

DISEÑO DE UN PAQUETE AERODINÁMICO PARA UN VEHÍCULO DE
CARRERAS MRT1

JEEAN FELIPE GÓNGORA ARAMBURO

JUAN CAMILO GUZMÁN GRANDAS

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016

DISEÑO DE UN PAQUETE AERODINÁMICO PARA UN VEHÍCULO DE
CARRERAS MRT1

JEEAN FELIPE GÓNGORA ARAMBURO

JUAN CAMILO GUZMÁN GRANDAS

Proyecto integral de grado para optar el título de
INGENIERO MECÁNICO

Director
Nicolás Merlano Soto
Coordinador de Ingenierías
Ingeniero mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2016

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado 1

Jurado 2

Bogotá D.C., 10 de Junio 2016

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académica y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Secretario General

Dr. Juan Carlos Posada García-Peña

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. Julio César Fuentes Arismendi

Director Programa de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Los criterios e ideas desarrollados y expuestos en este documento, son responsabilidad única y exclusiva de sus autores.

Dedico este trabajo a mi madre, a mis hermanos y a la memoria de mi padre. La vida nos puso un obstáculo muy difícil, pero pudimos superarlo con esfuerzo y dedicación. Este es un paso muy grande en mi vida, con el apoyo de las personas cercanas puedo hacer posible un sueño.

Jeean Felipe Góngora

Dedico este trabajo a Dios que me ha guiado e iluminado en este largo camino. A mis padres por su apoyo y colaboración incondicional, sin el cual no hubiera sido posible la realización de este proyecto, también va dedicada a mi hermana, amigos y compañeros que han estado conmigo durante la realización de este proyecto.

Juan Camilo Guzmán

AGRADECIMIENTOS

Agradezco en primer lugar a Dios por darnos la sabiduría necesaria para poder desarrollar este proyecto.

A la empresa FORD MOTOR COMPANY por permitirnos desarrollar este proyecto junto a ellos y darnos asesoría.

A nuestros padres, hermanos y familiares por el apoyo durante este proceso.

A mis compañeros y amigos que de alguna manera ayudaron a que el desarrollo de este proyecto fuera posible.

El correcto desarrollo de este proyecto no se hubiera podido llevar a cabo sin la colaboración, del Ingeniero Nicolás Merlano Soto quien puso a nuestra disposición todo su conocimiento en el campo aerodinámico.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	22
1. MARCO TEÓRICO	24
1.1 AERODINÁMICA	24
1.2 ECUACIÓN DE BERNOULLI	25
1.3 COEFICIENTES AERODINÁMICOS	26
1.4 NÚMERO DE REYNOLDS	27
1.5 DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL	28
1.5.1 Pre-Procesamiento	28
1.5.2 Procesamiento	31
1.5.3 Pos-Procesamiento	31
1.6 AERODINÁMICA EN VEHÍCULOS	31
1.7 PARTES Y FUNCIONES DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO	34
1.8 INFORMACIÓN GENERAL DEL AUTOMOVILISMO EN COLOMBIA	38
2. ANÁLISIS ACTUAL DEL FORD FIESTA	43
2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL FORD FIESTA	43
2.2 ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN 2014 Y 2015 “6 HORAS DE BOGOTÁ”	45
2.3 ANÁLISIS DE LA CARRERA 2014 Y 2015 “6 HORAS DE BOGOTÁ”	46
2.4 MODELAMIENTO	47
2.5 SIMULACIÓN	50
3. ANÁLISIS AERODINÁMICOS Y MECANICOS EN COMPETICIÓN	58
3.1 RENAULT TWINGO 2	58
3.2 HONDA CIVIC	59
3.3 MITSUBISHI LANCER	62
3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA COMPETENCIA	64
4. PARÁMETROS BÁSICOS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	66
5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO	72
5.1 SPLITTER	72
5.1.1 Splitter plano de 1cm	72
5.1.2 Splitter plano de 4cm	73
5.1.3 Splitter en forma de túnel	75

5.2 PISO PLANO	76
5.2.1 Piso totalmente plano	76
5.2.2 Piso curvo	77
5.2.3 Piso inclinado	78
5.3 DIFUSOR	80
5.3.1 Difusor Simple	80
5.3.2 Doble difusor	81
5.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS	83
5.4.1 Alternativa uno	84
5.4.2 Alternativa dos. splitter plano y piso curvo	89
5.4.3 Alternativa tres. splitter forma de túnel y piso curvo	93
5.4.4 Alternativa cuatro. splitter plano y piso inclinado	98
5.4.5 Comparación de alternativas	101
5.4.6 Comparación entre difusores	102
6. ANÁLISIS DEL MODELO CON PAQUETE AERODINÁMICO	118
7. EVALUACION DE COSTOS	135
8. CONCLUSIONES	139
9. RECOMENDACIONES	140
BIBLIOGRAFIA	140
ANEXOS	143

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Clasificación "6 Horas de Bogotá" 2015	45
Tabla 2. Clasificación "6 Horas de Bogotá" 2014	46
Tabla 3. Carrera "6 Horas de Bogotá" 2015	46
Tabla 4. Carrera "6 Horas de Bogotá" 2014	47
Tabla 5. Fuerzas del modelo actual	.57
Tabla 6. Coeficiente de arrastre con respecto a la velocidad	69
Tabla 7. Coeficiente de sustentación con respecto a la velocidad	70
Tabla 8. Objetivo de resultados	70
Tabla 9. Fuerza alternativa uno	87
Tabla 10. Fuerza alternativa dos	92
Tabla 11. Fuerza alternativa tres	96
Tabla 12. Fuerza alternativa cuatro	100
Tabla 13. Comparación de alternativas	102
Tabla 14. Fuerzas del difusor sencillo	106
Tabla 15. Fuerzas del doble difusor	110
Tabla 16. Comparación de coeficientes	111
Tabla 17. Fuerzas del doble difusor	116
Tabla 18. Fuerzas del modelo con paquete aerodinámico	120
Tabla 19. Coeficientes de arrastre	120
Tabla 20. Coeficientes sustentación	120
Tabla 21. Tiempos en curvas	134
Tabla 22. Área total del splitter	136
Tabla 23. Área total del piso plano	136
Tabla 24. Área total del difusor	137
Tabla 25. Área total del paquete aerodinámico	137
Tabla 26. Costos de materiales	137
Tabla 27. Talento humano	138
Tabla 28. Costo total del paquete aerodinámico	138

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Aerodinámica	24
Figura 2. Teoría Bernoulli	25
Figura 3. Flujo asimétrico a través del vehículo	26
Figura 4. Flujos según Reynolds	27
Figura 5. Modelo 3D	28
Figura 6. Dominio computacional	29
Figura 7. Enmallado	29
Figura 8. Determinación de condiciones de frontera	30
Figura 9. Descomposición de la fuerza aerodinámica total	32
Figura 10. Comparación de formas	33
Figura 11. Capó	35
Figura 12. Splitter	35
Figura 13. Flaps	36
Figura 14. Piso plano	36
Figura 15. Spoiler Trasero	37
Figura 16. Difusor trasero	37
Figura 17. Pilares Ford Fiesta	38
Figura 18. Trazado uno	40
Figura 19. Trazado dos	40
Figura 20. Trazado tres	41
Figura 21. Trazado cuatro	41
Figura 22. Trazado cinco	42
Figura 23. Exterior del MRT1	44
Figura 24. Parte frontal del MRT1	44
Figura 25. Parte trasera del MRT1	45
Figura 26. Modelo base Ford Fiesta	47
Figura 27. Modelo CAD Ford Fiesta	48
Figura 28. Parámetros de discretización	48
Figura 29. Malla 3D del dominio computacional	49

Figura 30. Malla 2D de la superficie del vehículo	49
Figura 31. Control de Malla del modelo CAD	50
Figura 32. Entrada de aire	50
Figura 33. Superficie de flujo	51
Figura 34. Abertura	51
Figura 35. Desarrollo del pre-procesamiento	51
Figura 36. Detalle del desarrollo del pre-procesamiento	52
Figura 37. Renault Twingo 2 de Auto-Stok Team	58
Figura 38. Paquete aerodinámico del Renault Twingo 2	59
Figura 39. Honda Civic N°02	59
Figura 40. Colector de escape	60
Figura 41. Honda Civic N°04 en CNA	61
Figura 42. Mitsubishi Lancer	62
Figura 43. Pista Eastern Creek Raceway	62
Figura 44. Splitter del Mitsubishi Lancer	63
Figura 45. Piso plano del Mitsubishi Lancer	63
Figura 46. Mapa Bogotá-Tocancipá	66
Figura 47. Área frontal del Ford fiesta	67
Figura 48. Barra estabilizadora	112

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Categorías del autódromo de Tocancipá	39
Cuadro 2. Longitud de los trazados	42
Cuadro 3. Primera válida "Súper TC 2000"	61
Cuadro 4. Comparación de tiempos	64
Cuadro 5. Comparación de velocidades	64
Cuadro 6. Información meteorológica	67
Cuadro 7. Alternativas de splitter y piso plano	83
Cuadro 8. Tipos de difusor	102
Cuadro 9. Coeficientes de fricción	132

LISTA DE GRAFICOS

	pág.
Gráfica 1. Velocidad del aire a 95km/h	52
Gráfica 2. Velocidad del aire a 116km/h	53
Gráfica 3. Velocidad del aire a 128km/h	53
Gráfica 4. Detalle de la velocidad del aire en el morro	53
Gráfica 5. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	54
Gráfica 6. Líneas aerodinámicas	54
Gráfica 7. Distribución de presión a 95km/h	55
Gráfica 8. Distribución de presión a 116km/h	55
Gráfica 9. Distribución de presión a 128km/h	55
Gráfica 10. Detalle de la distribución de presión en el morro	56
Gráfica 11. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	56
Grafica 12. Curva de Valientes	65
Gráfica 13. Vista 3D del splitter plano de 1cm	72
Gráfica 14. Vista inferior del splitter plano de 1cm	73
Gráfica 15. Vista frontal del splitter plano de 1cm	73
Gráfica 16. Vista 3D del splitter plano de 4cm	74
Gráfica 17. Vista inferior del splitter plano de 4cm	74
Grafica 18. Vista frontal del splitter plano de 4cm	74
Gráfica 19. Vista 3D del splitter en forma de túnel	75
Gráfica 20. Vista inferior del splitter en forma de túnel	75
Gráfica 21. Vista frontal del splitter en forma de túnel	75
Gráfica 22. Vista 3D del piso totalmente plano	76
Gráfica 23. Vista lateral del piso totalmente plano	76
Gráfica 24. Vista inferior del piso totalmente plano	77
Gráfica 25. Vista 3D del piso curvo	77
Gráfica 26. Vista lateral del piso curvo	78
Gráfica 27. Vista inferior del piso curvo	78
Gráfica 28. Vista 3D del piso inclinado	79
Gráfica 29. Vista lateral del piso inclinado	79

