implementar ensayos más exigentes en la aerodinámica como, por ejemplo, el túnel de viento que determinaba el comportamiento del automóvil y los aspectos generales a mejorar de cada vehículo. Esta invención iba ligada a la firma de Pininfarina con sus modelos exclusivos y aerodinámicos, y el Centro Nacional de Investigación Italiana (CNR). Por tanto, en los años 80, la fábrica Ford lanzó su modelo Probe aumentando las prestaciones aerodinámicas en el terreno de la producción en serie de vehículos. A raíz de estas innovaciones, hasta el día de hoy se tiene muy en cuenta el aspecto aerodinámico de los vehículos cada vez en más ámbitos del motor.

Por último, una de las últimas innovaciones realizadas por marcas importantes del motor, son el uso de branquias al final de los vehículos, en el caso de Ferrari, spoilers traseros para generar carga aerodinámica, difusores en la parte trasera y pequeños alerones a ras de suelo en la parte delantera. Todo esto con el fin de mejorar la aerodinámica debido a que fusionan elegancia con optimización aerodinámica. En el

caso del Ferrari F12 representado en la *Figura 12* se han presentado numerosas mejoras debido a que se ha implantado branquias para aumentar la carga aerodinámica de forma notable para permitir que el vehículo quede adherido al suelo en todo momento.



Figura 12. Ferrari F12

Fuente: http://auto.ferrari.com/es_ES/automoviles/gama/f12tdf/#Innovaciones-aerodynamics-3

En cuanto al spoiler que cuenta esta unidad de Ferrari *Figura 13* que se encarga también de generar una carga aerodinámica y permitir que el flujo derive hacia arriba en la parte trasera del vehículo, con la intención de incrementar la adherencia y eliminar la succión de flujo en la parte trasera del vehículo.



Figura 13. Spoiler

Fuente: http://auto.ferrari.com/es_ES/automoviles/gama/f12tdf/#Innovaciones-aerodynamics-3

2.2 La eficiencia en la aerodinámica

Uno de los principales motivos de apostar por la optimización de la aerodinámica en los vehículos fue la crisis del petróleo en el año 1973 *Gráfica 2*. Ésta comenzó por la decisión de no exportar más petróleo por parte de la Organización de Países Árabes Exportadores de Petróleo debido al apoyo ofrecido por algunos países hacia Israel en la guerra de Yom Kippur. Esta medida afectaba en gran parte a Estados Unidos y a sus aliados de Europa Occidental. Por tanto, teniendo en cuenta la fuerte dependencia del petróleo de los países más industrializados, esto provocó una reducción notable de la actividad laboral y económica de los países que se encontraban dentro de dicha exportación. Por este motivo, inmediatamente se comenzaron a incrementar el precio del petróleo debido a la inexistencia de este en los países afectados. De este modo, la era del vehículo americano se terminó de forma repentina debido a los altos consumos que desarrollan estos vehículos y se comenzaron a optar por motorizaciones de cuatro cilindros y coches de origen japonés.



Gráfica 2. Precio del petróleo

Fuente: <http://noticiasdemusica-albaymarina.blogspot.com.es/2011/05/la-crisis-del-petroleo-1973.html>

Con respecto a los coeficientes que influyen en el desplazamiento de una carrilana existen tres, referentes a los tres ejes de coordenadas. En primer lugar, en el eje X que hace referencia a resistencia hacia adelante o hacia atrás, de manera que frene o acelere el vehículo. Con respecto al eje Y, actúan fuerzas de orientación izquierda o

derecha con respecto a la carrilana, que hacen referencia a la fuerza que ejerce el flujo de aire cuando incide de una forma inclinada teniendo en cuenta la sección lateral. Por último, en el eje Z hace referencia a fuerzas que son soportadas hacia arriba o hacia abajo, la cual determina el nivel de agarre de las ruedas sobre el asfalto. En la *Figura 14* se observa los distintos efectos que se pueden presentar en un cuerpo cuando éste se desplaza.

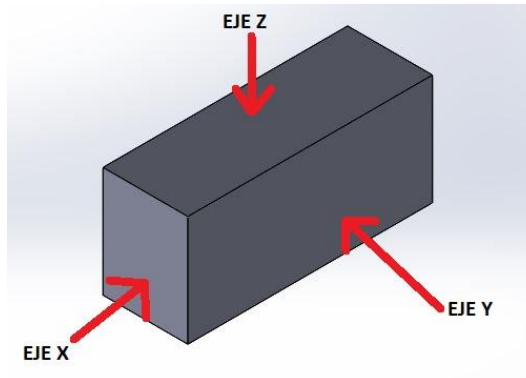


Figura 14. Efectos sobre un cuerpo

Asimismo, existen coeficientes de rozamiento del neumático sobre el asfalto, para permitir así el movimiento de la carrilana sin deslizarse por éste perdiendo así el control. De esta manera, se pueden diferenciar en el coeficiente aerodinámico C_x y el coeficiente de sustentación, C_z . El coeficiente aerodinámico será una base indispensable de este proyecto, ya que es uno de los valores que determinará la carrocería más optimizada ya que, éste se refiere a la forma en la que el vehículo perturba el aire cuando lo atraviesa. En cuanto al valor del coeficiente de agarre, marcará la carga que soportan los neumáticos en función de la velocidad, debido a que un coeficiente positivo implica una disminución de la carga sobre éstos y un coeficiente negativo un aumento de carga. El significado de esto, es que una disminución de carga sobre las ruedas de la carrilana es un efecto indeseable, debido a que el vehículo se volverá menos estable y se obtendrá menor agarre.

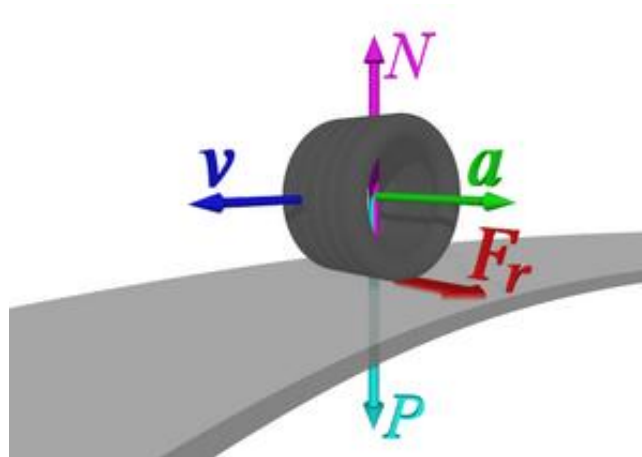


Figura 15. Fuerzas neumático-calzada

Fuente: http://enciclopedia.us.es/index.php/Movimiento_circular

Una primera medida que se implantó como alternativa para reducir el consumo de combustible en los países donde se dependía mayormente del automóvil, fue implantar un límite de velocidad de 90 km/h en el año 1974. Posteriormente, el alza de los precios llevó al replanteo de la construcción de la mecánica de los automóviles, el diseño de carrocerías adaptándolo a todos los segmentos del mercado. Asimismo, se encontraba el diseño de los vehículos compactos y por otro la optimización de la aerodinámica de las carrocerías de todos los vehículos a motor, ya que esto comenzó a ser una prioridad para obtener un rendimiento óptimo con un consumo de combustible mínimo. Destacaban en la época los vehículos como el Volkswagen Golf representado en la *Figura 16* y el Honda Civic como vehículos compactos con cierta mejora aerodinámica. Representaban gran parte de estas mejoras tras la crisis del petróleo y fabricando así cerca de 400.000 unidades hasta el año 1986.



Figura 16. Volkswagen Golf MK1

Fuente: <http://8000vueltas.com/2011/09/18/volkswagen-golf-gti-1975-1983>

Uno de los principales objetivos de las nuevas exigencias de optar por una mejora aerodinámica y, por tanto, se empezaron a plasmar el diseño de deportivos con frontales muy afilados y carrocerías con redondeados para disminuir la resistencia contra el aire. Uno de los modelos que más modificaciones se le asignaron es el *Figura 17* con un chasis bajo, carrocería con muchas curvas y un frontal afilado.



Figura 17. Lancia Stratos

Fuente: <https://www.motor.es/noticias/lancia-stratos-hf-stradale-201734219.html>

Uno de los últimos modelos con un diseño aerodinámico totalmente conseguido es el Opel Calibra en el año 1989 que quedó como un ejemplo destacado debido a su bajo coeficiente aerodinámico con valor de 0.26 siendo así un vehículo optimizado

aerodinámicamente de los años 90. Se conseguía un frontal inclinado y un perfil de la carrocería perfectamente aerodinámico.



Figura 18. Opel Calibra

Fuente: <http://es.auto-abc.eu/opel-calibra>

3. Normativa

La competición de vehículos de inercia está ligada a una normativa, de manera que debe cumplir de forma básica que el estilo del vehículo en este tipo de competición debe ser de un estilo a un coche, con dos vías y cuatro ruedas. Además, la dirección ha de ser por volante y en ningún caso por manillar y con suspensiones autorizadas.

De la misma manera, existen restricciones de dimensiones del vehículo como, por ejemplo:

- La longitud máxima para la categoría C4, correspondiente a la que se estudia en este proyecto, será de 2,5 metros sin contar los anclajes de remolque
- El ancho máximo de la Goitibehera será de 1,2 metros.
- La distancia entre ejes está restringida a un valor mínimo de 90 centímetros. Además, el ancho de vía mínimo se sitúa en 50 cm con neumáticos hinchados
- La altura aconsejada de la carrilana con respecto al suelo debe ser de unos 3,5 centímetros.

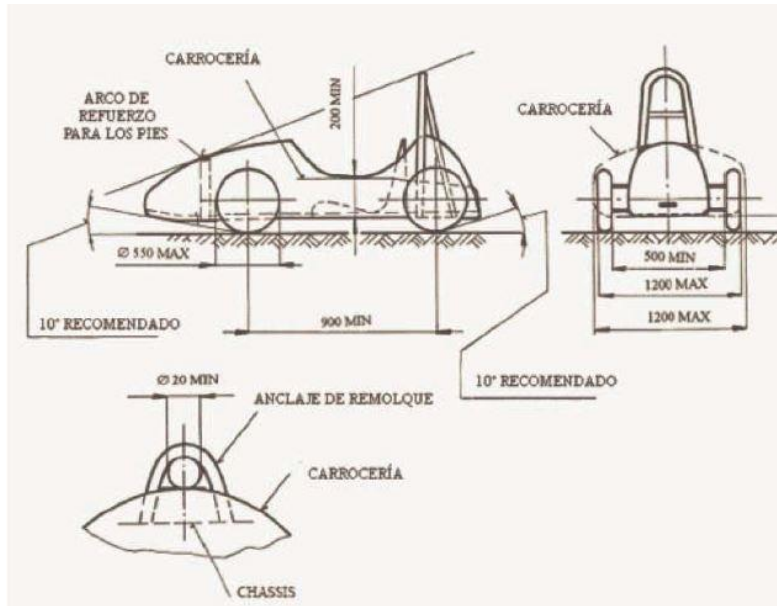


Figura 19. Dimensiones exigidas C4

Fuente: <http://www.fedei.com/es/portada.asp>

En relación al peso total del vehículo en estudio, es de la categoría C4 con un peso de 210 kg a una edad mínima de 18 años. Para el uso de lastres, el peso del vehículo con piloto sin ningún tipo de peso extra debe ser de hasta 100 kg. De no ser así, no se permitirá el uso de lastres.

El diámetro de las ruedas ha de ser de un valor máximo de 55 cm con neumáticos hinchados. El tipo de rueda es de elección libre siempre que no supere la dimensión anterior.



Figura 20. Ruedas para Goitibehera

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=categories&op=newindex&catid=30>

Respecto al chasis, debe estar construido con materiales sólidos y resistentes implantando ensamblajes sólidos y realizados mediante soldadura, tornillos, remaches o adhesivos de resistencia suficiente.

Por consiguiente, anclada a éste, se encuentra la carrocería que debe ser de construcción sólida con materiales y de forma libre. Puede constar de varias piezas y tiene que ser fácilmente desmontable. Ésta ha de tener una altura mínima de 20 cm para permitir de forma cómoda y fácil el pilotaje. Dentro del apartado de chasis, también se encuentran los ejes de acero y firmemente fijados a éste y la dirección donde está permitido el giro de 2 o de las 4 ruedas.

En cuanto al frenado del vehículo, en la competición está permitido el uso de frenos mecánicos o hidráulicos siempre que sea doble, es decir, que frene las ruedas delanteras y las traseras.

En el pilotaje de una Goitibehera, se tendrá en cuenta la forma del asiento donde se permita un apoyo eficaz para mayor protección, cinturón de seguridad fijo obligatorio de 3 puntos. Otra medida de seguridad es el arco de seguridad, que es obligatorio y debe estar fijado al chasis por dos puntos y con un seguro diagonal adicional en la parte trasera del chasis superando 10 cm de diferencia entre el casco del piloto y la parte superior del arco, para en caso de vuelco se garantice la protección. El tubo debe ser de 25 milímetros de diámetro mínimo y de espesor de 2 milímetros.

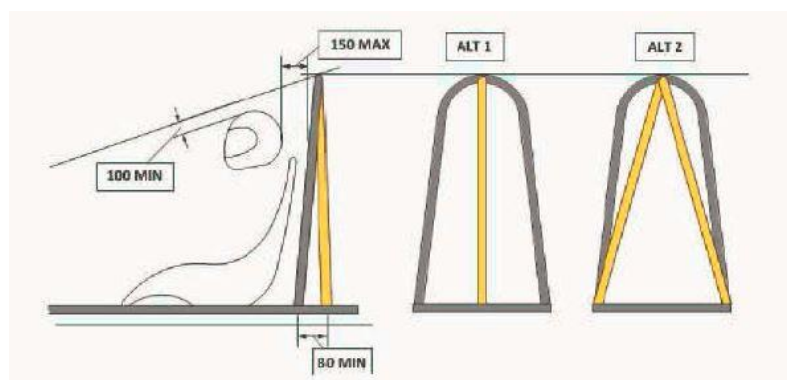


Figura 21. Ejemplos arco seguridad

Fuente: <http://www.fedei.com/es/portada.asp>

Por último, las restricciones centradas a los neumáticos aparte de su diámetro, es la presión máxima admitida por la normativa. El valor de presión máxima en los neumáticos es de 4.9 Bar y la válvula de inflado debe estar accesible para efectuar el control técnico.

4. Estado del arte

En la competición de vehículos de inercia se presentan distintas formas de carrocerías. Esto es debido a que, en base a la normativa, se pueden presentar distintos diseños posibles al tener libertad a la hora de la fabricación de la carrocería. Como se ha definido anteriormente, existen 7 grupos de competiciones dentro de las Goitibeheras. Se dividen en:

4.1.1 Carrilanas de madera (con o sin rodamientos)

En esta competición se exigen que el chasis, ejes y ruedas sean de madera y con 3 ocupantes en la Goitibehera como máximo.



Figura 22. Carrilana madera

Fuente: <http://www.farodevigo.es/portada-ourense/2014/06/01/4000-personas-apinan-ver-competir/1034360.html>

4.1.2 Neumática G1

El chasis de la carrilana será libre quedando exento el uso de bicicletas, motos o coches o ejes completos de coches sin modificar, teniendo así una capacidad máxima para 2 pilotos. La carrilana contará con 4 ruedas de plástico o goma con o sin aire.



Figura 23. Neumática G1

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=1123>

4.1.3 Neumáticas G2

Las condiciones de competición son de igual forma que las G1, con la diferencia de que en esta competición se ha de usar 4 ruedas de plástico o goma con o sin aire.



Figura 24. Carrilana G2

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=918>

4.1.4 Carrilanas neumáticas C1, C2, C3, C4

La carrilana estará basada en el estilo de un coche con dos ejes y cuatro ruedas. La dirección será por volante y no por manillar. En las siguientes imágenes se observa las distintas formas que pueden adoptar las carrilanas dentro de este grupo, de manera que todas se basan en la forma de un vehículo con 4 ruedas y volante. En dicha competición, la carrilana será ocupada por un piloto.



Figura 25. Carrilana CX

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=categories&op=newindex&catid=30>



Figura 26. Carrilana

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=1130>

4.1.5 Carrilanas neumáticas C8 y C9

En esta competición se permiten vehículos con chasis derivados de Karts que se encuentren certificados por la FIS (Federación Internacional de Speeddown). Por consiguiente, el chasis debe ser de acero sin realizar aleaciones o materiales compuestos. Se pueden carenar los chasis siempre que exista homologación. En dicha competición la carrilana será ocupada por un piloto.



Figura 27. Categoría C8, C9

Fuente: <http://www.farodevigo.es/gran-vigo/2016/08/22/carrilanas-velocidad-bembrive/1519696.html>

5. CONCEPTOS AERODINÁMICOS

5.1 Efecto del peso en la aerodinámica de los vehículos

El aumento o la disminución de peso en un vehículo turismo afecta directamente en diversos aspectos como el consumo de combustible, resistencia aerodinámica, estabilidad, etc. Primeramente, un ejemplo de consumo extra de combustible aumentando el peso, es que a un vehículo de 1600 kg supondrá directamente un aumento de consumo del 8%. A continuación, se muestra la relación de potencia, en caballos de vapor, y peso, en kg, que indicará el valor que muestra el efecto del peso frente a la potencia del vehículo. Por tanto, cuanto menor sea el valor, mejores prestaciones se obtendrán y menos consumo de combustible.

$$R_{pot-pes} = \frac{m}{P} \quad (1)$$

A efectos prácticos se asignarán distintos valores de peso a una misma potencia con valor de 150 cv y se observará como fluctúa la relación entre ellos. Se observa que los valores son menores a medida que el peso disminuye, y por tanto se reduciría el consumo del vehículo y se obtendrían mejores prestaciones. A medida que se va aumentando el peso manteniendo constante la potencia entregada por el vehículo, el valor de relación potencia-peso va aumentando y se incrementaría así, el consumo de combustible a la vez que se reducirían las prestaciones.

Peso (kg)	Potencia (CV)	Relación potencia-peso
1200	150	8,00
1300		8,67
1400		9,33
1500		10,00
1600		10,67
1700		11,33
1800		12,00

Tabla 1. Relación Peso-Potencia

Por otro lado, el efecto del peso en la aerodinámica es también notable, debido que, si existen elementos como bacas donde se transporte por ejemplo un baúl, o en la parte trasera del vehículo llevar un conjunto de sujeción de bicicletas también, afectaría de forma notable en la aerodinámica. Esto es se debe a los distintos elementos que se puedan implantar en un vehículo afecta a las líneas de flujo y aumentamos el área frontal y con ello, la resistencia aerodinámica.

5.2 Aplicación a carrilanas

En las competiciones de vehículos de inercia tiene influencia el peso en distintos aspectos de la competición que hacen que la teoría de que “el vehículo más ligero es más rápido” no sea aplicable para todo tipo de vehículos. Los aspectos a tener en cuenta en una Goitibehera serán; la aceleración y deceleración, frenos y suspensión, colocación y elección de lastres, etc.

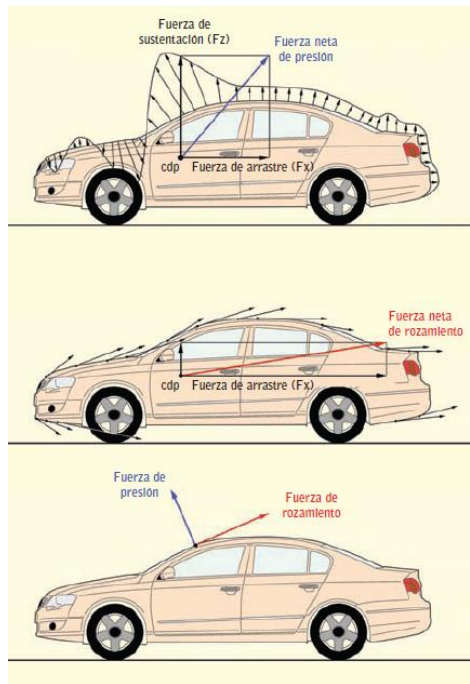


Figura 28. Fuerzas sobre un vehículo

Fuente: http://www.technicalcourses.net/porta/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

En el vehículo de inercia se tiene considerablemente en cuenta el peso del vehículo, debido a que no siempre es mejor la Goitibehera más ligera la más rápida, sino que depende de los aspectos anteriores que a continuación se expondrán.

5.2.1 Aceleración

En este apartado se tienen que tener en cuenta distintos supuestos como, por ejemplo, si la Goitibehera va a en llano, ascendiendo o descendiendo una pendiente y por supuesto, teniendo en cuenta siempre que dichos vehículos tienen el requisito de que se encuentran en ausencia de motor, por lo que la única aceleración que sufrirán será la de la gravedad.

En el caso primero, si se encuentra en un tramo donde se encuentra en llanura, sin pendientes algunas, se daría el caso que:

$$F = m * a = m * G * sen\alpha \quad (2)$$

La fuerza a la que está sometida la Goitibehera a lo largo de la carrera es la de la gravedad, por lo que se tendrá en cuenta la masa total del vehículo y la aceleración desarrollada por la gravedad, en el caso de esta competición sin motor. En contra, si se estudiara la aceleración de un vehículo, que la fuerza sería la desarrollada por el motor.

Por tanto, si se desarrolla la ecuación para obtener el valor de la aceleración, se obtiene que la masa no depende de la aceleración, por lo que en condiciones ideales sin resistencias y sin rozamientos se sabe que:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{m \cdot G \cdot \text{sen} \alpha}{m} = G \cdot \text{sen} \alpha \quad (3)$$

A partir de la fórmula (3) se puede afirmar que la aceleración de la gravedad es independiente a la masa. Por tanto, se afirma que la aceleración de la gravedad será el valor G multiplicado por el valor de pendiente, dividido de 100. Por ejemplo; si se tiene un tramo al 5% de pendiente la aceleración de la gravedad será de 0.05G.

5.2.2 Deceleración

Las deceleraciones de todo tipo de vehículo con y sin motor, las provoca una serie de agentes externos al vehículo. Éstos desarrollan una fuerza contraria a la marcha y se caracterizan en 3 grupos; resistencia aerodinámica, mecánica y a la rodadura. Cada una de ellas representa una acción sobre el vehículo distinta.

En el apartado de la resistencia aerodinámica, como se ha reflejado anteriormente, es independiente a la masa del vehículo, por lo que se puede afirmar que una Goitibehera lastrada, la fuerza aerodinámica le afectará menos que a una más ligera, por lo que en este caso el efecto del peso es bueno.

En el apartado de resistencia mecánica, procede directamente de los rozamientos de las piezas mecánicas y, por tanto, tratándose de un vehículo impulsado con la inercia de la gravedad, estos rozamientos impiden sacarle el máximo rendimiento al vehículo de inercia, por lo que este caso, el peso de la Goitibehera es un inconveniente

Por último, en el apartado de resistencia a la rodadura, aumenta directamente con la masa, debido a que es el rozamiento que se crea vehículo-calzada mediante los neumáticos y por tanto la masa es directamente proporcional a dicha resistencia. Por tanto, el efecto del peso en esta parte, es considerablemente malo.

A continuación, se muestra como calcular la resistencia a la rodadura de un vehículo de inercia teniendo, siendo la fórmula la siguiente:

$$R_r = m * g * f \quad (4)$$

$$f = \frac{\mu_r}{r_r} \quad (5)$$

Por tanto, en base a dicha fórmula se observa que a medida que se aumenta la masa del vehículo, mayor será la resistencia a la rodadura. Además, si se aumenta el radio de la rueda el coeficiente de rodadura se reducirá *Figura 29*, por lo que existirá una disminución de la resistencia a la rodadura. En las competiciones de inercia, el límite de diámetro máximo de las ruedas con neumáticos hinchados es de 0.55 m.



Figura 29. Resistencia a la rodadura

Fuente: <http://www.amtriathlon.com/2009/07/resistencia-la-rodadura.html>

Por último, la resistencia total que debe soportar un vehículo en base a todas las consideraciones que se han tomado en cuenta anteriormente es:

$$F_t = R_a + R_r + R_m \quad (6)$$

5.2.3 Frenos y suspensiones

En el aspecto del frenado, al aumentar la masa general de vehículo de inercia, la deceleración de frenada es menor y por tanto se tendrá un par de frenado más pequeño que si la Goitibehera es más ligera. Por lo que, en este apartado, se puede afirmar que un aumento de peso en el vehículo es peor que uno más ligero.

El tipo de frenos deseables a utilizar en las carrilanas, son de disco de accionamiento hidráulico y con repartidor de frenada. El sistema de frenos ha de estar optimizado y calculado para soportar condiciones de calentamiento debido a que un exceso de calor nos reduciría la efectividad del frenado. Por último, un requisito deseable también, es que el sistema de frenado sea regulable que permita ajustar la potencia entregada al eje delantero y el trasero, siendo así el reparto mayor hacia el eje delantero para evitar una pérdida de eficiencia en las curvas

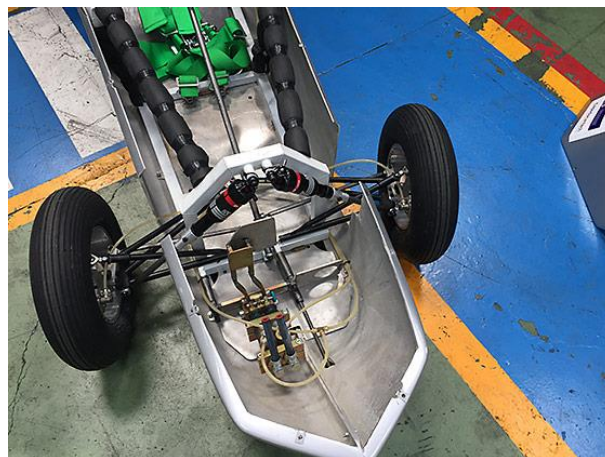


Figura 30. Suspensión y frenado

Fuente: <http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=1144>

Con respecto a las suspensiones de la Goitibehera representadas en la *Figura 30*, el peso de ésta será mucho menor a uno de competición a motor debido a que no tiene tanta parte mecánica y por lo tanto se puede modificar dicho peso con lastres sobre el chasis de forma total o parcial. Por lo que se afirma que el peso en este apartado es bueno debido a que mejora el rendimiento de la suspensión y compensa la pérdida de adherencia de los neumáticos.

5.2.4 Colocación y elección de lastres

Las colocaciones de los lastres en un vehículo de inercia se deben situar lo más cercano al suelo posible dentro de la carrocería de este. El motivo de esto es que el centro de gravedad quede lo más pegado al suelo posible para evitar vuelcos o simplemente un mal comportamiento de la Goitibehera en el circuito. También puede colocarse más adelante o en la parte más pegada al piloto, depende si se desea un vehículo subvirador o sobrevirador, en función del circuito

La elección de lastre se hará en función del circuito, es decir, si la competición es en un circuito rápido con rectas largas, pocas frenadas y pendientes suficientes, se utilizará un peso mayor frente a un circuito lento con muchas curvas y frenadas, donde se lastrará con menos peso para poder ser más rápido en las curvas. En situaciones de circuitos con baches determinaría un aumento de peso general del vehículo debido a que se reducirá el rebote de las suspensiones y se aumentará el rendimiento de las suspensiones. Además, en circuitos donde la pendiente sea demasiado alta (a partir del 20 %), la mejor opción no será lastrar la Goitibehera lo máximo posible para conseguir una velocidad mayor, sino que pueden existir problemas en la frenada en una curva. Esto podría provocar una disminución del rendimiento de los frenos debido una pendiente pronunciada y un peso excesivo. Por tanto, en este caso se optará por lastrar con menos peso para poder realizar los pasos de curva sin problemas.

El límite del peso de la Goitibehera de categoría C4 se sitúa en 210 *kg* incluyendo el piloto, vehículo y lastres. Teniendo en cuenta esta restricción, se diseñará la carrilana lo más ligera posible para tener margen de seguridad hasta 210 *kg*, de manera que el conjunto esté en torno a 80 *kg*, añadiendo 70 *kg* del piloto dando un total de 160 *kg*. Hasta llegar a 210 *kg* se utilizarán lastres delanteros, traseros o centrales dependiendo del comportamiento que se desee en el tipo circuito teniendo así un margen de maniobra de 50 *kg* aproximadamente.

5.3 Introducción a la aerodinámica. Aplicación a carrilanas

Tal y como se ha referenciado en los objetivos de este proyecto, la aerodinámica es la parte de la mecánica de los fluidos que se enfoca principalmente al estudio de los gases, en este caso se estudiará el aire incidente sobre la carrocería. Asimismo, estudiará el movimiento de los flujos, las fuerzas y por consiguiente las reacciones que realizan los sólidos al sumergirse en dichos flujos. Refiriéndose así al número de Mach o también denominado, velocidad relativa de un objeto y la velocidad del sonido, se divide la aerodinámica en subsónica y supersónica dependiendo si este número es superior o inferior a la unidad. En el caso de las competiciones de vehículos de inercia no se aplicará el concepto de velocidad supersónica debido a que no se alcanzan velocidades del sonido, y por tanto se trabajará en el rango subsónico.

La acción de la aerodinámica se basa en leyes y efectos sobre los sólidos, las cuales se dividen en: Efecto Venturi, Leyes de Newton, Bernoulli, Capa límite, Flujo laminar y turbulento, etc.

5.3.1 Bernoulli

El teorema de Bernoulli define que la presión interna de un fluido decrece conforme aumenta su velocidad, es decir, la velocidad del fluido y su presión interna se mantiene constante. Dicho teorema puede considerarse aplicación directa del principio de conservación de la energía. Este principio determina que, si el fluido no intercambia energía con el exterior, la energía ha de mantenerse constante.

En la siguiente fórmula se observa que el teorema de Bernoulli depende de las presiones a la entrada y a la salida, densidad del fluido, peso específico y velocidad del fluido y, por último, de la componente potencial, altura.

$$P_1 + \frac{1}{2} * \rho * v_1^2 + \gamma * h_1 = P_2 + \frac{1}{2} * \rho * v_2^2 + \gamma * h_2 \quad (7)$$

5.3.2 Efecto Venturi

El efecto Venturi demuestra que, si se hace pasar un fluido por un estrechamiento, la velocidad de las partículas aumentará de forma notable y, por tanto, disminuirán las presiones. Dicho efecto puede considerarse una derivación del Teorema de Bernoulli y el teorema de la conservación de la energía mecánica.

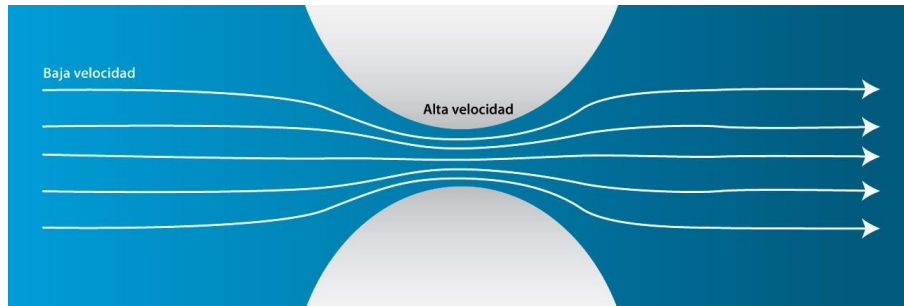


Figura 31. Efecto Venturi

Fuente: <https://diariodemarkoramius.wordpress.com/tag/efecto-venturi/>

5.3.3 Leyes de Newton

La Ley de Newton existente en la aerodinámica es la 3ª Ley del movimiento. Dicha ley afirma que: “Cuando un cuerpo ejerce una fuerza sobre otro, éste ejerce sobre el primero una fuerza igual y de sentido opuesto”. Que afirma que, por cada fuerza actuante sobre un cuerpo, este realiza la misma fuerza a igualdad de intensidad y sentido contrario *Figura 32*

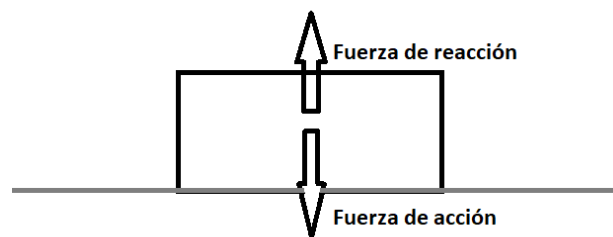


Figura 32. 3ª Ley Newton

5.3.4 Capa límite

La capa límite de un fluido es la zona donde éste se perturba por la existencia de un sólido con el que entra en contacto. Dicha capa es la que se queda más cercana de la carrocería de la carrilana en estudio y de cualquier otro cuerpo en movimiento que entre en contacto con un flujo de aire. Dicho flujo se encuentra en este caso en reposo y se va ordenando de forma continuada en capas, siendo la capa límite la primera en referencia al sólido en estudio.

Esta capa tiene un cierto espesor, el cual va variando a medida que varía la velocidad con la que se circule y de las dimensiones del vehículo. Por tanto, se puede afirmar que, en el caso de estar en cualquier tipo de vehículo, la capa límite será más fina en la parte delantera que en la parte trasera debido a que es la primera zona de contacto del aire contra el vehículo.

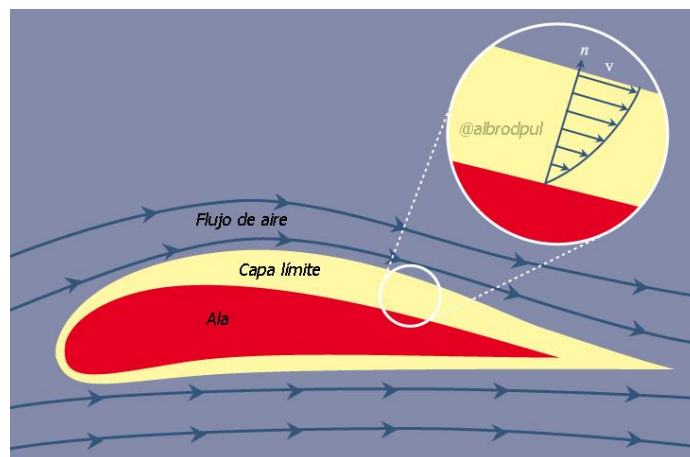


Figura 33. Capa límite en ala

Fuente: <https://albrodpul1.wordpress.com/2014/10/27/analisis-tecnico-principio-de-bernoulli-efecto-venturi/>

En la rama de la automoción, el desprendimiento de la capa límite crea turbulencias en la parte posterior del vehículo formando así una succión hacia atrás, teniendo así un sentido opuesto al avance del vehículo. Por tanto, se ha de buscar que el desprendimiento de la capa límite se origine lo más atrás posible del vehículo para evitar dicha succión y evitar fuerzas opuestas a la marcha que provoquen mayor fuerza para vencerlas, en el caso de las carrilanas, mayor fuerza de la gravedad.

5.3.5 Flujo laminar y turbulento

En el comportamiento del movimiento del aire con respecto al flujo se pueden presentar dos situaciones; flujo laminar y turbulento que se diferencian en los siguientes rasgos:

- En el flujo laminar se presentan capas de aire paralelas y ordenadas con respecto al sólido en estudio. En este tipo de flujo, las fuerzas que se presentan son de carácter viscoso (rozamiento entre capas).
- En el flujo turbulento se presentan capas de aire que se desplazan de manera caótica y desordenada con respecto al sólido. En este caso, se destacan las fuerzas de carácter inercial (inercia de las partículas de aire).

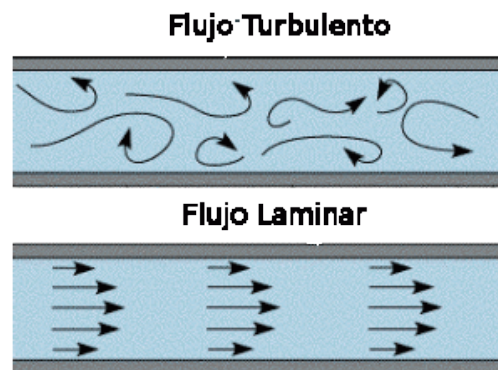


Figura 34. Flujo laminar y turbulento

Fuente: <https://acevedonelson.wordpress.com/acerca-de/segundo-corte/hidrodinamica/>

5.3.6 Efecto suelo

El efecto suelo surgió tras un estudio ingenieril, donde se fijó que si se acercaba la parte baja del vehículo lo máximo posible al asfalto, el coche tendría más succión en la parte inferior y altas presiones en la parte superior del vehículo, provocando así unos esfuerzos importantes hacia abajo. Con este fenómeno se causa muy poca resistencia al avance y se generaría mucha energía con poco esfuerzo mecánico. La aplicación del efecto suelo resultó exitosa en el equipo de Lotus en los años 80 de la mano de Peter Wright.

JPS Lotus 79 Mk.IV (Visto desde abajo)

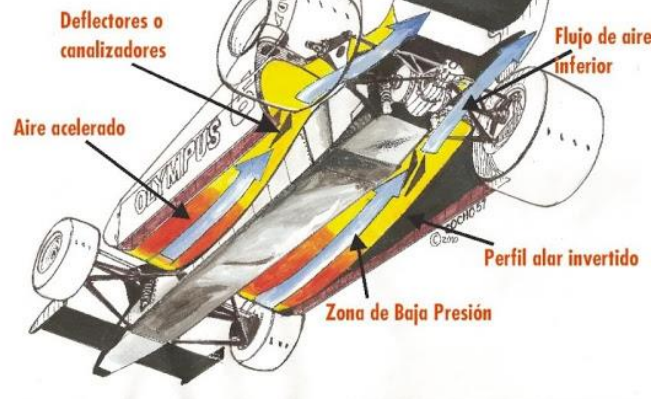


Figura 35. Vehículo Lotus en los años 80

Fuente: <http://angelesenlacabeza.blogspot.com.es/2013/08/por-que-corren-tanto-los-f1-efecto-suelo.html>

También existe la posibilidad de implementar faldones a los laterales de los monoplazas, con la intención de evitar que el flujo se desvíe hacia los lados y alcance bajas presiones a lo largo del vehículo sin disipar energía por los laterales. Esta mejora se comenzó a implementar en los años 70 por el grupo Lotus en la Formula 1 y por tanto conseguir velocidades muy altas en la parte baja del vehículo y crear una succión importante sobre el vehículo hacia el asfalto representado en la *Figura 36*.



Figura 36. Efecto suelo en la Formula 1

Fuente: <http://www.autobild.es/motorsport/tecnica-f1-que-es-efecto-suelo-258303>

5.4 Resistencia aerodinámica

La resistencia aerodinámica se define como la fuerza a la que está sometido un cuerpo al ser atravesado por un flujo de aire o de cualquier otro fluido. Dicha resistencia depende directamente de cuatro aspectos los cuales están representados en la siguiente fórmula:

$$Ra = \frac{1}{2} * \rho * v^2 * Cx * A \quad (8)$$

- Con el símbolo representado ρ , se refiere a la densidad del aire la cual depende principalmente de la altura sobre el nivel del mar, es decir, a mayor altura, menor densidad. En las competiciones de vehículos de inercia, este valor va a ser el mismo para todos los oponentes de la carrera, ya que no tiene una influencia práctica.
- El símbolo asignado v representa el valor de la velocidad que lleva el vehículo con respecto al aire, en el caso de la carrilana en estudio en este proyecto. Se tendrá en cuenta si el viento está a favor o en contra en la competición debido a que, si ésta se encuentra en contra, se tendrá que sumar la velocidad del viento a la del vehículo y si no es así, se deberá de restar. En la definición de resistencia aerodinámica, este valor tiene mucha consideración, debido a que está elevado al cuadrado y supone de gran influencia en conjunto del cálculo. Esto permite ver que la aerodinámica entra en consideración a partir de velocidades considerables, antes que a velocidades lentas.
- El valor referente al coeficiente aerodinámico Cx , depende principalmente de la forma de la carrilana, pero no de su superficie frontal. Se puede mejorar teniendo en cuenta conceptos como la capa límite, presiones relativas a lo largo de la carrilana, los rozamientos, etc.

$$Cx = \frac{D}{2 * \rho * A * v^2} \quad (9)$$

El valor de Cx en este proyecto se extraerá con el software utilizado para el desarrollo de este estudio, de manera que se tendrá en cuenta todos valores de los que dependen y se compararán resultados.

- El área frontal de la Goitibehera **A** debe superar el flujo de aire para conseguir el efecto aerodinámico. Por tanto, para mejorar la aerodinámica y bajar dicha resistencia, se debe reducir lo máximo posible el área frontal modificando la postura del piloto (más tumbado) y las dimensiones del vehículo teniendo en cuenta los requisitos de pilotaje necesarios.