Gráfica 30. Vista inferior del piso inclinado	79
Gráfica 31. Vista lateral del difusor simple	80
Gráfica 32. Vista trasera del difusor simple	80
Gráfica 33. Vista 3D del difusor simple	81
Gráfica 34. Vista lateral del doble difusor	81
Gráfica 35. Vista trasera del doble difusor	82
Gráfica 36. Vista 3D del doble difusor	82
Gráfica 37. Velocidad del aire de splitter plano y piso plano	84
Gráfica 38. Detalle de la velocidad del aire en el morro	85
Gráfica 39. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	85
Gráfica 40. Líneas aerodinámicas	86
Gráfica 41. Distribución de presión de splitter plano y piso plano	86
Gráfica 42. Detalle de la distribución de presión en el morro	87
Gráfica 43. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	87
Gráfica 44. Velocidad del aire de splitter plano y piso curvo	89
Gráfica 45. Detalle de la velocidad del aire en el morro	89
Gráfica 46. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	90
Gráfica 47. Líneas aerodinámicas	90
Gráfica 48. Distribución de presión de splitter plano y piso curvo	91
Gráfica 49. Detalle de la distribución de presión en el morro	91
Gráfica 50. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	92
Gráfica 51. Velocidad del aire de splitter forma de túnel y piso curvo	93
Gráfica 52. Detalle de la velocidad del aire en el morro	94
Gráfica 53. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	94
Gráfica 54. Líneas aerodinámicas	95
Gráfica 55. Distribución de presión de splitter forma de túnel y piso curvo	95
Gráfica 56. Detalle de la distribución de presión en el morro	96
Gráfica 57. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	96
Gráfica 58. Velocidad del aire de splitter plano y piso inclinado	98
Gráfica 59. Detalle de la velocidad del aire en el morro	98
Gráfica 60. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	99
Gráfica 61. Líneas aerodinámicas	99
Gráfica 62. Distribución de presión de splitter plano y piso inclinado	99

Gráfica 63. Detalle de la distribución de presión en el morro	100
Gráfica 64. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	100
Gráfica 65. Velocidad del aire de difusor sencillo	103
Gráfica 66. Detalle de la velocidad del aire en el morro	103
Gráfica 67. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	104
Gráfica 68. Líneas aerodinámicas	104
Gráfica 69. Distribución de presión de difusor sencillo	104
Gráfica 70. Detalle de la distribución de presión en el morro	105
Gráfica 71. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	105
Gráfica 72. Velocidad del aire de doble difusor	107
Gráfica 73. Detalle de la velocidad del aire en el morro	107
Gráfica 74. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	108
Gráfica 75. Líneas aerodinámicas	108
Gráfica 76. Distribución de presión de doble difusor	109
Gráfica 77. Detalle de la distribución de presión en el morro	109
Gráfica 78. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	109
Gráfica 79. Vista trasera del difusor de 10°	112
Gráfica 80. Vista lateral del difusor de 10°	112
Gráfica 81. Vista inferior del difusor de 10°	113
Gráfica 82. Vista 3D del difusor de 10°	113
Gráfica 83. Velocidad del aire del difusor de 10°	114
Gráfica 84. Detalle de la velocidad del aire en el morro	114
Gráfica 85. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera	114
Gráfica 86. Líneas aerodinámicas	115
Gráfica 87. Distribución de presión del difusor de 10°	115
Gráfica 88. Detalle de la distribución de presión en el morro	115
Gráfica 89. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera	116
Gráfica 90. Velocidad del aire a 95km/h	118
Gráfica 91. Velocidad del aire a 116km/h	118
Gráfica 92. Velocidad del aire a 128km/h	118
Gráfica 93. Distribución de presión a 95km/h	119
Gráfica 94. Distribución de presión a 116km/h	119
Gráfica 95. Distribución de presión a 128km/h	119

Grafica 96. Número de Reynolds vs coeficiente de arrastre del modelo actual	122
Grafica 97. Número de Reynolds vs coeficiente de arrastre del modelo con paquete aerodinámico	122
Grafica 98. Número de Reynolds vs coeficiente de sustentación del modelo actual	123
Grafica 99. Número de Reynolds vs coeficiente de sustentación del modelo con paquete aerodinámico	123
Grafica 100. Presión dinámica vs fuerza de sustentación	124
Grafica 101. Presión dinámica vs fuerza de arrastre	124
Grafica 102. Coeficiente de arrastre vs coeficiente de sustentación del modelo actual	125
Grafica 103. Coeficiente de arrastre vs coeficiente de sustentación del modelo con paquete aerodinámico	125
Grafica 104. Fuerza aerodinámica total del modelo actual 95km/h	126
Grafica 105. Fuerza aerodinámica total del modelo actual 116km/h	126
Grafica 106. Fuerza aerodinámica total del modelo actual 128km/h	127
Grafica 107. Fuerza aerodinámica total del modelo con paquete aerodinámico a 95km/h	127
Grafica 108. Fuerza aerodinámica total del modelo con paquete aerodinámico a 116km/h	128
Grafica 109. Fuerza aerodinámica total del modelo con paquete aerodinámico a 128km/h	128
Grafica 110. Angulo de incidencia vs coeficiente de arraste del modelo actual	129
Grafica 111. Angulo de incidencia vs coeficiente de sustentacion del modelo actual	129
Grafica 112. Angulo de incidencia vs coeficiente de arraste del modelo con paquete aerodinámico	130
Grafica 113. Angulo de incidencia vs coeficiente de sustentación del modelo con paquete aerodinámico	130
Grafica 114. Resistencia aerodinámica	131
Grafica 115. Secciones del splitter	135
Grafica 116. Secciones del piso plano	135
Grafica 117. Secciones del difusor	136

LISTA DE ANEXOS

	pág.
ANEXO A. Ficha técnica	144
ANEXO B. Reglamento general del autódromo de Tocancipá	147
ANEXO C. Reglamento técnico del autódromo de Tocancipá	154
ANEXO D. Mapa con sus dimensiones del autódromo de Tocancipá	165

GLOSARIO

CFD: acrónimo en inglés el cual traduce dinámica de fluidos computacional.

CNA: es una categoría del autódromo de Tocancipá donde su nombre es campeonato nacional de automovilismo.

DIFUSOR: elemento aerodinámico que cumple la finalidad de aumentar la velocidad del fluido en la parte baja del vehículo para evitar un choque brusco con el flujo del fluido que recorre la parte de arriba del vehículo.

DISCRETIZAR: dividir un todo en partes con menor complejidad, con la finalidad de facilitar los cálculos.

EFEECTO SUELO: es el fenómeno aerodinámico que sucede cuando un cuerpo, con una diferencia de presiones entre la zona que hay por encima de él y la que hay por debajo, está muy cerca de la superficie terrestre, lo que provoca unas alteraciones en el flujo de aire que pueden aprovecharse en diversos campos.

FIA: acrónimo el significa Federación Internacional de Automovilismo.

FLUJO: movimiento o circulación de un fluido sin alterar sus propiedades físicas o químicas.

JAULA ANTIVUELCO: estructura de un vehículo de competición cuyo trabajo es evitar que se deforme el habitáculo del vehículo.

MORRO: parte delantera de un vehículo.

MRT1: vehículo de competición Motorcraft Racing Turbo.

PARACHOQUES: es la pieza de un vehículo que se encuentra en la parte trasera y delantera de éste con el objetivo de amortiguar y proteger al piloto en caso de una colisión.

PILAR: son los elementos de un vehículo que unen el techo con el resto de la carrocería, las cuales dividen el vehículo.

PISO PLANO: elemento aerodinámico con la finalidad de dirigir el aire que llega del splitter al difusor

SPLITTER: elemento aerodinámico con la finalidad de dividir el flujo de aire en dos.

SUSTENTACIÓN: fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido en dirección perpendicular a la velocidad de la corriente incidente.

SUSTENTACIÓN NEGATIVA: fuerza generada sobre un cuerpo que se desplaza a través de un fluido en dirección perpendicular a la velocidad de la corriente incidente, con la finalidad de que el vehículo no se eleve del piso.

TC: es una categoría del autódromo de Tocancipá donde su nombre es turismo carretera.

TROCHA: es la distancia que existe entre ruedas de un mismo eje.

TÚNEL DE VIENTO: es una herramienta de investigación para realizar estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos.

RESUMEN

En este proyecto se realizó el estudio del “DISEÑO DE UN PAQUETE AERODINÁMICO PARA UN VEHÍCULO DE CARRERAS MRT1” buscando optimizar la distribución del flujo aire para generar “succión”, esto significa una adherencia del vehículo al suelo haciéndolo más estable en competición, estos procesos se realizan para la empresa FORD MOTOR COLOMBIA.

Inicialmente, se analizó los actuales modelos de competición en el término de aerodinámica y su parte mecánica, haciendo un estudio en la competición del Autódromo de Tocancipá para determinar que modelos se podrían tomar como referencia para el diseño del Ford Fiesta MRT1.

En el desarrollo de este proyecto se analizarán y evaluarán los parámetros y requisitos para el diseño de cada una de los componentes del paquete aerodinámico, para esto se tendrá en cuenta el método de simulación de fluidos computacionales.