A continuación, se muestran dos ejemplos de vehículos de distinta época para comparar la importancia que se le daba a la aerodinámica. En primer lugar, se tiene un Citroën Gs representado en la *Figura 37* fabricado entre los años 1970 y 86 con un valor de $C_x=0.3$ debido a que, como se ha reflejado anteriormente, a partir de los años 70-80 se comenzó a optar por la aerodinámica en los vehículos de carretera. Por otro lado, se encuentra el Fiat Balilla *Figura 38*, perteneciente a los años 30 obteniendo así un valor de 0.6 de coeficiente aerodinámico debido a sus formas rectas y sobretodo, a su gran área frontal. Esto era por el desconocimiento de la aerodinámica en aquellos años en los vehículos automóviles.



Figura 37. Citroën Gs

Fuente: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

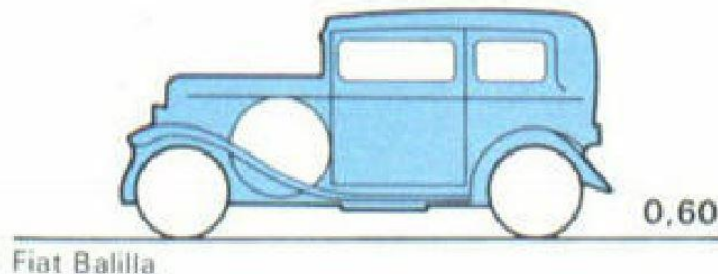


Figura 38. Fiat Balilla

Fuente: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

6. MÉTODOS EXPERIMENTALES

Existen métodos experimentales para ver la resistencia aerodinámica de un cuerpo hasta llegar al túnel de viento monitorizado por ordenador. Estos ensayos se centran principalmente del comportamiento de la capa límite sobre el cuerpo usando parafinas, talco, gotas de aceite o el comportamiento de filamentos. Todos ellos se utilizan de igual manera, pero se obtienen valores mucho más imprecisos y al no existir la posibilidad de informatizar los resultados, se estudia de forma visual y se observa el comportamiento del elemento usado.

6.1 Ensayo con parafinas

En el ensayo donde se utilizan las parafinas, el comportamiento de éstas se basa en la adherencia a la carrocería de un vehículo unas láminas de papel o tela y se dejan fijadas en un solo extremo.

Se fijarán tantas como partes se quieran estudiar y posteriormente se ensaya fijando una velocidad superior a 60 km/h para poder observar el resultado observando el movimiento que adquiera cada lámina. Esto permite ver las partes de un vehículo que están optimizadas y cuales deben mejorarse. De igual manera se comportan los filamentos, de manera que con la ayuda de un ventilador industrial.

En la *Figura 39* se muestra un estudio de la NASA de la aerodinámica de sus vehículos de gran tonelaje para ver cuál sería la forma óptima observando cómo se comportan las tiras con un método experimental.



Figura 39. Estudio de la NASA

6.2 Ensayo con aceites o talco

En los ensayos donde se utiliza el talco o el aceite, se pondrán gotas de aceite en la carrocería o polvos de talco, y se implantará una velocidad igual o superior a 60 km/h para observar el desplazamiento de las gotas de aceite y se observará posteriormente que trayectoria han llevado las gotas, lo que permite apreciar que parte del vehículo se puede mejorar aerodinámicamente.

6.3 Túnel de viento

El inicio de este método de estudio de los flujos incidentes sobre la carrocería y elementos de un vehículo comenzaron mucho antes del siglo XXI. Como se ha reflejado en la *Historia de la aerodinámica*, la aerodinámica se comenzó a estudiar en los aviones mucho antes que en los vehículos automóviles por lo que en los años 1800, se comenzaron a realizar los primeros túneles de viento en los aviones. Este sistema se comenzó a utilizar tras la Segunda Guerra Mundial sobre la industria automotriz para evaluar la efectividad de los diseños.



Figura 40. Túnel de viento

Fuente: <http://www.f1aldia.com/10680/tuneles-de-viento-ii/>

Asimismo, en los últimos años se puede afirmar que se ha implementado la simulación de los túneles de viento mediante programas informáticos, lo que supone un encarecimiento del mantenimiento de los túneles para dar paso a la tecnología por ordenador. Por tanto, en este tipo de estudios se conlleva a buscar vehículos más bajos refiriéndose así a la carrocería de éstos. El mejor ejemplo es el nuevo Mercedes-Benz Clase E 2016 con un coeficiente de 0.26 con la reducción de altura mejorada y basándose en los aspectos aerodinámicos explicados anteriormente.

7. CONDICIONES DE VUELCO Y DERRAPE EN UNA CARRILANA

En este apartado se reflejarán el comportamiento de la carrilana en distintas situaciones de trayectoria teniendo en cuenta la estabilidad donde se pone el ejemplo de que, a mayor distancia entre ejes del vehículo supone una disminución del ángulo de giro debido a que recorre una trayectoria con un radio mayor, por lo que se aumentaría la estabilidad en velocidades altas, pero se obtendría menos manejo a bajas velocidades o en curvas cerradas. También afectaría el ancho del vehículo debido a que, a mayor anchura, implicaría una maniobrabilidad menor pero un vehículo mucho más estable. Por tanto, se tendrán en cuenta las distintas fuerzas actuantes en la carrilana durante la trayectoria curva representadas en la *Figura 41*.

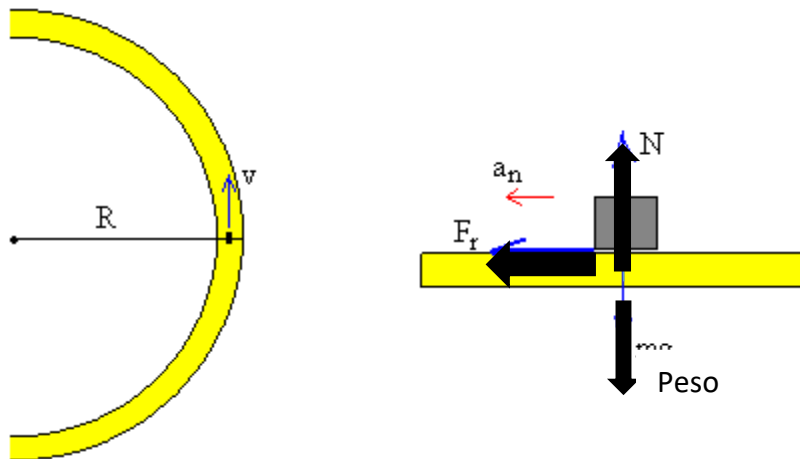


Figura 41. Visualización

Se estudian distintas situaciones a distintos radios de trayectoria simulando distintas curvas que se puedan presentar en una competición. Además, se calcularán valores de fuerza centrífuga que soporta el vehículo en cada situación y la fuerza de rozamiento que permite mantener el coche en la trayectoria. Por consiguiente, se calcularán las reacciones que soporta las ruedas de un lado y las del otro, para así poder ver si vuelca y desliza o desliza solamente.

Se realizarán los ensayos a seis velocidades distintas posibles de una carrilana a la hora de trazar una curva, y se llega al caso extremo de 38.27 m/s debido a que es el record mundial en este tipo de vehículos y no se debe olvidar debido a que hay que estudiar hasta el caso más desfavorable.

Se tendrán en cuenta los valores correspondientes al vehículo tales como; el coeficiente μ de las ruedas que se tomará un valor de 0.8 que corresponde a un coeficiente de ruedas en seco y nuevas. También, el valor de la gravedad ya que este ensayo depende especialmente del valor de la gravedad, junto con el centro de gravedad del vehículo en la componente horizontal y vertical, el ancho de éste, cuyo valor es de 1.2 m y por último se tendrá en cuenta la altura máxima del vehículo y la masa total de la carrilana. Por tanto, los valores a introducir serán:

$$G = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\mu \text{ ruedas secas y nuevas} = 0.8$$

$$\text{Centro de gravedad vertical } y = 0.25 \text{ m}$$

$$\text{Centro de gravedad horizontal } x = 0.6 \text{ m}$$

$$\text{Altura máxima del vehículo} = 0.55 \text{ m}$$

$$\text{Ancho de la carrilana} = 1.2 \text{ m}$$

$$\text{Masa} = 150 \text{ kg}$$

$$\text{Masa en carga} = 210 \text{ kg}$$

Por consiguiente, se calculará la fuerza centrípeta (10) que depende de los valores de masa del vehículo, de la componente cinética al cuadrado y del radio de la trayectoria curva que va a realizar el prototipo. Para ello se tendrán en cuenta distintos valores de radios de curvatura que irán de 1 a 280 m aproximadamente.

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{r} \quad (10)$$

Por otro lado, se calculan las reacciones en las ruedas del lado derecho y el izquierdo que corresponde a las siglas N_1 y N_2 .

$$N_1 = \frac{(m \cdot g \cdot x) - (F_c \cdot y)}{\text{Ancho}} \quad (11)$$

$$N_2 = (m \cdot g) - N_1 \quad (12)$$

Por último, se calculará la fuerza de rozamiento que surge del contacto del neumático con el asfalto, donde se tiene en cuenta el coeficiente aerodinámico μ .

$$F_r = \mu \cdot N_1 + \mu \cdot N_2 \quad (13)$$

Una vez obtenida la fuerza de rozamiento, se determinará en cada caso si el vehículo es estable o por el contrario vuelca y/o desliza. Para ello se tendrá en cuenta

los valores de fuerza centrífuga y fuerza de rozamiento, de manera que, si la fuerza de rozamiento es mayor a la centrífuga, el vehículo no deslizaría ni volcaría. Además, se tendrá en consideración las fuerzas resultantes en las ruedas de ambos lados, de manera que, si existen valores negativos, es que la rueda está en el aire y significa que el vehículo está sufriendo un vuelco.

7.1.1 Comportamiento a 5 m/s

A la velocidad de 5 m/s, se extraen los distintos valores reflejados anteriormente, de manera que se estudiará en qué casos el vehículo sufre derrape y vuelco, o derrape o ninguna de las dos situaciones.

Para ello se aplicarán las ecuaciones anteriormente descritas y se obtienen valores a distintos radios dentro de un rango de 1 a 300 metros, simulando cualquier curva cerrada o abierta que pueda sufrir la carrilana.

Velocidad (m/s)									
5	R (m)	Fc (N)	N1 (N)	N2 (N)	$\mu N1$	$\mu N2$	Fr (N)	Desliza	Vuelca
	1	3750,0	-45,50	1517,00	0,00	1213,60	1213,60	Si	Si
	3	1250,0	475,33	996,17	380,27	796,93	1177,20	Si	No
	5	750,0	579,50	892,00	463,60	713,60	1177,20	No	No

Tabla 2. Comportamiento a 5 m/s

Tal y como se observa en *Tabla 2*, a un radio muy pequeño de valor 1 metro, el vehículo tendería a derrapar y posteriormente a volcar debido a una fuerza centrífuga tres veces mayor a la de rozamiento. Además, el vuelco se muestra con una reacción en N_1 negativa. Posteriormente, en una curva de 3 metros el vehículo deslizaría porque la fuerza centrífuga es ligeramente mayor a la de rozamiento, pero no volcaría debido a valores de reacciones en las ruedas positivos, por lo que derraparía sin sufrir un vuelco.

Por último, a partir de 5 metros de curva, el vehículo se comportaría de una forma normal debido a que no se trata de una velocidad excesivamente alta, y la carrilana trazaría dicha curva sin problemas.

7.1.2 Comportamiento a 10 m/s

En este apartado, se estudiará el comportamiento a las mismas condiciones que anteriormente, pero a una velocidad de 10 m/s. Se observará que las diferencias son notables debido a que se debe soportar los mismos radios exigidos al doble de la velocidad inicial.

Velocidad (m/s)									
10	R (m)	Fc (N)	N1 (N)	N2 (N)	$\mu N1$	$\mu N2$	Fr (N)	Desliza	Vuelca
	1	15000,0	-2389,25	3860,75	0,00	3088,60	3088,60	Si	Si
	3	5000,0	-305,92	1777,42	0,00	1421,93	1421,93	Si	Si
	5	3000,0	110,75	1360,75	88,60	1088,60	1177,20	Si	No
	7	2142,9	289,32	1182,18	231,46	945,74	1177,20	Si	No
	9	1666,7	388,53	1082,97	310,82	866,38	1177,20	Si	No
	11	1363,6	451,66	1019,84	361,33	815,87	1177,20	Si	No
	13	1153,8	495,37	976,13	396,29	780,91	1177,20	No	No

Tabla 3. Comportamiento a 10 m/s

En la *Tabla 3* se muestran los valores obtenidos de la carrilana a los distintos radios exigidos. A diferencia de la anterior, el vehículo muestra un comportamiento de vuelco y derrape hasta curvas de 3 metros. A medida que se aumenta el radio hasta 11 metros, el vehículo conformaría una trayectoria de deslizamiento que podría provocar una pérdida de control debido al derrape producido. A partir de dicho valor, el vehículo no deslizaría ni volcaría y realizaría la trayectoria sin problemas.

7.1.3 Comportamiento a 25 m/s

En este apartado se estudiará el comportamiento del vehículo a 25 m/s donde se observará que, al incrementar notablemente la velocidad, es más propenso a deslizar y volcar a valores de radios medios. A partir de este estudio, se desestimarán los valores pequeños de radio de curvatura debido a que el vehículo deslizaría y volcaría con toda probabilidad, por lo que se realizan tablas más resumidas a radios mayores, debido a que a mayor velocidad, se necesitan radios mayores para poder trazar la trayectoria sin problema.

Velocidad (m/s)									
25	R (m)	Fc (N)	N1 (N)	N2 (N)	$\mu N1$	$\mu N2$	Fr (N)	Desliza	Vuelca
	19	4934,2	-292,21	1763,71	0,00	1410,97	1410,97	Si	Si
	22	4261,4	-152,03	1623,53	0,00	1298,83	1298,83	Si	Si
	25	3750,0	-45,50	1517,00	0,00	1213,60	1213,60	Si	Si
	28	3348,2	38,21	1433,29	30,56	1146,64	1177,20	Si	No
	31	3024,2	105,71	1365,79	84,57	1092,63	1177,20	Si	No
	34	2757,4	161,30	1310,20	129,04	1048,16	1177,20	Si	No
	37	2533,8	207,88	1263,62	166,30	1010,90	1177,20	Si	No
	40	2343,8	247,47	1224,03	197,98	979,23	1177,20	Si	No
	43	2180,2	281,53	1189,97	225,23	951,97	1177,20	Si	No
	46	2038,0	311,16	1160,34	248,93	928,27	1177,20	Si	No
	49	1913,3	337,15	1134,35	269,72	907,48	1177,20	Si	No
	52	1802,9	360,15	1111,35	288,12	889,08	1177,20	Si	No
	55	1704,5	380,64	1090,86	304,51	872,69	1177,20	Si	No
	58	1616,4	399,00	1072,50	319,20	858,00	1177,20	Si	No
	61	1536,9	415,57	1055,93	332,45	844,75	1177,20	Si	No
	64	1464,8	430,57	1040,93	344,46	832,74	1177,20	Si	No
	67	1399,3	444,24	1027,26	355,39	821,81	1177,20	Si	No
	70	1339,3	456,73	1014,77	365,39	811,81	1177,20	Si	No
	73	1284,2	468,20	1003,30	374,56	802,64	1177,20	Si	No
	76	1233,6	478,76	992,74	383,01	794,19	1177,20	Si	No
	79	1186,7	488,52	982,98	390,82	786,38	1177,20	Si	No
	82	1143,3	497,56	973,94	398,05	779,15	1177,20	No	No

Tabla 4. Comportamiento a 25 m/s

En la *Tabla 4* se observa en comparación a las velocidades anteriores que el vehículo desliza y vuelca durante un mayor rango de radios. Este comportamiento va de radios de 1 metro hasta radios de 25 metros, lo que significa que, a mayor velocidad del vehículo, mayor riesgo de que el vehículo vuelque y derrape. Después, el vehículo puede deslizar sin llegar a volcar hasta radios de 79 metros, que es un valor considerable con respecto a la velocidad del vehículo.

Por último a partir de valores de 80 metros de trayectoria curva, el vehículo no desliza ni volcaría, debido a que son radios suficientes para aceptar la velocidad de la carrilana.

7.1.4 Comportamiento a 30 m/s

En este apartado se estudiarán de igual forma que anteriormente, el comportamiento de la carrilana en distintas situaciones de trayectorias curvas, aumentando la velocidad a 30 m/s. Se observará de nuevo que, al aumentar a una velocidad considerable, los radios de curva para evitar el vuelco de la carrilana y el derrape deben aumentar.

Velocidad (m/s)									
30	R (m)	Fc (N)	N1 (N)	N2 (N)	$\mu N1$	$\mu N2$	Fr (N)	Desliza	Vuelca
	9	15000,0	-2389,25	3860,75	0,00	3088,60	3088,60	Si	Si
	13	10384,6	-1427,71	2899,21	0,00	2319,37	2319,37	Si	Si
	17	7941,2	-918,66	2390,16	0,00	1912,13	1912,13	Si	Si
	21	6428,6	-603,54	2075,04	0,00	1660,03	1660,03	Si	Si
	25	5400,0	-389,25	1860,75	0,00	1488,60	1488,60	Si	Si
	29	4655,2	-234,08	1705,58	0,00	1364,46	1364,46	Si	Si
	33	4090,9	-116,52	1588,02	0,00	1270,42	1270,42	Si	Si
	37	3648,6	-24,39	1495,89	0,00	1196,71	1196,71	Si	Si
	41	3292,7	49,77	1421,73	39,82	1137,38	1177,20	Si	No
	45	3000,0	110,75	1360,75	88,60	1088,60	1177,20	Si	No
	49	2755,1	161,77	1309,73	129,42	1047,78	1177,20	Si	No
	53	2547,2	205,09	1266,41	164,07	1013,13	1177,20	Si	No
	57	2368,4	242,33	1229,17	193,86	983,34	1177,20	Si	No
	61	2213,1	274,68	1196,82	219,75	957,45	1177,20	Si	No
	65	2076,9	303,06	1168,44	242,45	934,75	1177,20	Si	No
	69	1956,5	328,14	1143,36	262,51	914,69	1177,20	Si	No
	73	1849,3	350,48	1121,02	280,38	896,82	1177,20	Si	No
	77	1753,2	370,49	1101,01	296,39	880,81	1177,20	Si	No
	81	1666,7	388,53	1082,97	310,82	866,38	1177,20	Si	No
	85	1588,2	404,87	1066,63	323,89	853,31	1177,20	Si	No
	89	1516,9	419,74	1051,76	335,79	841,41	1177,20	Si	No
	93	1451,6	433,33	1038,17	346,66	830,54	1177,20	Si	No
	97	1391,8	445,80	1025,70	356,64	820,56	1177,20	Si	No
	101	1336,6	457,28	1014,22	365,83	811,37	1177,20	Si	No
	105	1285,7	467,89	1003,61	374,31	802,89	1177,20	Si	No
	109	1238,5	477,72	993,78	382,18	795,02	1177,20	Si	No
	113	1194,7	486,86	984,64	389,48	787,72	1177,20	Si	No
	117	1153,8	495,37	976,13	396,29	780,91	1177,20	No	No

Tabla 5. Comportamiento a 30 m/s

En *Tabla 5* se muestran los distintos valores que se han obtenido a la velocidad de 30 *m/s*. En este caso el vehículo derrapa y vuelca hasta radios de 40 metros. A partir de este valor, el vehículo deslizaría en todos los tramos que tengan un rango de dicho valor hasta unos 115 metros, lo que supone una velocidad excesiva para curvas que no sean muy leves. De esta manera a partir de valores de 115 metros de radio, el vehículo no deslizaría ni volcaría.

7.1.5 Comportamiento a 35 *m/s*

En esta situación se estudiará el comportamiento de la carrilana a 35 *m/s*, donde se observará que se necesita un gran radio para no perder el control del vehículo debido a la alta velocidad que supone trazar dicha trayectoria.

Velocidad (<i>m/s</i>)									
35	R (m)	Fc (N)	N1 (N)	N2 (N)	μ N1	μ N2	Fr (N)	Desliza	Vuelca
	55	4677,3	-238,68	1710,18	0,00	1368,15	1368,15	Si	Si
	64	4019,5	-101,65	1573,15	0,00	1258,52	1258,52	Si	Si
	73	3524,0	1,59	1469,91	1,27	1175,93	1177,20	Si	No
	82	3137,2	82,17	1389,33	65,73	1111,47	1177,20	Si	No
	91	2826,9	146,81	1324,69	117,45	1059,75	1177,20	Si	No
	100	2572,5	199,81	1271,69	159,85	1017,35	1177,20	Si	No
	109	2360,1	244,06	1227,44	195,25	981,95	1177,20	Si	No
	118	2180,1	281,57	1189,93	225,25	951,95	1177,20	Si	No
	127	2025,6	313,75	1157,75	251,00	926,20	1177,20	Si	No
	136	1891,5	341,68	1129,82	273,34	903,86	1177,20	Si	No
	145	1774,1	366,14	1105,36	292,91	884,29	1177,20	Si	No
	154	1670,5	387,74	1083,76	310,19	867,01	1177,20	Si	No
	163	1578,2	406,95	1064,55	325,56	851,64	1177,20	Si	No
	172	1495,6	424,16	1047,34	339,33	837,87	1177,20	Si	No
	181	1421,3	439,65	1031,85	351,72	825,48	1177,20	Si	No
	190	1353,9	453,68	1017,82	362,94	814,26	1177,20	Si	No
	199	1292,7	466,43	1005,07	373,15	804,05	1177,20	Si	No
	208	1236,8	478,09	993,41	382,47	794,73	1177,20	Si	No
	217	1185,5	488,77	982,73	391,02	786,18	1177,20	Si	No
	226	1138,3	498,61	972,89	398,89	778,31	1177,20	No	No
	235	1094,7	507,69	963,81	406,15	771,05	1177,20	No	No

Tabla 6. Comportamiento a 35 m/s

Según se puede apreciar en *Tabla 6*, el vehículo a esta velocidad necesita radios de 225 metros para poder realizar una trayectoria curva sin derrapar ni volcar. De la misma manera, éste puede no volcar y deslizar de forma transversal en radios de 73 a 220 metros, de manera que el vehículo realizaría las curvas con pérdida de adherencia pudiendo provocar una pérdida de control. El margen de radios donde el vehículo perdería el control y derraparía con un posterior vuelco, sería hasta radios de 70 metros, donde debido a la excesiva velocidad, el vehículo sufriría un accidente.

7.1.6 Comportamiento a 38.27 m/s

Velocidad (m/s)									
38,27	R (m)	Fc (N)	N1 (N)	N2 (N)	$\mu N1$	$\mu N2$	Fr (N)	Desliza	Vuelca
	51	6030,7	-520,64	1992,14	0,00	1593,71	1593,71	Si	Si
	61	5042,0	-314,68	1786,18	0,00	1428,94	1428,94	Si	Si
	71	4331,9	-166,73	1638,23	0,00	1310,58	1310,58	Si	Si
	81	3797,1	-55,31	1526,81	0,00	1221,45	1221,45	Si	Si
	91	3379,8	31,62	1439,88	25,30	1151,90	1177,20	Si	No
	101	3045,2	101,33	1370,17	81,07	1096,13	1177,20	Si	No
	111	2770,9	158,49	1313,01	126,79	1050,41	1177,20	Si	No
	121	2541,9	206,20	1265,30	164,96	1012,24	1177,20	Si	No
	131	2347,8	246,62	1224,88	197,30	979,90	1177,20	Si	No
	141	2181,3	281,31	1190,19	225,05	952,15	1177,20	Si	No
	151	2036,9	311,41	1160,09	249,12	928,08	1177,20	Si	No
	161	1910,3	337,76	1133,74	270,21	906,99	1177,20	Si	No
	171	1798,6	361,04	1110,46	288,83	888,37	1177,20	Si	No
	181	1699,3	381,74	1089,76	305,39	871,81	1177,20	Si	No
	191	1610,3	400,27	1071,23	320,22	856,98	1177,20	Si	No
	201	1530,2	416,96	1054,54	333,57	843,63	1177,20	Si	No
	211	1457,7	432,07	1039,43	345,66	831,54	1177,20	Si	No
	221	1391,7	445,81	1025,69	356,65	820,55	1177,20	Si	No
	231	1331,4	458,36	1013,14	366,69	810,51	1177,20	Si	No
	241	1276,2	469,87	1001,63	375,90	801,30	1177,20	Si	No
	251	1225,4	480,47	991,03	384,37	792,83	1177,20	Si	No
	261	1178,4	490,25	981,25	392,20	785,00	1177,20	Si	No
	271	1134,9	499,31	972,19	399,45	777,75	1177,20	No	No
	281	1094,5	507,72	963,78	406,18	771,02	1177,20	No	No

Tabla 7. Comportamiento a 38.27 m/s

En este último estudio de comportamiento, se estudiará que exigencias necesitará la carrilana para poder realizar las trayectorias curvas a los distintos radios que se exponen.

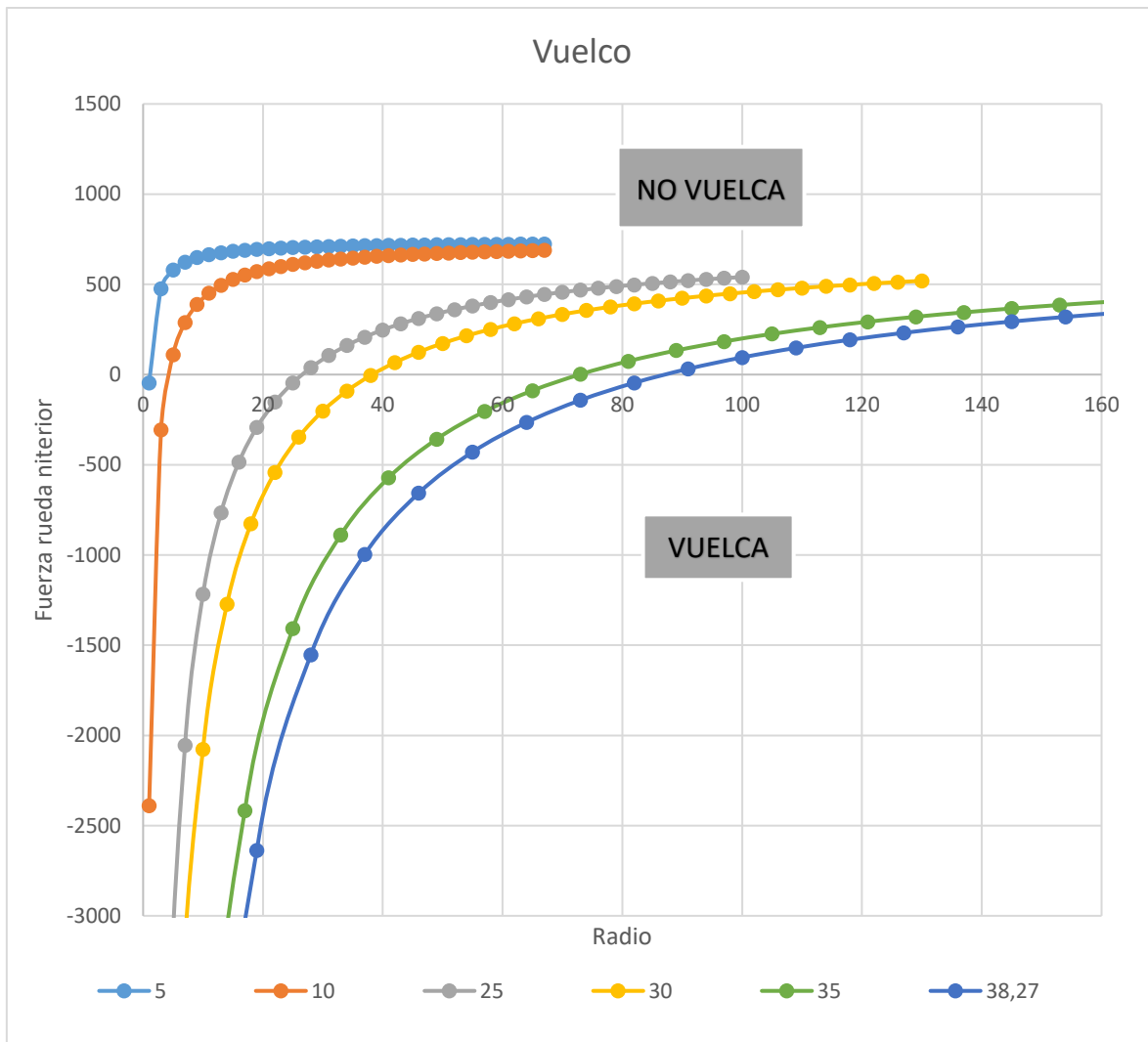
Como se puede apreciar en *Tabla 7*, el vehículo necesita mucha más superficie para realizar la curva sin llegar a deslizarse y a no volcar, con valores a partir de 260 metros. Hasta este valor el vehículo derraparía constantemente sin llegar a volcar excepto en radios menores a 80 metros, debido a que a medida que se baja hasta un valor menor a 80, el vehículo pierde el control totalmente y se producirá un vuelco con su derrape previo.

7.2 Gráficas de comportamiento

En este apartado se reflejarán gráficamente los valores obtenidos anteriormente en las tablas. Se interpretarán los valores de vuelco y derrape en gráficas separadas para ver el efecto de cada velocidad en ambas situaciones.

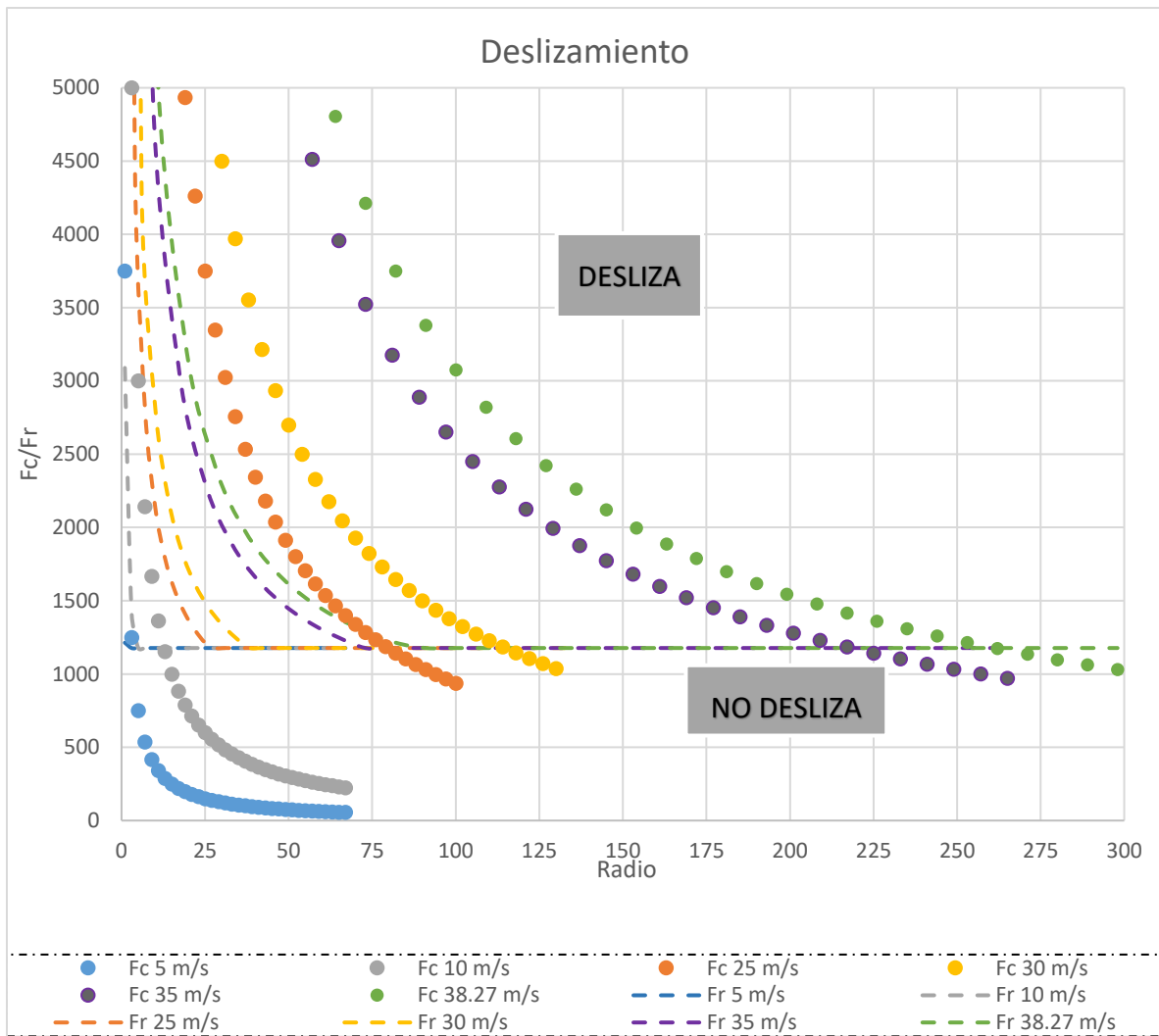
En la siguiente gráfica se muestra el vuelco a las distintas velocidades dadas y a los radios exigidos en cada una de ellas. En el eje Y se representa la fuerza que soporta la rueda interior con respecto a la curva, mientras que en el eje X se representa el radio de curvatura de la trayectoria a describir.

En *Gráfica 3* se muestra cuando se produce el vuelco en cada una de las velocidades. Como se ha dicho anteriormente, cuando se obtienen valores de fuerza en la rueda interior con referencia a la trayectoria de la curva, el vehículo vuelca perdiendo así el control. Por tanto, se observa que, a las velocidades de 25, 30, 35 y 38.27 m/s se obtienen valores de fuerza muy por debajo de 0, por lo que demuestra que se produce un vuelco. El resto de velocidades quedan muy adheridas debido a que necesitan menor radio para sobrepasar la trayectoria curva sin llegar a volcar.



Gráfica 3. Vuelco

Por último, se muestran las curvas obtenidas en el deslizamiento provocado en las distintas velocidades de la carrilana. En el eje Y se muestra el valor de la relación de la fuerza centrífuga y la de rozamiento que determinará si desliza o no el vehículo, y en el eje X el radio de la trayectoria a realizar.



Gráfica 4. Deslizamiento

En último lugar se sitúa el estudio gráfico de comportamiento de la carrilana a las distintas velocidades. Para ello se muestran las fuerzas centrífugas originadas a lo largo de la trayectoria junto con las fuerzas de rozamiento que opone el neumático contra el suelo, permitiendo así un agarre del conjunto. Se puede observar siguiendo la leyenda de colores que la gran mayoría de las velocidades comienza derrapando comenzando así de valores muy altos en Y en valores cercanos a 0. Esto es debido a que el radio de inicio es muy pequeño, por lo que esto representa que a cualquier velocidad determinada el vehículo derrapará. A medida que el radio va aumentando, los valores de F_c/F_r , van disminuyendo debido a que el vehículo tiende a derrapar cada vez menos cuando la trayectoria de la curva se puede realizar sin problemas.

8. CUESTIONES DE MEJORA

En el ámbito de la aerodinámica siempre se ha tenido la concepción de que el único fin de ésta, era que en el mundo de la competición fuese simplemente un método aplicable para ir más rápido en las rectas. Esto se ha tenido en consideración hasta los últimos 30 años, previo a la aparición de la competición de las 500 millas de Indianápolis, donde se empezaron a implementar vehículos más aerodinámicos.

En la actualidad se ha demostrado que es aplicable al ámbito de la competición y al mundo cotidiano de las personas, debido a que dicha aerodinámica mejora el paso por curva y permite una mejor frenada si la aerodinámica del cuerpo está optimizada.

Por tanto, aprovechando dichos avances en la aerodinámica y las consideraciones a tener hoy día para un rendimiento aerodinámico óptimo de los cuerpos, se pondrá en ejecución en el estudio de la "carrilana" a mejorar. Es necesario en este tipo de competiciones que el vehículo esté optimizado en cuanto a aerodinámica se refiere, debido a que no existe propulsión mecánica y el rendimiento del vehículo se basa íntegramente en un bajo rozamiento con el aire para mejorar así el paso por curva y evitar en la medida de lo posible frenadas en exceso.

De esta manera, se mejorará el paso del flujo de aire a lo largo del vehículo de inercia realizando mejoras de unas carrocerías inicialmente ya fabricadas, las cuales no están optimizadas para este fin. Estas mejoras se basan principalmente en el redondeo formas rectas de la carrocería existentes en la primera de ellas, que provoca que aumente excesivamente el coeficiente aerodinámico, desembocando en un vehículo con mucha resistencia aerodinámica. Se buscará por tanto que no se desprenda la capa límite del vehículo y no se creen torbellinos en la parte de las ruedas o la trasera debido a que son las más desfavorables en este sentido. Se evitará además que se creen reflujos para que no existan pérdidas de energía y, por consiguiente, conseguir un vehículo aerodinámicamente optimizado.

En este tipo de carreras, existen distintas categorías divididas en C1, C2, C3 y C4 que va de un peso y edad menor a una edad y un peso mayor, de manera que se pasa

de 140 kg a 210 kg y de 6 años a +18 años respectivamente. El vehículo en estudio se trata de una categoría C4 el cual puede llegar hasta los 210 Kg en el conjunto con piloto quedando admitidos los lastres previamente a la carrera.



Figura 42. Vehículos de inercia

Por último, se afirma que la principal necesidad es la de reducir la fuerza del aire sobre la carrocería y desviar el flujo de la forma más suave posible, para que no se formen torbellinos o agentes no deseados que provoquen un aumento de presiones sobre el vehículo.

8.1 Software

Para realizar este proyecto, se ha utilizado una herramienta de modelizado llamada SolidWorks 2016 que permitirá tanto en 2D como en 3D realizar el diseño real de las carrocerías y la mejora propuesta y los estudios para ver la comparación entre ellas. Los pasos a seguir para realizar los estudios serán:

- Escoger las unidades del sistema internacional (SI) para realizar el estudio de estas carrocerías
- Se extraen valores de temperatura, presión y velocidad incluyendo que las condiciones ambientales serán 1 bar y 25 °C.
- Se escoge el fluido que atravesará la carrocería, que será el aire. Se escogerán las propiedades que tendrá dicho flujo como, por ejemplo;

régimen turbulento, laminar o mixto. Se introducirá que el flujo tendrá un régimen mixto (turbulento y laminar).

Posteriormente se determinará el dominio en el cual se moverá el flujo de aire a lo largo de la carrilana, así como el nivel de calidad del estudio, el cual se fijará en 6 existiendo un rango de 1 a 7, y los distintos cálculos extra que se quieran añadir como cálculo de coeficientes aerodinámicos, velocidades por ejes, etc.

8.2 Modelos de vehículos de inercia

Los modelos en estudio se basan en un vehículo basándose en la forma de coche, como se ha reflejado anteriormente fijado por normativa. En primer lugar, se encuentra un vehículo con aristas muy definidas y poco desarrollado en el aspecto aerodinámico. Posteriormente, el segundo modelo es una mejora del primero en cuanto a la aerodinámica se refiere, suavizando bordes y haciendo la carrocería más baja. Se realizan mejoras superficiales de la carrocería inicial y se observa cual es la diferencia entre las dos.

Por último, se hace un rediseño de una carrocería optimizada para este tipo de competiciones, de manera que se tenga en cuenta la acción de la aerodinámica en estos vehículos y favorecer la velocidad constante a lo largo de la carrera y mejorar el paso por curva, ya que como en repetidas ocasiones se ha afirmado, estos vehículos solo cuentan con la aceleración de la gravedad.

El chasis en el que están basados los modelos en estudio queda representado en la *Figura 43*. Chasis realizado con perfiles cuadrados de 30x30x2 mm.

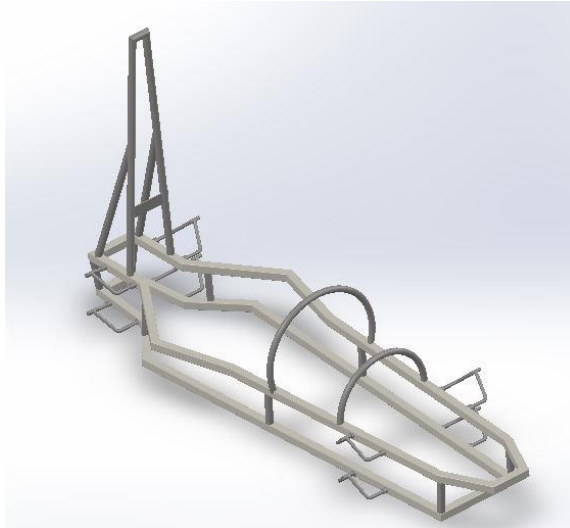


Figura 43. Chasis

8.2.1 Primera carrocería

El primer modelo a estudiar es un vehículo de inercia diseñado por la empresa Hiperbaric, la cual patrocina la “Hiperbaric Challenge” en Burgos. Dicha competición se rige más por el desafío educativo de manera que dichos vehículos son diseñados por alumnos de secundaria.



Figura 44. 1ª carrocería.