Se realizó un diseño detallado de cada una de las piezas del paquete aerodinámico, el cual se simuló mediante un modelo de elementos finitos (MEF) con software NX y SOLID EDGE, en donde se obtuvieron datos los cuales fueron evaluados para su posterior validación.

Después de obtenidos los datos de las especificaciones del modelo del paquete aerodinámico como dimensiones, velocidad del aire, entre otros. Se realizaron los planos de fabricación y montaje.

Por último, se evaluará financieramente el proyecto en relación con su costo de fabricación.

PALABRAS CLAVE: Ford, Aerodinámica, vehículo, Paquete aerodinámico, Simulación de fluidos, Splitter, Difusor, Piso plano.

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se enfoca en la aerodinámica de vehículos de competición con respecto a la obtención de datos de CFD para el Ford Fiesta. Para determinar el paquete aerodinámico óptimo que constara de un splitter, un piso plano y un difusor.

Las características de este trabajo, no se realizará en ningún momento una experimentación como túnel de viento y pruebas en pista. Solo se usará simulación por fluidos computacionales. No será un proyecto de reintegro monetario directo por consistencia no se espera ganar dinero con este proyecto debido a que la inversión del paquete aerodinámico no está involucrada con un proceso o incremento de producción.

La consecuencia principal del proyecto es que los datos obtenidos de la simulación por fluidos computacionales, no determina velocidades y presiones reales o aproximadas debido a que este proceso discrimina varios datos, pero se puede tomar como guía con el fin de estudiar las opciones de diferentes diseños de manera experimental.

El origen se presenta en la empresa “FORD MOTOR COLOMBIA” de un interés profesional de observa cual es el paquete que conlleva a un mejor rendimiento en la pista (rectas y curvas) para que el vehículo sea más rápido en esas condiciones.

El proyecto se realizó con el interés académico de conocer las variaciones que tiene el flujo de aire frente a un vehículo de competición y que tenga un paquete aerodinámico o se deje el modelo de fábrica.

El objetivo general es “diseñar un paquete aerodinámico para el vehículo de competición MRT1”, que cumpla con las necesidades requeridas que se presenta en este proyecto. Para lograr este objetivo se plantearon unos objetivos específicos los cuales fueron fundamentales para el desarrollo de este proyecto. Estos son:

- Un diagnóstico del paquete aerodinámico del modelo actual del Ford Fiesta MRT1.
- Evaluar avances aerodinámicos en competición automovilística.
- Establecer los parámetros básicos y requerimientos funcionales.
- Desarrollar el diseño de los componentes del paquete aerodinámico.
- Simular el análisis del modelo por fluidos computacionales.
- Elaborar planos de fabricación y montaje para el paquete aerodinámico.
- Evaluar financieramente el proyecto.

El alcance de este proyecto es diseñar y simular el paquete aerodinámico con sus respectivos componentes los cuales son: splitter, piso plano y difusor.

La limitación de este proyecto por norma del autódromo de Tocancipá consiste en que el paquete aerodinámico no genere un cambio en el aspecto exterior del Ford Fiesta, por ello se estudiara la parte baja del vehículo.

La metodología que se utilizará para el diseño del paquete aerodinámico, consiste en la comparación de diferentes alternativas de splitter, pisos planos y difusores. Con los resultados que se obtuvieron con respecto al modelo actual se puede determinar paquete aerodinámico apropiado para el Ford Fiesta.

El significado para la empresa, indica un mejor rendimiento en pista el cual genera menor tiempo de vuelta y publicidad para el vehículo.

La aplicación del proyecto se enfoca en el mejoramiento del vehículo en competencia, el cual tendrá mejor estabilidad y aumento de velocidad en las curvas.

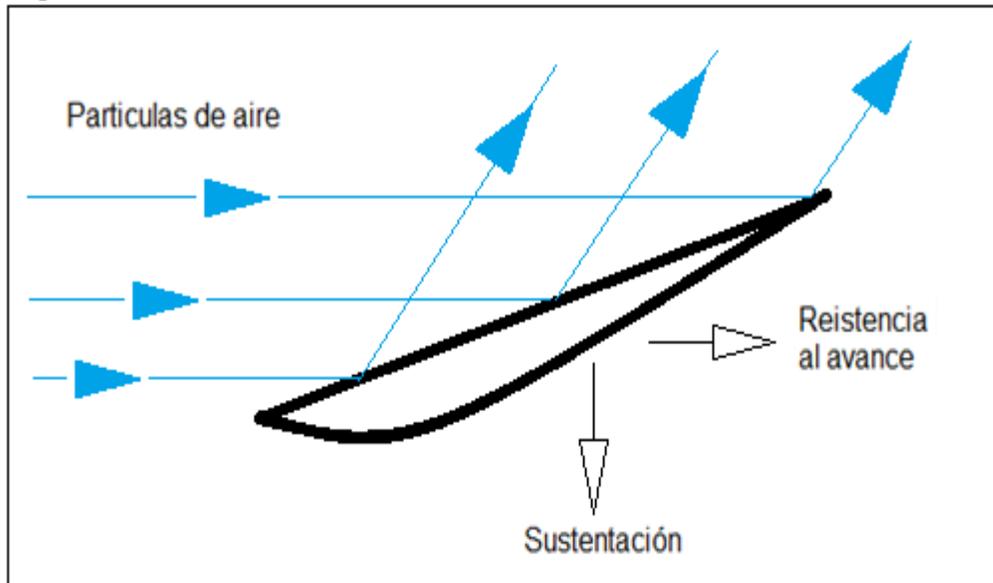
1. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se expone la teoría y conceptos necesarios para entender el desarrollo del proyecto.

1.1 AERODINÁMICA

La aerodinámica se define como el estudio de las fuerzas provocadas por el choque de las partículas del aire a cierta velocidad con un cuerpo, generando resistencia al avance y sustentación como se muestra en la figura 1.

Figura 1. Aerodinámica



En la aerodinámica existen dos fuerzas, la resistencia y sustentación, ambas fuerzas se combinan entre sí generando una fuerza que se conoce como fuerza aerodinámica total.

Teniendo en cuenta la fórmula de presión dinámica se expresa como:

$$P = \frac{1}{2} * \rho * v^2$$

Donde:

P= Presión.

ρ = Densidad del fluido.

v= Velocidad.

Para convertir una presión en una fuerza se multiplica por el área sobre la presión que está actuando según la siguiente formula:

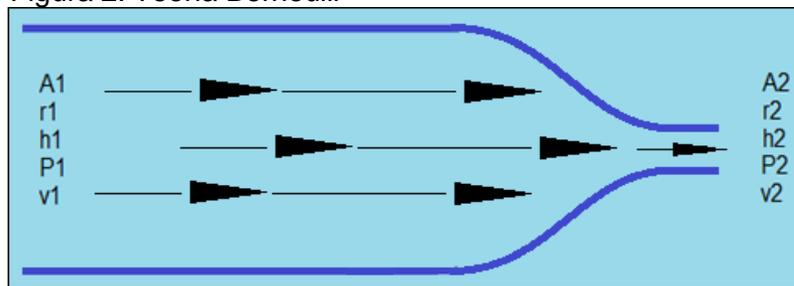
$$Presión = \frac{Fuerza}{Área}$$

1.2 ECUACIÓN DE BERNOULLI

La ecuación de Bernoulli es un caso particular del principio de la conservación de la energía para fluidos incompresibles entre dos puntos que pertenecen a una línea de corriente.

La ecuación determina que la presión estática más la presión dinámica más la altura del fluido en el punto 1, es igual a la presión estática más la presión dinámica más la altura del fluido en el punto 2 como se muestra en la figura 2, se debe tener en cuenta las pérdidas a elementos singulares y a trabajo mecánico proporcionado por bombas y turbinas.

Figura 2. Teoría Bernoulli



El flujo que pasa a través de un vehículo es preferible que sea laminar debido que es más ordenado que el flujo turbulento, por esto es necesario entender las propiedades de los fluidos y los principios que se pueden deducir.

Para el caso de flujos turbulentos se obtiene:

$$\frac{P_1}{\rho g} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_{f1-2} + h_m$$

Donde:

P= Presión.

ρ = Densidad del fluido.

g= Gravedad.

v= Velocidad.

z= Altura.

h= Pérdidas.

En la competición de Tocancipá se podría considerar las condiciones climáticas como estables con el fin de que las pérdidas sean despreciables y no existirían elementos que consuman trabajo mecánico, para así llegar a la siguiente ecuación:

$$\frac{P_1}{\rho g} + \frac{v^2_1}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + \frac{v^2_2}{2g}$$

Donde la ecuación se deduce a:

$$\frac{P_i}{\rho g} + \frac{v^2_i}{2g} = cte$$

La ecuación da como resultado:

$$P_i + 0.5 * \rho * v^2_i = cte$$

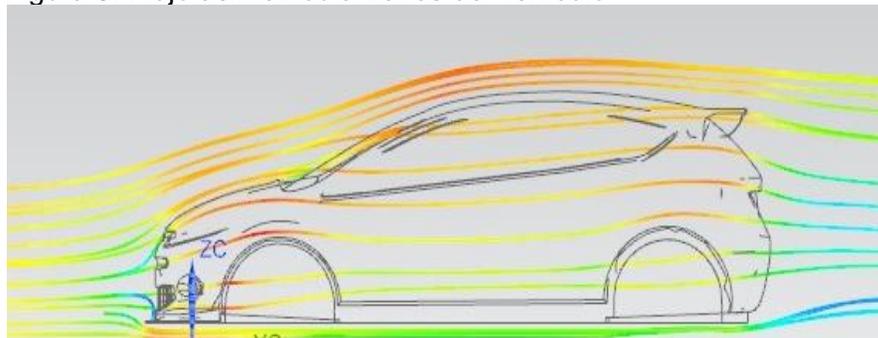
Con esta ecuación se obtiene el coeficiente de arrastre y de sustentación los que permiten evaluar diferentes situaciones de forma teórica y rápida.

1.3 COEFICIENTES AERODINÁMICOS

De acuerdo a la ecuación anterior, se toma la energía constante a lo largo de una línea de corriente, si la presión con respecto al punto inicial es menor, la velocidad del aire será mayor y en el caso contrario si la presión es mayor, la velocidad del aire tendrá que disminuir.