Las dimensiones de este vehículo están determinadas por la normativa como se ha reflejado anteriormente, por lo que las dimensiones principales del monoplaza son:

- Longitud: 2,3 m quedando así por debajo del límite de la normativa impuesto en 2,5 metros.
- Ancho: 1.2 m, siendo éste el mayor valor permitido por la competición

- Alto total del vehículo se sitúa en un valor de 0.55 m en la parte trasera del monoplaza, y de 0.3 en la parte delantera del vehículo.
- La distancia entre ejes del monoplaza se sitúa en un valor de 1.47 m siendo el valor mínimo determinado por normativa de 0.9 m.
- El ancho de vía con neumáticos hinchados es de 1 m, situándose el valor mínimo en 0.5 m.
- La altura libre de la carrocería con respecto al suelo es de 41 mm, quedando el mínimo aconsejado por normativa de 35 mm

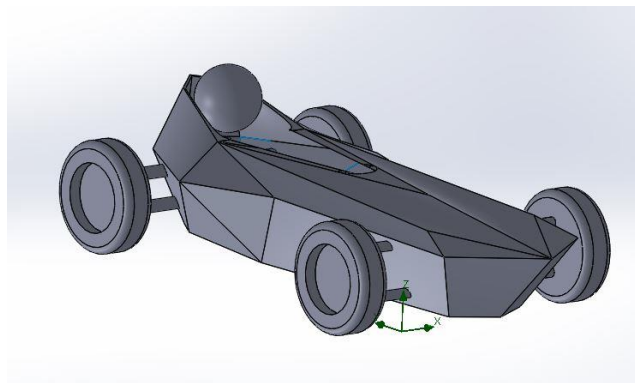


Figura 45. Vehículo modelizado

Este prototipo está fabricado con aristas y caras muy rectas, los cuales afectan de forma notable a la aerodinámica al vehículo en las competiciones. A continuación, se reflejará en el estudio que posteriormente se realiza los efectos de las formas de esta carrocería.

8.2.2 Segunda carrocería

Este segundo modelo ha sido mejorado por los alumnos del centro de enseñanza, disminuyendo así la altura de éste como se puede apreciar en la *Figura 46. 2ª carrocería*. Además, se redondea y se fabrica en forma de cuña el frontal del vehículo para conseguir una pequeña mejora aerodinámica y se eliminan las aristas rectas de los laterales. De esta forma se observarán las diferencias entre la primera y la segunda carrocería mediante el estudio aerodinámico y se determinarán posibles mejoras para una posterior modificación.



Figura 46. 2ª carrocería

Las dimensiones principales de este modelo nuevo serán similares a las del primer vehículo, debido a que se realizarán mejoras superficiales. Por tanto, las nuevas medidas serán:

- Longitud: 2,1 m quedando así por debajo del límite de la normativa impuesto en 2,5 m.
- Ancho: 1.2 m, siendo éste el mayor valor permitido por la competición
- Alto total del vehículo se sitúa en un valor de 0.5 m en la parte trasera del monoplace, y de 0.15 en la parte delantera del vehículo, quedando como una mejora de 0.15 m en comparación a la carrocería inicial.
- La distancia entre ejes del monoplace se sitúa en un valor de 1.47 m siendo el valor mínimo determinado por normativa de 0.9 m.
- El ancho de vía con neumáticos hinchados es de 1 m, situándose el valor mínimo en 0.5 m.
- La altura libre de la carrocería con respecto al suelo es de 41 mm, quedando el mínimo aconsejado por normativa de 35 mm.

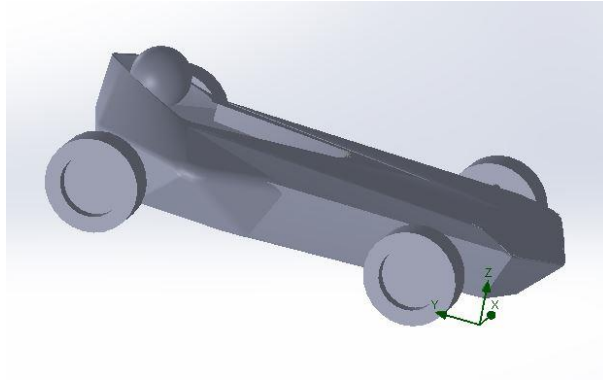


Figura 47. Segunda carrocería

8.2.3 Tercera carrocería

En este tercer modelo, se realiza un cambio previo de la segunda carrocería para llegar finalmente a la cuarta carrocería definida posteriormente.

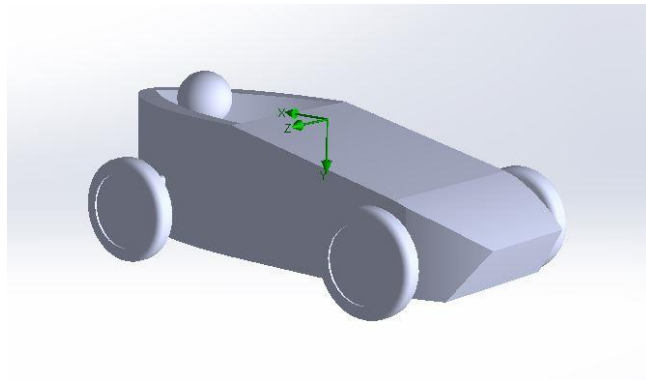


Figura 48. Tercer modelo

Las dimensiones principales de este nuevo modelo serán similares al segundo modelo, pero con modificaciones para ir optimizando las carrocerías previas. Por tanto, las dimensiones de éste serán:

- Longitud: 2,23 m quedando así por debajo del límite de la normativa impuesto en 2,5 m.
- Ancho: 1.18 metros, quedando por debajo del valor máximo de la competición siendo este de 1.2 m.
- Alto total del vehículo se sitúa en un valor de 0.65 m en la parte trasera del monoplaza, y de 0.26 en la parte delantera del vehículo. Este valor no está

restringido por normativa, por lo que se adapta lo mejor posible las alturas para conseguir una carrocería aerodinámica.

- La distancia entre ejes del monoplaza se sitúa en un valor de 1.4 m siendo el valor mínimo determinado por normativa de 0.9 m.
- El ancho de vía con neumáticos hinchados es de 0.98 m, situándose el valor mínimo en 0.5 m.
- La altura libre de la carrocería con respecto al suelo es de 44 mm, quedando el mínimo aconsejado por normativa de 35 mm

8.2.4 Cuarta carrocería

En esta cuarta carrocería se realiza un rediseño de una nueva carrocería para optimizar el comportamiento del vehículo en la competición. Tras el estudio de dicho prototipo, se le realizarán mejoras para ajustar al máximo el coeficiente aerodinámico y aumentar así, la eficiencia del conjunto.

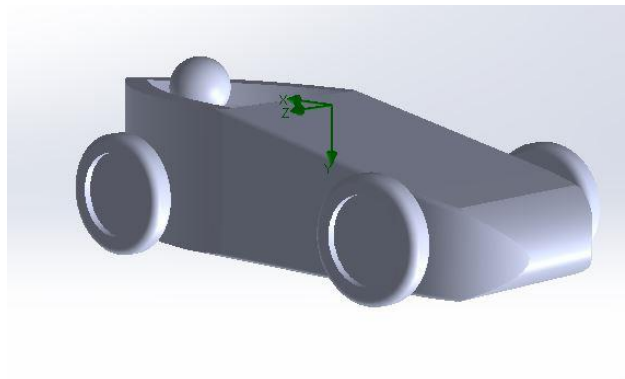


Figura 49. Cuarta carrocería

Las dimensiones principales de este nuevo modelo serán distintas a las carrocerías anteriores debido a que se optimizará en cuanto a forma y dimensiones. Por tanto, las dimensiones de éste serán:

- Longitud: 2,35 m quedando así por debajo del límite de la normativa impuesto en 2,5 metros.
- Ancho: 1.12 m, quedando por debajo del valor máximo de la competición siendo este de 1.2 m.

- Alto total del vehículo se sitúa en un valor de 0.73 m en la parte trasera del monoplaza, y de 0.32 en la parte delantera del vehículo. Este valor no está restringido por normativa, por lo que se adapta lo mejor posible las alturas para conseguir una carrocería aerodinámica.
- La distancia entre ejes del monoplaza se sitúa en un valor de 1.35 m siendo el valor mínimo determinado por normativa de 0.9 m.
- El ancho de vía con neumáticos hinchados es de 0.94 m, situándose el valor mínimo en 0.5 m.
- La altura libre de la carrocería con respecto al suelo es de 37.5 mm, quedando el mínimo aconsejado por normativa de 35 mm

9. RESULTADOS

9.1 Estudio de la primera carrocería

En este apartado de resultados, se realizarán estudios a distintas velocidades donde se diferenciarán los valores de presión y velocidad del fluido obtenidos en cada una de ellas. Por tanto, las velocidades de los estudios son:

- 5 *m/s*
- 10 *m/s*
- 25 *m/s*
- 30 *m/s*
- 38.27 *m/s* (Record mundial de velocidad en vehículos de inercia)

En cada una de las velocidades se estudiarán los Flow Trajectories de presiones y velocidades del flujo sobre la carrocería diseñada. Con esto se estudia más a fondo el comportamiento de la carrocería en distintas condiciones de flujo, ya que como se ha afirmado anteriormente, el factor velocidad influye de forma notable sobre la carrocería del vehículo.

Primeramente, se tendrá en cuenta el área frontal, cuyo valor se sitúa en **0.8601**, que ocupa el vehículo para tenerlo en cuenta en el cálculo del coeficiente C_x . Se tiene

en cuenta también el valor 1.2 que corresponde a la densidad del fluido, en este caso aire.

A continuación, se realizarán los distintos ensayos a 6 velocidades distintas tal y como se ha definido anteriormente. A medida que aumenta la velocidad, la presión sobre el vehículo aumenta de forma notable como se puede observar en los diagramas de flujo

9.1.1 Caso 1: Velocidad de 5 m/s

9.1.1.1 PRESIONES

Como se aprecia en la *Figura 50*, en lo referente a la presión con la que el fluido incide sobre el vehículo, las zonas en la que dicha presión es más alta es en la frontal y en el hueco interior del vehículo.

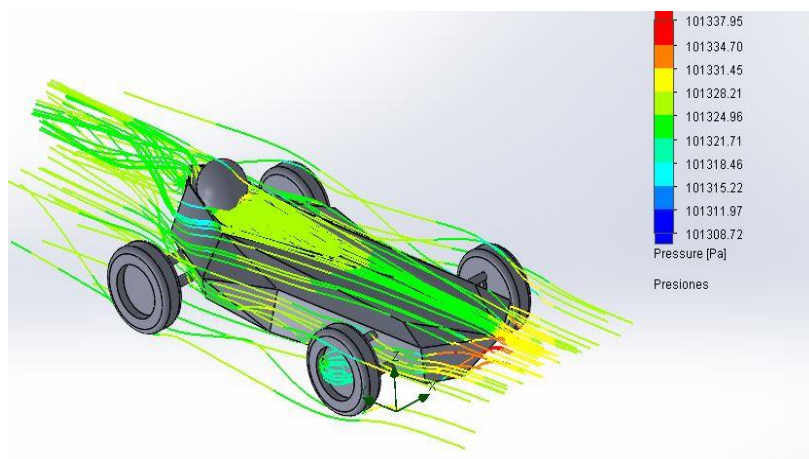


Figura 50. Presiones a 5 m/s

Esto es debido a que la zona frontal es la primera superficie del vehículo con la que interfieren las partículas de fluido, y es donde la propia forma de la carrocería, debido al efecto Coanda, provoca un cambio de dirección y una disminución de la velocidad de dichas partículas, favoreciendo así la aparición de esta zona de altas presiones.

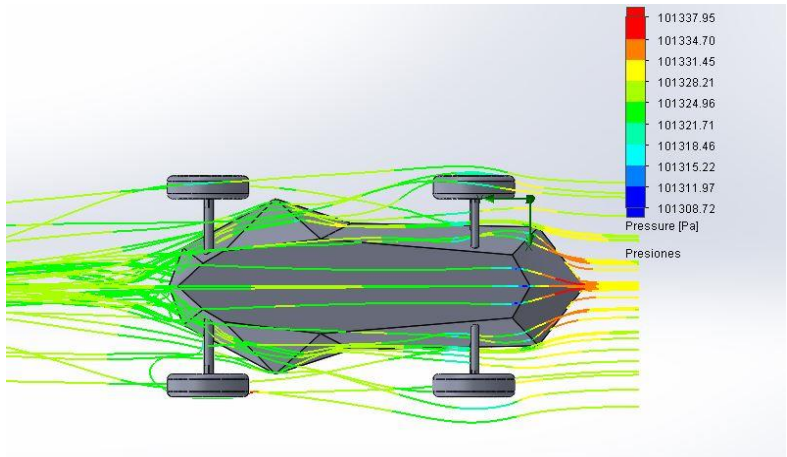


Figura 51. Presiones inferiores a 5 m/s

En la zona interior del vehículo, se aprecia la formación de muchas turbulencias, esto también favorece la aparición de zonas de mayores presiones, debido a que el fluido pasa a un régimen turbulento y disminuye su velocidad.

9.1.1.2 VELOCIDAD

En lo referente a la variación de la velocidad del fluido, se puede ver en la *Figura 52*. Velocidad a 5 m/s, es menor en las zonas donde existen turbulencias y donde se fuerza al fluido a cambiar su dirección, todo esto suponen obstáculos para el fluido por lo que lo frenan.

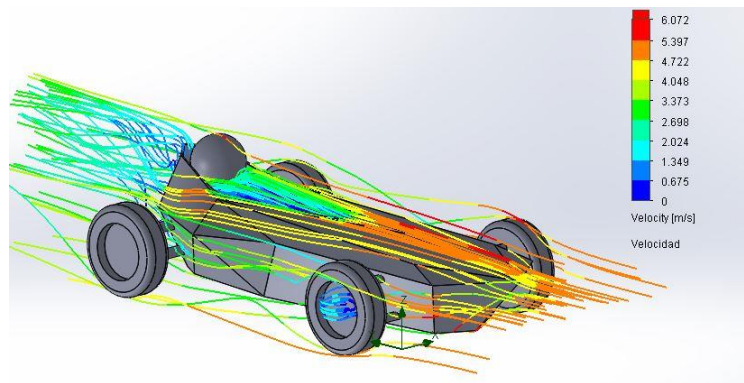


Figura 52. Velocidad a 5 m/s

Además, en la zona superior de la carrocería, que tiene una forma más suave y continua, la velocidad del fluido es mayor debido a que el fluido recorre la carrocería sin problemas.

En la *Figura 53* se observa que en la parte trasera del vehículo aparecen velocidades cercanas a 0 m/s, ya que en esta zona se crean muchas turbulencias debido a la sección de la carrocería. Esto crea una zona de depresión que a su vez genera una succión del flujo, provocando que aparezcan velocidades prácticamente nulas.

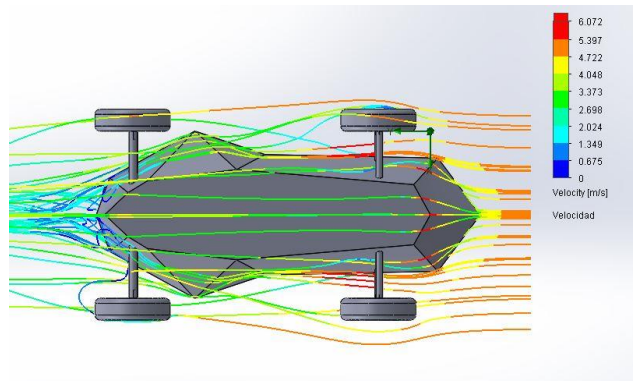


Figura 53. Velocidades inferiores a 5 m/s

9.1.2 Caso 2: Velocidad de 10 m/s

9.1.2.1 PRESIONES

En la *Figura 54* se ve que en las zonas donde las presiones son mayores es en el frontal del vehículo y en los lados de la carrocería. Esto se debe principalmente a que el fluido sufre un cambio de dirección lo que conlleva que aminore su velocidad, ya que es frenado por el propio vehículo.

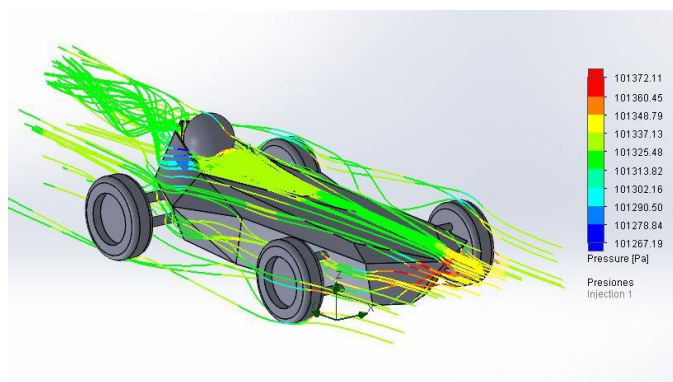


Figura 54. Presiones a 10 m/s

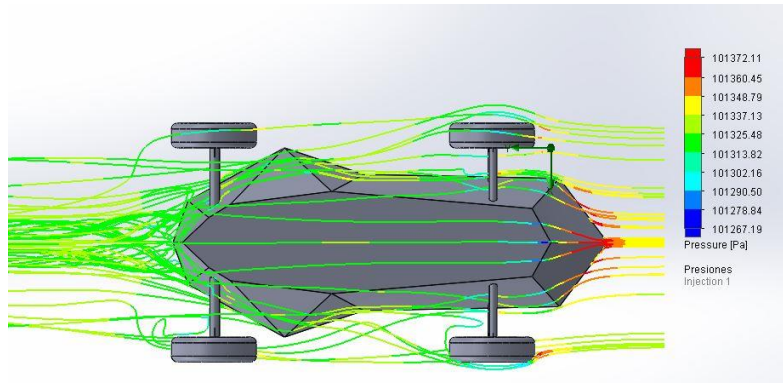


Figura 55. Presiones inferiores a 10 m/s

9.1.2.2 VELOCIDAD

Respecto a la velocidad del fluido, se refleja en la *Figura 56* que su valor es mayor en las zonas de la carrocería que tienen una forma más suave. Esto se debe precisamente a que la forma suave que presenta, favorece el paso del fluido y éste mantiene la velocidad.

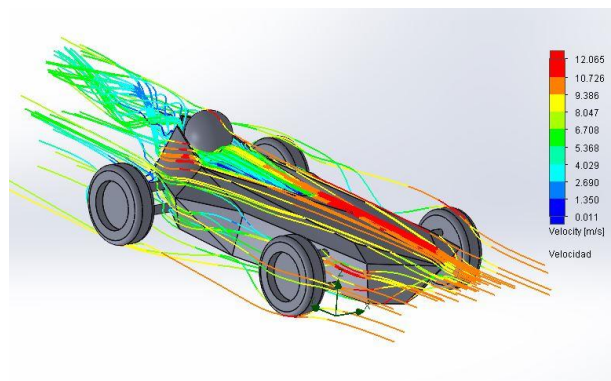


Figura 56. Velocidad a 10 m/s

En la *Figura 57* se aprecia que en la parte final de la carrocería la velocidad del fluido es prácticamente nula, ya que en esta zona es donde se concentran la mayor parte de las turbulencias, que provocan cambios de dirección constantes de las partículas del fluido, formándose remolinos. Esto explica que la velocidad del fluido en esas zonas sea prácticamente nula.

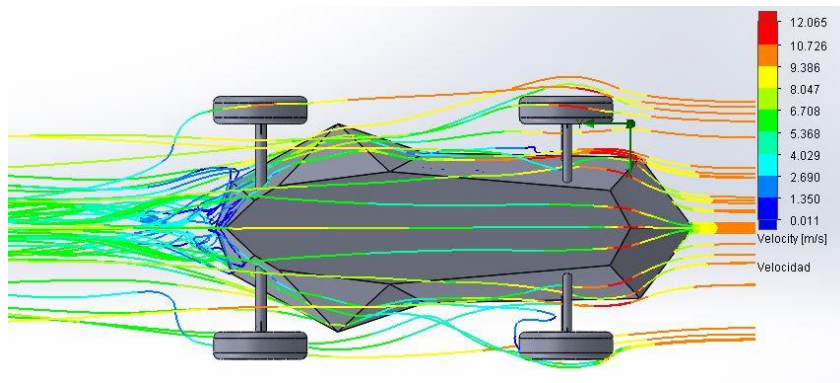


Figura 57. Velocidades inferiores a 10 m/s

Por el contrario, en las zonas donde el fluido se ve frenado por la formación de turbulencias o cambios bruscos de dirección, la velocidad de este es menor.

9.1.3 Caso 3: Velocidad de 25 m/s

9.1.3.1 PRESIONES

Tal y como se puede apreciar en la *Figura 58*, no se producen grandes variaciones de presión en todo el vehículo. En la parte delantera del monoplaza se puede apreciar un ligero aumento de presiones debido al impacto del fluido con la parte frontal.

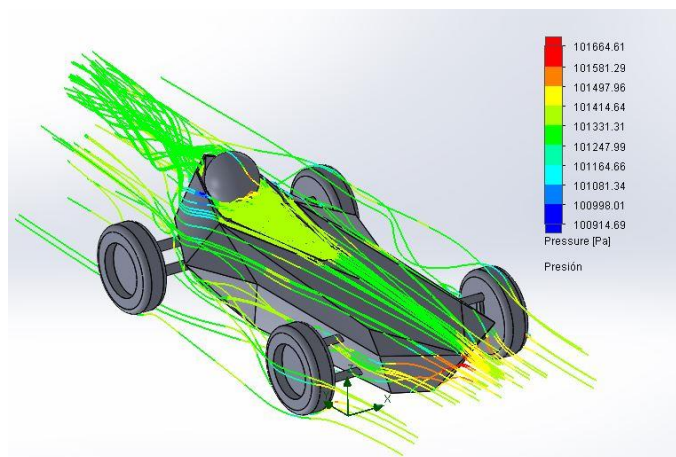


Figura 58. Presiones a 25 m/s

En los cambios de dirección del flujo debido a la geometría de la carrocería se producen pequeñas zonas en las cuales se generan bajas presiones que no tienen una gran importancia a esta velocidad ya que son muy pequeñas.

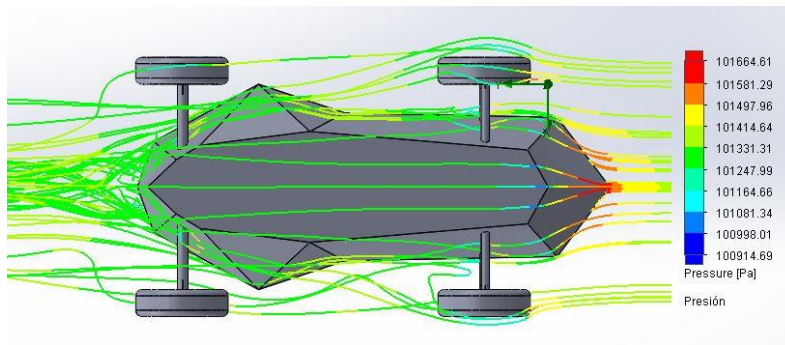


Figura 59. Presiones inferiores a 25 m/s

En la parte inferior al tener una superficie plana no se aprecian ninguna variación de presión.

9.1.3.2 VELOCIDAD

El patrón de velocidades del aire es el mismo que el de la temperatura. Se puede observar que en la zona posterior al producirse turbulencias el aire pierde mucha velocidad.

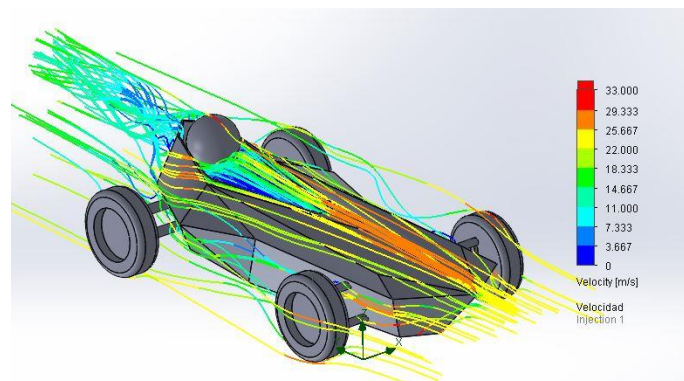


Figura 60. Velocidad a 25 m/s

En la parte de los laterales y el habitáculo del piloto también se producen pérdidas de velocidad. Además, se ve muy claramente que se produce una turbulencia que deja parado el aire y que por tanto se queda dando vueltas e incluso se para por completo.

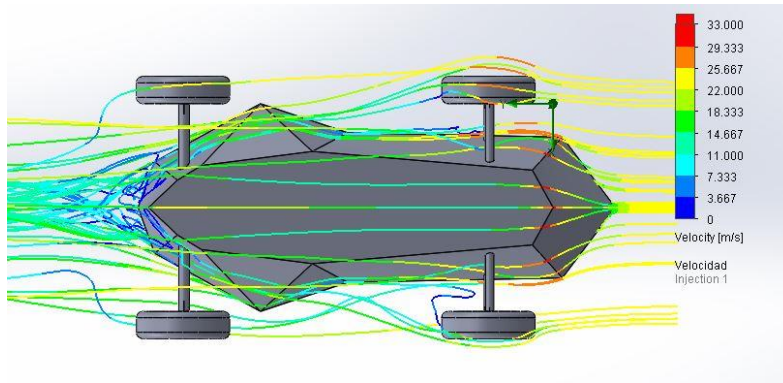


Figura 61. Velocidades inferiores a 25 m/s

9.1.4 Caso 4: Velocidad de 30 m/s

9.1.4.1 PRESIONES

Al aumentar la velocidad de ensayo, en la parte frontal aumentan las presiones de forma más grande. En la parte lateral se producen depresiones ligeramente mayores que en el caso de menores velocidades.

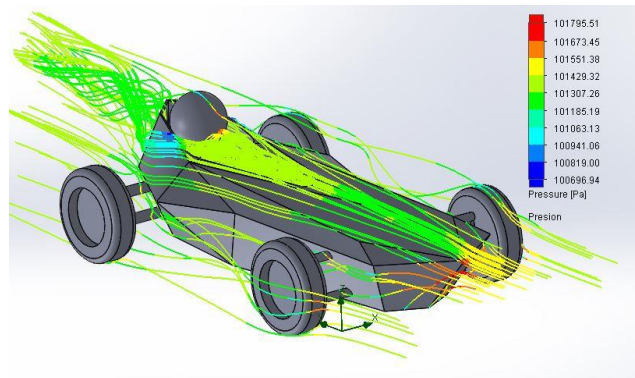


Figura 62. Presiones a 30 m/s

En la parte inferior se vuelve a repetir el patrón, pero en este caso destaca que en la parte delantera disminuye la presión por el cambio de dirección.

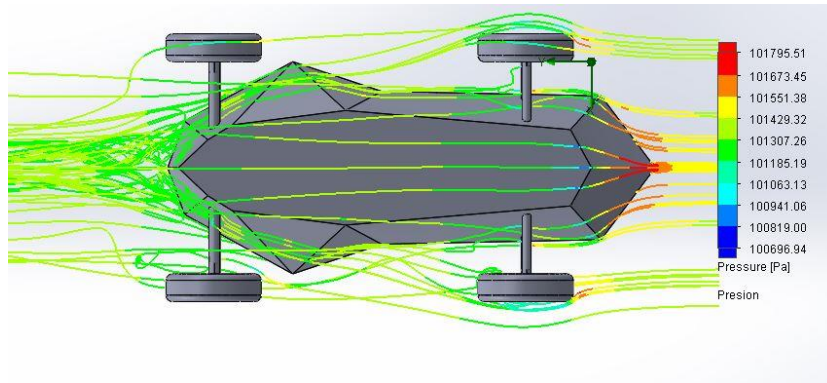


Figura 63. Presiones inferiores a 30 m/s

9.1.4.2 VELOCIDAD

El patrón de velocidades para el vehículo es el mismo que en el de temperaturas para la misma velocidad. En este caso al aumentar la velocidad las diferencias aumentan debido a que se producen turbulencias más grandes.

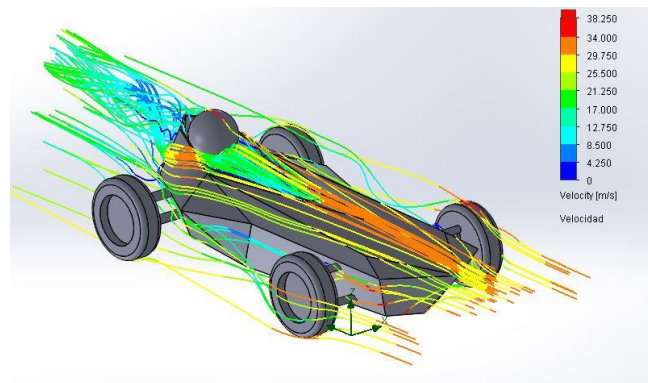


Figura 64. Velocidad a 30 m/s

La velocidad en la parte inferior disminuye notablemente debido al rozamiento de la carrocería con el aire.

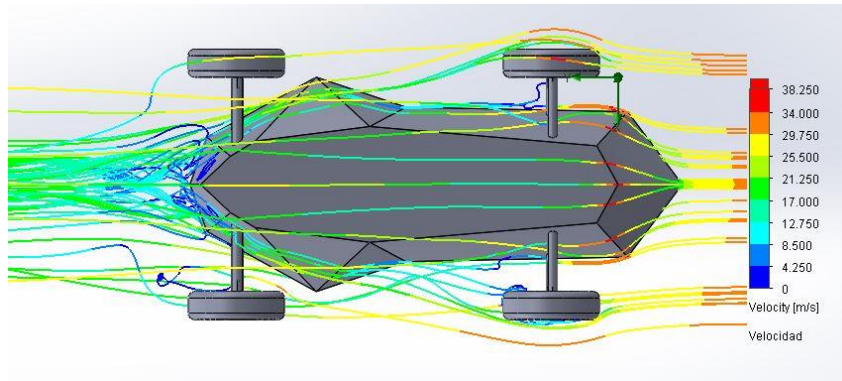


Figura 65. Velocidades inferiores a 30 m/s

9.1.5 Caso 5: Velocidad de 35 m/s

9.1.5.1 PRESIONES

En la *Figura 66* se muestran los valores de las presiones soportadas a lo largo de la carrocería. Si se estudia más profundamente dichos valores, se observa que, en la parte frontal, en la que incide directamente el flujo sobre la carrocería, se obtienen valores altos de presiones. Esto puede deberse a un mal diseño de la carrocería debido a que tenemos una zona localizada con presiones elevadas y significa que no es aerodinámicamente óptimo.

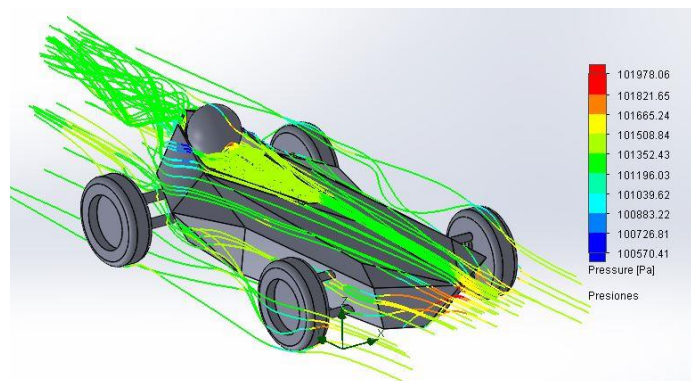


Figura 66. Presiones a 35 m/s

Tras el frontal, se encuentra el resto del vehículo, donde se obtienen valores normales a lo largo de este hasta llegar a la zona del piloto. Dicha zona cuenta con excesivos cambios de forma con aristas muy pronunciadas y por tanto se obtienen valores muy pequeños después de estos cambios drásticos de forma. Esto se debe de nuevo a un mal diseño debido a que tras dichos cambios bruscos se forman torbellinos reflejados en dicha foto.

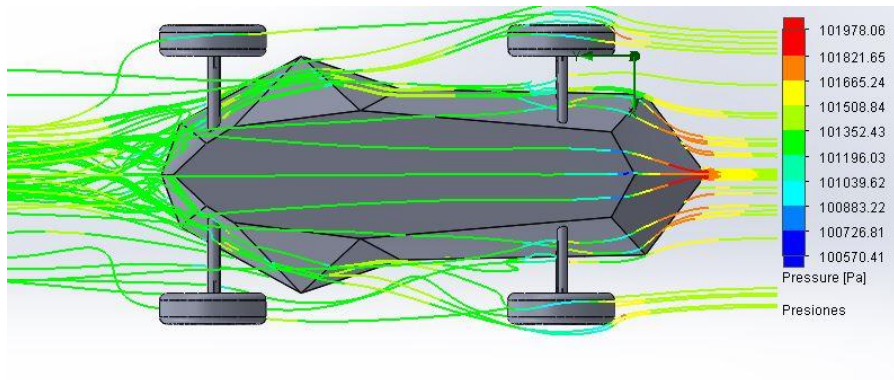


Figura 67. Torbellinos en presión a 35 m/s

9.1.5.2 VELOCIDAD

En la parte donde entra en juego la velocidad, se ve que se alcanzan presiones altas a lo largo de toda la carrocería, desde que comienza por la parte frontal, hasta la zona del piloto. El resto de la carrocería, al tener esos cambios de sección tan pronunciados, se obtienen valores muy pequeños representados en azul. Tal y como podemos observar en la gráfica de colores representada a la izquierda, se obtienen valores prácticamente negativos en la zona de detrás del piloto. Esto es debido al mal diseño y a la poca uniformidad de la carrocería que se necesita para tener una buena aerodinámica.

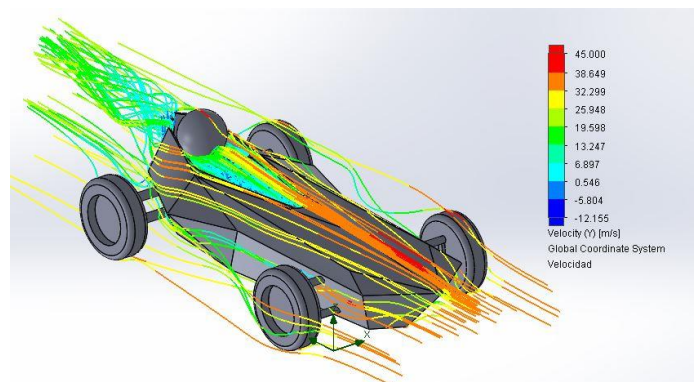


Figura 68. Velocidad a 35m/s

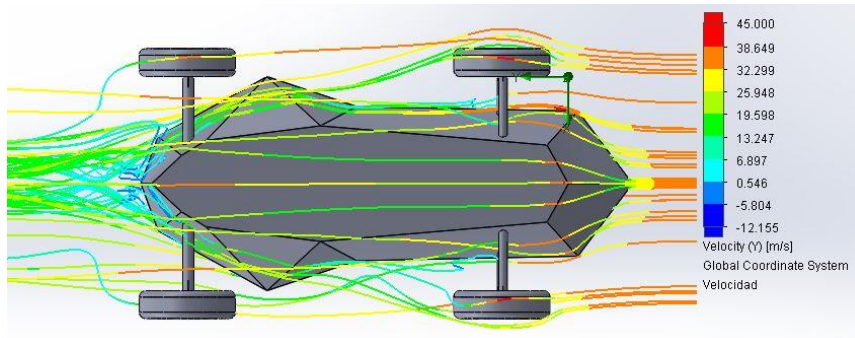


Figura 69. Torbellinos en velocidad a 35 m/s

Por tanto, en la zona posterior, se obtienen turbulencias y se observa que toma una forma de V cuando chocan las ondas de flujo provenientes de la parte superior e inferior del vehículo apareciendo así el efecto Coanda.

9.1.6 Caso 6: Velocidad de 38.27 m/s

9.1.6.1 PRESIONES

En la *Figura 70* se hace referencia a los valores de las presiones soportadas por la carrocería a una velocidad de 38.27 m/s. El motivo de coger dicha velocidad es porque, como se ha dicho anteriormente, es la mayor velocidad que se ha registrado como record en un vehículo de carreras de inercia. Por tanto, si se analizan los valores obtenidos de presiones, se afirma que en la parte frontal se debe soportar presiones altas debido a ser tan recta la carrocería por la parte delantera. Por el contrario, una vez se ha superado dicho frontal se obtienen en general valores medios-bajos, que se representan de color verde y azul.

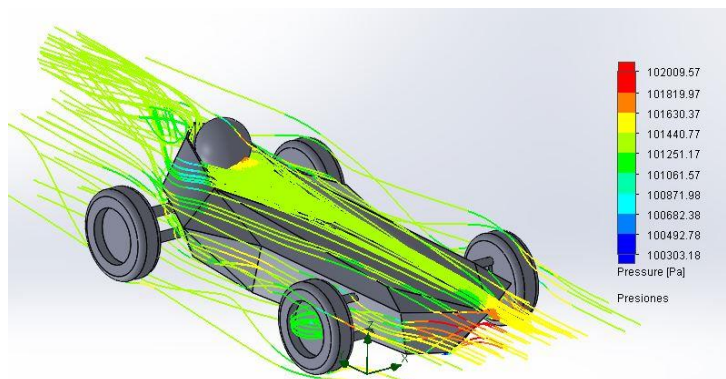


Figura 70. Presiones a 38.27 m/s

Llegados a la zona del piloto, se observa que, debido a los cambios bruscos de sección, como se ha dicho anteriormente, se obtienen valores bajos y en la zona del casco del piloto se soportan presiones algo más elevadas debido a la resistencia que opone al viento.

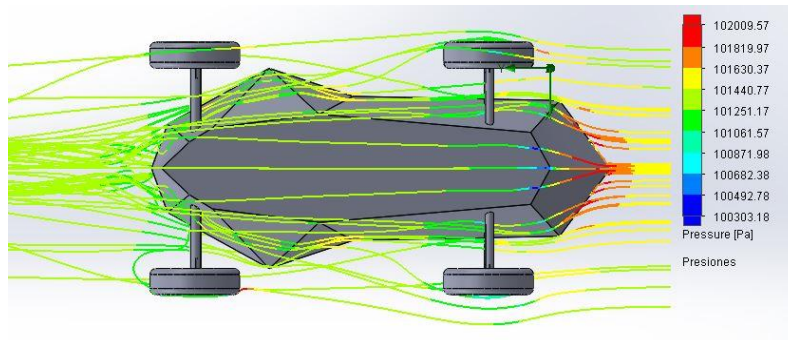


Figura 71. Torbellinos en presiones a 38.27 m/s

En la imagen anterior se muestran los torbellinos creados por el mal diseño de la carrocería debido a sus aristas extremadamente rectas.

9.1.6.2 VELOCIDAD

En el apartado del efecto de la velocidad en la carrocería, se ve que se alcanzan presiones altas desde el frontal hasta la mitad de esta. El resto de la carrocería, al tener esos cambios de sección tan pronunciados, se obtienen valores muy pequeños representados en azul. Tal y como podemos observar en la gráfica de colores representada a la izquierda, se obtienen valores negativos en la zona de detrás del piloto. Esto es debido a un diseño poco optimizado y a la poca uniformidad de la carrocería que se necesita para tener una buena aerodinámica.

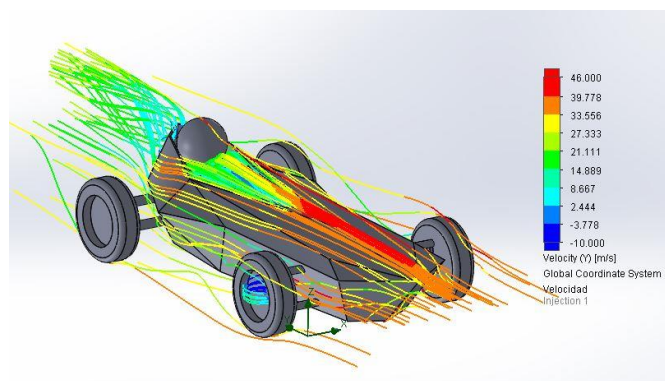


Figura 72. Velocidad a 38.27 m/s

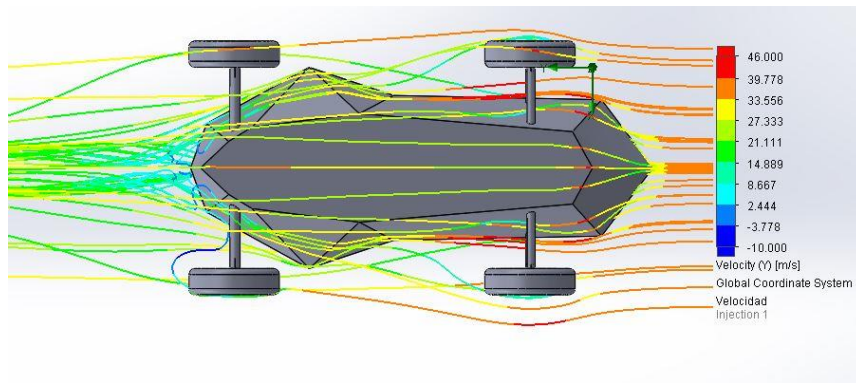


Figura 73. Torbellinos en velocidad a 38.27 m/s

Por tanto, en la zona posterior, se obtienen turbulencias y se observa que toma una forma de V cuando chocan las ondas de flujo provenientes de la parte superior e inferior del vehículo.

9.2 Estudio de la segunda carrocería

En el estudio de la segunda carrocería, se utilizarán las mismas velocidades que en la anterior carrocería, por lo que se obtendrán los resultados de presión y velocidad de igual manera. Por tanto, las velocidades de los estudios son:

- 5 m/s
- 10 m/s
- 25 m/s
- 30 m/s
- 38.27 m/s

En cada una de las velocidades se estudiarán los Flow Trayectories de presiones y velocidades del flujo sobre el prototipo. Con esto se estudia más a fondo el comportamiento de la carrocería en distintas condiciones de flujo.

Primeramente, se tendrá en cuenta el área frontal, cuyo valor se sitúa en **0.8313** m², que ocupa el vehículo para tenerlo en cuenta en el cálculo del coeficiente Cx. Se tiene en cuenta también el valor 1.2 que corresponde a la densidad del fluido, en este caso aire.

De igual forma, se realizarán los diferentes ensayos a las 6 velocidades anteriormente descritas, de manera que se irá aumentando la velocidad y, por tanto, la presión del flujo sobre el vehículo aumentará de forma notable y se observarán los diagramas de flujo.

9.2.1 Caso 1: Velocidad de 5 m/s

9.2.1.1 PRESIONES

En este modelo mejorado se han obtenido valores de presión a 5 *m/s* menores en comparación al modelo inicial. Se puede reflejar en la *Figura 50* que se obtienen valores altos de presión en torno a los 101340 Pa frente a los 101330 Pa, donde se aprecia una ligera reducción aplicando las pequeñas modificaciones.

De igual manera, se obtienen altas presiones en la parte frontal con valores máximos en torno a 101330 Pa. En el resto del vehículo se obtienen valores uniformes a lo largo de toda la carrilana, debido a la baja velocidad del flujo que lo atraviesa

9.2.1.2 VELOCIDAD

En cuanto a la velocidad, se obtienen valores muy igualados, debido a que las mejoras efectuadas han sido superficiales con el fin de abaratar costes de una mejora óptima. De esta manera, los valores obtenidos en el modelo anterior, es de 6 *m/s*, representado en *Figura 51* frente a una velocidad de 6.2 *m/s* en el nuevo modelo. Esto significa que el flujo de aire recorre el vehículo de una forma más rápida debida a la forma de cuña que tiene el nuevo frontal.

9.2.2 Caso 2: Velocidad de 10 m/s

9.2.2.1 PRESIONES

Por consiguiente, a una velocidad de 10 *m/s* aumentarán las velocidades y las presiones ejercidas por el flujo sobre la carrocería debido a que la velocidad se aumenta al doble. Por tanto, se obtienen valores en esta nueva carrocería de 101360 Pa frente a los 101372 Pa de la *Figura 53*. Esta mejora superficial del vehículo permite que a

velocidades en torno a 10 m/s, disminuir ligeramente la presión sobre el frontal la carrocería, la cual es la zona más desfavorable.

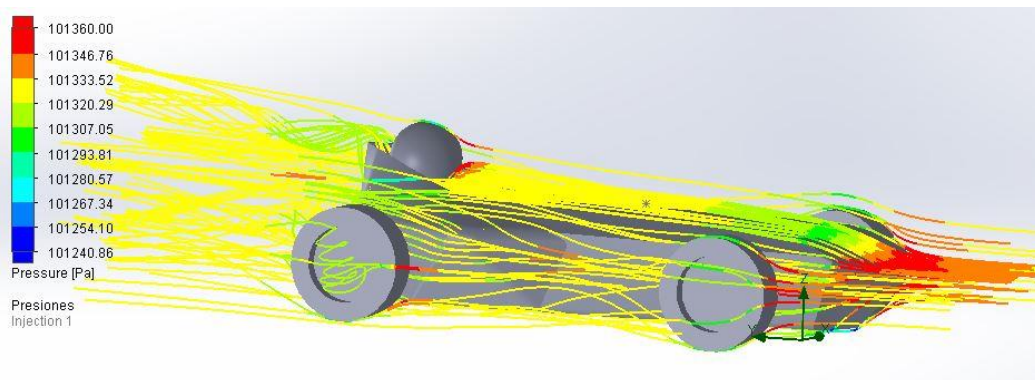


Figura 74. Presiones

Por otro lado, a partir de este rango de velocidades se obtienen menos torbellinos en las partes laterales debido a que todas las aristas rectas se han redondeado.

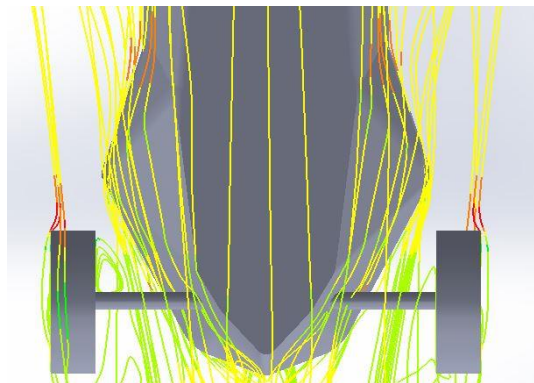


Figura 75. Flujo sobre el vehículo

9.2.2.2 VELOCIDAD

En cuanto a las velocidades de flujo obtenidas a una velocidad del prototipo de 10 m/s, rondan valores entre 13 y 14 m/s. Se destaca un aumento más notable que a 5 m/s debido a que las velocidades de flujo a 10 m/s en la carrocería previa era de 12 m/s aproximadamente. Por lo que se afirma que a medida que se aumenta la velocidad del vehículo, se va aumentando la velocidad del flujo con respecto a la carrilana y, por tanto, sean mayores las velocidades en la carrocería mejorada debido a que existen zonas más redondeadas y un frontal en forma de cuña.

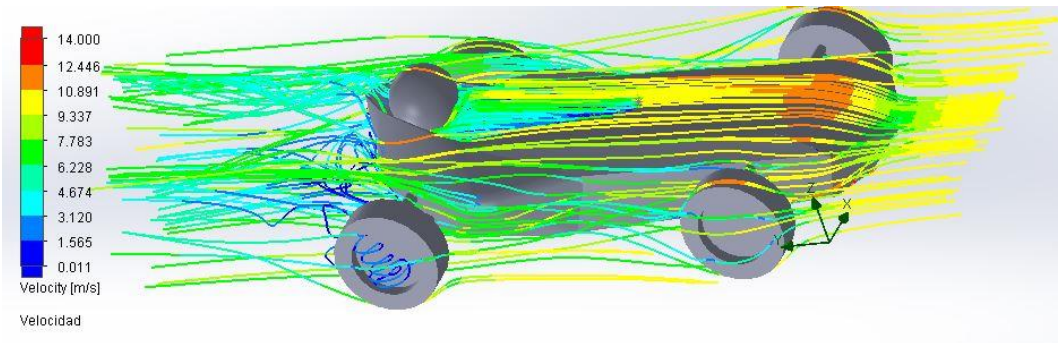


Figura 76. Velocidades

A lo largo del vehículo existen velocidades medias de 7 m/s , donde se encuentra su mayor valor en el frontal del vehículo. Por el contrario, en la parte trasera del vehículo se encuentran velocidades de 0 m/s debido a que no queda optimizada la parte trasera plenamente debido a que debe existir más área trasera y existencia de redondeos

9.2.3 Caso 3: Velocidad de 25 m/s

9.2.3.1 PRESIONES

Las presiones a partir de este caso, 25 m/s , aumentan de forma notable en ambas carrocerías. En la carrocería previa, se obtenían valores máximos alrededor de 101660 Pa frente a los valores obtenidos en la carrocería mejorada, que rondan valores de 101600 Pa , lo que demuestra que disminuir el área frontal del vehículo ayuda a disminuir las presiones ejercidas por el flujo sobre el vehículo y por tanto conseguir una carrilana más aerodinámica.

En esta última carrocería, se obtienen valores medios de 101300 Pa a lo largo de la carrocería quedando como zona más desfavorable el frontal de ésta, debido a que debe soportar todas las presiones directas del flujo.

9.2.3.2 VELOCIDAD

En cuanto a las velocidades del flujo, se obtienen valores mayores en la carrocería actual con valor de 34 m/s debido a que el flujo recorre el vehículo más rápido al existir más redondeos y un frontal con menos sección en comparación a la carrocería previamente estudiada.

En la parte trasera, al igual que a 10 m/s , se obtienen valores de velocidad de 0 m/s debido a la forma de la carrocería.

9.2.4 Caso 4: Velocidad de 30 m/s

9.2.4.1 PRESIONES

Las presiones soportadas a 30 m/s en la carrocería actual son como en los casos anteriores, donde se obtienen las mayores presiones en la parte frontal debido al choque directo del flujo sobre la superficie frontal. A lo largo de ésta, se obtienen valores medios de presiones excepto en la zona del piloto, donde se obtienen valores más altos debido a la incidencia del aire sobre el casco.

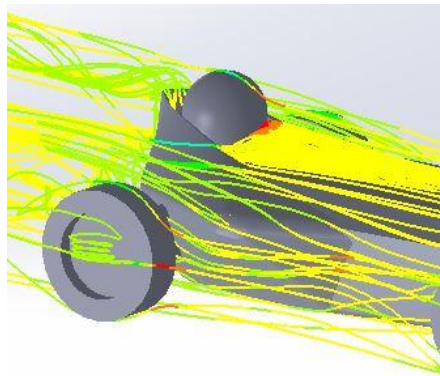


Figura 77. Presiones sobre el piloto

En comparación a las velocidades anteriores, se obtienen valores del orden de 101700 Pa habiendo realizado las mejoras frente a los valores de la primera carrocería con valores que rondan los 101800 Pa representados en la *Figura 61*. Esto significa que los valores de presión con la mejora realizada en la carrocería, disminuyen debido a que se ha reducido el área frontal.

9.2.4.2 VELOCIDAD

En cuanto a las velocidades soportadas a lo largo de la carrilana, quedan de igual manera que las velocidades anteriores, de manera que se originan velocidades mayores en comparación a la carrocería anterior.

La diferencia entre ambas carrocerías en cuanto a la velocidad del flujo que recorre la carrocería es del orden de 3 m/s entre la primera y la mejorada, quedando por encima esta última de manera que las zonas más redondeadas permiten mayores velocidades a lo largo del vehículo.

Tras el piloto se obtienen valores de velocidad muy cercanos a 0 m/s, debido a que queda el flujo de aire cortado por una sección trasera tan reducida. En la *Figura 78* se muestra la velocidad del flujo a la salida del monoplaza, representándose de azul oscuro las velocidades igual o cercanas a 0 m/s.

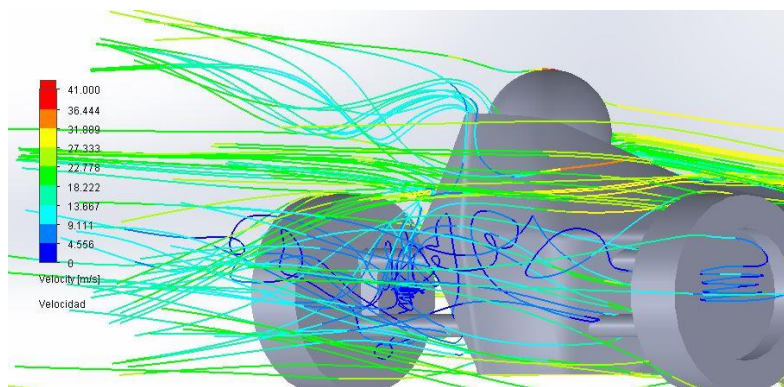


Figura 78. Velocidades tras el piloto

9.2.5 Caso 5: Velocidad de 35 m/s

9.2.5.1 PRESIONES

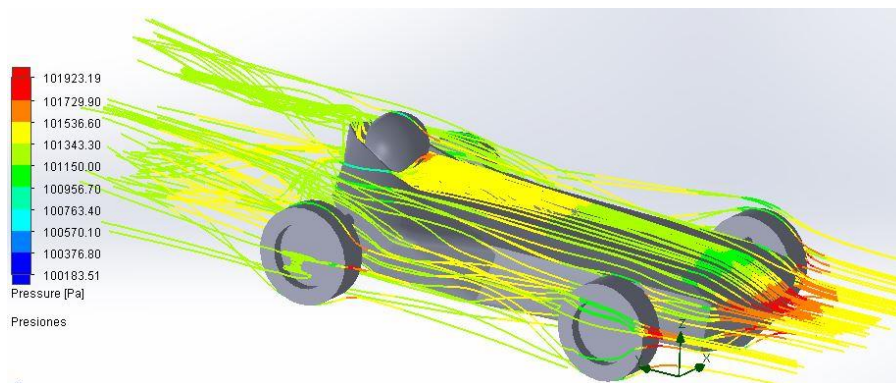


Figura 79. Presiones a 35 m/s

En la imagen anterior se muestran los valores de las presiones soportadas a lo largo de la carrocería. Si se estudian los valores obtenidos y se comparan con los de la anterior carrocería, de manera que en ambas en la parte frontal se obtienen valores altos de presión. En la primera carrocería se han obtenido valores del orden de 102000

Pa mientras que, en la mejorada, se reduce hasta los 101920 Pa, de manera que se disminuye ligeramente la presión ejercida por el flujo en el frontal del vehículo.

Tras el frontal, se observan valores medios menores a los de la primera carrocería debido a que las aristas se han redondeado tal y como se ha afirmado anteriormente, y se han reducido los cambios de sección bruscos.

9.2.5.2 VELOCIDAD

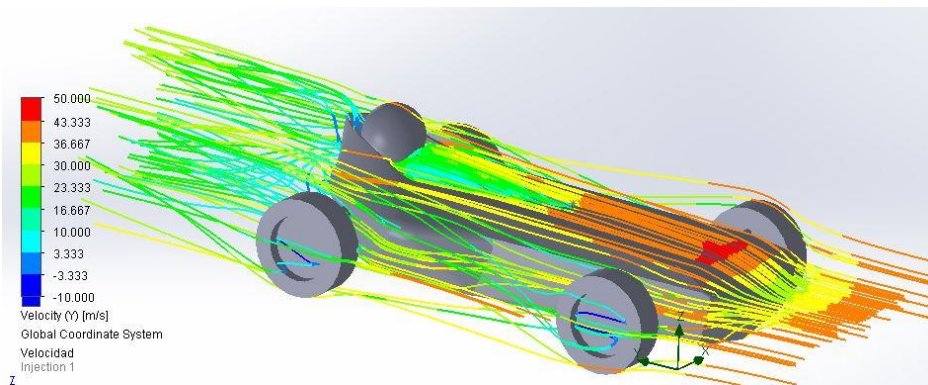


Figura 80. Velocidad a 35m/s

En cuanto a la velocidad del flujo sobre la carrocería, se observan valores altos en la zona frontal debido al cambio de sección del frontal del vehículo. Se obtienen en comparación a la anterior versión, unas velocidades de flujo 5 m/s superiores debido a los contornos redondeados y el frontal con una sección más suave en forma de cuña.

Además, se obtienen velocidades negativas tras la zona del piloto, ya que como 35 m/s del vehículo supone una velocidad alta, se crean depresiones en la zona posterior del vehículo. Esto significa que se ha de suavizar la parte trasera del monoplaza debido a que es resultado a un cambio muy brusco de sección en la parte trasera del vehículo.

9.2.6 Caso 6: Velocidad 38.27 m/s

9.2.6.1 PRESIONES

Por último, a 38.27 m/s se obtienen valores muy similares a los de velocidad 35 m/s, pero la diferencia entre ellos es que las máximas presiones a lo largo de la carrocería a esta velocidad quedan prácticamente igualadas con respecto a la carrocería sin mejoras. Esto es debido a que la acción del flujo queda igualada ya que el vehículo

lleva una velocidad bastante elevada, y no es apreciable la diferencia entre ambas carrocerías.

Por consiguiente, las presiones mínimas obtenidas si fluctúan, debido a que, en la carrocería sin mejoras al tener numerosas aristas rectas y secciones demasiado marcadas, se obtienen valores del orden de 100300 Pa frente a los valores de la nueva carrocería que se sitúan en torno a 100550 Pa. Eso justifica las mejoras realizadas suprimiendo las aristas que provocaban esa diferencia de presiones máximas y mínimas.

9.2.6.2 VELOCIDAD

En cuanto al término cinético de esta carrocería, se sitúa en los mismos valores que en 35 m/s debido a que la diferencia de velocidad del monoplaza que existe es mínima. Por ello se afirma que se obtienen velocidades negativas de igual forma que en el anterior caso, tras el piloto y velocidades altas en la zona frontal de la carrilana.

Los valores máximos de velocidad se obtienen en el frontal del vehículo que se sitúan en torno a los 50 m/s, siendo los valores mínimos -10 m/s, como en el caso anterior.

9.2.7 Comparativa de ambas carrocerías

A continuación, se muestran todos los valores máximos obtenidos en ambas carrocerías para observar las diferencias entre ambas características a las distintas velocidades de estudio.

<i>Valores máximos</i>	5 m/s	
	Presión (Pa)	Velocidad (m/s)
Primera carrocería	101340	5
Segunda carrocería	101330	6,2

Tabla 8. Comparativa a 5 m/s.

<i>Valores máximos</i>	10 m/s	
	Presión (Pa)	Velocidad (m/s)
Primera carrocería	101372	12
Segunda carrocería	101360	14

Tabla 9. Comparativa a 10 m/s

<i>Valores máximos</i>	25 m/s	
	Presión (Pa)	Velocidad (m/s)
Primera carrocería	101660	32
Segunda carrocería	101600	34

Tabla 10. Comparativa a 25 m/s

<i>Valores máximos</i>	30 m/s	
	Presión (Pa)	Velocidad (m/s)
Primera carrocería	101800	37
Segunda carrocería	101700	41

Tabla 11. Comparativa a 30 m/s

<i>Valores máximos</i>	35 m/s	
	Presión (Pa)	Velocidad (m/s)
Primera carrocería	102000	45
Segunda carrocería	101920	50

Tabla 12. Comparativa a 35 m/s

<i>Valores máximos</i>	38,27 m/s	
	Presión (Pa)	Velocidad (m/s)
Primera carrocería	101990	46
Segunda carrocería	101900	51

Tabla 13. Comparativa a 38.27 m/s

9.3 Estudio de la tercera carrocería

En esta carrocería se analizarán los resultados a la velocidad de 10 m/s para ver cómo se comporta el flujo sobre esta nueva carrocería. A esta velocidad se muestran los valores de presión y velocidad del flujo sobre el prototipo y se observará además cómo se comporta éste a lo largo de la carrocería

A esta velocidad, se estudiará los Flow Trajectories de presiones y velocidades. Con esto se estudia más a fondo el comportamiento de la carrocería en distintas condiciones de flujo, ya que como se ha afirmado anteriormente, el factor velocidad influye de forma notable sobre la carrocería del vehículo.

Primeramente, se tendrá en cuenta el área frontal, cuyo valor se sitúa en **0.8260**, que ocupa el vehículo para tenerlo en cuenta en el cálculo del coeficiente C_x . Se tiene en cuenta también el valor 1.2 que corresponde a la densidad del fluido, en este caso aire.

A continuación, se realizarán los distintos ensayos a 6 velocidades distintas tal y como se ha definido anteriormente. A medida que se aumenta la velocidad, la presión sobre el vehículo aumenta de forma notable y se observará a continuación con los diagramas de flujo.

9.3.1 Caso 1: Velocidad de 10 m/s

9.3.1.1 PRESIONES

En este primer apartado se realiza un estudio de presiones a lo largo de la carrocería. Se observa de esta manera en la *Figura 81* que en la zona frontal del vehículo se obtienen valores altos de presión representados de color rojo con valores de 101390 Pa. Tras superar dicha zona, se obtienen valores medios representados de color verde, significando que no se exceden las presiones a lo largo del prototipo.

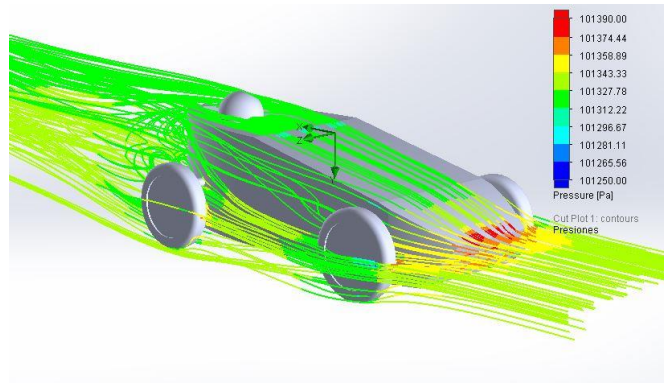


Figura 81. Presiones a 10 m/s

En la *Figura 82* se representa el comportamiento del flujo a lo largo de la carrilana desde una perspectiva superior del modelo. Se observa, que la parte frontal del prototipo y parte de las zonas delanteras, son zonas críticas debido a que las presiones son bastante altas y representa una zona que podría suponer una optimización posterior.

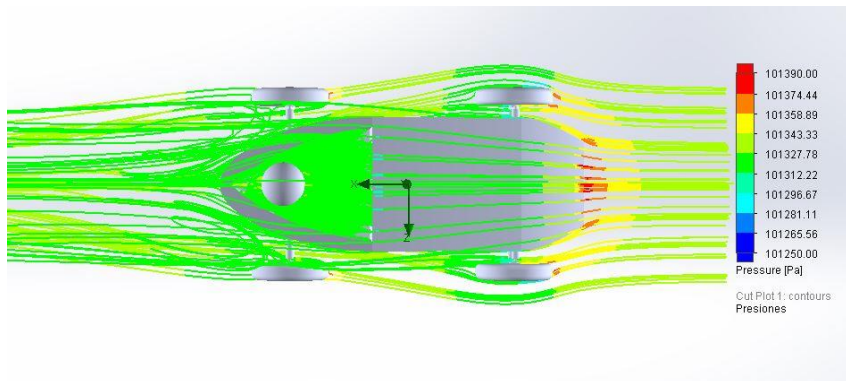


Figura 82. Presiones superiores a 10 m/s

9.3.1.2 VELOCIDAD

En el apartado de la velocidad del flujo se estudia el comportamiento y velocidades del flujo a lo largo de la carrocería. En este modelo y en base a la *Figura 83* se observa que se obtienen valores medio-altos en la zona superior de la carrocería representados de color naranja con valores en torno a 10 m/s. Tras el frontal del prototipo, se obtienen velocidades menores representadas de color verde o azul, quedando el flujo a una velocidad de 5 m/s aproximadamente. Esto es debido a la zona interior del piloto, que es una zona de bajas presiones y el flujo tiende a disminuir su velocidad en dicha zona. Tras el piloto, se obtienen líneas de flujo de un color azul oscuro

que representa la succión producida en la parte posterior de la carrilana, por motivo de la falta de optimización que tiene dicha carrocería. Se obtienen valores cercanos o ligeramente menores a 0.

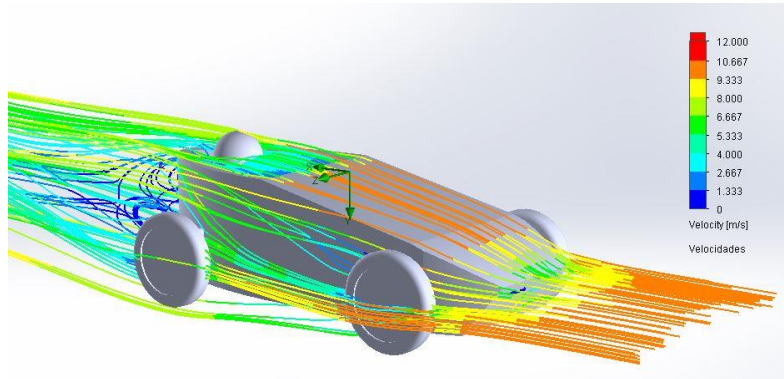


Figura 83. Velocidades a 10 m/s

En la *Figura 84*. Velocidades superiores en 10 m/s se representa el comportamiento del flujo desde una perspectiva superior del modelo, de forma que el flujo adopta la forma del frontal del vehículo incluyendo las ruedas, hasta llegar a la parte posterior donde se crean torbellinos causados por una zona posterior poco optimizada. Además de éstos, se crea la succión anteriormente descrita a iguales condiciones que los torbellinos, pues la carrocería puede sufrir cambios en su forma para evitar estos comportamientos no deseados.

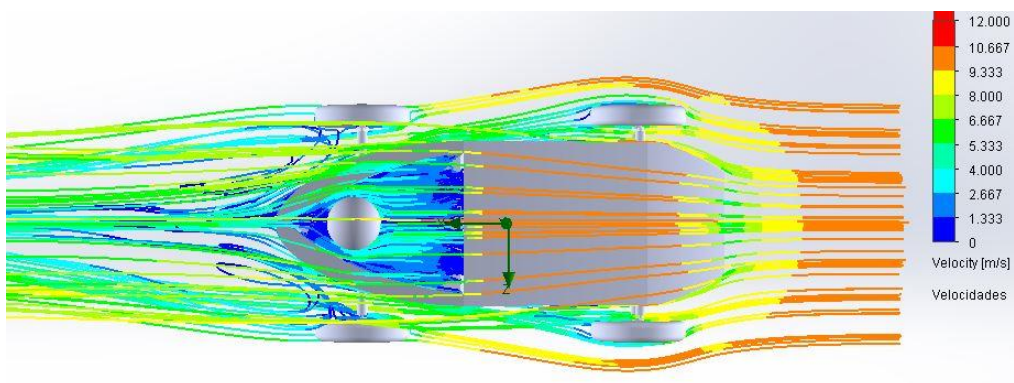


Figura 84. Velocidades superiores en 10 m/s

9.4 Estudio de la cuarta carrocería

En el caso de la cuarta carrocería, se seguirán las mismas operaciones que en las carrocerías anteriores con el fin de analizar el comportamiento de las partículas de aire a lo largo de la carrocería. De esta manera, las velocidades de los estudios son las siguientes:

- 5 m/s
- 10 m/s
- 25 m/s
- 30 m/s
- 38.27 m/s

En cada una de las velocidades se estudiarán los Flow Trajectories de presiones y velocidades. Con esto se estudia más a fondo el comportamiento de la carrocería en distintas condiciones de flujo.

Primeramente, se tendrá en cuenta el área frontal, cuyo valor se sitúa en **0.8176 m²**, que ocupa el vehículo para tenerlo en cuenta en el cálculo del coeficiente Cx. Se tiene en cuenta también el valor 1.2 que corresponde a la densidad del fluido, en este caso aire.

De igual forma, se realizarán los diferentes ensayos a las 6 velocidades anteriormente descritas, de manera que se irá aumentando la velocidad y, por tanto, la presión del flujo sobre el vehículo aumentará de forma notable y se observarán los diagramas de flujo.

9.4.1 Caso 1: Velocidad de 5 m/s

9.4.1.1 PRESIONES

En este primer ensayo se realiza la medición de las presiones a la velocidad de 5 m/s. Se obtienen valores medios del orden de 101320 Pa donde se obtiene el valor máximo en el frontal del vehículo debido a que es donde incide el flujo del aire directamente tal y como se puede apreciar en la *Figura 85*. Tras el frontal, existen

valores de presión normalizados, de manera que no existen cambios de sección bruscos, y por tanto permite que el flujo de aire recorra el vehículo sin problemas y de forma continua.

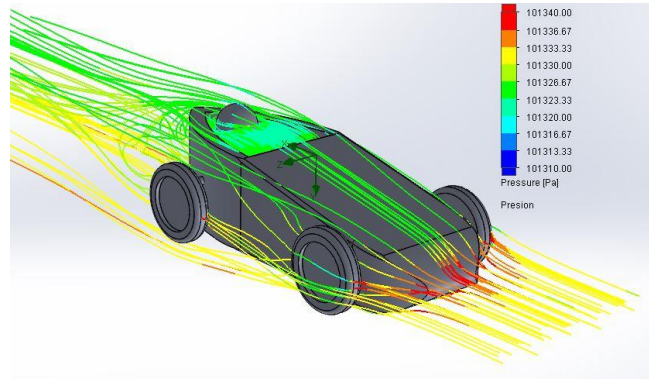


Figura 85. Presiones a 5 m/s

9.4.1.2 VELOCIDAD

En el apartado de velocidad de flujo a 5 m/s se observa que los valores máximos se obtienen además que, en el frontal del vehículo, en la zona del piloto debido a que el flujo debe recorrer de una forma más rápida la parte superior que la inferior *Figura 86*. Esto es debido al principio de Bernoulli y la capa límite, ya que debe recorrer el mismo espacio en el mismo tiempo. Por este motivo, al existir una superficie plana en la parte inferior, es más fácil que el fluido la recorra y, por tanto, tardaría menos tiempo en recorrer dicho espacio a diferencia de la parte superior.

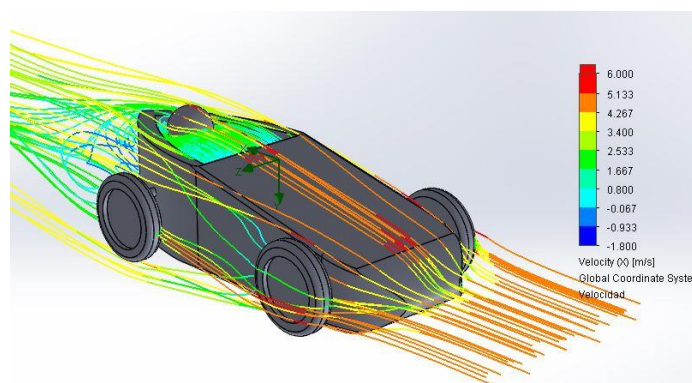


Figura 86. Velocidades a 5 m/s

9.4.2 Caso 2: Velocidad de 10 m/s

9.4.2.1 PRESIONES

En este apartado de presiones se realizará el estudio a una velocidad de 10 m/s. Se obtienen valores máximos, como en el caso anterior, en el frontal del vehículo debido a la incidencia directa del flujo llegando a valores de 101370 Pa aproximadamente. A partir de esta zona, los valores medios obtenidos rondan 101320 Pa aproximadamente que quedan representadas de color verde a lo largo del vehículo. Además, existen zonas de presiones por debajo del valor medio, como es la situación de las ruedas delanteras, debido a que el flujo índice de forma directa en el neumático y se crean presiones más bajas en la llanta de éste, representadas de color azul en la *Figura 87*, debido a que parte del flujo de aire se queda en el interior de ella y por tanto se crean presiones menores que en el exterior de dicha rueda, representadas en color verde en la *Figura 87*.

Por otro lado, en la zona del piloto se obtienen valores dentro de la media, representados en color verde en la siguiente imagen, aunque en la zona superior del casco del piloto se obtienen valores ligeramente menores debido a que el flujo adquiere más velocidad para atravesar el sólido y se crean presiones menores.

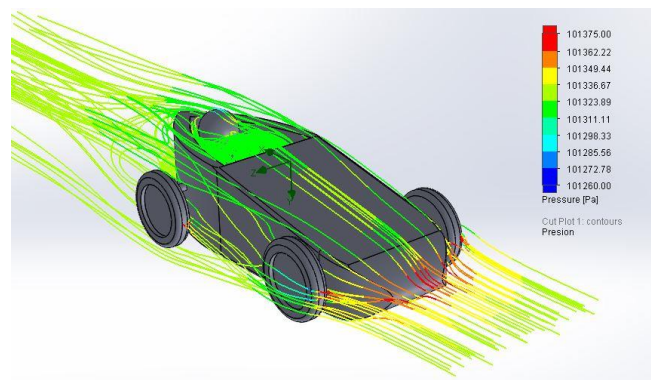


Figura 87. Presiones a 10 m/s

9.4.2.2 VELOCIDAD

En el estudio de la velocidad del flujo a 10 m/s se obtienen valores correspondientes al doble que el estudio de 5 m/s. Por lo que, en la zona superior del vehículo se obtienen tramos de valores máximos alcanzando los 12 m/s debido al principio de Bernoulli como se ha reflejado anteriormente. En la zona de las ruedas

delanteras, en la zona interna que corresponde a la llanta, se obtienen valores bajos e incluso negativos debido a que el flujo queda dentro sin apenas movimiento por haber velocidades superiores en la parte exterior del neumático.

En el frontal del vehículo, las velocidades son del orden de 6 m/s siendo un valor medio obtenido a lo largo del vehículo en este ensayo, pero a medida que el flujo va recorriendo el vehículo, en la parte superior de éste se obtienen los valores máximos. Además, llegada la zona del piloto, se obtienen valores similares con respecto al ensayo de 5 m/s , debido a que se obtienen valores máximos en la zona superior del casco del piloto, pero en el interior del monoplaza se obtienen valores de 2 m/s de media. Tras el piloto, se obtienen valores medios de 3 m/s , lo que significa que el flujo no queda estático en la parte posterior de la carrocería.

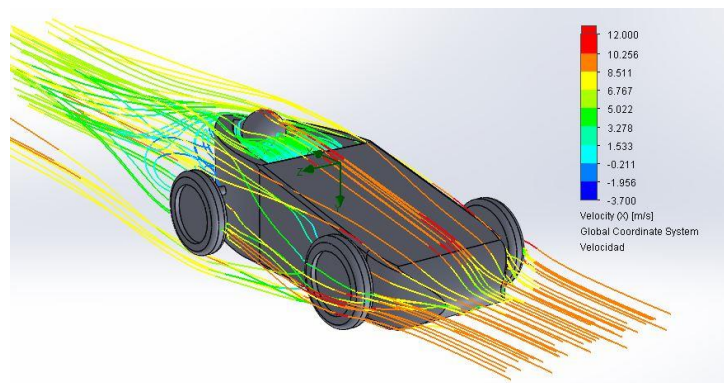


Figura 88. Velocidades a 10 m/s

9.4.3 Caso 3: Velocidad de 25 m/s

9.4.3.1 PRESIONES

En este apartado de presiones a una velocidad de 25 m/s , se obtienen valores mayores que en los casos anteriores debido a que el vehículo va aumentando su velocidad. Como en los casos anteriores, las presiones máximas se obtienen en el frontal del vehículo, debido a que es el área que entra primeramente en contacto con el flujo incidente. Se obtienen en esta parte el valor máximo que está en torno a 101620 Pa , que supone una reducción con respecto a las anteriores carrocerías del 3% en valor máximo de presiones sobre la carrocería. Esto significa que se ha mejorado la forma de la carrocería debido a que se reducen las presiones sobre el vehículo.

Tras el frontal del vehículo, se obtienen valores medios del orden de 101300 Pa, representados en color verde en la *Figura 89*, lo que implica que no soporta altas presiones a lo largo del vehículo.

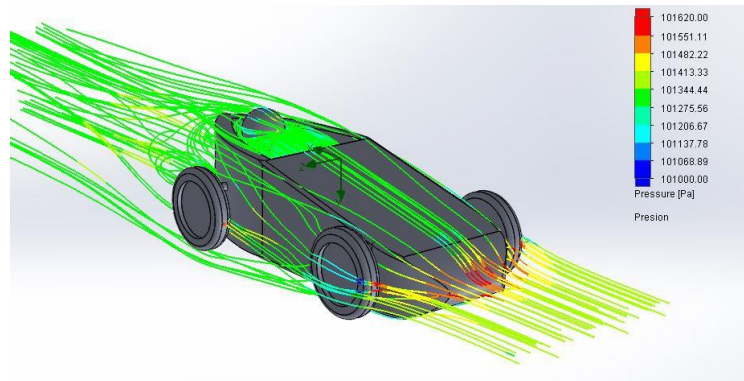


Figura 89. Presiones a 25 m/s

9.4.3.2 VELOCIDAD

En este apartado, se estudiará la velocidad del flujo en una conducción a 25 m/s del vehículo. Las velocidades, como en los casos anteriores, se obtienen en la parte superior del vehículo ya que el flujo debe recorrer la misma distancia en el mismo periodo de tiempo en la parte superior y en la inferior del vehículo. Esto se basa en la teoría de la capa límite explicada anteriormente y en el principio de Bernoulli. Por tanto, en el casco del piloto y en la parte superior se obtienen estos valores máximos del orden de 30 m/s , representados de color rojo en la *Figura 90*. En los laterales del vehículo se obtienen valores medios en torno a 17 m/s debido a que el flujo recorre sin impedimentos la carrocería al no tener cambios bruscos de sección o elementos que entorpezcan el paso del mismo.

Además, tras el piloto se obtienen valores bajos de velocidad del orden de -1 m/s , debido a que a medida que se va aumentando la velocidad del prototipo, en la parte trasera se va creando una succión que queda representada en azul oscuro en la *Figura 90*.

Por último, en comparación a la primera carrocería, a esta velocidad se obtiene una reducción de velocidades de flujo sobre la carrocería del 10%, lo que favorece de una forma notable la mejora aerodinámica implantada en este vehículo.

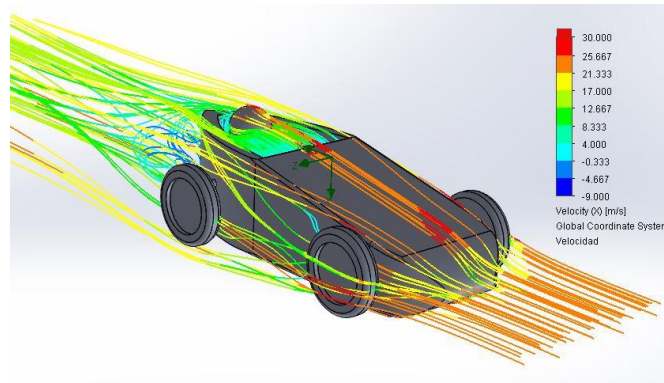


Figura 90. Velocidades a 25 m/s

9.4.4 Caso 4: Velocidad de 30 m/s

9.4.4.1 PRESIONES

A la velocidad de 30 m/s, la diferencia de presiones a lo largo de la carrocería se muestra en la *Figura 91*. En ésta, se muestra como los valores máximos de presión, representados de tonos rojos, se obtienen en el frontal del prototipo debido al flujo incidente sobre éste, estando dicho valor en torno a 101700 Pa. A diferencia del resto de la carrocería, se obtienen valores en torno a 101350 Pa, que quedan representados en la siguiente imagen en color verde. Por el contrario, se observan valores bajos en la zona de las llantas delanteras del vehículo, debido a que en esta zona el flujo incide directamente en los neumáticos y cuando termina de recorrer la rueda completa, las presiones en las llantas son mucho más bajas en comparación a las sufridas por los neumáticos.

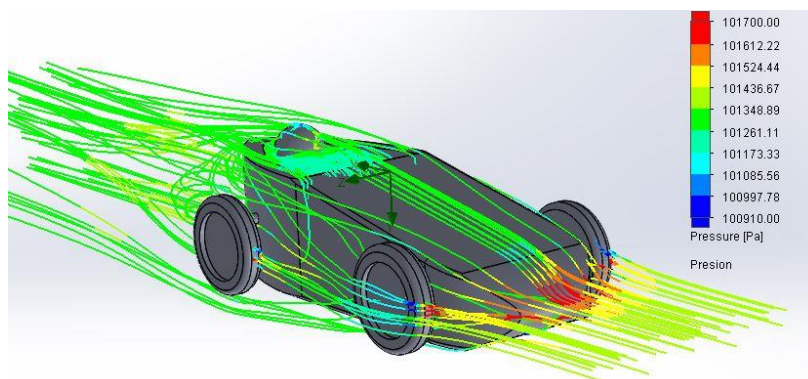


Figura 91. Presiones a 30 m/s

9.4.4.2 VELOCIDAD

A esta misma velocidad del prototipo, se obtienen los valores de la velocidad de flujo a lo largo de la carrocería. En este caso, se vuelve a encontrar la mayor velocidad en el casco del piloto, debido a que es la parte más alta del vehículo. En el resto de la carrocería se obtiene un valor medio de velocidad en torno a 30 m/s en la parte superior del vehículo representado de color anaranjado en la *Figura 92*. En la parte posterior al piloto se vuelven a obtener valores negativos de velocidad, lo que supone una succión de velocidades en torno a -5 m/s . Esta velocidad de flujo en la zona posterior del prototipo aumentará directamente a medida que aumenta la velocidad del vehículo, debido a que el flujo recorre el vehículo, pero al llegar a la zona trasera, se crea una zona de presiones muy bajas debido a que crea una succión inevitable.