En este principio se basa el funcionamiento de los elementos aerodinámicos al hacer fluir una corriente de aire alrededor de un cuerpo, en la figura 3 se muestra que el cuerpo no es simétrico, por ello el flujo de aire rodeará de diferente forma por la parte superior que, por la parte inferior, provocando una diferencia de presión como consecuencia generando un efecto llamado fuerza de sustentación negativa.

Figura 3. Flujo asimétrico a través del vehículo



Las líneas de color azul representan una velocidad baja del fluido, a medida que las líneas cambian de color significa un aumento de velocidad donde el color rojo representa la velocidad máxima que pasa a través del vehículo.

Coeficiente de arrastre o resistencia (Cx): Es un valor el cual permite establecer la resistencia de un fluido que pasa a través de un cuerpo de forma paralela y en dirección contraria al flujo.

Coeficiente de Sustentación (Cs): Es un valor el cual permite establecer la fuerza que ejerce un fluido al recorrer un cuerpo de forma perpendicular al flujo.

A continuación, se muestran las fórmulas de fuerza de sustentación y resistencia:

$$\text{Sustentación} = C_s * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * a$$

$$\text{Resistencia} = C_x * \frac{1}{2} * \rho * v^2 * a$$

Donde:

a= Área.

v= Velocidad.

ρ = Densidad del fluido.

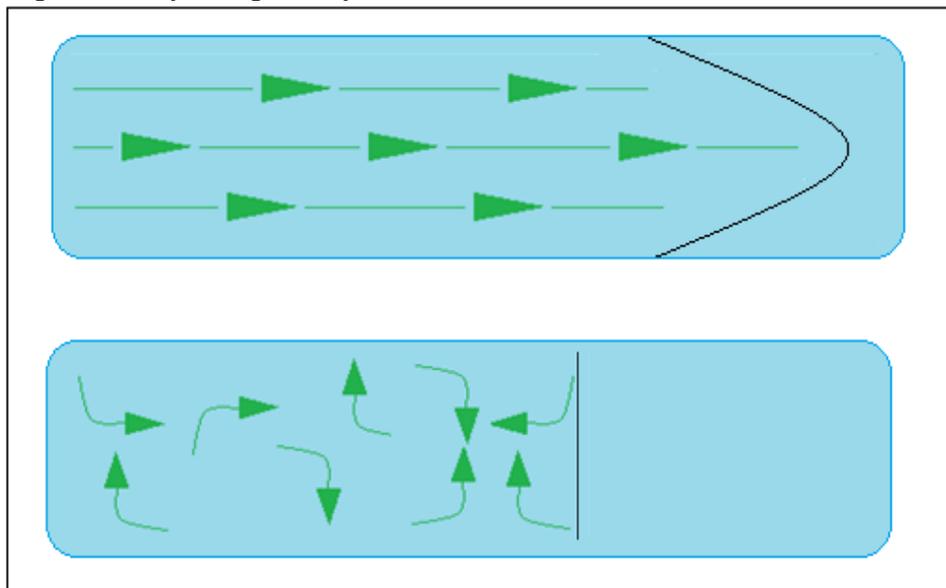
Cs= Coeficiente de sustentación.

Cx= Coeficiente de resistencia.

1.4 NÚMERO DE REYNOLDS

El coeficiente de resistencia es una función del número de Reynolds, es el que define como se comporta un fluido siendo laminar o turbulento como se muestra en la figura 4.

Figura 4. Flujos según Reynolds



El número de Reynolds se define como:

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

Donde:

ρ = Densidad del fluido.

l = Largo de su sección transversal.

v = Velocidad del fluido.

μ = Viscosidad dinámica del fluido.

1.5 DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL

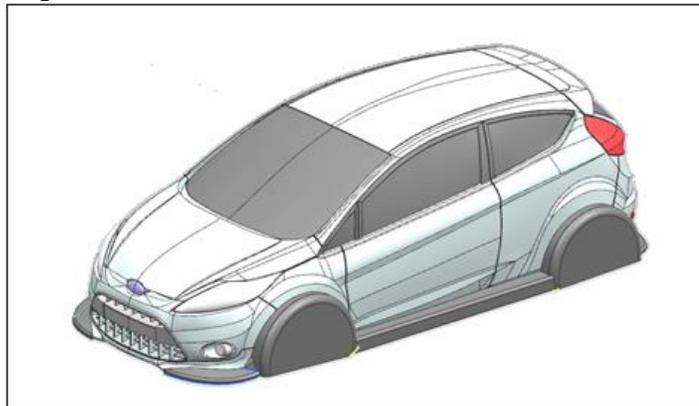
El estudio del comportamiento de la dinámica de fluidos mediante software conocida como dinámica de fluidos computacional (CFD) permite obtener soluciones aproximadas de los modelos matemáticos constitutivos del flujo de un fluido, por ejemplo; las corrientes de aire que pasan a través de un vehículo o una aeronave.

Utilizando la dinámica de fluidos computacional como herramienta es posible diseñar los elementos aerodinámicos que conforman un vehículo de competencia para lo cual se debe tener en cuenta la metodología implementada por el software: pre-procesamiento, procesamiento y pos-procesamiento.

1.5.1 Pre-Procesamiento. En esta etapa se determina las condiciones reales a analizar para desarrollar un modelo matemático que el software pueda comprender y resolver, por esto se determina el modelo 3D, el dominio computacional, el enmallado de los componentes y las condiciones de frontera.

Preparación del modelo y exportación: con el fin de que el programa pueda establecer unos resultados significativos se debe realizar un modelo 3D del objeto a estudiar en un software CAD de dibujo como se representa en la figura 5 (este paso se realiza en el software NX).

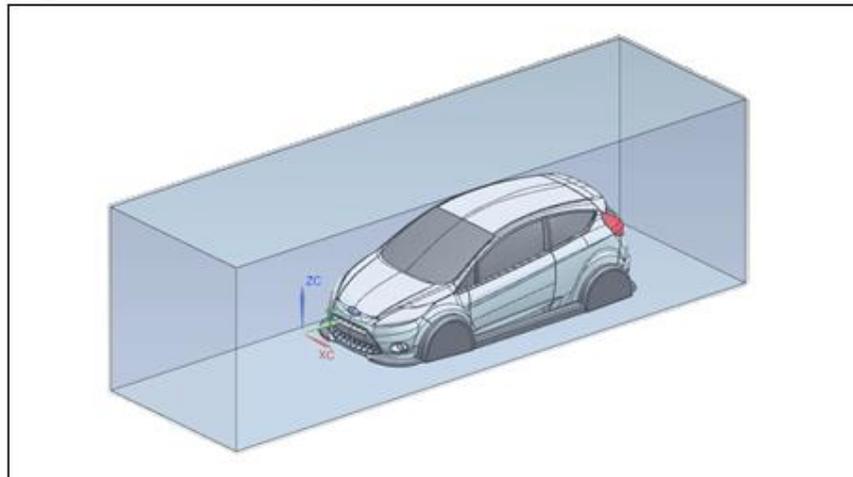
Figura 5. Modelo 3D



Preparación en NX: se inspecciona el modelo creado para que cualquier vértice abierto que tenga el objeto de estudio se debe cerrar, ya que el software NX genera un aviso de error a la hora del realizar el procesamiento.

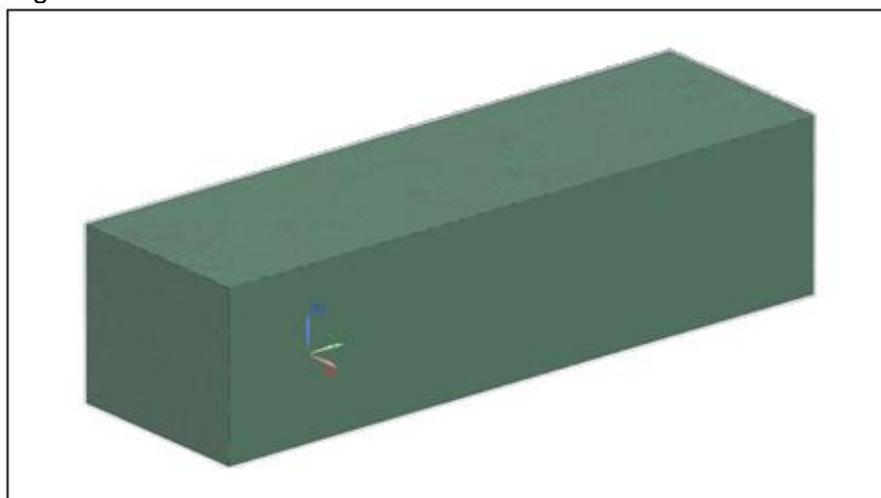
Generación del dominio computacional: para crear el dominio computacional del sistema a estudiar, en el software de NX se debe introducir una figura geométrica que “envuelve” el objeto de estudio. El dominio tendrá un tamaño basado en las condiciones del flujo y el tamaño del sistema como se muestra en la figura 6 (se recomienda que sea un 30% más grande que el objeto a estudiar).

Figura 6. Dominio computacional



Enmallado: en este paso dentro del entorno de simulación avanzada del software NX, se discretiza (divide) el dominio computacional en elementos finitos con el propósito de obtener una respuesta aproximada al comportamiento real del sistema como se observa a continuación en la figura 7.