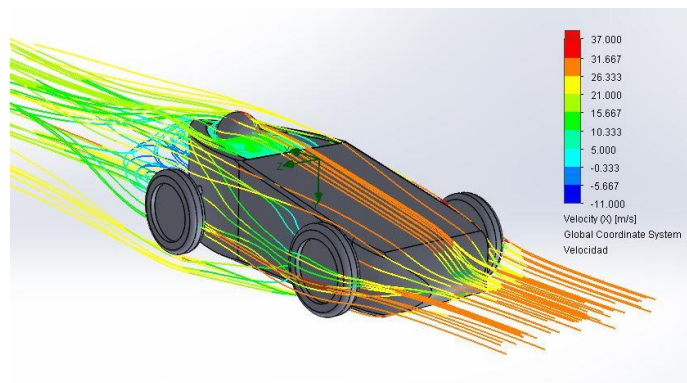


Figura 92. Velocidades a 30 m/s

9.4.5 Caso 5: Velocidad de 35 m/s

9.4.5.1 PRESIONES

En esta parte, se estudiarán los valores de presiones a una velocidad de 35 m/s que circula el vehículo. El valor máximo de nuevo se encuentra en la parte frontal de este llegando hasta unos 101900 Pa. A lo largo de la carrocería se comporta de igual manera que en las velocidades anteriores a diferencia de que, en la zona del piloto se obtienen presiones menores representadas en un tono azulado en la *Figura 93*. El resto de la carrocería se obtienen valores medios de 101350 Pa aproximadamente, representados en verde en la siguiente imagen.

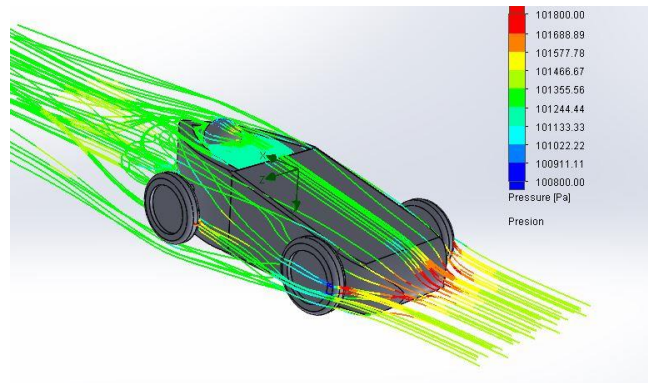


Figura 93. Presiones a 35 m/s

9.4.5.2 VELOCIDAD

A continuación, se muestran las velocidades de flujo a una velocidad del prototipo de 35 m/s en *Figura 94*. De nuevo, tal y como se aprecia en la *Figura 89*, en el aspecto de velocidad de flujo, se obtienen los valores máximos en la parte superior de la carrocería y en el casco del piloto. A diferencia de la situación a 25 m/s, se obtienen valores máximos de 42 m/s en esta zona, y valores medios a lo largo de la carrocería de 14 m/s aproximadamente.

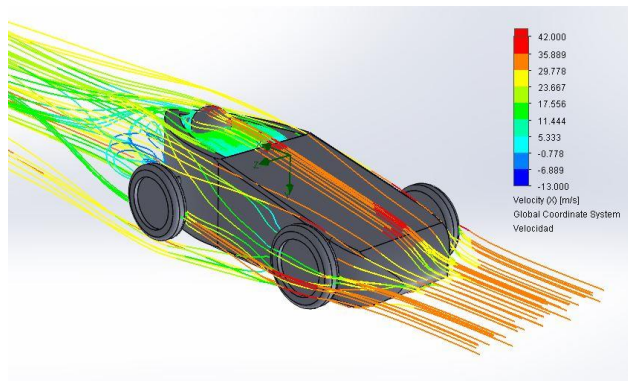


Figura 94. Velocidad a 35 m/s

9.4.6 Caso 6: Velocidad de 38.27 m/s

9.4.6.1 PRESIONES

En esta última velocidad, se obtienen los valores de presión que puede soportar la carrocería de forma extrema, debido a que es la velocidad máxima registrada por un vehículo de inercia en una competición. Por tanto, en este caso se sigue teniendo la parte más desfavorable en el frontal del vehículo con valor de 101800 Pa significando

una reducción del 2.5% en comparación a la primera carrocería en valores de presión máxima soportadas en la carrocería. En referencia a los valores medios obtenidos a lo largo del prototipo, se obtiene un valor de 101250 Pa, representados en la *Figura 95* con colores amarillos y verdes. Este valor supone también una reducción en comparación a la primera carrocería de alrededor del 5%, por lo que se afirma que la condición más extrema de velocidad, el vehículo se ha optimizado aerodinámicamente.

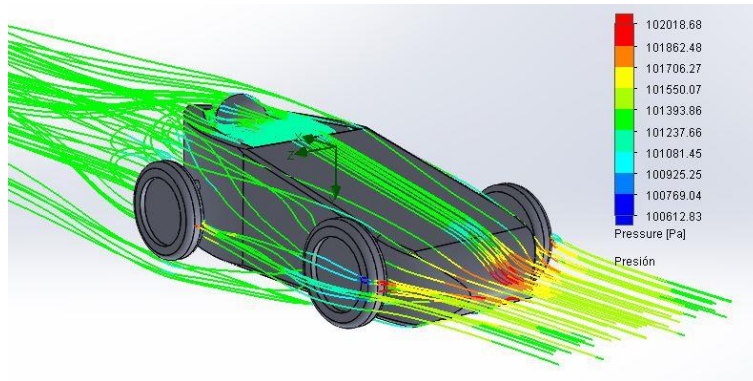


Figura 95. Presiones a 38.27 m/s

En la *Figura 96* se representa la trayectoria que describe el flujo desde la parte baja del prototipo, y se observa que conforma la carrocería sin problemas con valores de presión estables a lo largo de la carrocería. Se observa que en las ruedas delanteras se obtienen valores de presión bajos representados de color azul, lo que significa que el flujo incide en la parte frontal de la rueda, pero en los laterales la presión disminuye debido a que la velocidad es menor en esa zona, y por consiguiente las presiones.

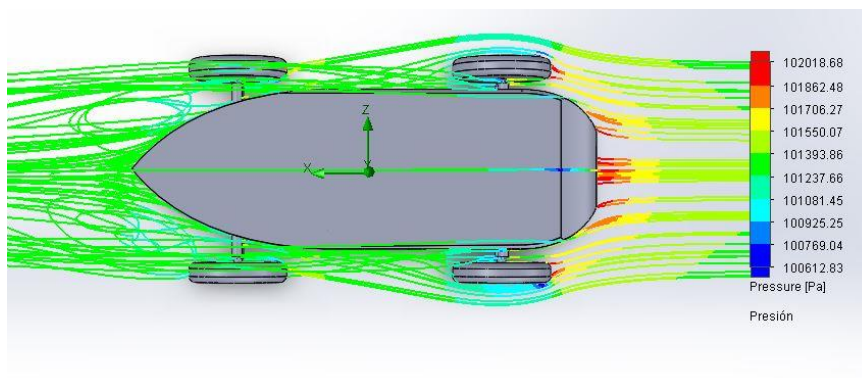


Figura 96. Presiones inferiores a 38.27 m/s

9.4.6.2 VELOCIDAD

A continuación, se muestran los valores de velocidad del flujo obtenidos a lo largo de la carrocería. Se obtienen valores máximos en la parte superior del prototipo de en torno a 46 m/s representados en rojo en la *Figura 97*. En cuanto al resto de la carrocería se obtienen valores medios de 16 m/s suponiendo una reducción del 12% en comparación a la primera carrocería, lo que supone una mejora debido a que la carrocería soportaría menores velocidades, y, por tanto, el vehículo estará menos condicionado por el aire incidente sobre la carrocería.

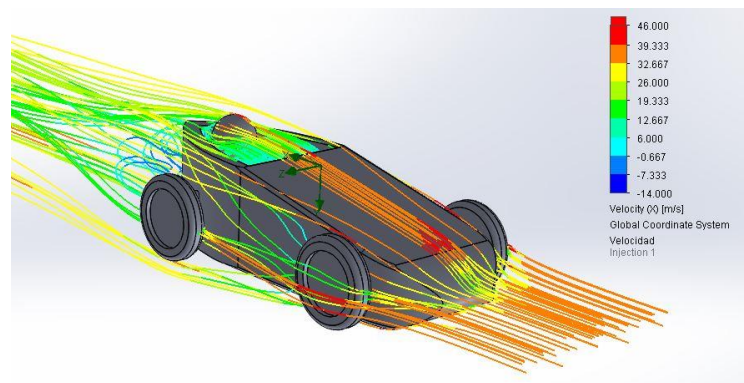


Figura 97. Velocidades a 38.27 m/s

En la *Figura 98* se representa como realiza la trayectoria el flujo sobre el vehículo y los valores de velocidad obtenidos en cada tramo que conforma la carrocería. Se observa por tanto que se obtienen valores negativos de velocidad en la parte posterior del prototipo debido a la succión creada por el flujo, con valor de -14 m/s representado en azul en la siguiente imagen.

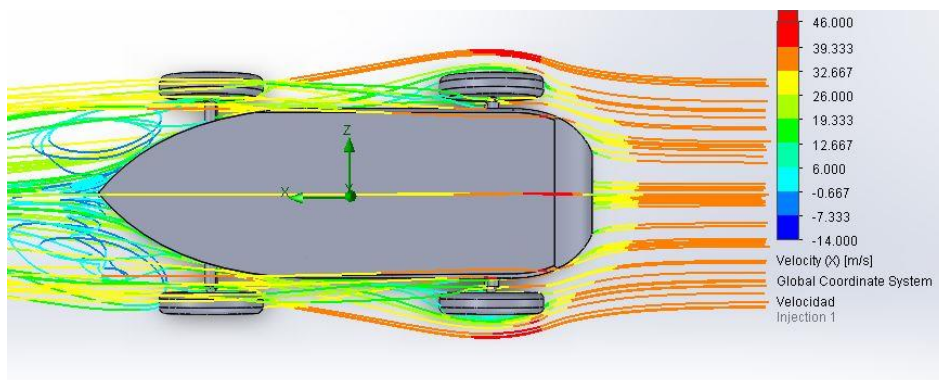


Figura 98. Velocidades inferiores 38.27 m/s

9.5 Optimización de la cuarta carrocería

En este apartado se desarrollarán las optimizaciones que se realizarán en la tercera carrocería modelizada para mejorar la eficiencia del conjunto. Para comparar con la carrocería previa, se tomarán una velocidad de ensayo de referencia para ambas de 10 m/s . De esta manera se aprecia cómo se comporta el flujo tras las modificaciones realizadas y estudiar su viabilidad. Para ello se toman 3 criterios de mejora basados íntegramente en mantener la geometría de la carrocería representada en la *Figura 48* cuyos fundamentos se resumen en:

- Modificar el frontal del prototipo
- Realizar una forma más suave en la parte superior de la carrocería
- Implementar difusores en la parte posterior de la carrilana.

9.5.1 Modificación del frontal del prototipo

En la optimización que rige la modificación del frontal de la carrocería, se realiza un chaflán en la parte baja del frontal que permite que el flujo describa una trayectoria en dirección al suelo, de manera que se obtienen valores de presión más uniformes y ligeramente menores. Esta mejora se realiza en base a las primeras invenciones en la Formula 1 para conseguir una aerodinámica optimizada y un efecto suelo efectivo. Esto se ve en práctica en el equipo de Team Lotus de Colin Chapman a finales de los años 70 usando formas de alas invertidas en los pontones generando una fuerza aerodinámica mayor.

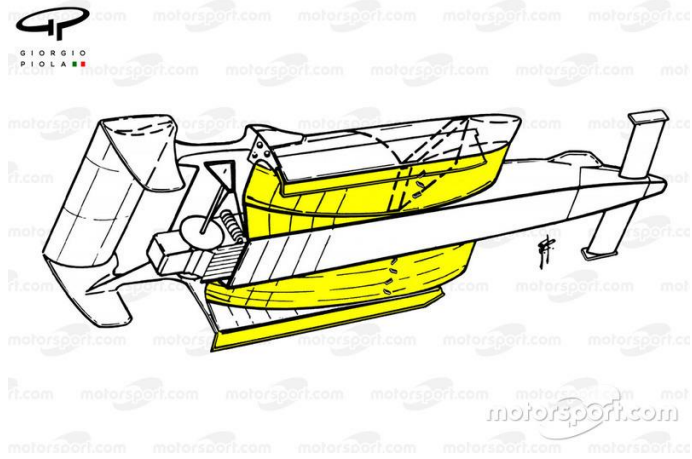


Figura 99. Team Lotus

Fuente: <https://lat.motorsport.com/f1/news/f1-en-retrospectiva-la-era-del-efecto-suelo-874623/>

A continuación, se muestra la forma de la carrocería previa y de la actual, y se observa el cambio realizado entre ellas.

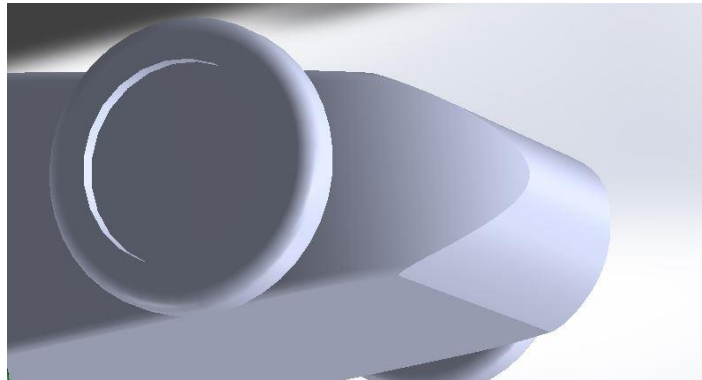


Figura 100. Frontal sin mejora

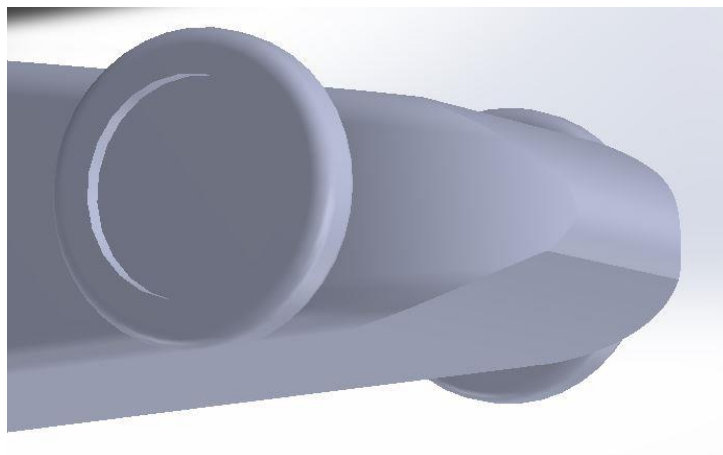


Figura 101. Frontal tras la mejora

Además, con dicha mejora se obtiene una mayor eficiencia cuando el vehículo se encuentre en la competición, de manera que la resistencia que oponga la carrocería al flujo, será menor. Por tanto, se disminuye de forma notable el coeficiente C_x y se demuestra que la mejora es viable debido al aumento de la eficiencia en el comportamiento global del prototipo.

Se ha realizado a una sola velocidad, debido a que la reducción a las distintas velocidades es proporcional y con una velocidad basta para apreciar la mejora realizada en el prototipo.

A continuación, se muestra la comparativa de presiones entre los dos frontales donde se observa de forma clara, que la modificación de la parte baja del frontal permite la obtención de un comportamiento menos agresivo en el frontal del vehículo. Esto queda representado en función de los colores obtenidos en el ensayo entre las dos carrocerías. En la *Figura 102* se representa las presiones soportadas en el frontal sin realizarle ninguna mejora donde se obtienen valores altos representados de color rojo. Por el contrario, en la *Figura 103* se representa el frontal con la mejora en la parte inferior, y se observa que los valores obtenidos son menores en comparación a la anterior situación, de manera que queda menos superficie coloreada de color rojo, y se aprecia una uniformidad de color verde y amarillo que representa que la mejora realizada es efectiva.

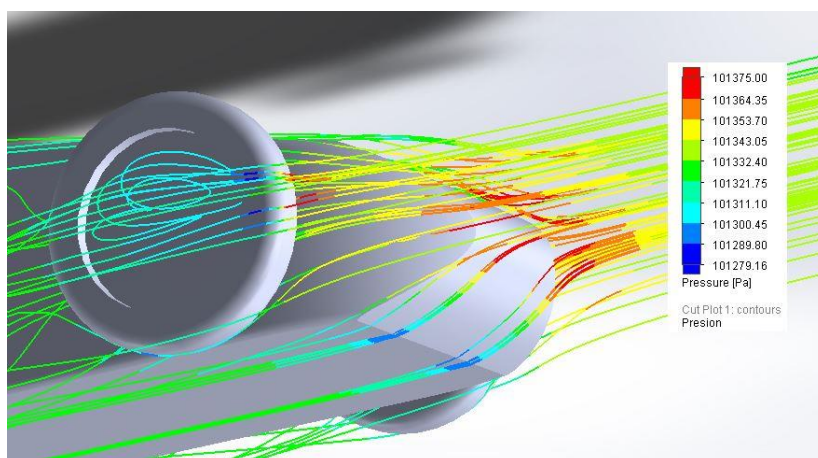


Figura 102. Frontal sin mejoras

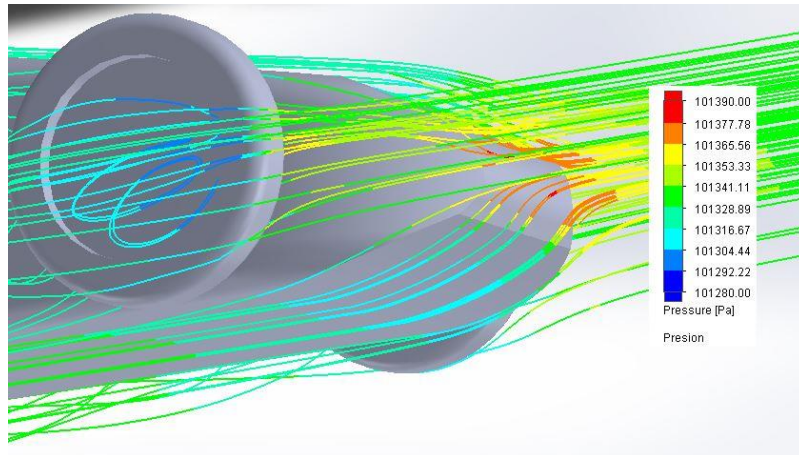


Figura 103. Frontal mejorado

Por último, en las *Figura 104* y *Figura 105* muestran los valores de velocidad en cada uno de los casos. En primer lugar, se muestra las velocidades del frontal sin mejorar, donde se obtienen valores altos de velocidad del orden de 12 *m/s* en la parte baja del vehículo representados en color rojo. Por otro lado, se muestran las velocidades obtenidas en el modelo mejorado, y se aprecia que no se obtienen valores altos de velocidad, debido a que el flujo recorre el frontal con más suavidad. Las velocidades máximas obtenidas en el frontal tras la mejora son del orden de 10 *m/s* representado de color naranja, lo que supone una mejora efectiva en cuanto a la reducción del rozamiento con el aire. La diferencia de presiones se reduce en torno al 5% a lo largo de la carrocería tras realizar la mejora.

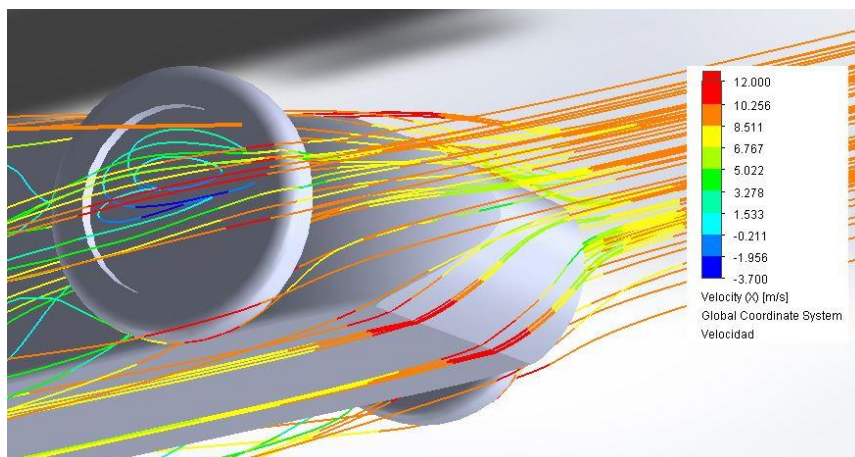


Figura 104. Velocidad en el frontal sin mejoras

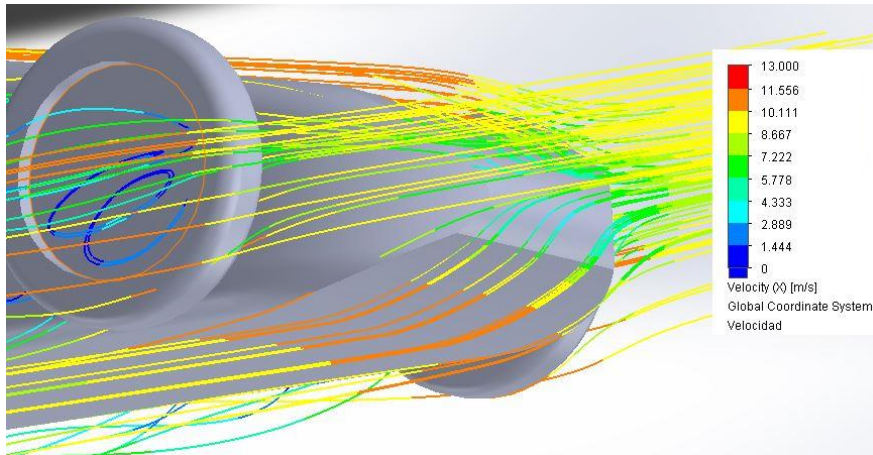


Figura 105. Velocidad en el frontal mejorado

En el aspecto de velocidad del flujo sobre la carrocería se reduce en torno a un 25% las velocidades medias obtenidas en el vehículo. Dicha modificación supone una gran mejora en el conjunto, debido a que la velocidad media del flujo a lo largo de la carrilana, es menor tras realizar el cambio de forma.

9.5.2 Modificaciones en la parte superior de la carrocería

En la parte superior se han realizado mejoras para conducir el flujo que circula por la parte superior de la carrocería, a los laterales del vehículo para así evitar que el flujo perturbado por las ruedas delanteras, no tome la dirección hasta la parte superior del prototipo. En la *Figura 106* se observa la mejora realizada en ambos lados de la carrocería con el fin descrito anteriormente.

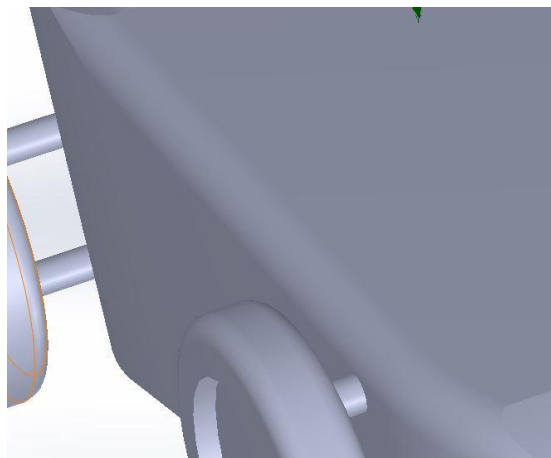


Figura 106. Mejora parte superior

En las siguientes figuras, se representa el comportamiento que adopta el flujo en la zona en estudio previa a la mejora. Se observa que el flujo no se adapta de forma óptima a la carrocería debido a que hay un cambio de sección importante y el flujo adopta un comportamiento turbulento tras dicha zona.

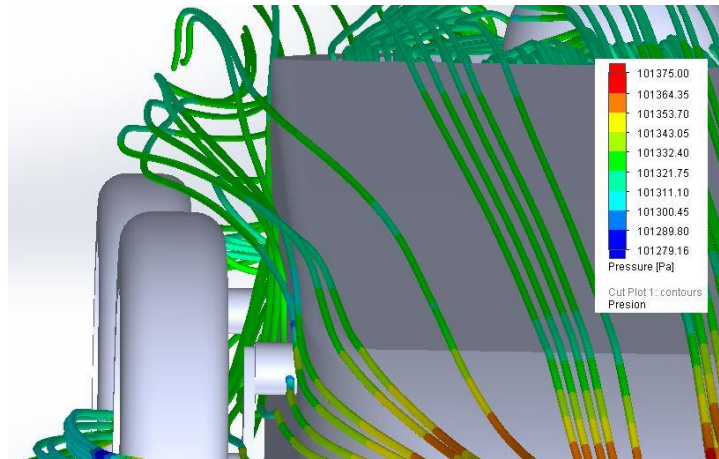


Figura 107. Presiones modelo inicial

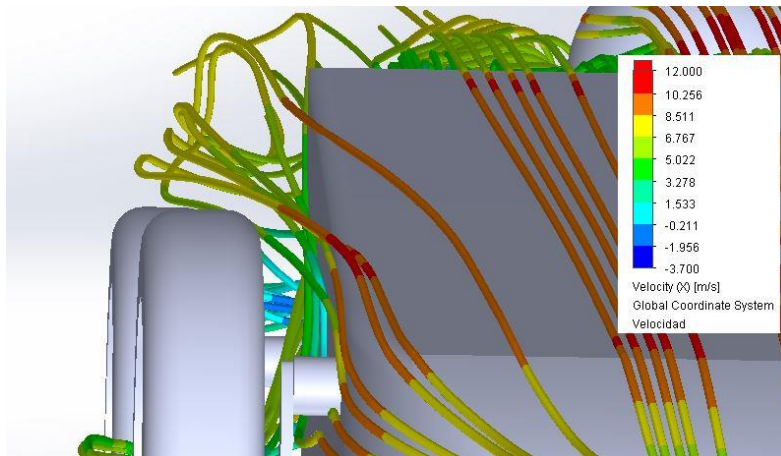


Figura 108. Velocidades modelo inicial

En la zona trasera se obtiene un flujo turbulento y creando así interferencia con el flujo que proviene de las ruedas. Este comportamiento se mejora tras la mejora.

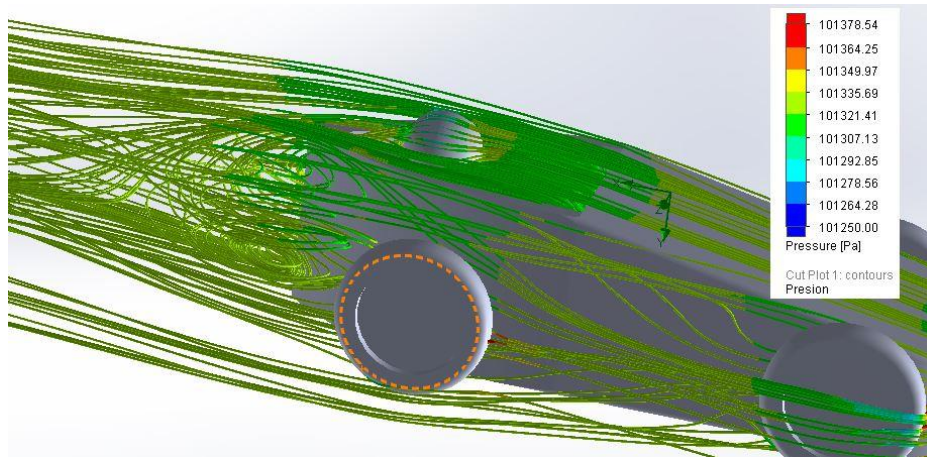


Figura 109. Comportamiento zona trasera

A continuación, se realiza un estudio del comportamiento del flujo tras realizar la mejora en la parte superior de la carrocería. Para ello, se ejecuta un análisis para estudiar la distribución de presiones en la zona, y por tanto, el comportamiento que adopta tras dicha zona. Tal y como se muestra en las *Figura 110* y *Figura 111*, el flujo se desvía hacia la zona lateral del vehículo y permite que las presiones en dicha zona disminuyan. Esto se representa a continuación con tonos verdes que muestran valores de 101320 Pa.

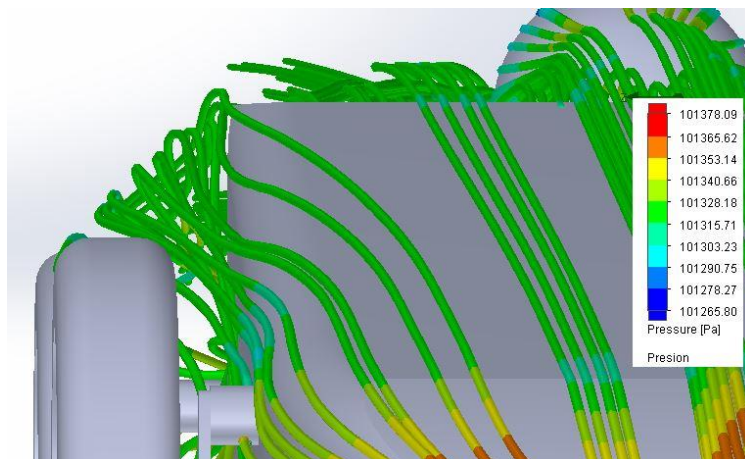


Figura 110. Presiones

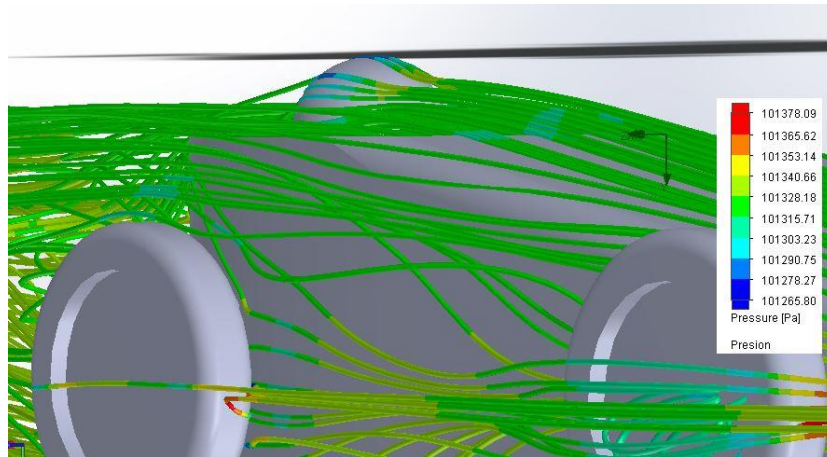


Figura 111. Presiones en el prototipo

En la *Figura 112*, se muestran las velocidades obtenidas en la carrocería tras la mejora, reduciendo así la velocidad de la zona en estudio de 11 m/s a 9 m/s en relación al prototipo sin mejora. Esto significaría que el flujo adoptaría más fácilmente la forma de la carrocería consiguiendo así, que el vehículo sea más eficiente, es decir, oponga menos resistencia al aire.

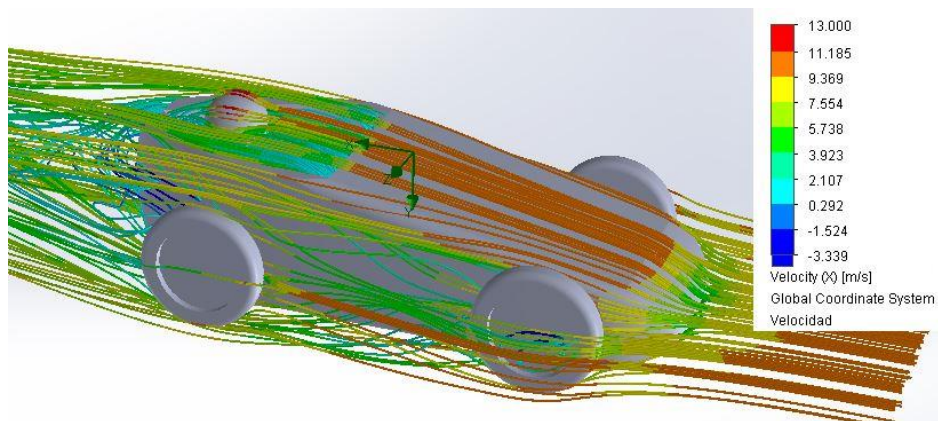


Figura 112. Velocidades en el prototipo

9.5.3 Difusores traseros en la carrocería

En último lugar, se realiza la mejora en la parte posterior de la carrocería y se estudiara el comportamiento que adopta tras realizar dicha modificación y se observará el cambio entre ambas carrocerías. Para comenzar, en la *Figura 113* se muestra la distribución de presiones en la carrocería sin realizarle la mejora, y se observa que el flujo adopta un comportamiento de turbulencias y no realiza una trayectoria optima en

la parte posterior del prototipo, mejorando así las presiones y evitando en gran parte, la succión que pueda provocarse en la parte trasera de la carrocería.

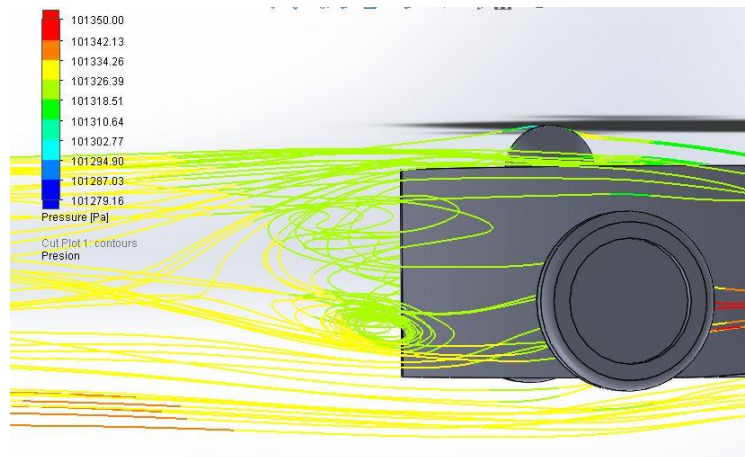


Figura 113. Presiones modelo sin mejora

En la *Figura 114* se observa la mejora realizada a la carrocería en la parte trasera, mejorando así la distribución de presiones y el diagrama de flujo. Además, se observa que el flujo adopta la forma de la curvatura realizada en la mejora, y se han reducido de forma notable las turbulencias del anterior caso. Además, supone una reducción de las presiones en comparación al modelo sin mejoras. Como se refleja en la siguiente imagen, en la parte inferior del vehículo, se obtienen valores de presión bajos en torno a 101300 Pa representados de color azul, lo que supone una mejora de comportamiento.

La curvatura descrita por los difusores, viene limitada por las condiciones del chasis y por la ubicación del asiento del piloto en la parte trasera del monoplaza, ya que se fija en el chasis y se ha de tener en cuenta estas consideraciones

Esta mejora supone un aumento en la eficiencia del vehículo, debido a que permite que la distribución de presiones en la parte posterior se realice de una manera óptima, y evitar que se creen succiones en la parte posterior del vehículo.

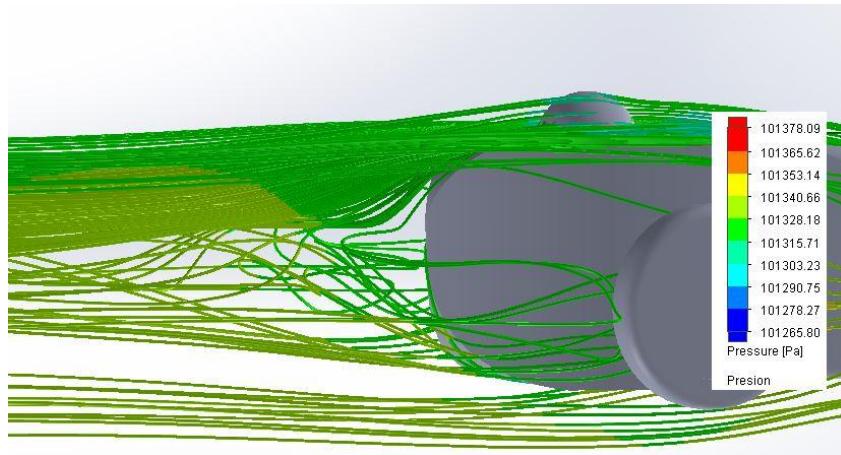


Figura 114. Presiones modelo mejorado

Por último, se realiza un estudio de velocidades en la parte mejorada, para saber como se comporta la velocidad del flujo en la zona posterior del vehículo. Se observa que con la mejora realizada las velocidades mínimas aumentan, disminuyendo la succión creada en el modelo sin mejoras. Esto se representa con las líneas azul oscuro representadas en la *Figura 115* lo que se obtienen valores negativos de velocidad y por tanto, una succión no deseable.

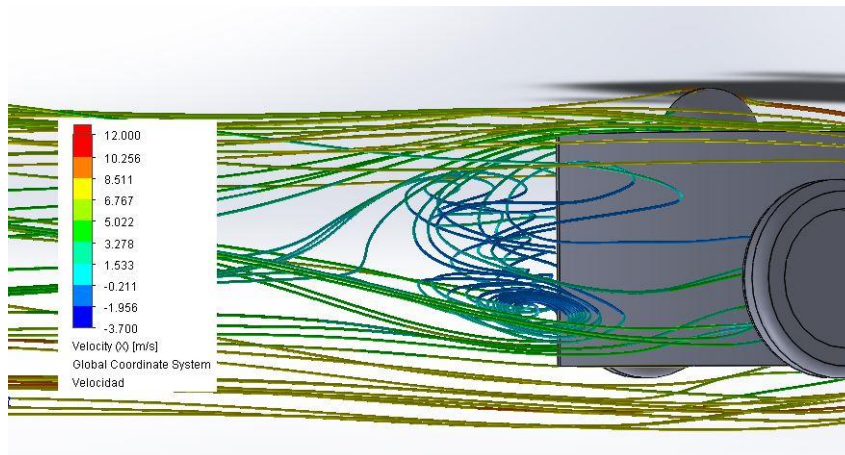


Figura 115. Velocidades modelo sin mejoras

A diferencia de este modelo, en la *Figura 116*, se representan los valores obtenidos una vez realizada la mejora, eliminando así valores negativos de velocidad en la parte posterior del prototipo. Además, se observa el comportamiento del flujo tras sobrepasar la zona mejorada, adaptándose a la forma del vehículo y eliminando los torbellinos posteriores que se provocaban en el anterior modelo.

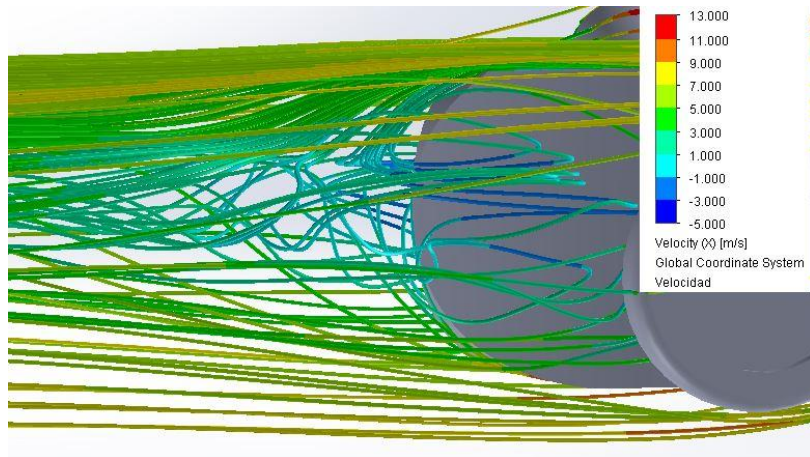


Figura 116. Velocidades modelo mejorado

9.5.4 Nuevo modelo

Resumiendo, los anteriores apartados, se obtendrá un conjunto mejorado en comparación a la tercera carrocería inicial. Se tienen en cuenta todas las mejoras realizadas, y se realizan en un solo prototipo, permitiendo así la mejora global que ofrecen dichas modificaciones.

En la *Figura 117* se muestra la mejora de la parte superior de la carrocería y la forma del frontal más recto hacia la parte baja. Por el contrario, en la *Figura 118* se muestra la parte posterior del conjunto con las mejoras realizadas realizando los difusores y evitando la succión creada por el paso del flujo en secciones rectas de la parte posterior.

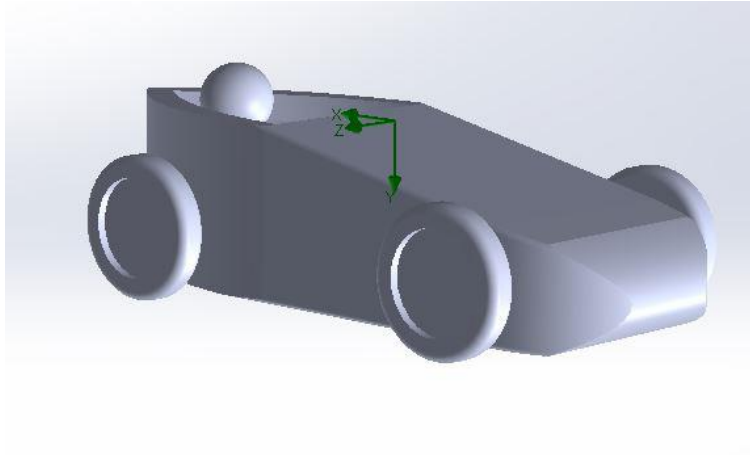


Figura 117. Carrilana mejorada

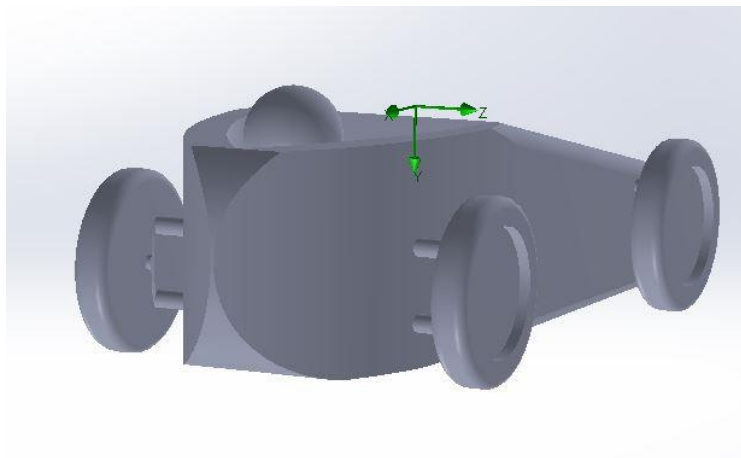
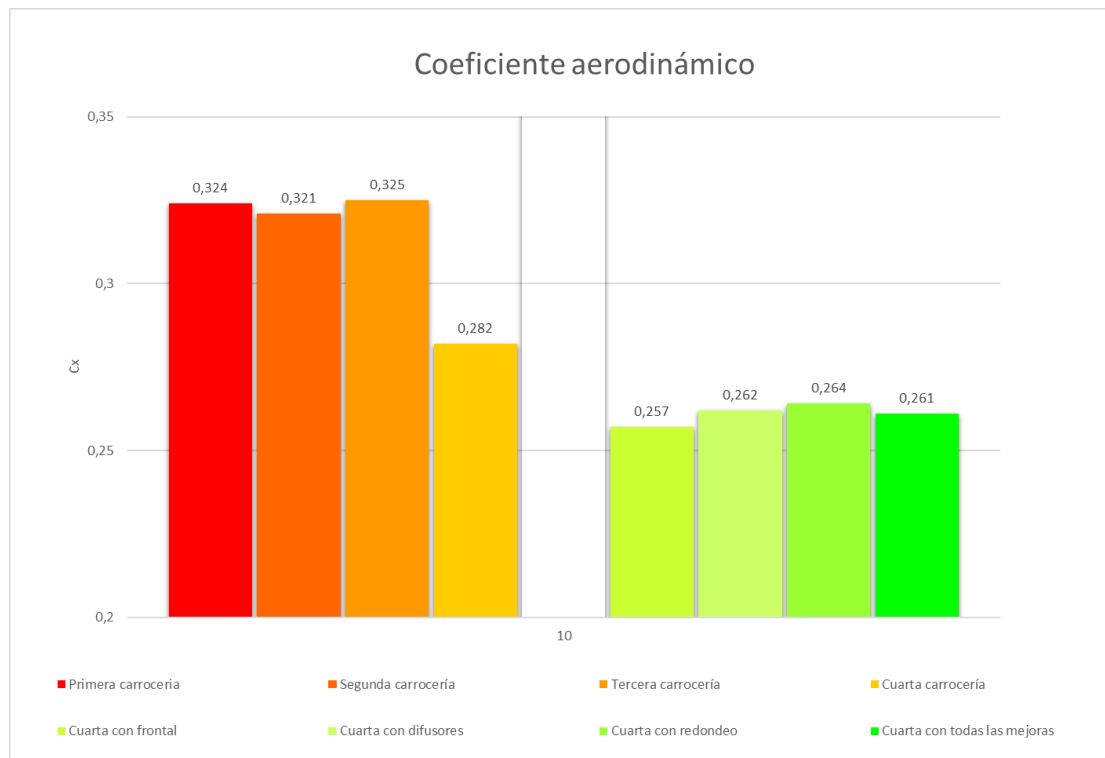


Figura 118. Carrilana mejorada posterior

9.5.5 Coeficiente de penetración obtenido

En este apartado se estudia la evolución de la eficiencia del vehículo, es decir, como se ha ido reduciendo el valor de coeficiente aerodinámico. se observará el progreso realizado tras realizar los diseños y mejoras oportunos. Se observa que se reduce en un 18% el coeficiente aerodinámico de los prototipos, lo que

En la *Gráfica 5* se representan los coeficientes obtenidos en cada una de las carrocerías sufriendo una reducción importante desde la carrocería inicial hasta la obtenida finalmente. Las mejoras influyen de manera que el vehículo opondrá menos resistencia al flujo incidente sobre éste. La reducción obtenida del coeficiente aerodinámico supone alrededor de un 20% entre la cuarta carrocería optimizada y la inicial.



Gráfica 5. Coeficiente aerodinámico

10. CÁLCULO DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL

En este apartado, se realizan dos cálculos de resistencia estructural con diferentes materiales para obtener el factor de seguridad general de la carrocería para optimizar la cantidad de material a aplicar. En este caso, se tiene en cuenta el espesor que se le dará al conjunto de resina y fibra para optimizar el peso y el comportamiento de la carrocería cuando el flujo de aire incide sobre la misma. Se tendrá en cuenta por tanto las presiones de flujo soportadas por la carrocería representadas con flechas de color rojo, la acción de la gravedad representada con una flecha de color naranja con dirección hacia el suelo del vehículo. Finalmente, se elegirá el material más eficiente para las condiciones a las que está destinado dicho vehículo.

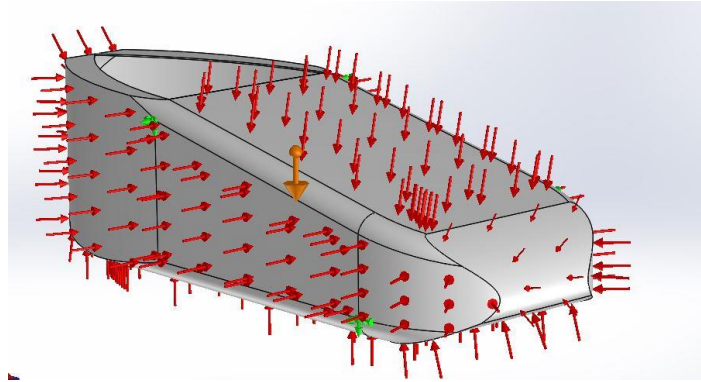


Figura 119. Fuerzas aplicadas en el estudio

Se observa además las sujeciones que se le han impuesto a la carrocería, de manera que se fija en la parte trasera de la carrilana, en la parte inferior de la carrocería se fijará con 4 tornillos rápidos en cada lado ambas mitades de la carrocería tal y como se ve a continuación. Se le ha añadido una fuerza en uno de los lados para simular una curva y observar que la carrocería soportaría torsiones y esfuerzos sin problemas. El valor de la fuerza se ha estimado en 200 N, simulando aproximadamente 20 kg de fuerza sobre un lateral de la carrocería.

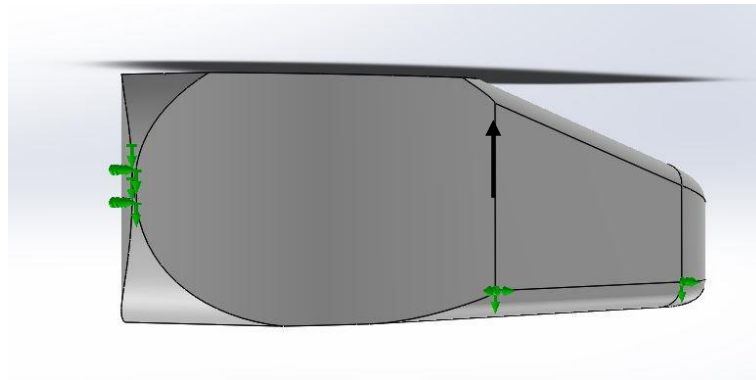


Figura 120. Sujeciones de la carrocería

Por último, se fijará en la pletina a 90° que su principal función es mantener las dos partes del molde unidas mediante un tornillo y una rosca. Dicha pletina se fabrica con la pletina a fabricar, permitiendo así describir un ángulo de 90° en cada parte del molde y realizar la pletina con el mismo proceso de fabricación y material definidos para la carrocería.

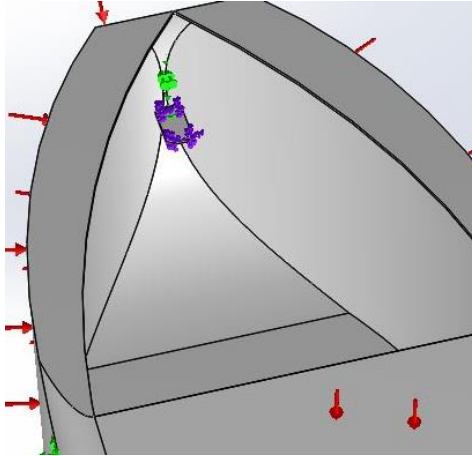


Figura 121. Fijación en la pletina

10.1 Resina epoxi con fibra de vidrio

En el siguiente estudio se realiza un análisis estructural con uno de los materiales con el que se puede fabricar la carrocería. Dicho material se compone de resina epoxi con fibra de vidrio que ofrece un ligero aumento de resistencia frente a la resina de poliéster con un aumento del 40% de su precio. Se desestimará su uso debido al sobrecoste que conlleva usarlo en la fabricación de dicha carrocería debido a que la economía en el centro de enseñanza es un aspecto a tener en cuenta de forma considerable. A pesar de esta desestimación, se analiza el comportamiento de la resistencia que ofrece para ver las diferencias que existen entre un tipo de resina y otro.

En las siguientes figuras se muestran los desplazamientos del material sufridos por la incidencia del flujo sobre la carrocería. Se obtienen valores máximos de desplazamiento de aproximadamente 3 mm en la parte superior e inferior de la carrocería.

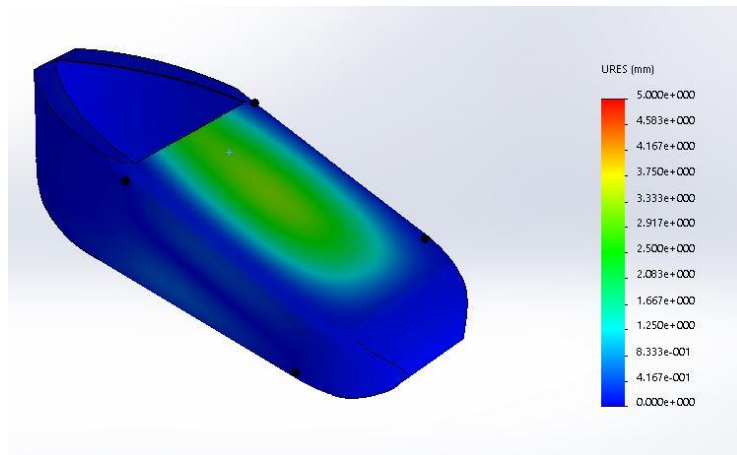


Figura 122. Desplazamiento de la zona superior

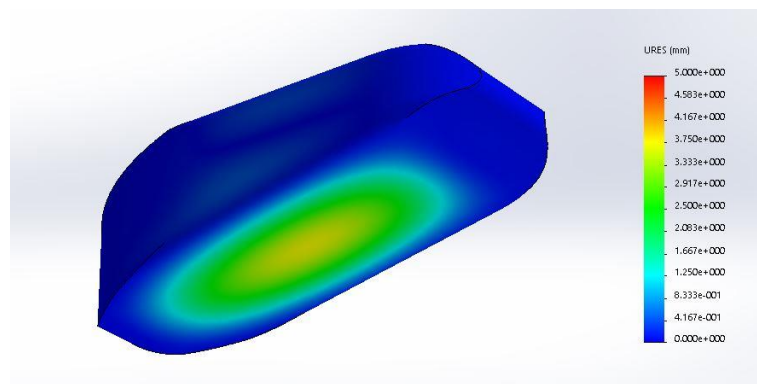


Figura 123. Desplazamientos de la zona inferior

A continuación, se muestra la tensión de Von Mises obtenida en el ensayo, que ronda valores máximos de 0.5 MPa en la zona superior de la carrocería, simulando así el esfuerzo provocado por la fuerza puntual simulando el comportamiento de la carrocería en una curva.

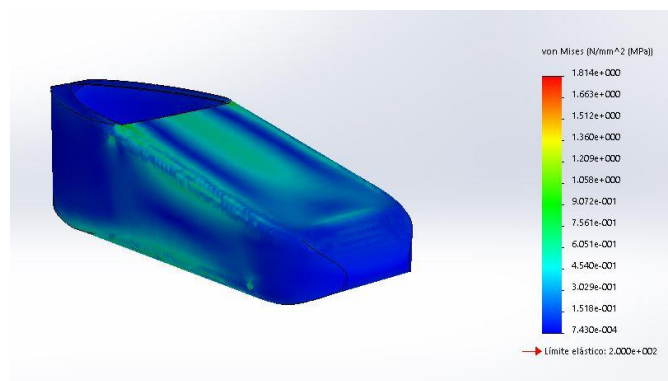


Figura 124. Tensiones Von Mises

Por último, con la resina epoxi se obtiene un factor de seguridad de aproximadamente 2.5, quedando dicho valor como una carrocería sobredimensionada, debido a que se ha tenido en cuenta un **espesor de 5 mm** en ambos casos para comparar el comportamiento en iguales condiciones.

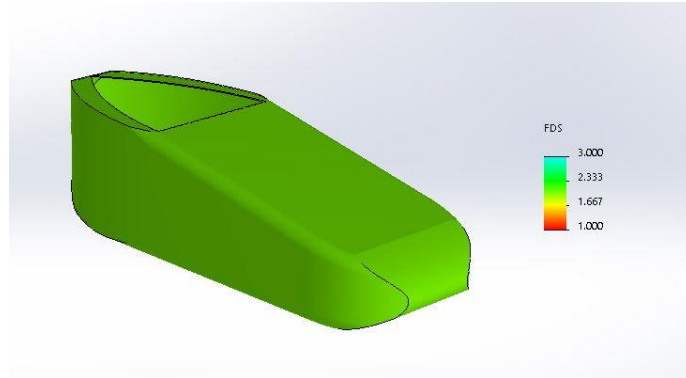


Figura 125. Factor de seguridad

10.2 Resina poliéster con fibra de vidrio

A continuación en las figuras *Figura 126*. Desplazamientos en la parte superior y *Figura 127*. Desplazamientos en la parte inferior se muestran los valores de desplazamiento en la parte superior e inferior de la carrocería. En base a la leyenda, se origina un desplazamiento máximo en la parte superior e inferior de 4 mm, lo que es un valor totalmente permisible y viable en este estudio.

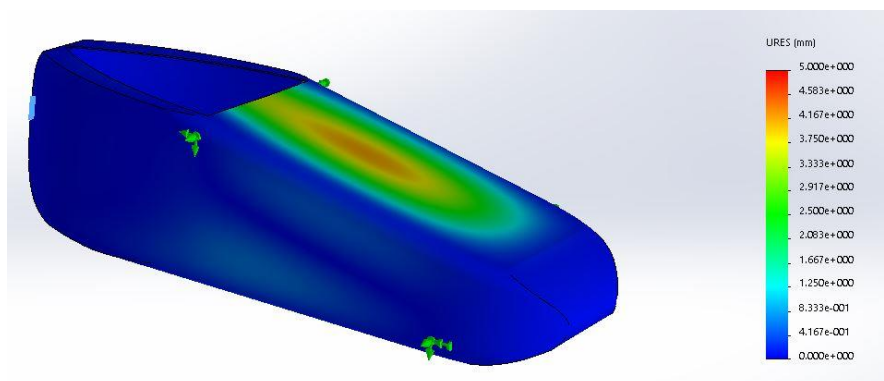


Figura 126. Desplazamientos en la parte superior

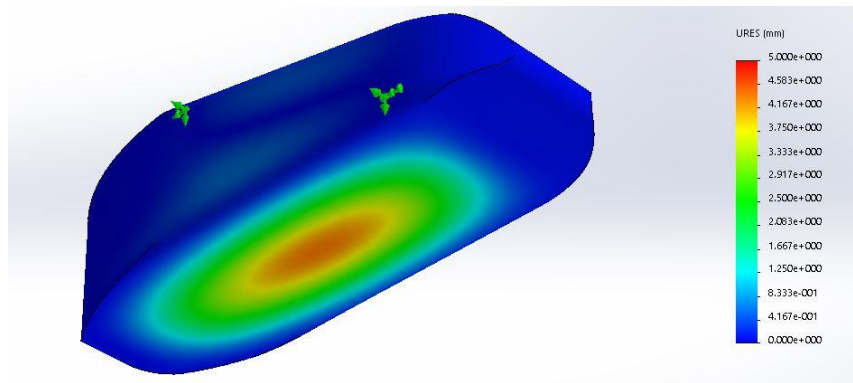


Figura 127. Desplazamientos en la parte inferior

Los anclajes de la carrocería sobre el chasis están determinados de color verde en los vértices donde se puede atornillar dicha carrocería sobre el chasis de la carrilana tal y como se muestra en la *Figura 128*. Fijaciones en chasis real. Dichas fijaciones van determinadas por la forma del chasis, y se ha modelizado de tal forma para ver el comportamiento real del vehículo.

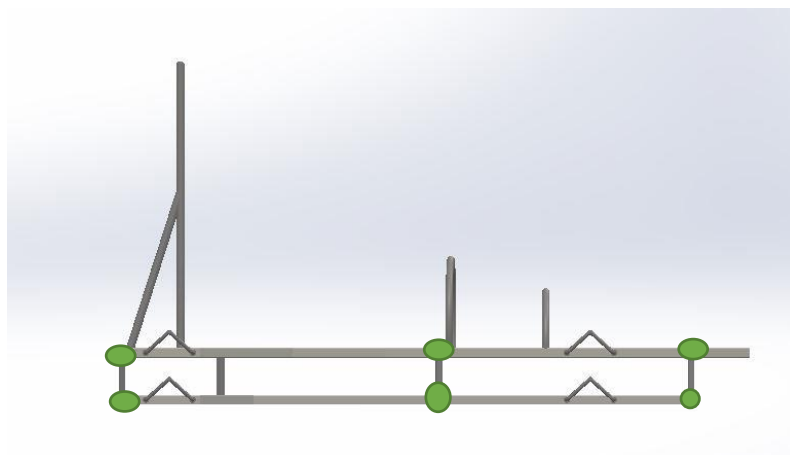


Figura 128. Fijaciones en chasis real

En la *Figura 129*. Tensión de Von Mises se muestran los valores de tensión de Von Mises donde se alcanzan valores máximos en las zonas laterales y zona superior de la carrocería del orden de 0.4 MPa, por lo que se asumen dichas presiones como permisibles debido a que es un valor muy bajo.

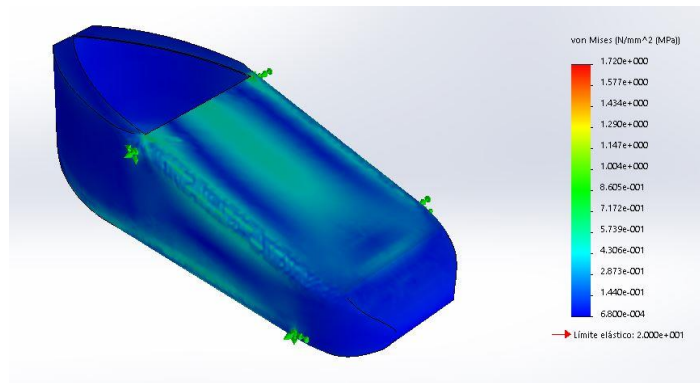


Figura 129. Tensión de Von Mises

Por último, en la *Figura 130*. Factor de seguridad se muestran los valores de factor de seguridad obtenidos en la carrocería. El valor medio obtenido en la carrocería es de 2, lo que supone un factor de seguridad óptimo. Éste nos ofrece la información de que la carrocería está optimizada en cuanto a su espesor y que soportaría la acción del flujo sin problemas con un **espesor** de carrocería de **5 mm**. Si se aumenta este valor, el coeficiente aumenta y por tanto significa que se estaría utilizando más material del necesario para el fin destinado de este vehículo.

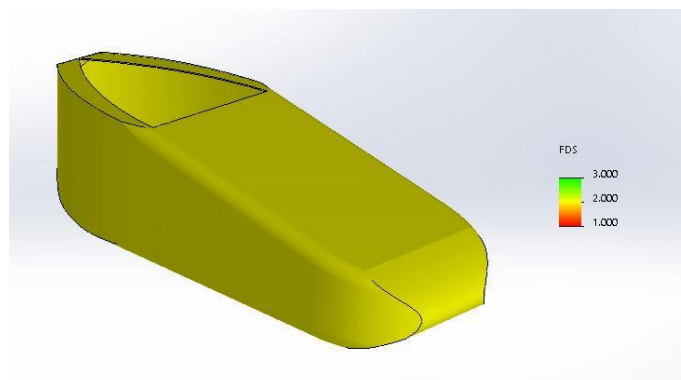


Figura 130. Factor de seguridad

11. MOLDE PARA PROTOTIPO OPTIMIZADO

A continuación, se muestra el molde realizado para el modelo de carrocería escogido representado en la *Figura 131*. El molde se realizará con la ayuda de un negativo describiendo la forma del molde y se irá realizando con resina y fibra como se explicará en el apartado de *MATERIAL Y CONFORMADO*.

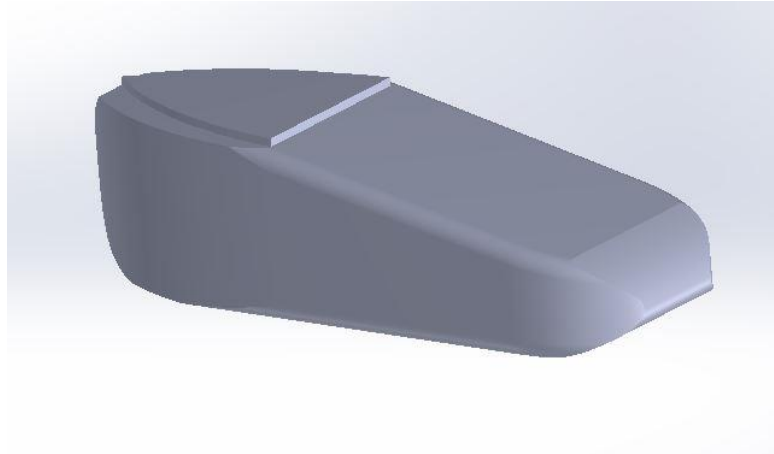


Figura 131. Modelo para realizar el molde

En la *Figura 132* y en la *Figura 133* se muestran las dos partes del molde con las que se realizará la forma de la carrocería. Se realiza un corte en la componente horizontal de la carrocería y se obtienen las dos partes que forman la carrocería. Dichos moldes se atornillarían al chasis para quedar fijadas ambas partes, permitiendo así con unos tornillos rápidos de media vuelta, el desmontaje rápido de la parte superior de la carrocería con fácil acceso para que se realice sin dificultad las verificaciones en cada carrera.

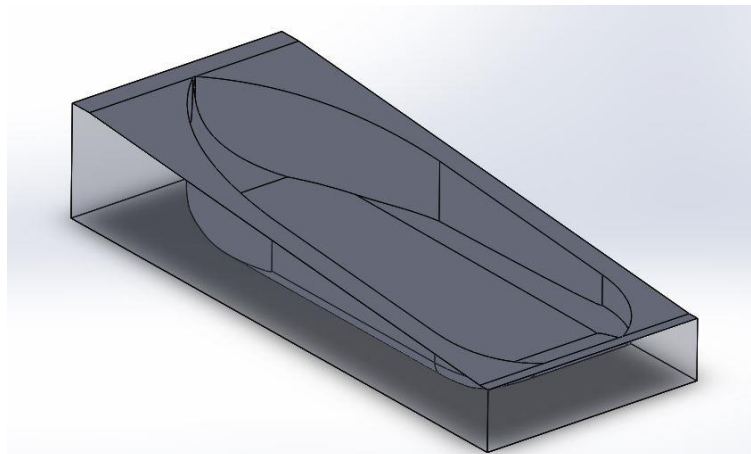


Figura 132. Parte inferior del molde

En la siguiente figura se muestra la parte superior, donde en la parte del piloto se ha realizado un saliente hacia abajo, para que dicha zona quede hueca y sin material para permitir el pilotaje.

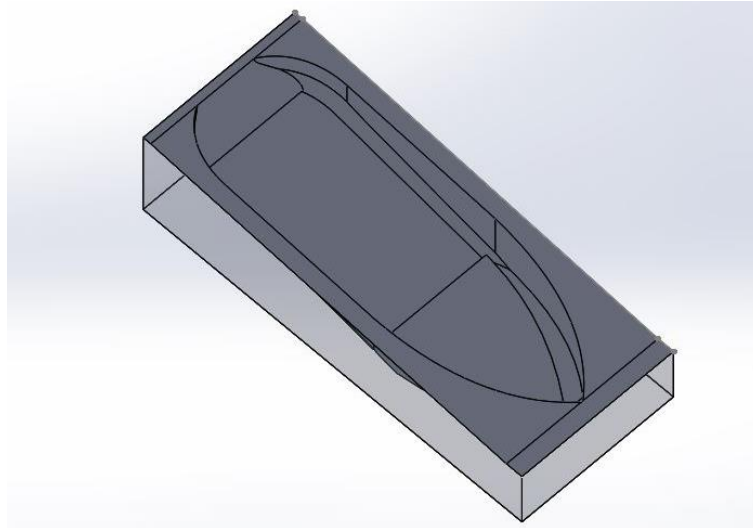


Figura 133. Parte superior del molde

Quedando ambas partes realizadas, se realizarán las guías y agujeros correspondientes a la transmisión y la dirección de manera que se atornille la parte baja de la carrocería tras adaptarse a todos los elementos mecánicos que conforman el vehículo. Una vez fijada la parte inferior de la carrocería, se montará la parte superior que encajará a la perfección con la parte inferior debido a la simetría que conforma con ésta. Por tanto, se atornillará con tornillería rápida en el chasis para que ambas partes queden totalmente fijadas y de fácil acceso. A continuación y para finalizar, se realiza un diseño de una pletina que es compatible con ambas partes de la carrocería. Ésta se ha realizado 5 cm menor en su parte interna para permitir que en la parte que se desee se realicen soportes simétricos a 90° en ambas partes que conforman el molde para realizar una sujeción mediante tornillos y tuercas con la intención de que se queden totalmente fijadas ambas partes

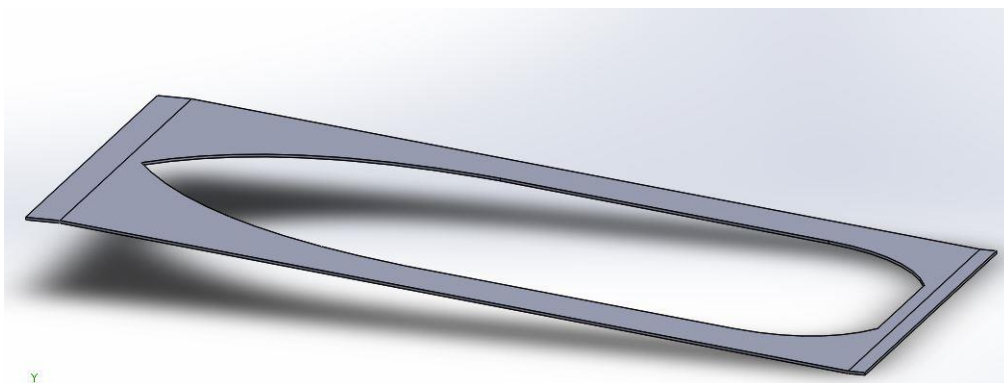


Figura 134. Pletina molde

12. PROPUESTAS DESESTIMADAS

12.1 Quinta carrocería

En este apartado se realiza un estudio a otro tipo posible de carrocería permitidas en la competición de la categoría C4 representada en la *Figura 135*.

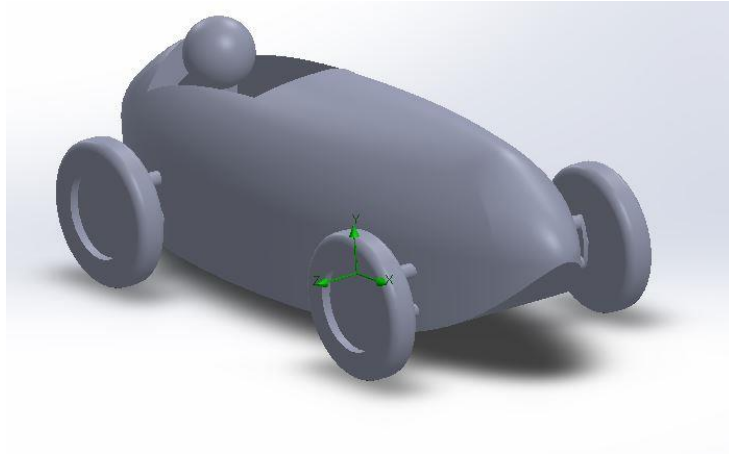


Figura 135. Prototipo

Esta propuesta de carrocería se ha desestimado debido a que no se adapta al chasis que hay disponible en el centro de enseñanza al que va destinado los diseños realizados. Además, la desestimación de esta carrocería es la dificultad de mecanizado que conllevaría, dado a que como se ha reflejado anteriormente, el centro de enseñanza cuenta con las medidas de fabricación básicas y esto complicaría la implantación y desarrollo de la fabricación de esta carrocería. Teniendo en cuenta su desestimación, se realizará un estudio para evaluar la eficiencia de ésta.

Se realizarán el mismo estudio realizado para las anteriores carrocerías pero a velocidades de 10 m/s y a 30 m/s para ver el comportamiento adoptado por la carrocería en dos casos distintos.

12.1.1 Caso 1: Velocidad de 10 m/s

12.1.1.1 PRESIONES

En este primer apartado se estudiarán la distribución de presiones a una velocidad de 10 m/s. En la *Figura 136* se representan los valores de presión obtenidos a lo largo del prototipo, obteniendo los valores máximos en el frontal del vehículo representados en color rojo, quedando en un valor en torno a 101370 Pa. A partir de dicha zona, se obtienen valores medios de 101300 Pa hasta la zona del piloto donde las presiones vuelven a aumentar por motivo de la presencia del piloto, donde las presiones aumentan hasta valores de 101350 Pa.

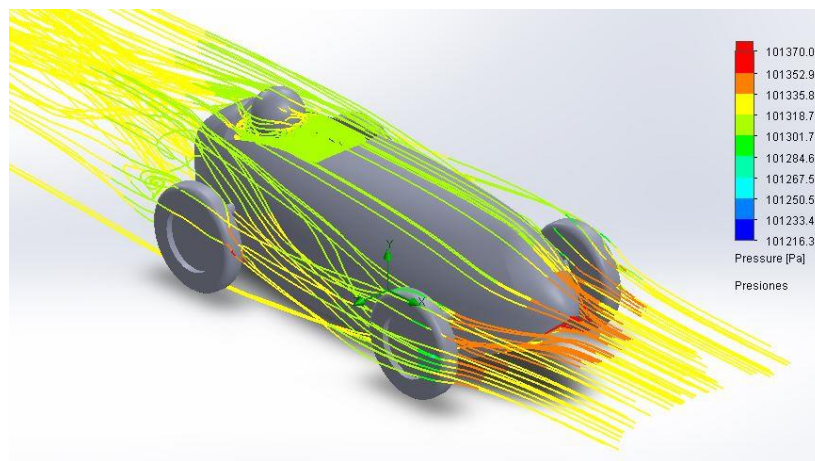


Figura 136. Presiones a 10 m/s

En la *Figura 137* se representan los valores desde una vista superior del prototipo donde se observa la trayectoria realizada por el flujo a lo largo de este. Se aprecia los torbellinos generados tras las ruedas traseras debido a la forma de la carrocería de este prototipo.

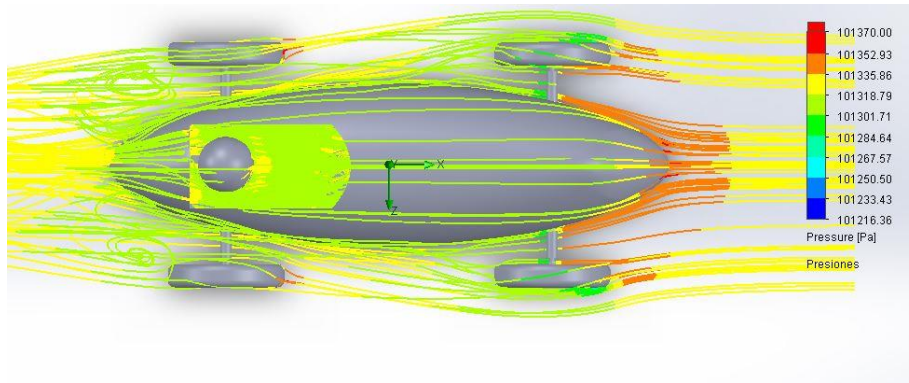


Figura 137. Presiones superiores a 10 m/s

12.1.1.2 VELOCIDAD

En este apartado se estudiará el comportamiento de la velocidad del flujo a lo largo de la carrocería. Se obtienen valores máximos en la zona inferior del prototipo representados en la *Figura 138* en color rojo, alcanzando valores de 13 m/s aproximadamente. Tras dicha zona, se obtienen valores medios a lo largo del prototipo hasta la zona del piloto, donde se encuentran velocidades notablemente menores de 2 m/s aproximadamente. En la parte final del monoplaza, se obtienen valores negativos representados de color azul que simulan una succión en dicha zona, provocados por el diseño de la parte posterior del monoplaza.

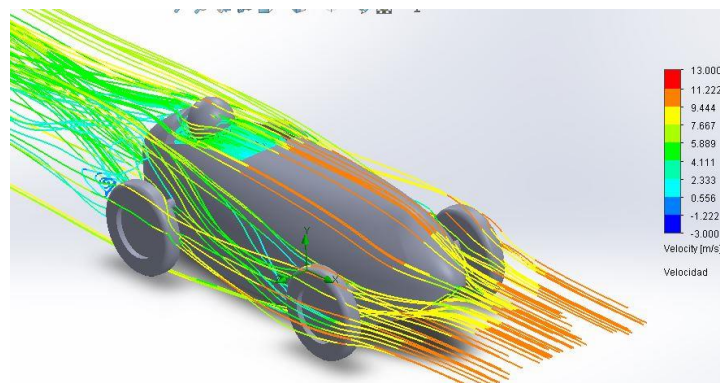


Figura 138. Velocidades a 10 m/s

En la *Figura 139*, se observa cómo se comporta el flujo en la parte inferior y lateral del prototipo, obteniendo así los valores máximos en la zona baja del vehículo, debido a que existe más superficie en ésta que en la parte superior de la carrocería. Esto es debido al caso teórico del teorema de Bernoulli, expuesto anteriormente.

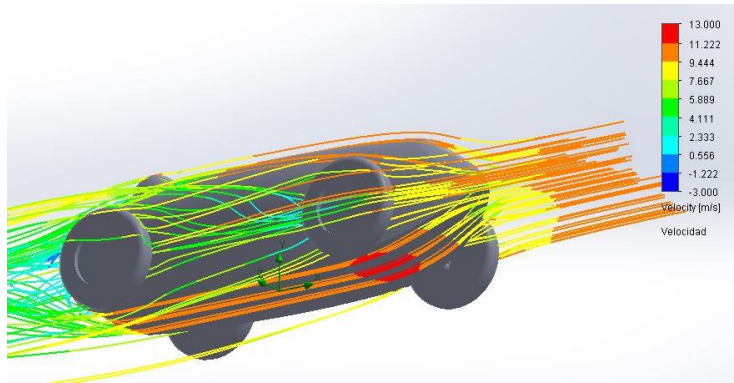


Figura 139. Velocidades inferiores a 10 m/s

12.1.2 Caso 2: Velocidad de 30 m/s

12.1.2.1 PRESIONES

En este primer apartado se realiza un estudio para analizar la distribución de presiones a la velocidad del prototipo de 30 m/s. De nuevo se vuelven a obtener las presiones máximas en la zona frontal de la carrocería representadas de color rojo en la *Figura 140*. En la zona de las ruedas delanteras se encuentran presiones bajas debido a que el flujo que proviene del frontal se deriva hacia los lados obteniéndose así los valores bajos en la zona exterior de las ruedas.

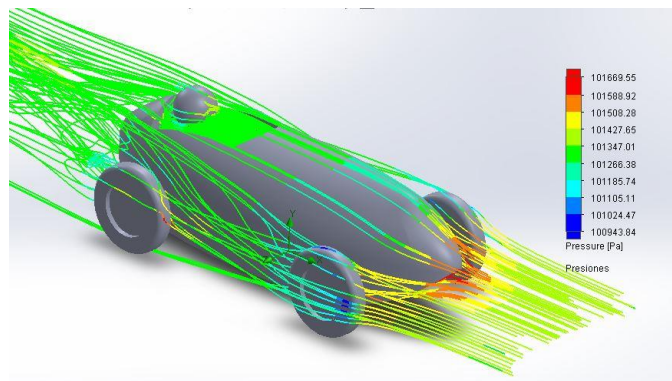


Figura 140. Presiones a 30 m/s

Por último, en la zona del piloto se obtienen valores medios representados de color verde, excepto en una pequeña parte de las ruedas traseras que se obtienen valores altos de presión que debido al flujo que proviene de las ruedas delanteras interfieren de forma notable en las ruedas traseras representado en color rojo en la *Figura 141*.

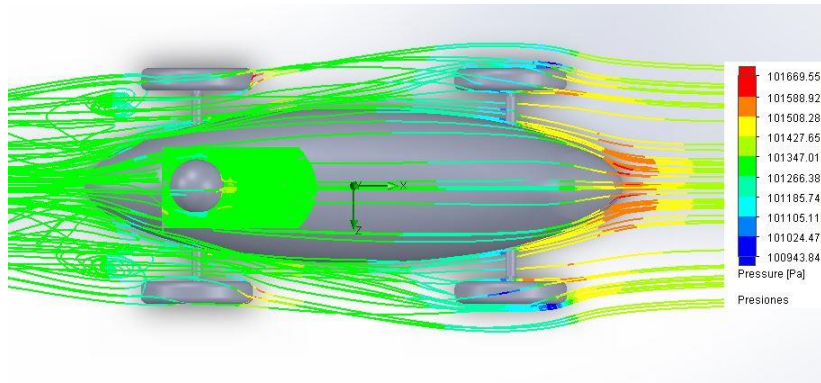


Figura 141. Presiones desde la parte superior

12.1.2.2 VELOCIDAD

En este ultimo item, se representa las velocidades de flujo que se obtienen cuando el prototipo circula a 30 m/s. Se obtienen valores máximos en la parte inferior del prototipo como en la *Figura 142* pero con valores en torno a 40 m/s. Además, se obtienen valores medio-altos en la parte superior del prototipo de 35 m/s aproximadamente que derivan a velocidades de 5 m/s en la zona del piloto, lo que supone una gran reducción debido a que el flujo decelera de una forma importante en la zona del piloto.

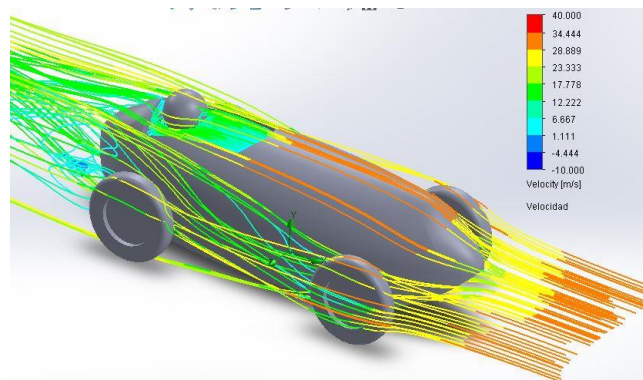


Figura 142. Velocidades a 30 m/s

Tras el piloto, se obtienen valores negativos de velocidad representados en color azul oscuro en la *Figura 143* significando una succión en la parte posterior del monoplaza. Esto es un aspecto negativo debido a la forma que adopta la carrocería en su parte trasera y si se tuviera que optimizar dicha carrocería se realizaría una zona posterior menos agresiva y favoreciendo la eliminación de velocidades negativas.