Figura 7. Enmallado



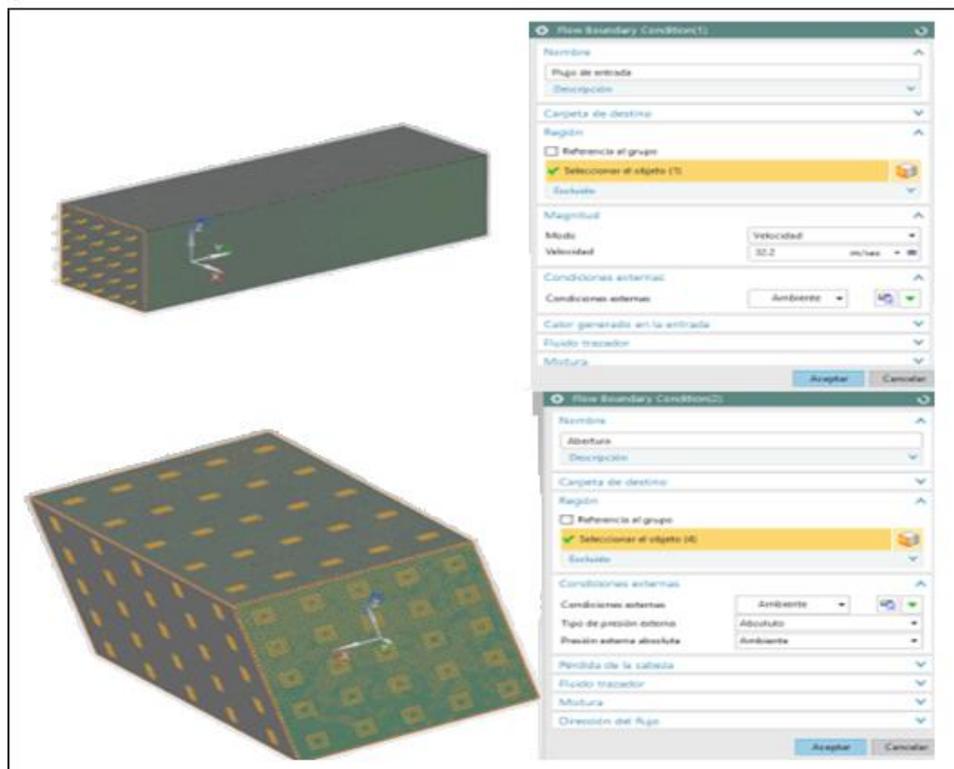
Tipo de enmallado: para un trabajo de dinámica de fluidos computacional se toma en cuenta una malla tetraédrica 3D con el fin de que en la simulación genere efectos similares al fluido a trabajar.

Para las superficies que tocan el fluido y que estén sumergidos en el fluido usualmente se escoge una malla 2D para generar una pared en la cual el fluido pueda generar una capa límite.

Se selecciona una malla lineal para generar puntos específicos en la cual el software NX simule y discretiza los efectos que genera el fluido en esos puntos como la fuerza de arrastre y la fuerza de sustentación.

Determinación de condiciones de frontera: las condiciones de frontera son las condiciones físicas del sistema, que determinan su comportamiento: la velocidad del aire equivalente a la velocidad del vehículo, las zonas de entrada y salida del flujo, las zonas límite del flujo y la superficie de contacto con el objeto de estudio mostrado a continuación en la figura 8.

Figura 8. Determinación de condiciones de frontera



1.5.2 Procesamiento. Este paso es la solución a las ecuaciones del sistema mediante la implementación de un algoritmo computacional que obtiene un resultado a través de un proceso de integración.

El Software NX discretiza el dominio espacial total por medio de elementos finitos en los cuales las ecuaciones diferenciales parciales que generan el fenómeno físico son convertidas en un sistema algebraico de ecuaciones.

Utilizando las ecuaciones de masa, energía, entre otros. La forma general dominante es:

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_v p\phi dV + \oint_A p\phi V \cdot dA = \oint_A \Gamma_\phi \nabla\phi \cdot dA + \oint_V S_\phi dV$$

El primer término de la ecuación corresponde al cambio de propiedades del fluido con respecto al tiempo, el segundo término es el cambio con respecto a la posición, el tercer término indica la difusión de una propiedad y el último término corresponde a la generación de momento.

1.5.3 Pos-Procesamiento. En este paso los resultados obtenidos por el software NX, se analiza el flujo mediante líneas aerodinámicas, la presión con campos coloreados y escala de colores.

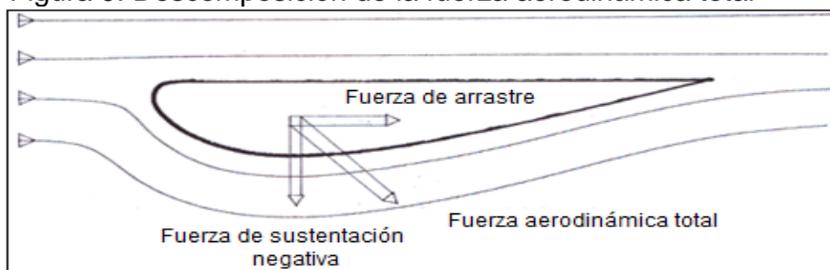
Para simular el funcionamiento de los componentes aerodinámicos mediante CFD es necesario tener un flujo de aire similar al aire real. Se debe utilizar números adimensionales que involucran varias propiedades con sus correspondientes dimensiones, de este modo se puede controlar varias características donde se usa el número de Reynolds como medio de apoyo el cual se confirma un antes y un después de los datos suministrados por el software con el fin de tener un punto de comparación.

1.6 AERODINÁMICA EN VEHÍCULOS

La aerodinámica en vehículos se basa en el efecto suelo, que consiste en la fuerza del viento produciendo sustentación negativa y a la vez fuerza de arrastre.

Sustentación aerodinámica: es la fuerza perpendicular al viento relativo sobre la superficie del perfil del vehículo. Esta fuerza sustentadora circula por el exterior del vehículo. En la parte inferior del vehículo donde el área es menor, su velocidad es mayor que en el resto del vehículo por tanto su presión es baja para que se cumpla la ecuación de Bernoulli. Es decir, existirá una fuerza neta de succión sobre la parte inferior del vehículo generando carga aerodinámica mostrada en la figura 9.

Figura 9. Descomposición de la fuerza aerodinámica total



Fuente: Libro "Aerodinámica del automóvil de competición" Pág. 27 Fig. 2.4

Resistencia aerodinámica: es la fuerza que se opone al avance del vehículo a través del aire, es siempre contraria al avance del vehículo.

Capa límite o frontera: es la zona donde el flujo de aire es modificado por el contacto con el vehículo generando un flujo ya sea laminar o turbulento. Cuando el flujo de aire es laminar, el movimiento del fluido es ordenado y el flujo turbulento existe cuando el movimiento del fluido no tiene una dirección específica.

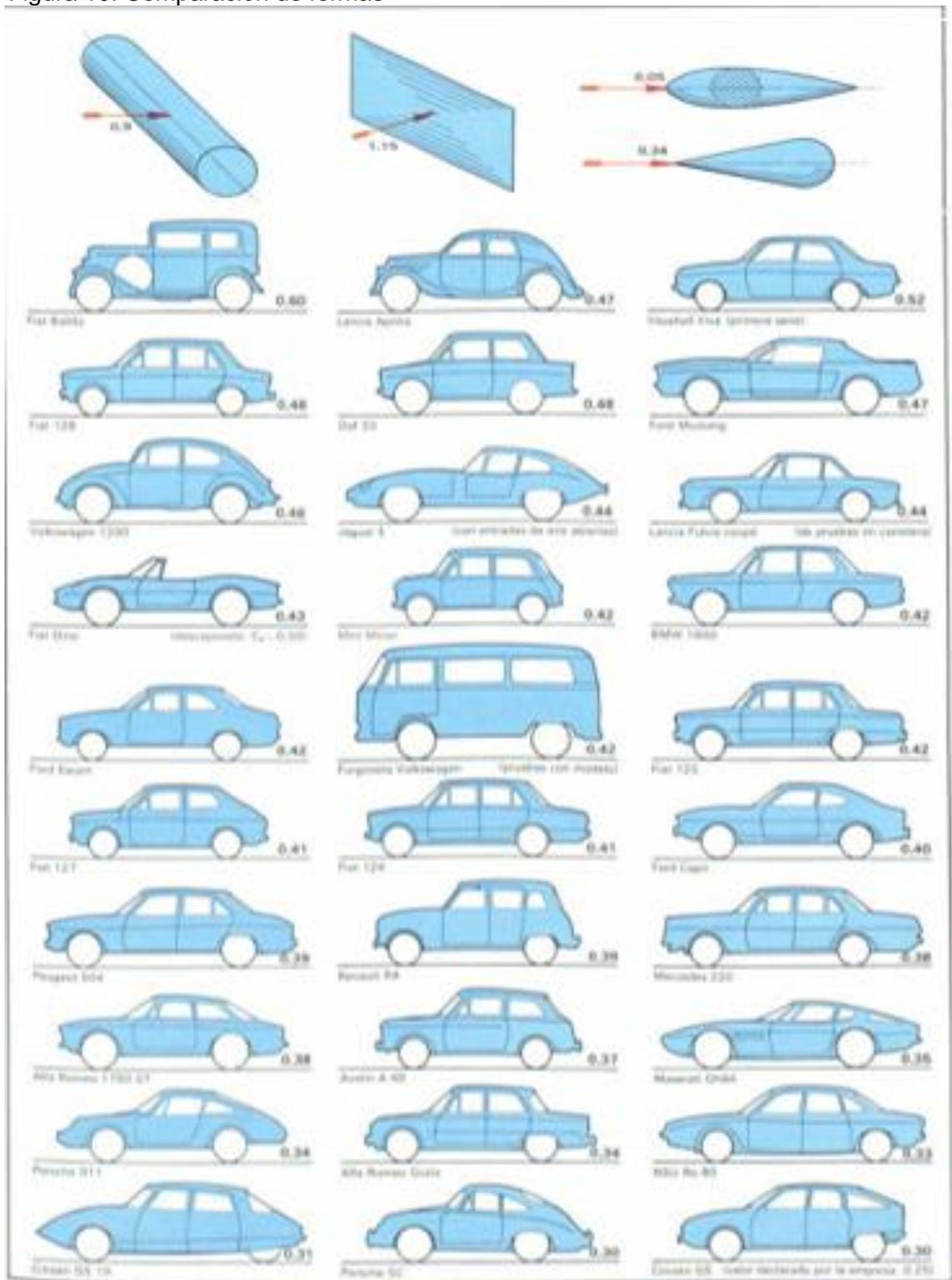
"La razón por la que se escoge la superficie frontal es que se supone que por detrás del plano de mayor área es donde se produce la separación del flujo aerodinámico de la carrocería; esta separación del flujo es la principal causa de resistencia aerodinámica en coche de producción."¹

Actualmente en los vehículos se contemplan dos factores, la fuerza de arrastre y la carga ejercida por el vehículo, lo cual nos lleva a la aerodinámica con el fin de ejercer una fuerza de sustentación negativa hacia el vehículo para que tenga estabilidad y mejor reacción en las curvas.