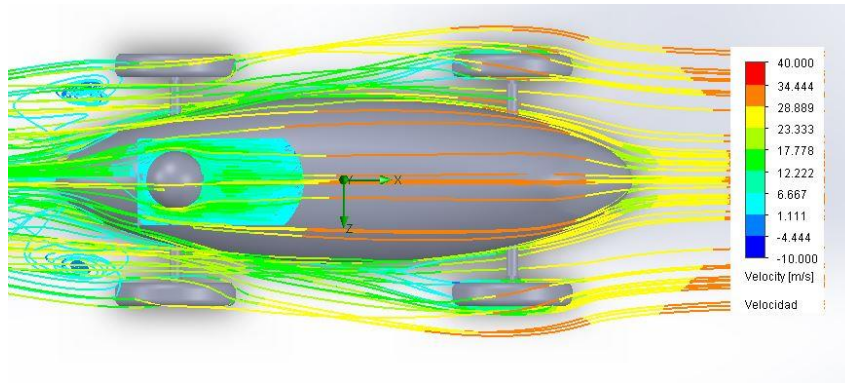


Figura 143. Velocidades superiores a 30 m/s

12.1.3 Valor de c_x

El valor de coeficiente obtenido en este último modelo es de **0.276**, lo que no supone una mejora con respecto a la carrocería 4 optimizada que se ha escogido como óptima para la implantación y desarrollo de la misma.

13. MATERIAL Y CONFORMADO

13.1 Material

En este apartado se mostrará el material que se utilizará para realización de esta nueva carrocería. Para ello se utilizará el software CES EDUPACK 2016 teniendo en cuenta las limitaciones económicas y dificultad de mecanizado en el instituto al que está destinado este proyecto. Se utilizarán materiales compuestos o también denominados composites, los cuales son uno de los desarrollos más importantes del siglo 20 ya que, ofrecen mayor rigidez y resistencia a los componentes. Éstos suelen contar con una matriz de resina de poliéster, más económica y la más utilizada, o epoxi, quedando esta última como más resistente pero notablemente más cara. A dichas resinas van asociadas unas fibras continuas que pueden ser de vidrio, carbono o aramida (kevlar), con la intención de reforzar el componente o conjunto. Dichas fibras se encargan de ofrecer rigidez y resistencia al componente distribuyendo los esfuerzos sobre la matriz. Los usos más frecuentes de este material son para cascos de barcos grandes, carrocerías para vehículos, paneles interiores de automóviles, etc.

Descripción

Figura



Figura 144. Elección de material CES EDUPACK

Fuente: Software CES EDUPACK 2016

La elección del material compuesto para nuestra carrocería serán una matriz de resina de poliéster con densidad de 450 g/m² con refuerzo con fibra de vidrio, ya que es el método que se adapta a las necesidades de la competición y a la economía del centro de enseñanza.



Figura 145. Resina y fibra de vidrio empleada en el laboratorio del centro de enseñanza

El precio estimado de este compuesto se divide en 10 EUR/kg de resina de poliéster junto con 20 gramos de peróxido que actuará como activador o catalizador para que la resina endurezca tras aplicar la fibra de vidrio y, por último, 5 euros por cada metro cuadrado de fibra de vidrio.



Figura 146. Aplicación en la segunda carrocería

El tiempo de secado del compuesto es de 24 horas a una temperatura de 20°C. El tiempo de manipulación de la resina es de 30 minutos antes de curar y no hay definido tiempo en la aplicación entre capa y capa consecutiva, es decir, se pueden aplicar tantas capas como se desee de forma consecutiva.

13.2 Conformado

El proceso de conformado del material se realizará por el método por capas de forma manual *Figura 147*, sobre un molde realizado en base a la forma de la carrocería. Los usos a los que está destinado este proceso suelen ser para paneles de construcción, cascos de barco, carrocerías de vehículos, cuadros para bicicletas, etc.



Figura 147. Proceso por capas manual

Fuente: Software CES EDUPACK 2016

Dicho método se basa en recubrir con resina el molde para obtener un acabado superficial suave. Tras impregnar el molde, la resina curará y se le aplicará una capa de refuerzo, que en el caso de la carrocería en estudio será fibra de vidrio, colocada a mano. Tras colocar la fibra, se aplicará más resina con la ayuda de un rodillo y se volverá aplicar otra capa de fibra de vidrio hasta llegar al espesor deseado.



Figura 148. Aplicación del método en la primera carrocería

Este proceso conlleva un coste bajo de materiales pero un consumo de mano de obra alto, pero en el caso del prototipo a fabricar, se realizará en un centro de enseñanza de formación profesional, por lo que solo se asumirían los gastos de materiales.



Figura 149. Fabricación de la segunda carrocería en el centro de enseñanza

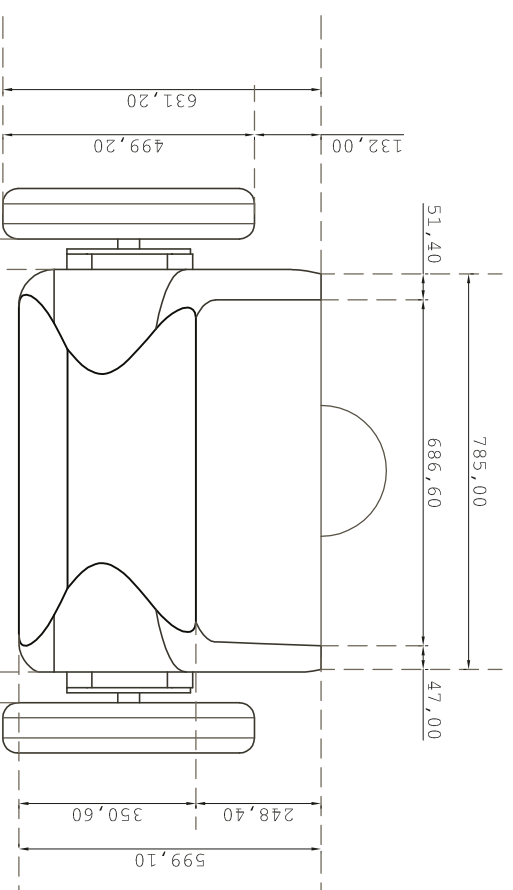
Además, la rugosidad superficial obtenida con este tipo de proceso es de clasificación A, que implica una carrocería suave y no sería necesario aplicar ningún tratamiento superficial caro, siendo suficiente un lijado posterior y un tratamiento de pintura si se desea. La tolerancia que se puede obtener con dicho proceso sería de 0.8 mm a 5 mm.

14. PLANOS

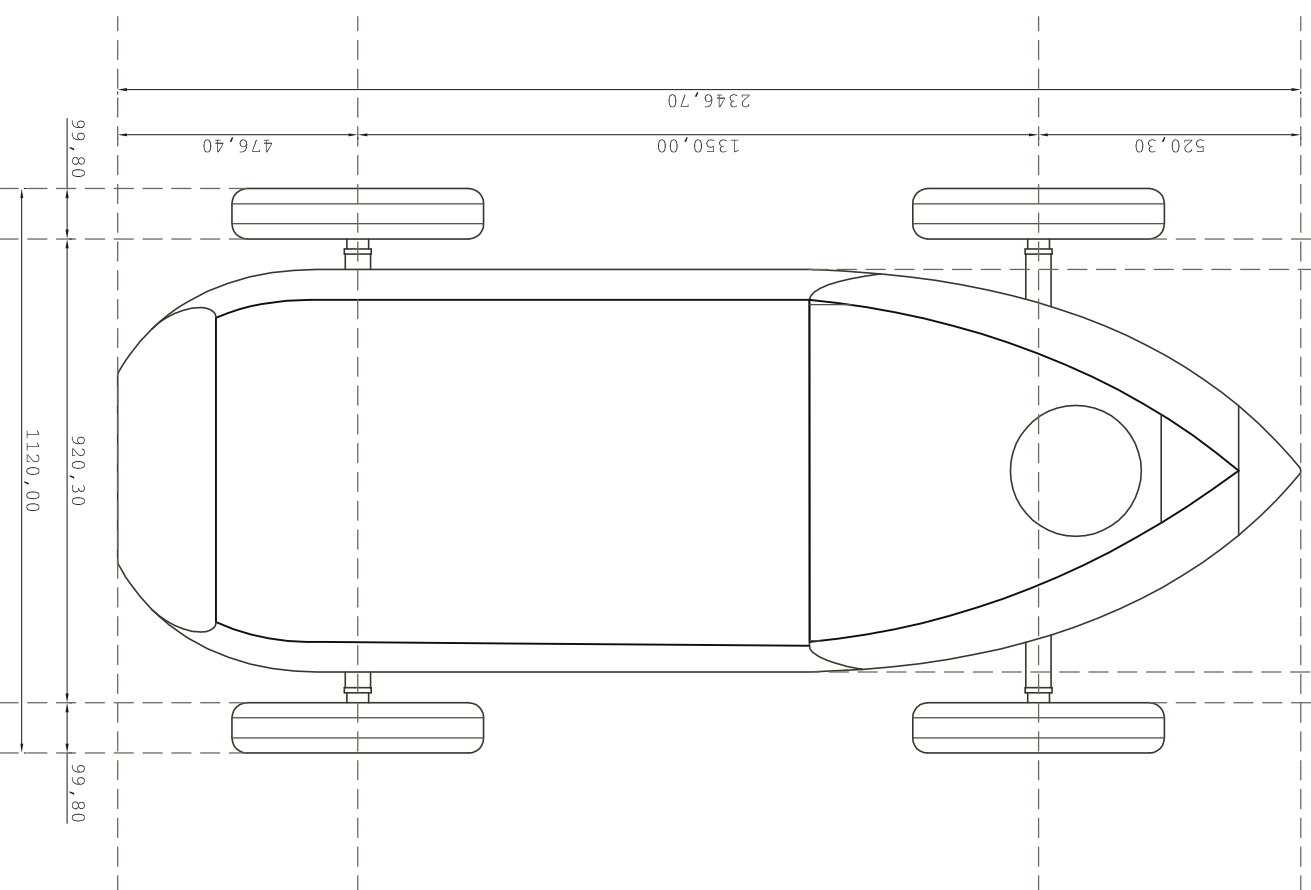
En este apartado se exponen los planos que definen el modelo propuesto para la carrocería del vehículo además del molde para la fabricación de la misma. Se asumen que existen limitaciones de la definición y acotación del modelo representado en dos dimensiones. Para ello, se aporta el modelo en 3 dimensiones que complementa la siguiente documentación gráfica.

01. DEFINICIÓN TÉCNICA

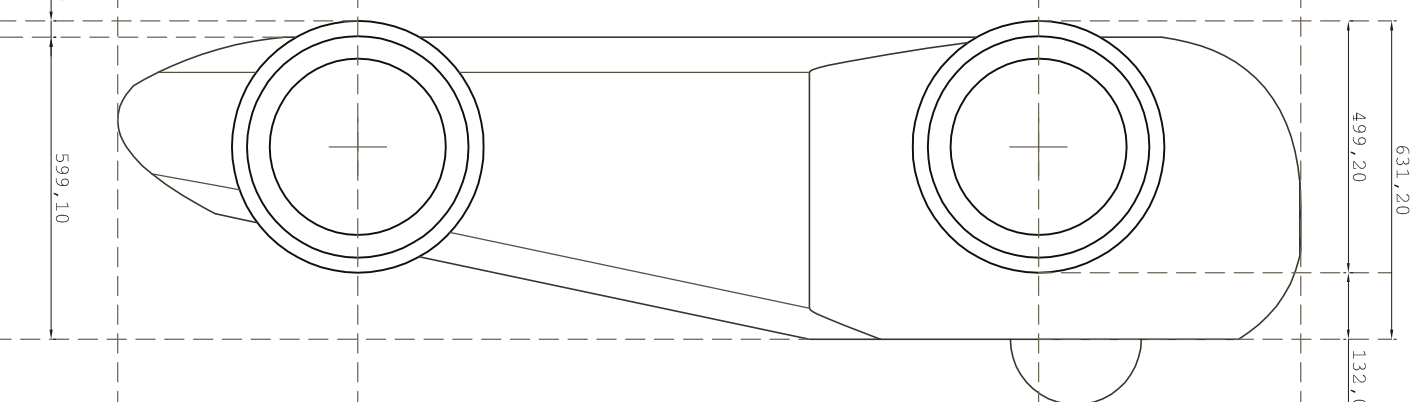
ALZADO FRONTAL



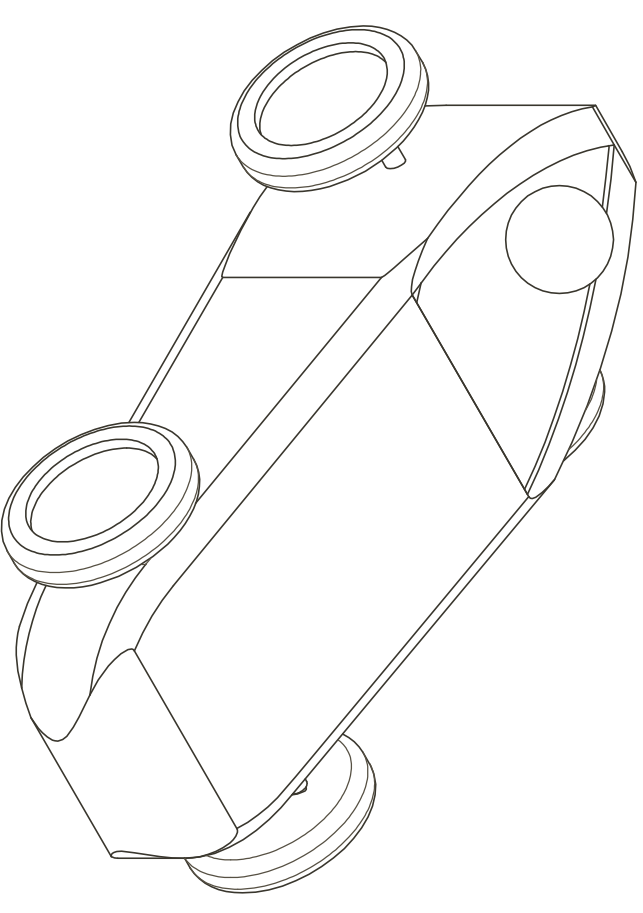
PLANTA




ALZADO LATERAL



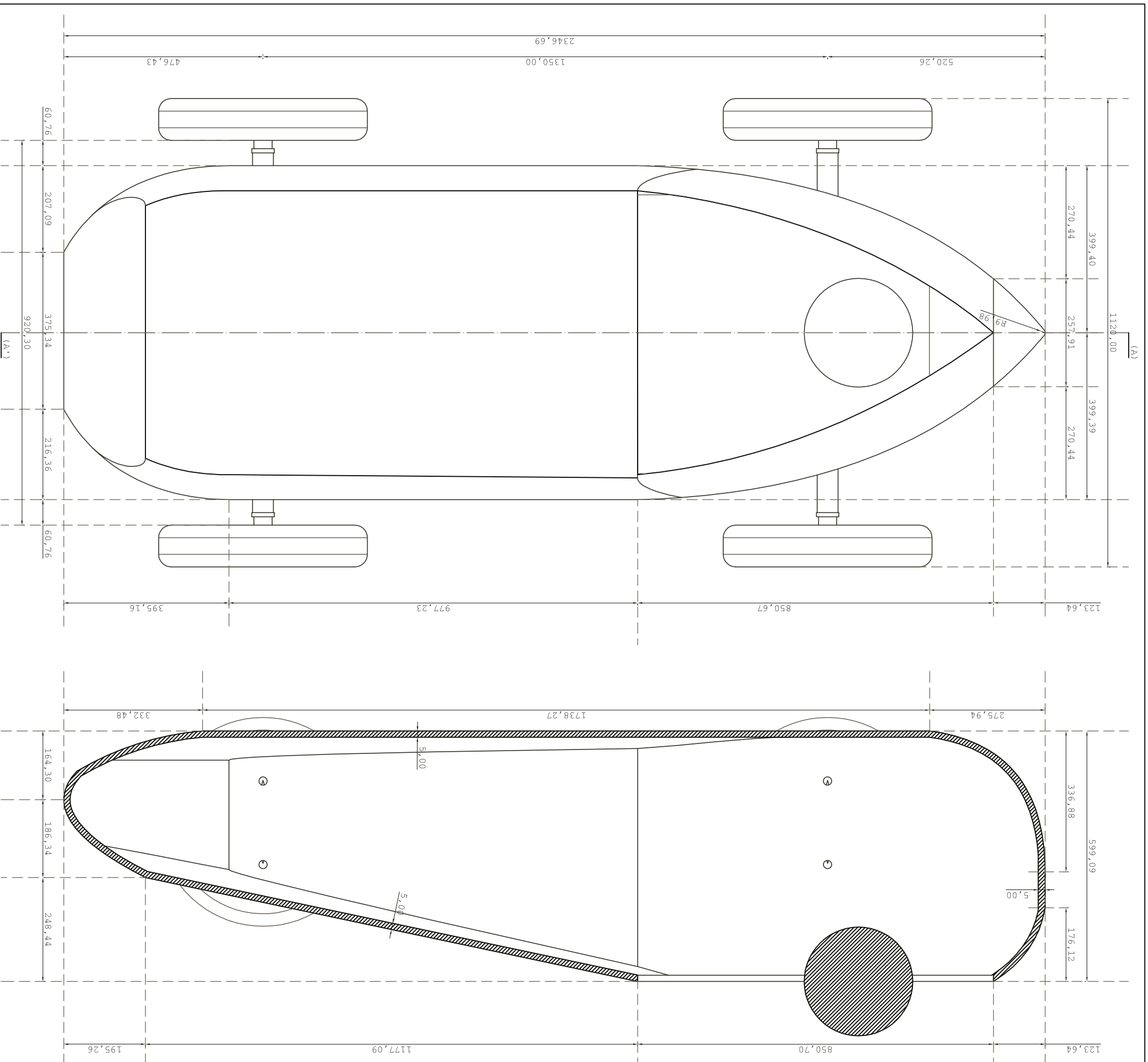
AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA



 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. CAMPUS DE ALCOY ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY (E.P.S.A.)</p>	
TIPO DE DOCUMENTO PLANO	TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHÍCULO DE INERCIA"
DEPARTAMENTO:	
REF. TÉCNICA:	TÍTULO DEL DIBUJO: DEFINICIÓN TÉCNICA
CREADO POR: SALVA	ESCALA 1/15
APROBADO POR:	Nº de identificación: 0
	Revisión: 01
	Fecha: 24/07/17
	HOJA 01/04

02. DETALLE

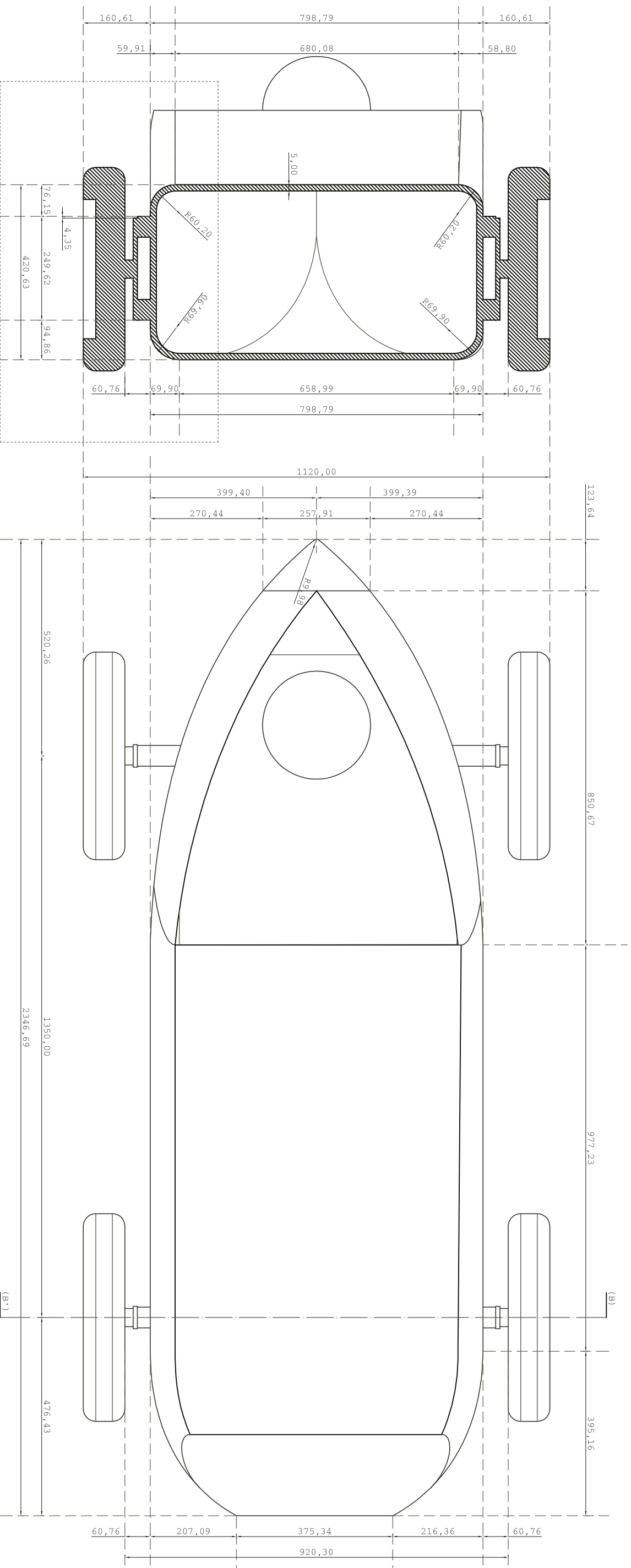
SECCIÓN LONGITUDINAL A-A'



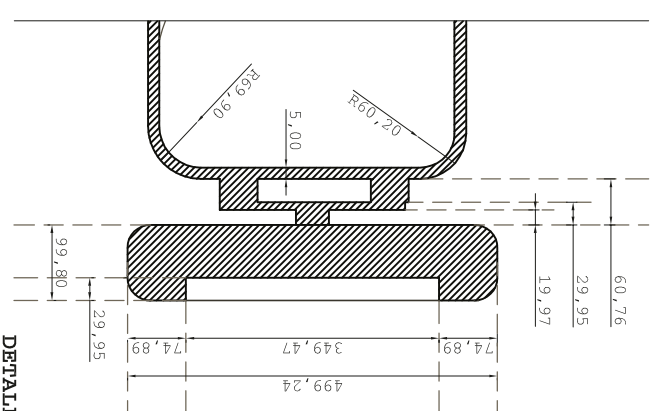
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
CAMPUS DE ALCOY
 ESCOLA POLITÈCNICA SUPERIOR D'ALCOY
 (E.P.S.A.)

TIPO DE DOCUMENTO PLANO	TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHICULO DE INERCIA"	ESCALA 1/10
DEPARTAMENTO:	TÍTULO DEL DIBUJO: SECCIÓN LONGITUDINAL A-A'	Nº de identificación: 0
REF. TÉCNICA:	CREADO POR: SALVA	Revisión: 01
APROBADO POR:		Fecha: 24/07/17
		HOJA 02/04


02. DETALLE
SECCIÓN TRANSVERSAL B-B'



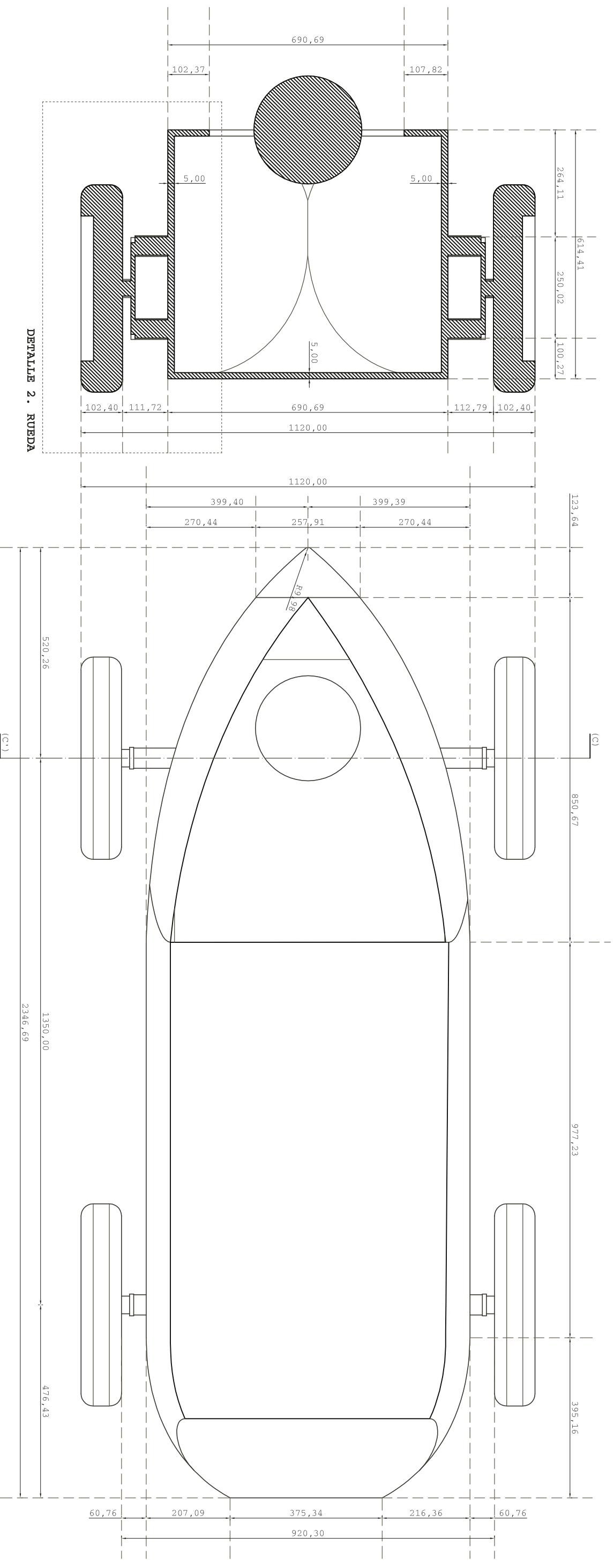
DETALLE 1. RUEDA



DETALLE 1. RUEDA

 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. CAMPUS DE ALCOY ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY (E.P.S.A.)</p>	
TIPO DE DOCUMENTO PLANO	TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHICULO DE INERCIA"
DEPARTAMENTO:	
REF. TÉCNICA: CREADO POR: SALVA	TÍTULO DEL DIBUJO: SECCIÓN TRANSVERSAL B-B'
APROBADO POR:	ESCALA 1/10
	Nº de identificación: 0
	Revisión: 01
	Fecha: 24/07/17
	HOJA 03/04

02. DETALLE
SECCIÓN TRANSVERSAL C-C'

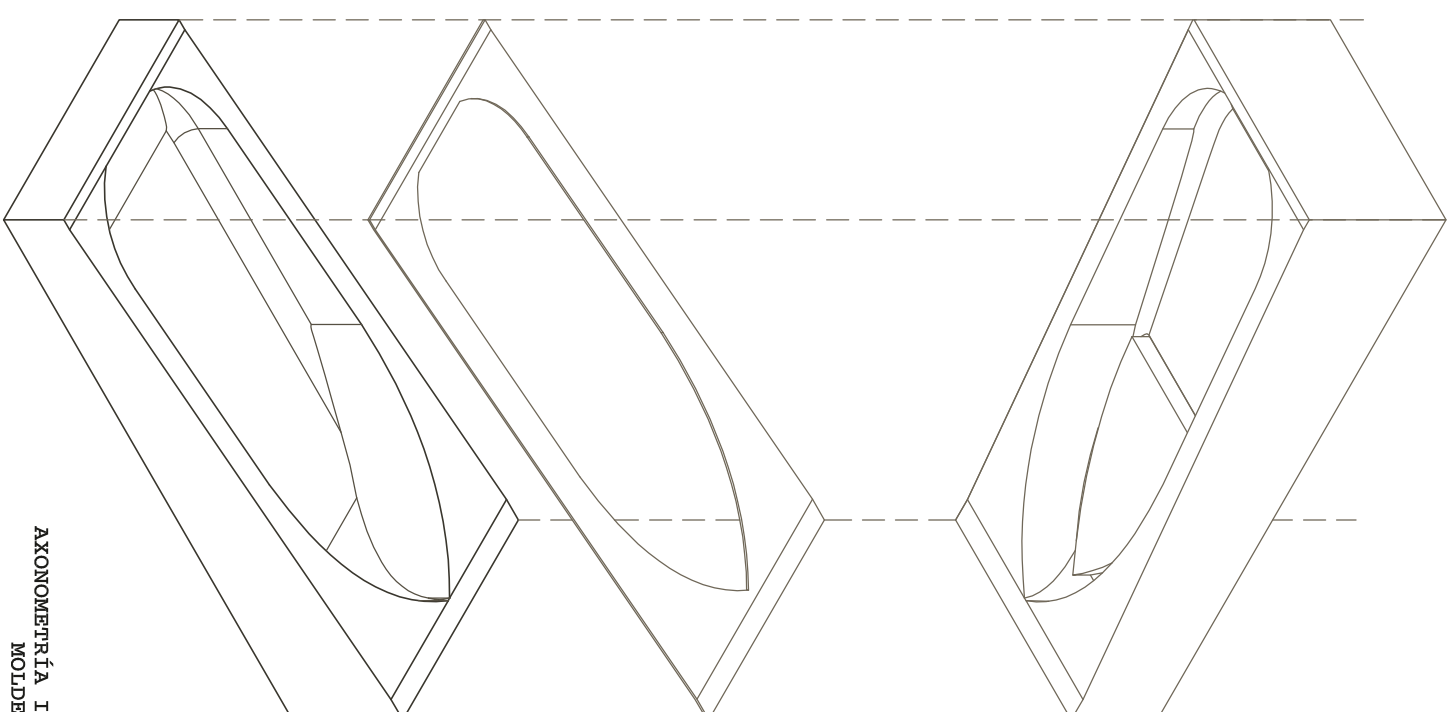
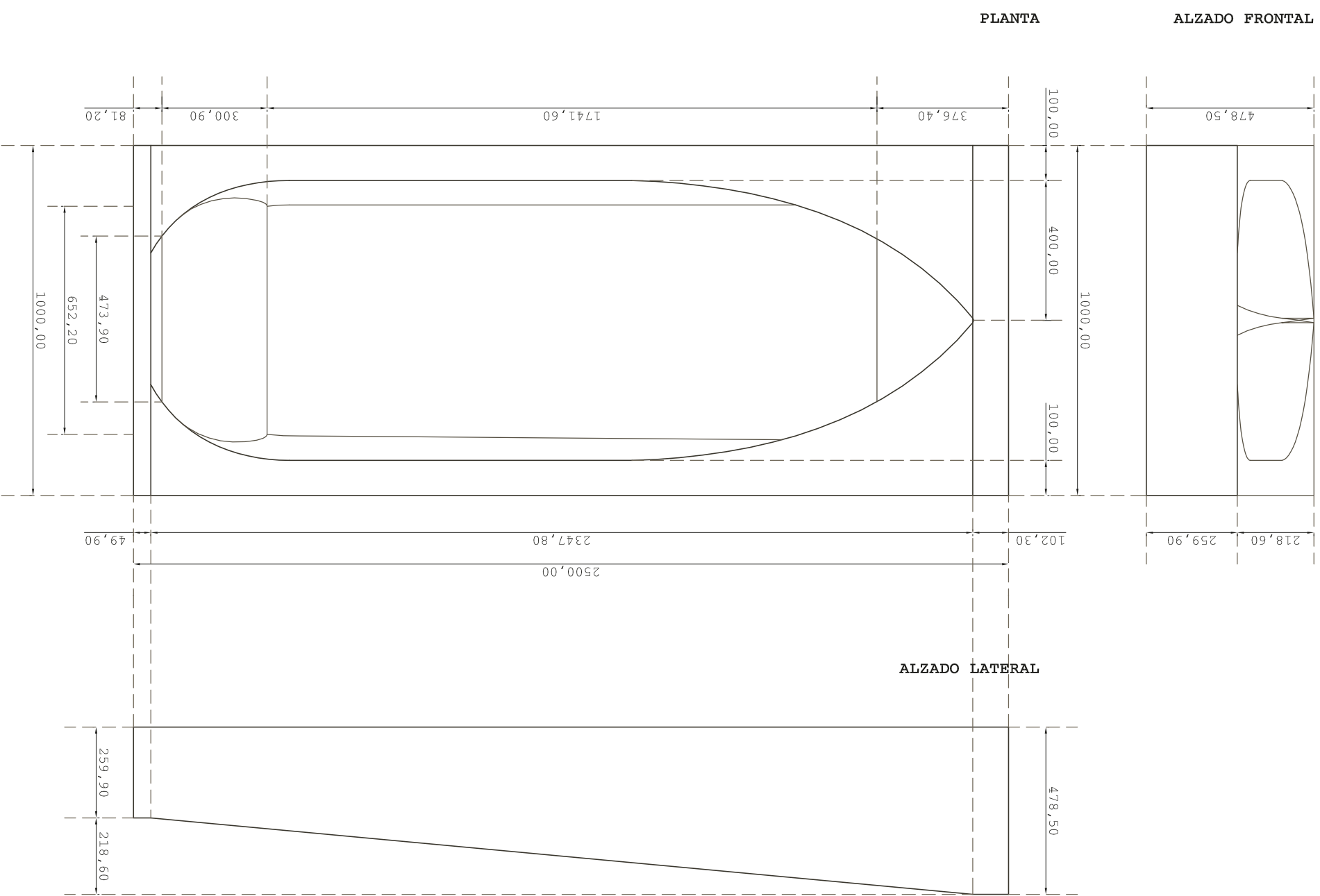


UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
CAMPUS DE ALCOY
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY
(E.P.S.A.)


TIPO DE DOCUMENTO PLANO	TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHICULO DE INERCIA"
DEPARTAMENTO:	
REF. TÉCNICA:	TÍTULO DEL DIBUJO: SECCIÓN TRANSVERSAL C-C'
CREADO POR: SALVA	ESCALA 1/10
APROBADO POR:	Nº de identificación: 0
	Revisión: 01
	Fecha: 24/07/17
	HOJA 04/04

DETALLE 2. RUEDA

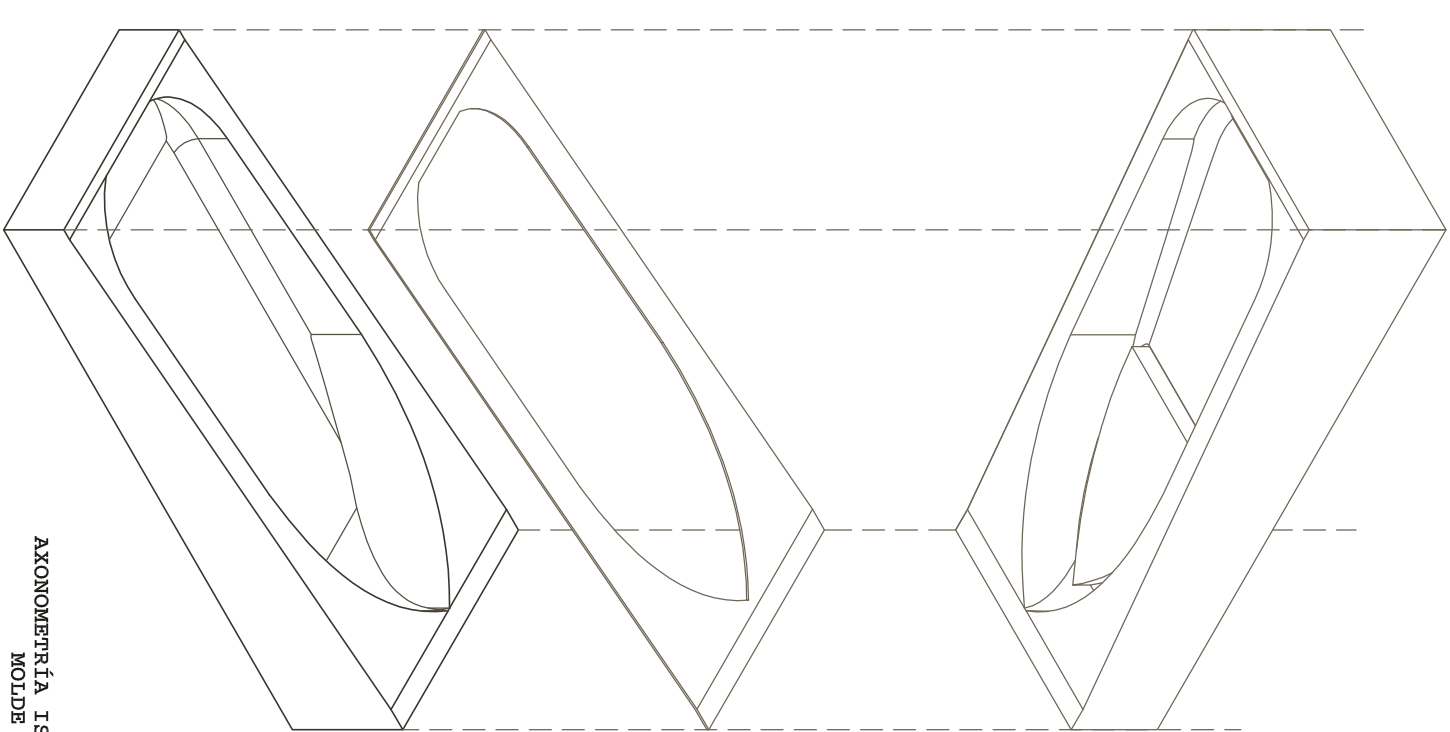
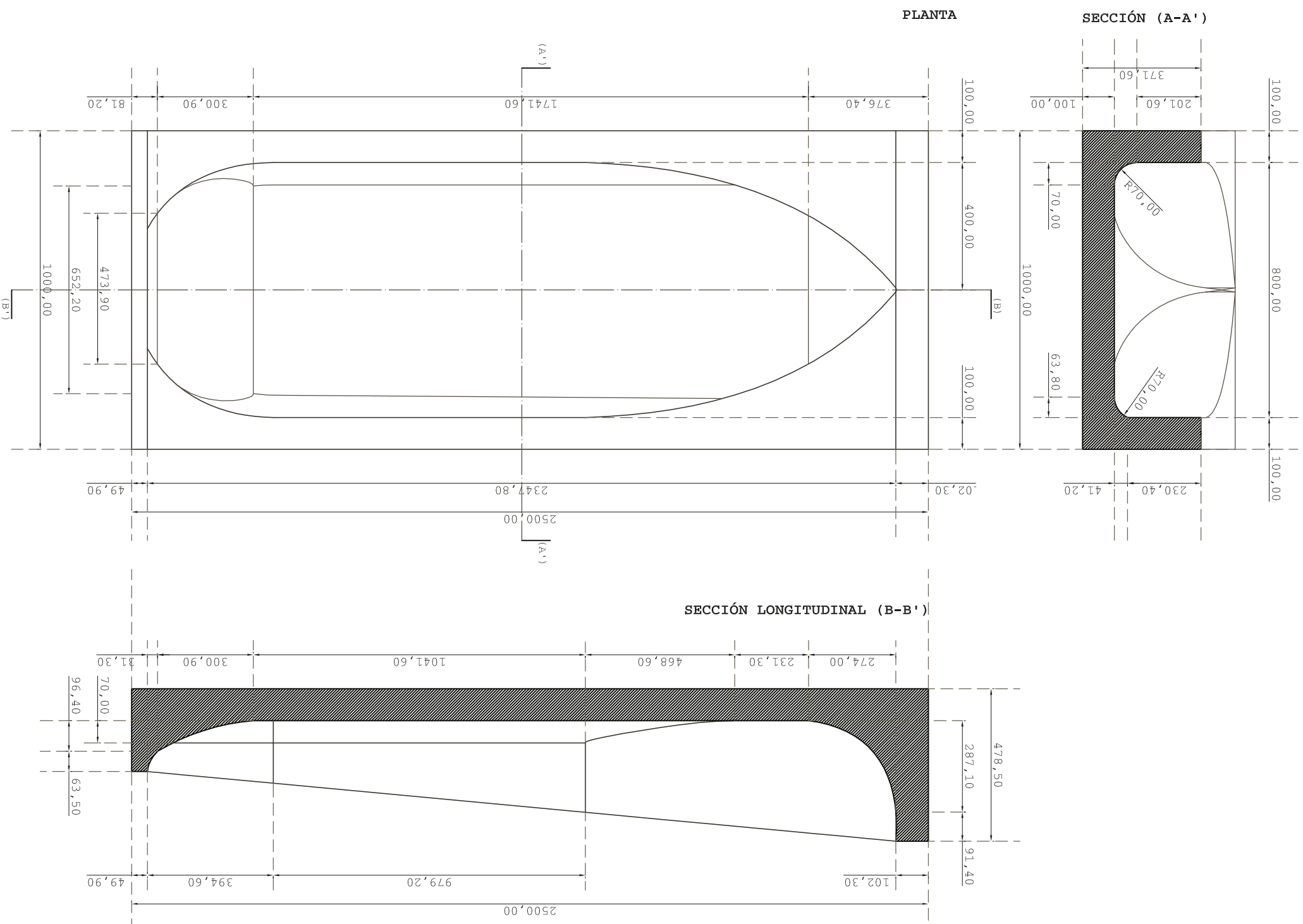
**02. MOLDE INFERIOR.
DEFINICIÓN TÉCNICA**





**AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA
MOLDE INFERIOR**

 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. CAMPUS DE ALCOY ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY (E.P.S.A.)</p>	
TÍTULO DEL DOCUMENTO PLANO	TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHICULO DE INERCIA"
DEPARTAMENTO:	
REF. TÉCNICA:	TÍTULO DEL DIBUJO: MOLDE INFERIOR. DEFINICIÓN TÉCNICA
CREADO POR: SALVA	ESCALA 1/15
APROBADO POR:	Nº de identificación: 0
	Revisión: 01
	Fecha: 24/07/17
	HOJA 01/02

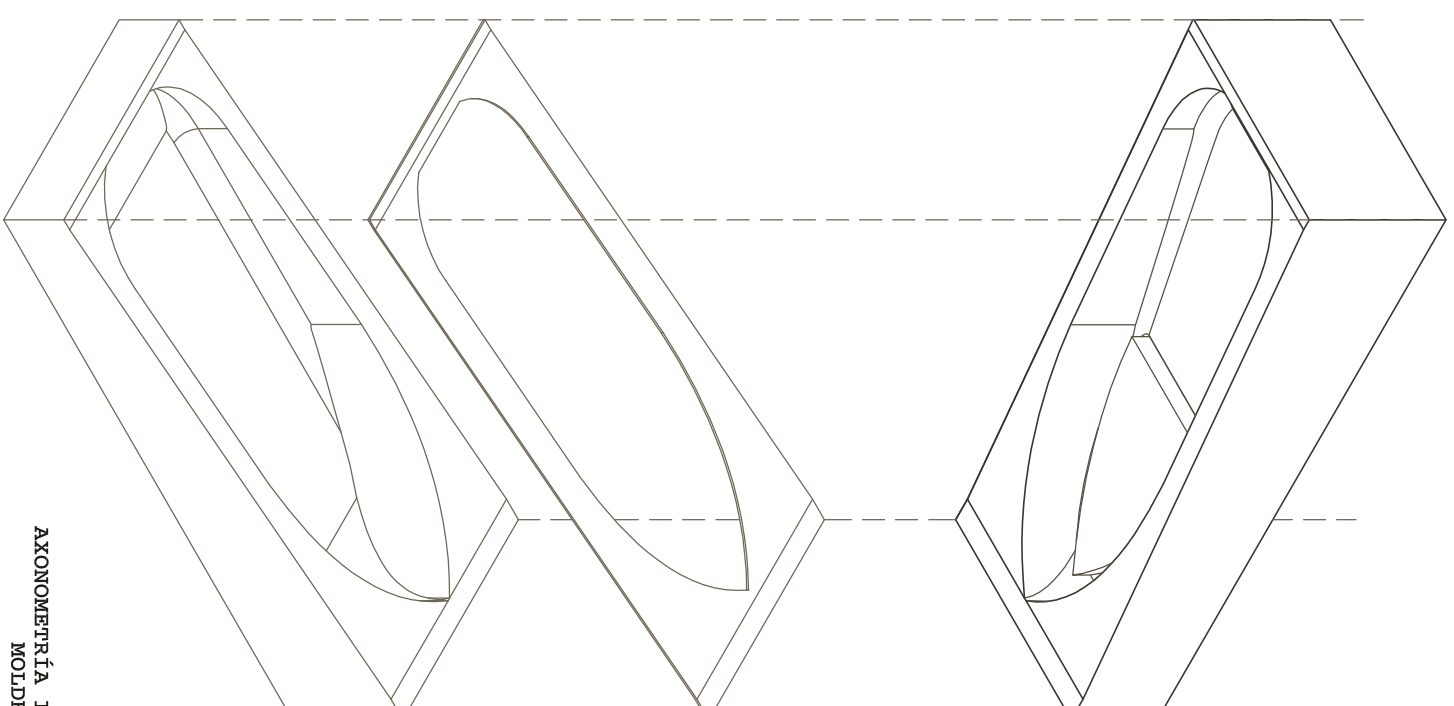
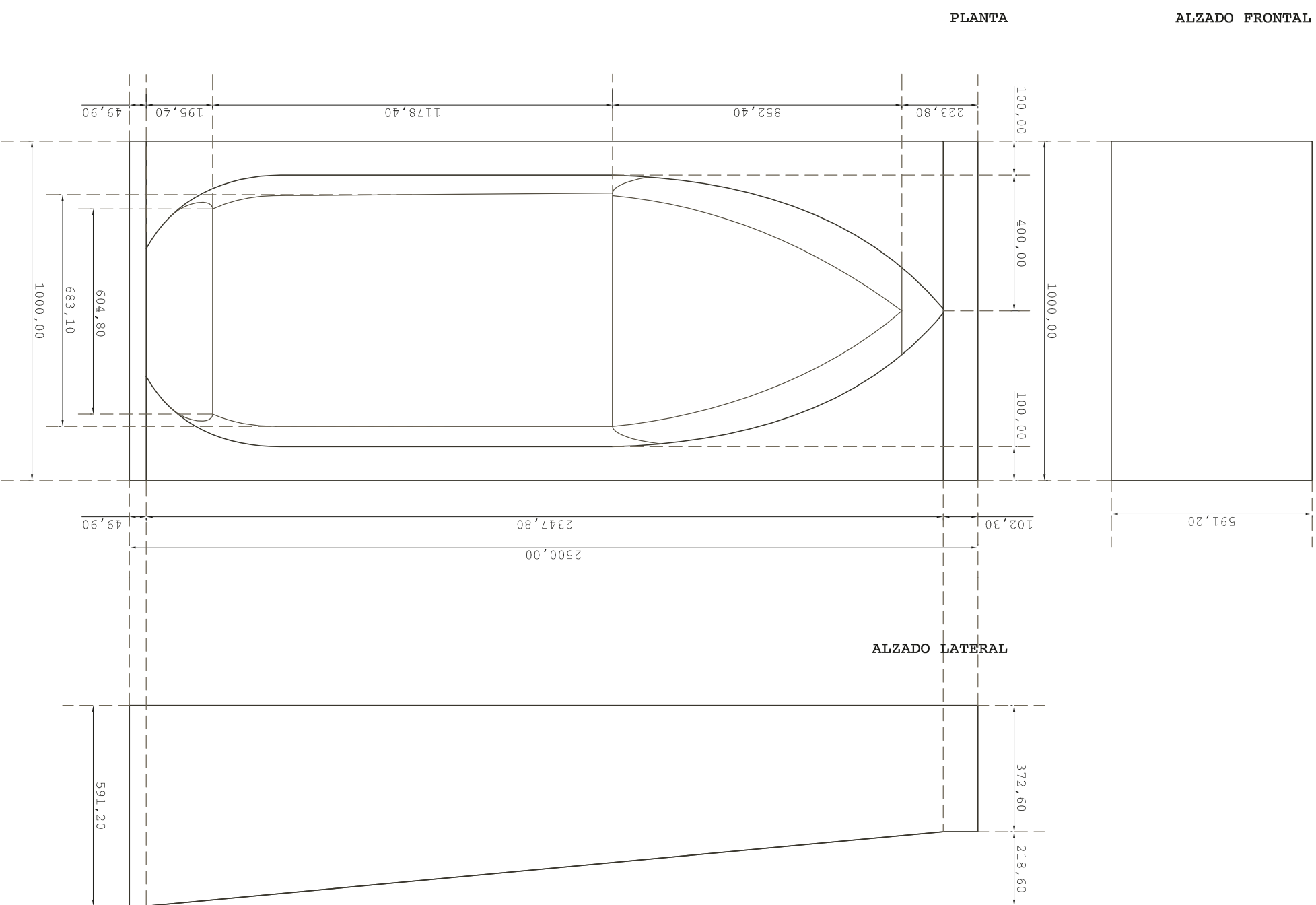
**02. MOLDE INFERIOR.
DEFINICIÓN TÉCNICA**




AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA
MOLDE INFERIOR

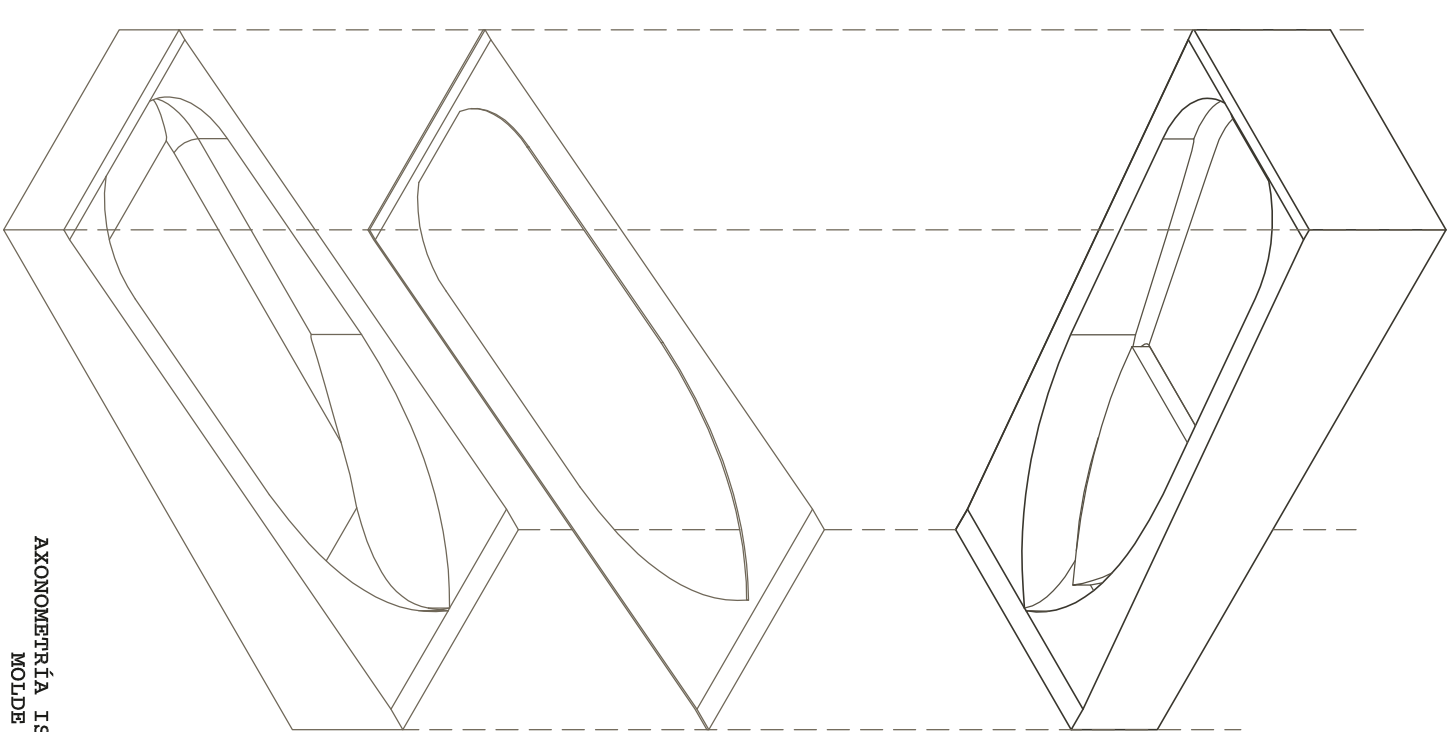
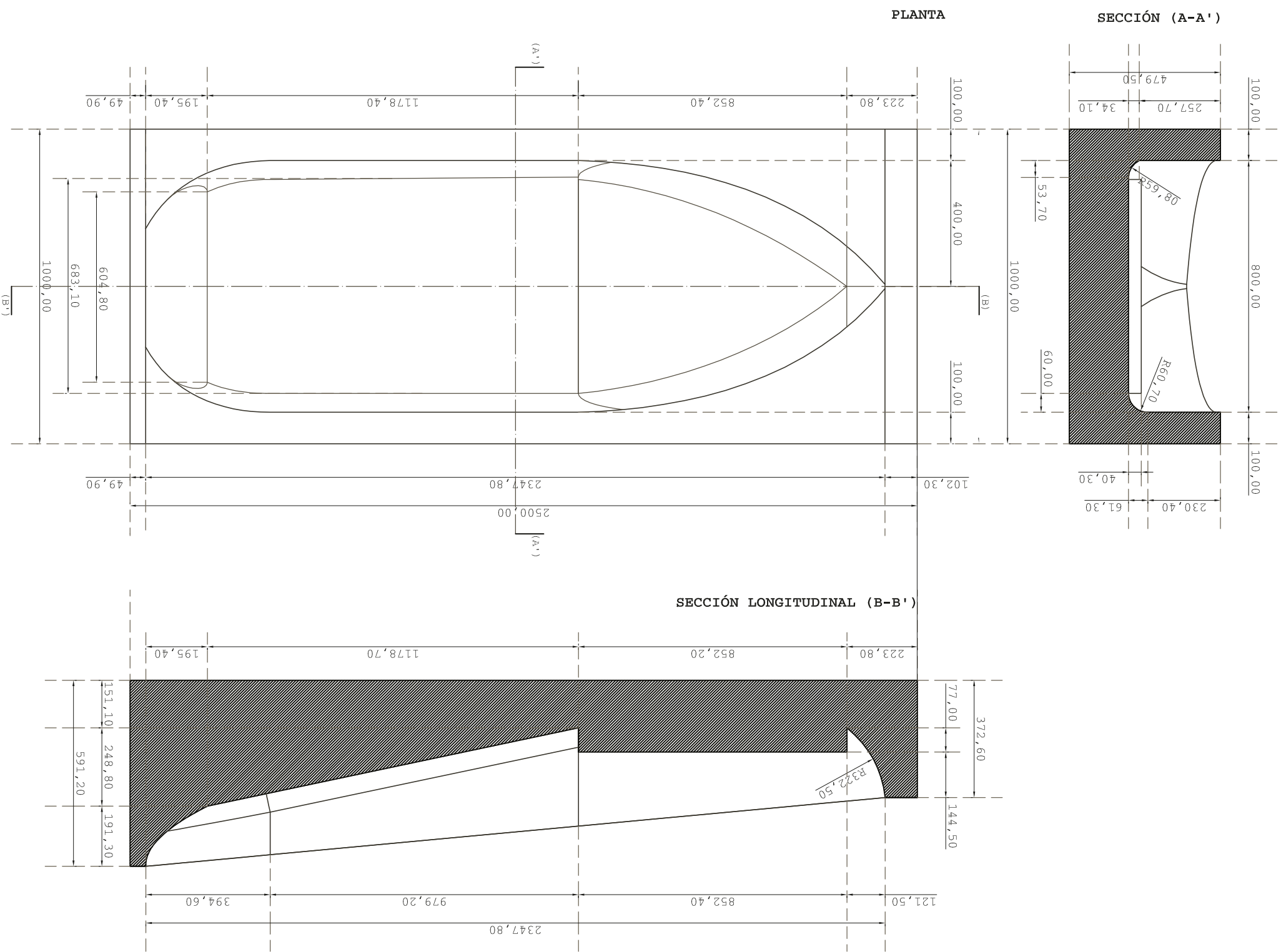
 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. CAMPUS DE ALCOY ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY (E.P.S.A.)</p>		
TÍTULO DEL TRABAJO:	"ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHICULO DE INERCIA"	
TIPO DE DOCUMENTO:	PLANO	
DEPARTAMENTO:		
REF. TÉCNICA:	TÍTULO DEL DIBUJO:	ESCALA
CREADO POR: SALVA	MOLDE INFERIOR. DEFINICIÓN TÉCNICA	1/15
APROBADO POR:	Nº de identificación: 0	
		HOJA
Revisión: 01		02/02
Fecha: 24/07/17		


**03. MOLDE SUPERIOR.
DEFINICIÓN TÉCNICA**



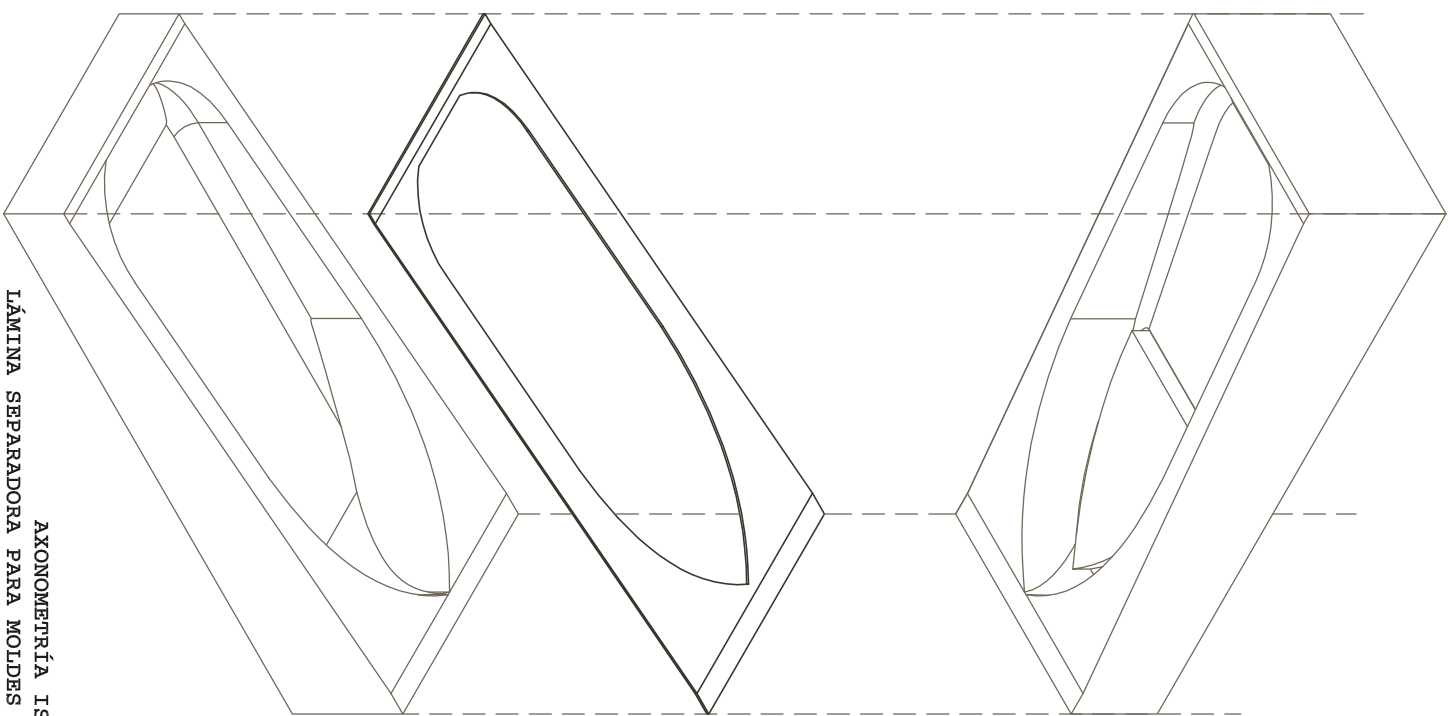
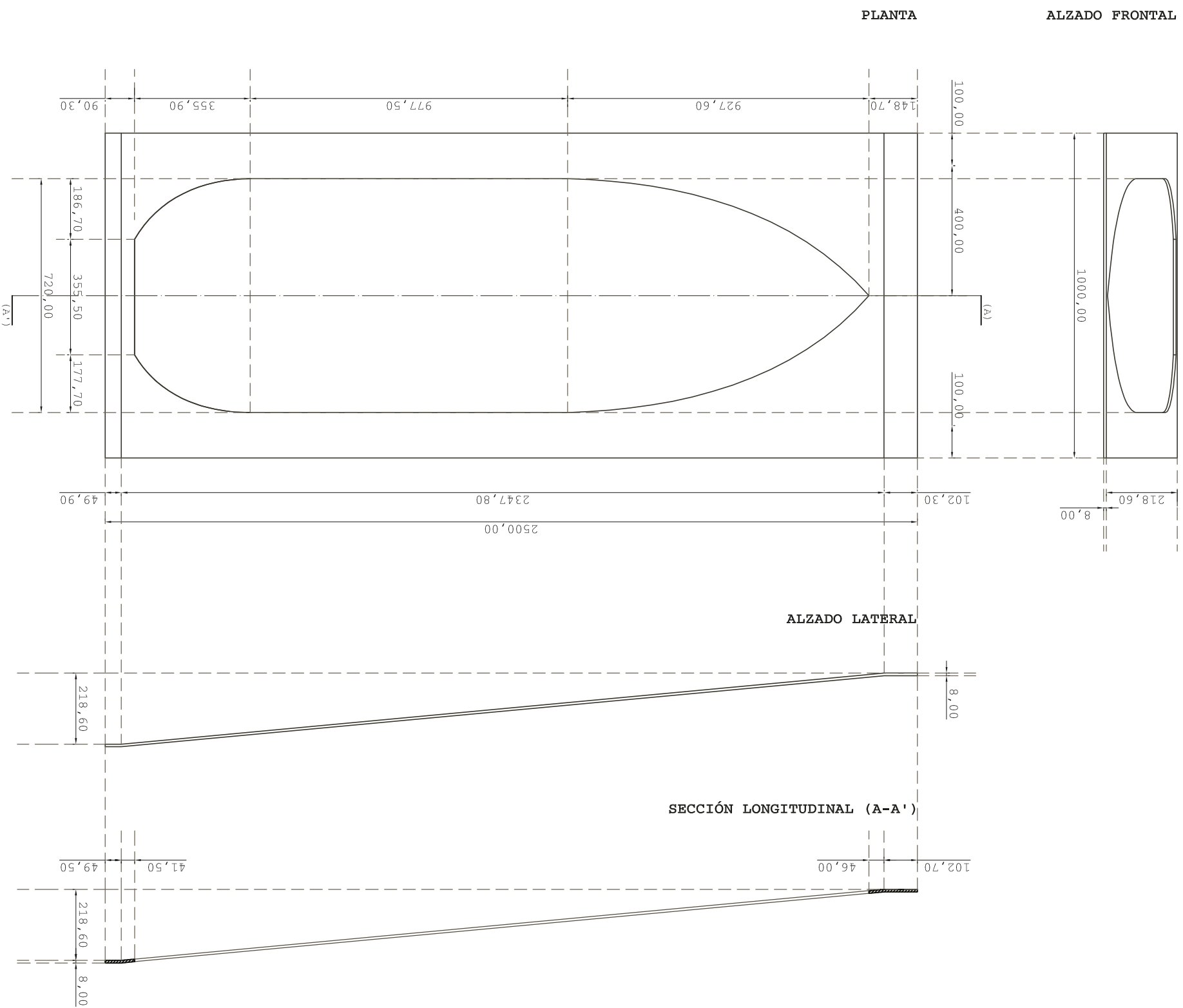
 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. CAMPUS DE ALCOY ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY (E.P.S.A.)</p>		TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHICULO DE INERCIA"	
TÍTULO DEL DOCUMENTO PLANO		TÍTULO DEL DIBUJO: MOLDE SUPERIOR. DEFINICIÓN TÉCNICA	
DEPARTAMENTO:		ESCALA 1/15	
REF. TÉCNICA:		Nº de identificación: 0	
CREADO POR: SALVA		Revisión: 01	
APROBADO POR:		Fecha: 24/07/17	
		HOJA 01/02	

**03. MOLDE SUPERIOR.
DEFINICIÓN TÉCNICA**

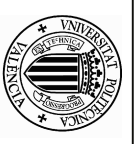


 <p>UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA. CAMPUS DE ALCOY ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY (E.P.S.A.)</p>		
TÍTULO DEL TRABAJO:	"ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHÍCULO DE INERCIA"	
TIPO DE DOCUMENTO:	PLANO	
DEPARTAMENTO:		
REP. TÉCNICA:	TÍTULO DEL DIBUJO:	ESCALA
CREADO POR: SALVA	MOLDE SUPERIOR. DEFINICIÓN TÉCNICA	1/15
APROBADO POR:	Nº de identificación: 0	
		HOJA
		02/02
		Revisión: 01
		Fecha: 24/07/17

**04. LÁMINA SEPARADORA.
DEFINICIÓN TÉCNICA**



**AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA
LÁMINA SEPARADORA PARA MOLDES Y ENCALJE
DE TORNILLOS**



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.
CAMPUS DE ALCOY
ESCOLA POLITÉCNICA SUPERIOR D'ALCOY
(E.P.S.A.)**

TÍTULO DEL DOCUMENTO PLANO	TÍTULO DEL TRABAJO: "ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHÍCULO DE INERCIA"	ESCALA 1/15
DEPARTAMENTO:		
REF. TÉCNICA:	TÍTULO DEL DIBUJO: LÁMINA SEPARADORA. DEFINICIÓN TÉCNICA	
CREADO POR: SALVA		
APROBADO POR:	Nº de identificación: 0	
	Revisión: 01	HOJA 01/01
	Fecha: 24/07/17	

15. PRESUPUESTOS

En el apartado de presupuesto se tendrán en cuenta los costes de materiales y refuerzos aplicados a la carrocería para su fabricación y desarrollo. El aspecto de mano de obra no supone gasto adicional debido a que los alumnos de estudios técnicos del centro de enseñanza realizarán todos los trabajos necesarios para la fabricación de dicha carrocería.

Para la realización del nuevo modelo, *Figura 117*, se utilizará 17 m² de fibra de vidrio y 12.75 kg de resina. Estos valores se basan en el área total de la carrocería con valor de 5.45 m² y se estima la aplicación de 3 capas de resina y fibra para optimizar la resistencia de la carrocería. Además, la cantidad de fibra y resina está regida por la *Tabla 15*. Consumo de fibra y resina en el apartado de fibra con densidad de 450 gr/m² y su correspondiente cantidad de resina. El espesor obtenido es de 4 mm tras la aplicación de la fibra y la resina

Capas	Fibra 450gr/m2	Resina Pol.	Fibra 300gr/m2	Resina Pol.	Tela 220gr/m2	Resina Pol.
1	0,450	1,125	0,300	0,750	0,220	0,250
2	0,900	2,250	0,600	1,500	0,440	0,500
3	1,350	3,380	0,900	2,250	0,660	0,750
4	1,800	4,500	1,200	3,000	0,880	1,000
5	2,250	5,600	1,500	3,750	1,100	1,250

*Cantidades expresadas en Kg

Tabla 14. Consumo de fibra y resina

Fuente: <http://www.deltaglass.com.ar/pdf/Resina%20Poliester%20-%20Consumo%20y%20Fibra%20de%20Vidrio%20por%20M2.pdf>

Además se tendrán en cuenta las herramientas necesarias para desempeñar las tareas de fabricación del prototipo. Se toman valores de precio por unidad, metro o kg en base a la realización de la primera carrocería ya que se realizó del mismo modo y se han extraído los precios reales de una empresa de distribución y venta de materiales.

Resina	Precio por kg (€)	Cantidad necesaria (kg)	COSTE RESINA (€)
Resina de poliéster con 20 g de peróxido	10,2	12.75	130.05

Fibra de vidrio	Precio por m2(€)	Cantidad necesaria (m2)	COSTE FIBRA DE VIDRIO (€)
Blister de 1 m2	5,5	17	93.5

Herramientas de aplicación	Precio (€)	Cantidad (ud.)	Total (€)
Rodillo metálico para aplicación de fibra	15,68	2	31,36
Paletina 2.5	2,4	4	9,6

COSTE FINAL (€)			
			223.55

Tabla 15. Presupuesto global de la fabricación de la carrocería

En base a la tabla anterior, se obtiene un coste de resina de 130.05€ euros aproximadamente, añadiéndole el precio de los metros cuadrados de fibra necesaria que asciende a un coste de 93.5 euros. Finalmente, se tiene en cuenta el precio de las herramientas utilizadas en la fabricación del modelo que se resume a unos 40 euros aproximadamente.

En cuanto al molde descrito en el apartado correspondiente a *MOLDE PARA PROTOTIPO OPTIMIZADO* se realiza un presupuesto previo aproximado por parte del centro de enseñanza de 2100 euros la preparación del molde y la posterior realización del prototipo. Este precio es en base a la realización del molde de la segunda carrocería, y por sus dimensiones se solicita un breve presupuesto a la empresa que fabrica éste.

Por tanto, el coste total que supondría la fabricación y desarrollo de la carrocería queda en torno a **2323.55 €**.

16. PLIEGO DE CONDICIONES

En el presente Pliego de Condiciones tiene la finalidad de definir las condiciones de trabajo y técnicas correspondientes al *ESTUDIO AERODINÁMICO APLICADO A UN VEHÍCULO DE INERCIA*.

En este apartado se presenta las características a cumplir en la fabricación de la carrocería con fibra de vidrio y resina de poliéster. Se considerarán los métodos de seguridad a adoptar al realizar dicha ejecución. De esta manera, se garantiza un uso seguro en las competiciones a las que está destinado el vehículo, la durabilidad y calidad de acabado para resistir esfuerzos y que no se deteriore con facilidad y optimizar el aspecto económico.

El conjunto de materiales y productos a utilizar serán; la resina de poliéster de densidad de 450 g/m^2 , catalizador para activar la resina y permita el curado de la misma, la fibra de vidrio en forma de lámina.

En cuanto al aspecto de seguridad, es obligatorio utilizar guantes para realizar todo el proceso de fabricación debido a que la fibra de vidrio puede causar irritación en la piel y en los ojos. Además, es obligatorio también una máscara de gases de tipo A2 debido a que este proceso se expulsan vapores y puede provocar dificultad en la respiración. Además la inhalación de la fibra de vidrio puede provocar que se agrave el asma u otras afecciones respiratorias en personas susceptibles a ello. Las partículas pequeñas de fibra de vidrio pueden llegar a las partes más profundas de los pulmones en el caso de no realizar la labor sin mascarilla. Otro aspecto de seguridad a tener en cuenta, es el uso de gafas de seguridad debido a que se puede sufrir irritación en los ojos debido a los gases expulsados en la reacción de la resina con el catalizador.

Se realizará la fabricación en un lugar ventilado a una temperatura de 20°C y con un tiempo de 24 horas de curado de la resina con la fibra. Esto es debido a que es necesario para la reacción de una cantidad resina con un 2% de catalizador en relación al peso total usado de resina, de manera que se garantiza el curado óptimo a dicha temperatura. En el caso de no tener climatizado el lugar a esa temperatura, se deberá

atemperar el local o se deberá añadir un 3% adicional para que la resina pueda curar de forma correcta. En el caso no estar el local climatizado a la temperatura óptima no se garantiza el curado óptimo de la resina. Si la diferencia de temperatura es de 8°C o mayor, la resina no cura correctamente y se pueden presentar problemas a la hora de la fabricación y puede llegar hasta 96 horas sin endurecer el compuesto. En estos casos, no se garantiza la resistencia del material y por tanto, se debe tener en consideración de manera primordial.

En relación a las capas a aplicar, se tendrá en consideración que no hay tiempo de secado entre capa y capa, por lo que se aplicará el espesor deseado de forma continua hasta llegar al mismo. En el caso del vehículo en estudio, se realizará un espesor de 4 mm con varias capas de resina y fibra de vidrio.

Las herramientas a utilizar en dicho proceso, será un rodillo metálico de manejo cómodo. Se eliminarán todas las burbujas de aire creadas al aplicar la fibra sobre la resina, para asegurar el óptimo comportamiento resistente del compuesto.

Una vez aplicado todo el compuesto y que este haya curado, se recortarán los flecos sobrantes de fibra de vidrio para conseguir un acabado correcto.

17. APLICACIONES FUTURAS

En este apartado se desarrollarán las posibles aplicaciones futuras aplicables a la optimización de la carrocería propuesta a desarrollar. Existen posibles mejoras a desarrollar, pero por las limitaciones de tiempo presentes en este proyecto no se han realizado, pero quedan constancia de ellas. Las distintas mejoras aerodinámicas posibles en aplicaciones futuras son:

- Ruedas carenadas
- Carenado del sistema de suspensión y dirección
- Perfiles en los brazos de suspensión
- Mejoras en la carrocería desestimada

17.1 Ruedas carenadas

Esta mejora se podría aplicar al vehículo dedicado a este proyecto debido a que reduciría notablemente el coeficiente aerodinámico debido a que el flujo no incidiría directamente a las ruedas en movimiento.

Si se aplica dicha mejora supondría una disminución de presiones en la zona de las ruedas delanteras sobretodo debido a que quedan totalmente carenadas. Además supondría una reducción de velocidades en esta misma zona, debido a que no crearia perturbación directamente en las ruedas.



Figura 150. McLaren carenado.

Fuente: <http://motor.atresmedia.com/competicion/los-electricos-estan-a-la-conquista-de-la-competicion/>

17.2 Carenado del sistema de suspensión y dirección

En esta mejora posible aplicable a la carrilana, trata de implementar un carenado al sistema de dirección del vehículo, de manera que con unos elementos fijos en forma de perfil alar, se consigue un flujo constante en la zona interna de las ruedas. De esta manera, el flujo no crearía torbellinos o se perturbaría en la zona de las ruedas delanteras, y por tanto no se crea un flujo no deseado en la parte del piloto o ruedas traseras.

Por tanto, se reduciría la resistencia frontal contra el aire y se mejoraría el comportamiento del flujo a lo largo del vehículo.



Figura 151. Modelo alemán de competición

Fuente: <http://www.ultimatecarpage.com/car/542/Mercedes-Benz-W25.html>

17.3 Perfiles en brazos de suspensión

En este apartado, se propone la mejora de implementar unos perfiles en la zona de la suspensión y dirección de la carrilana, para mejorar el comportamiento del flujo tras pasar la zona de las ruedas. Dicha mejora, se basa en canalizar el aire hacia la zona deseada en el monoplaza para controlar las direcciones que adopta el flujo tras los elementos mecánicos del vehículo.

En la *Figura 152* se representa la aplicación de dicha mejora en un Formula 1. Se realizan perfiles de carbono para canalizar el aire, en este caso, hacia los pontones para mejorar la refrigeración.



Figura 152. Perfiles en un F1

Fuente: <https://www.motor.es/formula-1/analisis-tecnico-mclaren-mcl32-f1-2017-201734178.html>

17.4 Mejoras en la carrocería desestimada

En este apartado se presenta una posible mejora futura a la carrocería desestimada anteriormente. Dichas mejoras supondrían un cambio en el chasis ya existente en el centro de enseñanza y, por tanto, se tendría que desarrollar un diseño de carrocería que abarcaría un nuevo modelo chasis.

Una de las mejoras a realizar sería bajar la altura de la parte superior delantera del vehículo, debido a que se expone demasiada área a la incidencia del flujo. Tras la mejora, se realiza una parte superior más suave de manera que disminuyendo el área frontal se consiguen valores de presión y velocidad menores.

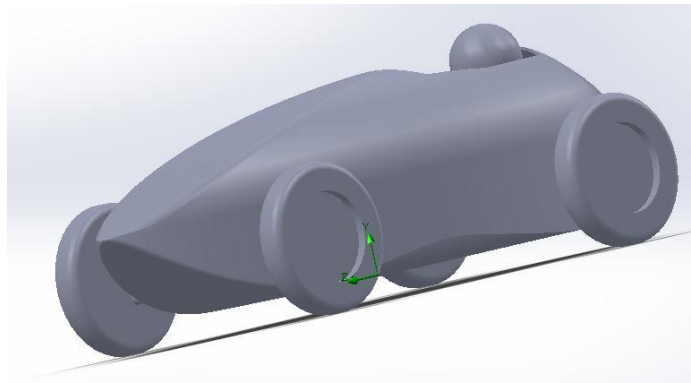


Figura 153. Modelo desestimado mejorado

CONCLUSIONES

Tras realizar el proyecto y los estudios englobados en éste, se ha llegado a la conclusión a que las mejoras realizadas van ligados unos estudios de materiales para optimizar el peso, de manera que éste también juega un papel importante en dicha competición, tanto de forma aerodinámica como resistente ante cualquier golpe o accidente que pueda ocurrir.

En este proyecto se asume que las ruedas del vehículo se encuentran totalmente estáticas y el vehículo se encuentra en una zona de ensayo simulando un túnel de viento. El efecto de movimiento de las ruedas se ha de tener en cuenta debido a que varía los resultados al considerar dicho efecto, pero por las limitaciones temporales regidas por el proyecto, no se han tenido en cuenta. Por tanto, se consideran que los valores no son totalmente simulados como en la realidad, debido a que no se obtiene extremada precisión en el software utilizado para este proyecto.

El proyecto abarca distintas temáticas, en particular la aerodinámica, siendo una de las asignaturas del grado en la cual se ha profundizado para aplicar los conocimientos adquiridos durante el trascurso de la docencia de la misma. Por tanto, se ha puesto en práctica diversos métodos de cálculo adquiridos a lo largo del grado para así, poder desarrollar de forma correcta dicho proyecto.

Por último, se tendrá en consideración en todo momento que los tiempos obtenidos en la competición no depende del coeficiente aerodinámico anteriormente descrito, sino de diversos aspectos como la pericia del piloto en cada carrera, el tipo de suspensión impuesta en la carrilana, el tarado de los frenos que abarca una gran parte de la importancia del diseño de un vehículo de inercia, la presión de los neumáticos, estado del asfalto, tipo de circuito, etc. Por tanto, se afirma que en la competición dependen numerosos factores tenidos en cuenta en el aspecto experimental en cada una de las carreras de la competición

BIBLIOGRAFÍA

- [1] EL FINANCIERO (2016). *Manejar un Ford T de 1914 te enseñará de nuevo a usar un coche*. <<http://www.elfinanciero.com.mx/bloomberg/manejar-un-ford-t-de-1914-te-ensenara-de-nuevo-a-usar-un-coche.html>>. [Acceso: 23-05-2017].
- [2] DIARIOMOTOR (2013). *La aerodinámica y la eficiencia*. <<http://www.diariomotor.com/tecmovia/2013/03/31/aerodinamica-y-eficiencia/>>. [Acceso: 31-05-2017]
- [3] TECHNICAL COURSES (2014). Estudio de la aerodinámica de un vehículo. <http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89>. [Acceso: 3-06-2017]
- [4] DIARIOMOTOR (2011). Enemigos de la eficiencia: la resistencia aerodinámica. <<http://www.diariomotor.com/tecmovia/2011/11/27/enemigos-de-la-eficiencia-la-resistencia-aerodinamica/>>. [Acceso: 7-06-2017]
- [5] ZONAGRAVEDAD. *Aerodinámica: Resistencia*. <<http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=776>>. [Acceso: 12-06-2017]
- [6] MCBEATH, SIMON (2005). *Aerodinámica del automóvil de competición*. Barcelona: CEAC
- [7] SÁEZ-BENITO ESPADA, JOSÉ MARÍA (1972). *Momentos de inercia*. Madrid: Dossat
- [8] RUBIO SANJUAN, ISIDORO (1930). *Elementos de la teoría de momentos de inercia y cálculo de los mismos*. Madrid: Nuevas Gráficas
- [9] ISIDORO CARMONA, ANIBAL (2008). *Aerodinámica y actuaciones del avión*. Madrid: Thomson, Paraninfo
- [10] GANDÍA AGÜERA, FERNANDO (2013). *Fundamentos de los métodos numéricos en aerodinámica*. Madrid: Garceta Grupo Editorial
- [11] ZONAGRAVEDAD. *Pesos y lastres* <<http://www.zonagravedad.com/modules.php?name=News&file=article&sid=784>>. [Acceso: 23-06-2017]
- [12] BRIET BLANES, TIMOTEO (2013). *Aerodinámica y aero post rig aplicados al diseño de coches de competición*. Madrid: Circulo rojo
- [13] ZONAGRAVEDAD. *Aerodinámica: apoyo* <<http://www.zonagravedad.com/>>

- modules.php?name=News&file=article&sid=781>. [Acceso: 25-05-2017]
- [14] MESEGUER RUIZ, JOSÉ (2011). *Aerodinámica básica*. Madrid: Garceta Grupo Editorial
- [15] AUTOBILD. “*Técnica F1: ¿Qué es el efecto suelo?*”<<http://www.autobild.es/motorsport/tecnica-f1-que-es-efecto-suelo-258303>>. [Acceso: 29-06-2017]
- [16] MOTORSPORT. “*F1 en retrospectiva: la era del efecto suelo*”<<https://lat.motorsport.com/f1/news/f1-en-retrospectiva-la-era-del-efecto-suelo-874623/>>. [Acceso: 28-06-2017]