Como se puede observar los coeficientes de sustentación y resistencia nos representa una medida relativa que permite comparar diferentes cuerpos; por ejemplo. Una placa con forma plana tiene un coeficiente mayor que un cuerpo que tenga una forma de gota como se muestra en la figura 10.

¹ Technical courses, Estudio de la aerodinámica de un vehículo. [En línea] 2015. Citado [10-Feb-2016] Disponible en: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

Figura 10. Comparación de formas



Fuente: Technical courses, Estudio de la aerodinámica de un vehículo. [En línea] 2015. Citado [10-Feb-2016] Disponible en: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89

A continuación, se muestra la relación de potencia requerida por el vehículo para vencer la fuerza de arrastre que ejerce el flujo de aire sobre él.

$$potencia = \frac{C_x * a * v^3}{1225}$$

Donde:

Cx: Coeficiente de arrastre.

a: Área frontal.

v: Velocidad.

La siguiente ecuación expresa la velocidad en curva con respecto al peso del vehículo.

$$V = \sqrt{(\mu * \omega * r) / m}$$

μ : Coeficiente de rozamiento.

ω : Peso del vehículo.

r: Radio de la curva.

m: masa del vehículo

Esta ecuación determina la ganancia de velocidad con respecto al paquete aerodinámico debido al peso generado creado por la fuerza de sustentación.

1.7 PARTES Y FUNCIONES DE LA CARROCERÍA DEL VEHÍCULO

A continuación, se detallan los componentes de la carrocería que modifican la dirección, velocidad y presión del flujo de aire.

Capó

El capó en aerodinámica es la capa límite que cubre el motor modificando la ruta de flujo mediante unos canales que generalmente fluye hacia los lados o la parte superior del vehículo, en la figura 11 se muestra un Ford Mustang el cual tiene salidas de aire para refrigerar el motor.

Figura 11. Capó



Splitter

Esta pieza aerodinámica también conocida como divisor de flujo delantero, es un componente que distribuye la carga aerodinámica delantera entre la parte superior y la parte inferior del vehículo con el fin de producir sustentación negativa debido a la diferencia de presión. El splitter va sujeto al chasis o una parte fija de la estructura del vehículo en la parte inferior del parachoques, debe estar anclado por dos o más soportes con el fin de mantener una posición paralela al suelo, en la figura 12 se ve claramente el splitter de color azul en la parte inferior del Chevrolet Corsa.

Figura 12. Splitter



Flaps

La función de los flaps situados en los extremos del parachoques delantero es redireccionar el flujo de aire en este punto para que siga lo más pegado posible a la carrocería del vehículo con la mínima protuberancia posible, así evitando un flujo turbulento. Un ejemplo de flaps se puede ver en la figura 13 donde se muestra de color negro en el lateral del parachoques del Ford Focus.

Figura 13. Flaps



Piso plano

La función del piso plano es ayudar a que el aire que recorre debajo del vehículo tenga mayor velocidad que el flujo de aire que recorre la parte superior del vehículo generando así un diferencial de presión y creando el efecto suelo. Un ejemplo de piso plano se muestra a continuación en la figura 14.

Figura 14. Piso plano



Fuente: FuelWasters, Fondo plano. [En línea] 2016. Citado [2 -Mar-2016] Disponible en: <http://glosariofuelwasters.blogspot.com.co/2011/07/fondo-plano-suelo-plano.html>

Spoiler

Es común encontrar un spoiler en un vehículo de serie montado en la parte trasera del mismo, su función es recoger el flujo de aire que pasa por encima del vehículo volviendo el flujo turbulento, con el fin que se divida el flujo de aire proveniente de la parte superior, del flujo de aire que pasa por debajo del vehículo, mejorando la estabilidad del mismo. En la figura 15 se evidencia un Ford Fiesta ST con spoiler de fábrica.

Figura 15. Spoiler Trasero



Difusor

Es sabido que la parte inferior de un vehículo es casi tan importante como la parte superior para tener efecto aerodinámico sobre la parte baja, es necesario colocar un difusor de forma curva que termina más arriba de donde comenzó y en algunos casos sobrepasando las dimensiones del vehículo, su principal función es reducir el arrastre que produce la fuerza aerodinámica total generando sustentación negativa siendo más estable el vehículo, para tener una idea, en la figura 16 se muestra un difusor trasero.

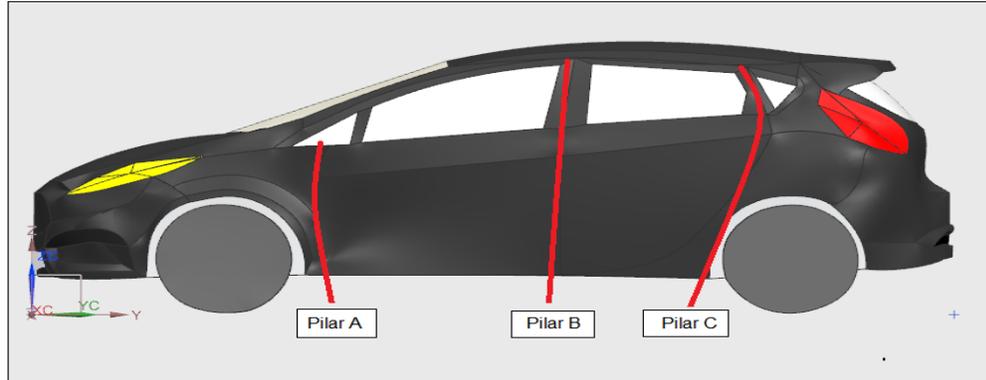
Figura 16. Difusor trasero



Pilares

El Ford Fiesta tiene 3 pilares llamados pilar A, pilar B y pilar C y cumplen la función de sostener el habitáculo con el techo en diferentes puntos mostrados en la figura 17.

Figura17. Pilares Ford Fiesta



1.8 INFORMACIÓN GENERAL DEL AUTOMOVILISMO EN COLOMBIA

En Colombia, comenzó la importancia por el automovilismo en 1940 en carreteras de tierra, sin pavimentar. El 5 de agosto de 1940, se realizó la primera competencia oficial en el país con la prueba de cinco etapas de Bogotá-Cali-Bogotá. Promovida por Gustavo Santos, Luis Castro Montero, Pedro Isaza, Álvaro Roza, Humberto Soto y Carlos Uribe. Con el apoyo de Automóvil club de Colombia, la meta final fue en el estadio El Campin de Bogotá donde el presidente Eduardo Santos entregó la copa del primer puesto a Eduardo Roncayo y Emilio Álvarez a bordo del Lincoln número 11 quienes tuvieron una velocidad promedio de 68km/h.

La FIA aprueba las competencias en Colombia impuestas por la federación colombiana de automovilismo y se lleva a cabo las siguientes modalidades:

- Súper copa colombiana de velocidad
- Camper Cross
- Academia TC
- Gran premio nacional de tractomulas
- Rally Cross
- Circuito ciudad de Medellín
- TC Junior
- Monomarca
- CNA
- TC2000
- Piques ¼ de milla.

Los circuitos del territorio nacional son:

- Circuito de Cavasa (Candelaria-Valle del Cauca)
- Circuito de Medellín (Medellín-Antioquia)
- Autódromo de Tocancipá (Tocancipá-Cundinamarca)
- Autódromo XRP (Cajicá-Cundinamarca)

El circuito más importante en Colombia es el autódromo de Tocancipá, tiene diferentes campeonatos de turismos y prototipos donde los más importantes son: TC2000 y CNA, donde se divide en categorías según el cilindraje del motor mostrado en el cuadro 1 a continuación.

Cuadro 1. Categorías del autódromo de Tocancipá

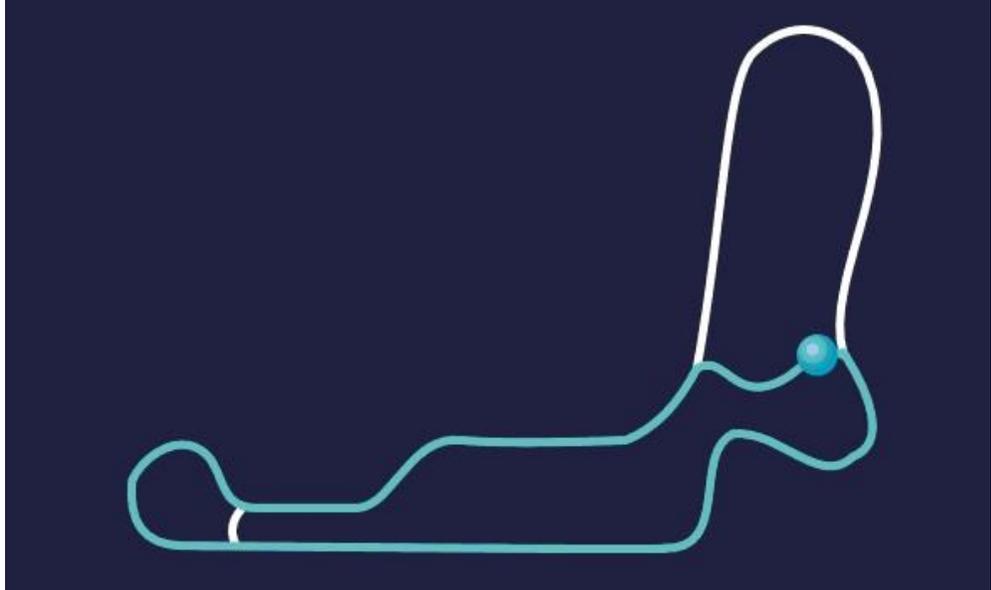
Categoría		Cilindraje
TC2000	TC Junior	Hasta 2000c.c.
	Academia TC clase A	
	Academia TC clase B	
	Súper TC 2000	
CNA	Súper turismo 1	Hasta 1600c.c.
	Súper turismo 2	1601c.c. - 2000c.c.
	Gran Turismo	Más de 2000c.c.
	Fuerza libre 1	Hasta 1300c.c.
	Fuerza libre 2	1301c.c. - 2000c.c.
	Fuerza libre 3	2001c.c. en adelante

En el autódromo de Tocancipá la categoría TC2000 se rige por la norma que todos los vehículos deben estar limitados por su cilindraje hasta los 2000c.c. y la potencia debe ser menor a los 180HP.

Para la categoría CNA se divide en tres sub categorías donde los súper turismos son vehículos comerciales, la categoría de gran turismo son también vehículos comerciales con un cilindraje mínimo de 2000c.c. y la categoría fuerza libre que son vehículos prototipos.

El autódromo de Tocancipá se divide en diferentes trazados de competición para los diferentes campeonatos donde se compite en sentido horario y anti horario visto desde las figuras 18 a 22.

Figura 18. Trazado uno



Fuente: Autódromos S.A., Pistas. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>

Figura 19. Trazado dos



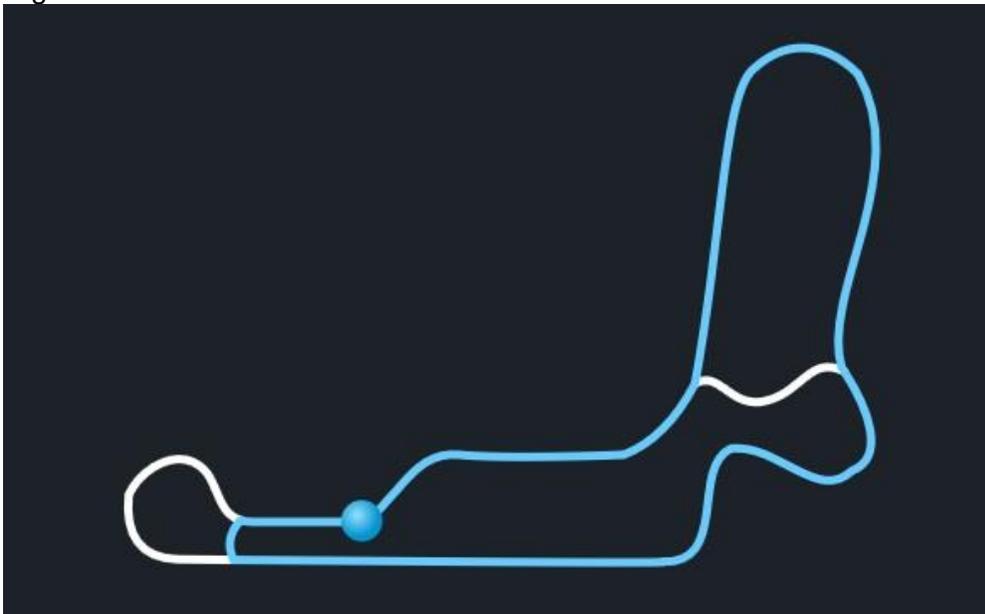
Fuente: Autódromos S.A., Pistas. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>

Figura 20. Trazado tres



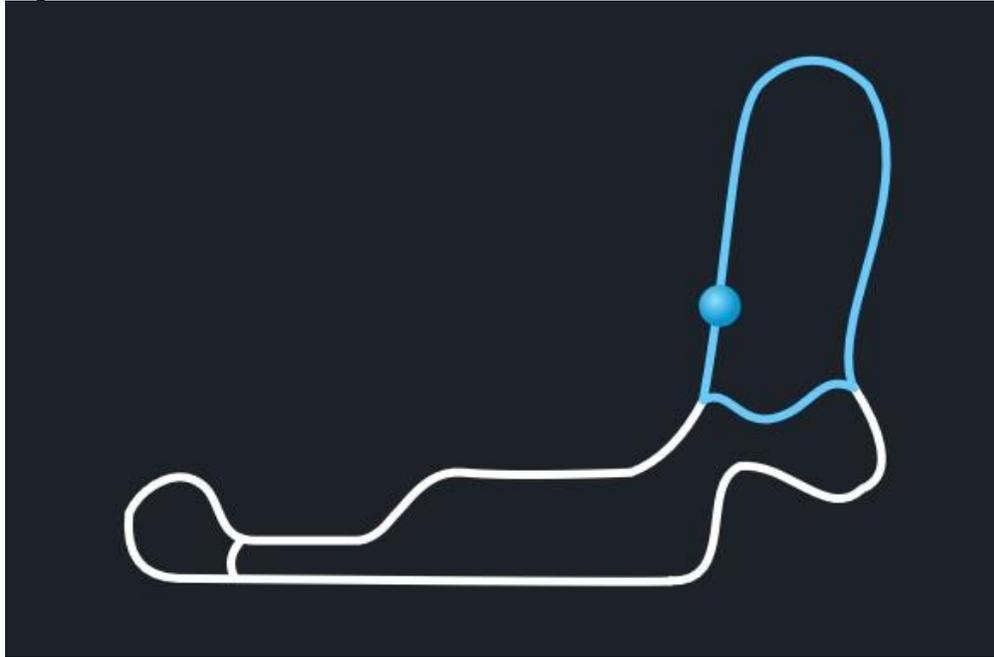
Fuente: Autódromos S.A., Pistas. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>

Figura 21. Trazado cuatro



Fuente: Autódromos S.A., Pistas. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>

Figura 22. Trazado cinco



Fuente: Autódromos S.A., Pistas. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>

Cada trazado tiene su propia dimensión como se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Longitud de los trazados

Trazado	Longitud (metros)
Uno	2040
Dos	2725
Tres	1655
Cuatro	2340
Cinco	1010

En el cuadro anterior hace referencia del trazado cinco el más corto y el menos usado a falta de graderías en ese sector con una longitud de 1010 metros, y el trazado dos que es el más largo con una longitud de 2725 metros, allí se corren las “6 horas de Bogotá”.

2. ANÁLISIS ACTUAL DEL FORD FIESTA

Actualmente el Ford Fiesta tiene su diseño exterior con especificaciones de fábrica, el vehículo compite en el campeonato CNA de la categoría Súper Turismo grupo ST1, son vehículos hasta 1600 centímetros cúbicos y está regido por dos reglamentos, el reglamento general y técnico de CNA (ANEXO B y ANEXO C). Dado que la pasada carrera en la que se disputó las “6 Horas de Bogotá” el día 8 de diciembre de 2015 donde tuvo una grandiosa participación en su primera carrera, con algunos contratiempos y terminando la carrera en séptimo lugar.

2.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL FORD FIESTA

Para tener detalles sobre el Ford Fiesta es necesario conocer a fondo los componentes mecánicos que ayudan a la aerodinámica del vehículo, puesto que la estabilidad, altura y potencia del vehículo son de gran importancia conocerlos para determinar cómo debe reaccionar y en que parte del vehículo se necesita mayor carga aerodinámica.

Motor

El motor es la parte más importante del vehículo donde la potencia va muy relacionada con la cilindrada total de la suma de sus cilindros y si tiene algún tipo de alimentación externa como un turbo o un sobrealimentador. En el Ford Fiesta, el vehículo de serie viene equipado con un motor Duratec con 4 cilindros en línea de 1597c.c. y aspiración natural que ofrece unos generosos 120HP. Para el actual Fiesta se cambió el tren motriz por el novedoso, revolucionado y ajustado motor EcoBoost de 3 cilindros y 1000c.c. con turbo, llegando a generar unos 180HP.

Frenos

El sistema de frenos está diseñado para que detenga el vehículo cuando su conductor lo desee. En el actual modelo la compañía Ford reajusto el tamaño y presión de frenado con lo que se tomó la decisión de cambiar los frenos de tambor en la parte trasera por los frenos de disco del Ford Fiesta ST y en la parte delantera se cambiaron los discos y mordazas de serie por discos rayados y mordazas Wilwood, esta mordaza cuenta con 4 pistones y le otorga la capacidad al vehículo frenar por completo recorriendo menor distancia.

Caja de transmisión

La caja de transmisión convencional quita mucho tiempo entre un cambio y otro, por esto en el Ford Fiesta se reemplazó la caja de transmisión por una caja secuencial SADEV 5F50 de cinco velocidades y un embrague de tres discos en bronce para que cada cambio se realice en menos de un segundo.

Jaula antivuelco

La jaula antivuelco es necesaria para competir en un circuito de carreras, se debe suprimir todo el interior del vehículo como sillas y tapizados para reducir peso. Para el Ford Fiesta, la jaula antivuelco fue diseñada y construida por Jean Pierre Macías la cual tiene las dimensiones del habitáculo, dando seguridad en caso de un accidente.

Suspensión

La suspensión se cambió totalmente por una suspensión ajustable debido a que se necesita más agarre y mantener la velocidad en curvas.

Aspecto Físico

Para tener una referencia visual del Ford Fiesta N°50, en las figuras 23 a 25 se muestra el estado actual:

Figura 23. Exterior del MRT1



Figura 24. Parte frontal del MRT1



Figura 25. Parte trasera del MRT1



El Ford Fiesta cuenta con un capó ligero de fibra de vidrio y expansiones a lado y lado del vehículo como se muestra en la figura 23, adicionalmente en la parte frontal de vehículo se cambió la parrilla de serie por una parrilla del “Ford Fiesta ST” evidenciado en la figura 24 y en la parte trasera cuenta con un spoiler en la parte superior y se cambió el parachoques de serie por el parachoques del “Ford Fiesta ST”.

2.2 ANÁLISIS DE LA CLASIFICACIÓN 2014 Y 2015 “6 HORAS DE BOGOTÁ”

En la tabla 1 cabe destacar el vehículo N°50 que tuvo un tiempo total de clasificación de 2:47:223, quedando en tercera posición a 0,928 segundos del vehículo N° 43 que ocupó el segundo puesto y a 1,214 segundos del vehículo N° 4 que obtuvo el primer puesto.

Tabla 1. Clasificación "6 Horas de Bogotá" 2015

pos	start no.	competitor	best time	r1	r2	r3	r4
1	4	LEONARDO GIL/MANUEL GIL ALEJANDRO TORRES/J LANDINEZ	02:46.009	01:22.289	00:00.000	01:23.720	00:00.000
2	43	CAMILO PUYO/JORGE PUYO SANTIAGO PUYO	02:46.295	01:23.608	00:00.000	01:22.687	00:00.000
3	50	NICOLAS MERLANO/LUIS J RICO JUAN P CLOPATOFSKY	02:47.223	01:23.840	00:00.000	01:23.383	00:00.000
4	61	SAULO BARRERA/ERIC SANTOS VICTOR BARRERA	02:48.036	01:24.446	00:00.000	01:23.590	00:00.000
5	35	JUAN P CLOPATOFSKY/IVAN LOZANO DIEGO L FORERO	02:48.627	01:24.618	00:00.000	01:24.009	00:00.000
6	86	DANNY GIANFRANCESCO JUAN P ARENAS	02:48.834	01:24.476	00:00.000	01:24.358	00:00.000
7	44	ANDRES DELA ROSA HUGO FAJARDO/OSWALDO FAJARDO	02:49.033	01:24.480	00:00.000	01:24.553	00:00.000
8	42	CAMILO BEJARANO/RUBEN VERA	02:50.698	01:26.109	00:00.000	01:24.589	00:00.000
9	55	JUAN P PEDRAZA/MANUEL ACOSTA DANIEL LAMOROUX	02:52.561	01:26.278	00:00.000	01:26.283	00:00.000
10	93	JUAN M VELASCO/JUAN S VELASQUE GUILLERMO RICO	03:02.480	01:32.459	00:00.000	01:30.021	00:00.000
11	37	JUAN D PEÑUELA/M LOZANO FELIPE TRIANA/JOSE C FORERO	18:54.528	01:27.713	00:00.000	17:26.815	00:00.000
12	21	RODRIGO TRIANA/J M TRIANA ANGEL MOLINA/ JAIME MOR	01:25.900	00:00.000	00:00.000	01:25.900	00:00.000
13	32	JUAN C GARCIA/S MORENO ALEJANDRO PULIDO	01:26.592	00:00.000	00:00.000	01:26.592	00:00.000

Fuente: My Laps, 6 Horas de Bogotá. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://www.mylaps.com/en/classification/3793655?perClass=1>

La tabla 2 muestra el resultado de clasificación para las “6 Horas de Bogotá” realizada en 2014 donde se evidencia que, la misma competencia disputada al año siguiente fue superior en tiempos de clasificación y total de vueltas en carrera.

Tabla 2. Clasificación "6 Horas de Bogotá" 2014

pos	start no.	competitor	best time	r1	r2	r3	r4
1	21	JUAN TRIANA/RODRIGO TRIANA JAIME MOR/ANDRES PRIETO/F TRIA	02:50.077	01:25.629	00:00.000	01:24.448	00:00.000
2	43	CAMILO PUYO/JORGE PUYO	02:52.330	01:27.385	00:00.000	01:24.945	00:00.000
3	44	ANDRES DELA ROSA/LUIS O FAJARD	02:54.390	01:26.141	00:00.000	01:28.249	00:00.000
4	42	CAMILO BEJARANO/ESTEBAN ABELLO RUBEN VERA	02:56.164	01:27.481	00:00.000	01:28.683	00:00.000
5	23	PEDRO G HERNANDEZ SEAN BREESE	02:58.091	01:29.591	00:00.000	01:28.500	00:00.000
6	39	FERNANDO AMEZQUITA LUIS M AMEZQUITA	02:58.290	01:30.069	00:00.000	01:28.221	00:00.000
7	61	ERIC SANTOS/LEONARDO QUESADA JOSUE GOMEZ	02:58.928	01:29.550	00:00.000	01:29.378	00:00.000
8	56	DANIEL LA RIVA/ANDRES RACIOPPI ALEX RACIOPPI	03:00.073	01:29.863	00:00.000	01:30.210	00:00.000
9	46	JUAN P LOPEZ/JUAN P CLOPATOKSK IGNACIO ROBLEDO	03:00.355	01:28.282	00:00.000	01:32.073	00:00.000
10	55	JUAN P PEDRAZA/DANIEL LAMOIROU MANUEL ACOSTA	03:00.906	01:29.276	00:00.000	01:31.630	00:00.000
11	35	FELIPE BAPTISTE/IVAN LOZANO DIEGO L FORERO	01:26.821	00:00.000	00:00.000	01:26.821	00:00.000

Fuente: My Laps, 6 Horas de Bogotá. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://www.mylaps.com/en/classification/3348772?perClass=1>

2.3 ANÁLISIS DE LA CARRERA 2014 Y 2015 “6 HORAS DE BOGOTÁ”

Los datos de la tabla 3 muestra los resultados finales después de 6 horas de competencia donde el vehículo N°50 conducido por los pilotos Nicolás Merlano, Luis Jenaro Rico y Juan Pablo Clopatofsky; Logró la séptima posición haciendo 207 vueltas, 3 vueltas menos del vehículo N°55 en sexta posición y 25 vueltas menos del vehículo N°4 que termino en primera posición.

Tabla 3. Carrera "6 Horas de Bogotá" 2015

pos	start no.	competitor	laps	total time	diff	best time	best lap	best speed
1	4	LEONARDO GIL/MANUEL GIL ALEJANDRO TORRES/J LANDINEZ	232	6:01:24.251		01:24.690	193	115.834 km/h
2	61	SAULO BARRERA/ERIC SANTOS VICTOR BARRERA	230	6:01:13.835	2 laps	01:25.249	94	115.075 km/h
3	37	JUAN D PEÑUELA/M LOZANO FELIPE TRIANA/JOSE C FORERO	227	6:01:27.945	5 laps	01:24.719	189	115.795 km/h
4	44	ANDRES DELA ROSA HUGO FAJARDO/OSWALDO FAJARDO	225	5:59:44.209	7 laps	01:24.031	52	116.743 km/h
5	86	DANNY GIANFRANCESCO JUAN P ARENAS	212	6:01:28.356	20 laps	01:25.392	209	114.882 km/h
6	55	JUAN P PEDRAZA/MANUEL ACOSTA DANIEL LAMOROUX	210	5:49:32.382	22 laps	01:25.339	193	114.953 km/h
7	50	NICOLAS MERLANO/LUIS J RICO JUAN P CLOPATOFSKY	207	5:41:03.972	25 laps	01:24.363	52	116.283 km/h
8	42	CAMILO BEJARANO/RUBEN VERA	201	5:33:20.711	31 laps	01:24.756	96	115.744 km/h
9	32	JUAN C GARCIA/S MORENO ALEJANDRO PULIDO	191	6:02:19.456	41 laps	01:26.638	167	113.23 km/h
10	93	JUAN M VELASCO/JUAN S VELASQUE GUILLERMO RICO	182	6:01:39.386	50 laps	01:30.739	108	108.112 km/h
	43	CAMILO PUYO/JORGE PUYO SANTIAGO PUYO	129	3:42:20.491	103 laps	01:24.303	116	116.366 km/h
	21	RODRIGO TRIANA/J M TRIANA ANGEL MOLINA/ JAIME MOR	87	6:02:22.541	145 laps	01:26.315	26	113.653 km/h
	35	JUAN P CLOPATOFSKY/IVAN LOZANO DIEGO L FORERO	23	36:40.622	209 laps	01:27.149	16	112.566 km/h

Fuente: My Laps, 6 Horas de Bogotá. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://www.mylaps.com/en/classification/3793844?perClass=1>

La tabla 4 muestra el resultado de la carrera “6 Horas de Bogotá” realizada en 2014, en esta válida no corrió el Ford Fiesta.

Tabla 4. Carrera "6 Horas de Bogotá" 2014

pos	start no.	competitor	laps	total time	diff	best time	best lap	best speed
1	43	CAMILO PUYO/JORGE PUYO	221	6:01:55.809		01:25.118	65	115.252 km/h
2	44	ANDRES DELA ROSA/LUIS O FAJARD	219	6:01:57.467	2 laps	01:26.374	158	113.576 km/h
3	39	FERNANDO AMEZQUITA LUIS M AMEZQUITA	217	6:01:51.808	4 laps	01:28.029	180	111.441 km/h
4	86	DANIEL LARIVA/ANDRES RACIOPPI ALEX RACIOPPI	217	6:02:10.781	4 laps	01:27.267	123	112.414 km/h
5	42	CAMILO BEJARANO/ESTEBAN ABELLO RUBEN VERA	209	6:01:57.236	12 laps	01:26.985	172	112.778 km/h
6	55	JUAN P PEDRAZA/DANIEL LAMOUREOU MANUEL ACOSTA	208	6:01:55.270	13 laps	01:28.498	192	110.85 km/h
7	35	FELIPE BAPTISTE/VAN LOZANO DIEGO L FORERO	184	6:02:11.165	37 laps	01:27.199	141	112.501 km/h
	23	PEDRO G HERNANDEZ SEAN BREESE	138	3:50:55.236	83 laps	01:28.489	66	110.861 km/h
	21	JUAN TRIANA/RODRIGO TRIANA JAIME MOR/ANDRES PRIETO/F TRIA	135	6:02:21.330	86 laps	01:27.900	64	111.604 km/h
	46	JUAN P LOPEZ/JUAN P CLOPATOKSK IGNACIO ROBLEDO	130	3:43:08.755	91 laps	01:27.713	100	111.842 km/h
	61	ERIC SANTOS/LEONARDO QUESADA JOSUE GOMEZ	100	4:54:25.319	121 laps	01:30.662	52	108.204 km/h
	26	JUAN C BERNAL/KURT SATTER						0 km/h

Fuente: My Laps, 6 Horas de Bogotá. [En línea] 2015. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <http://www.mylaps.com/en/classification/3350106?perClass=1>

2.4 MODELAMIENTO

Es necesario para el modelamiento construir un modelo base el cual se muestra en la figura 26 basado en las dimensiones reales del Ford Fiesta del ANEXO A.

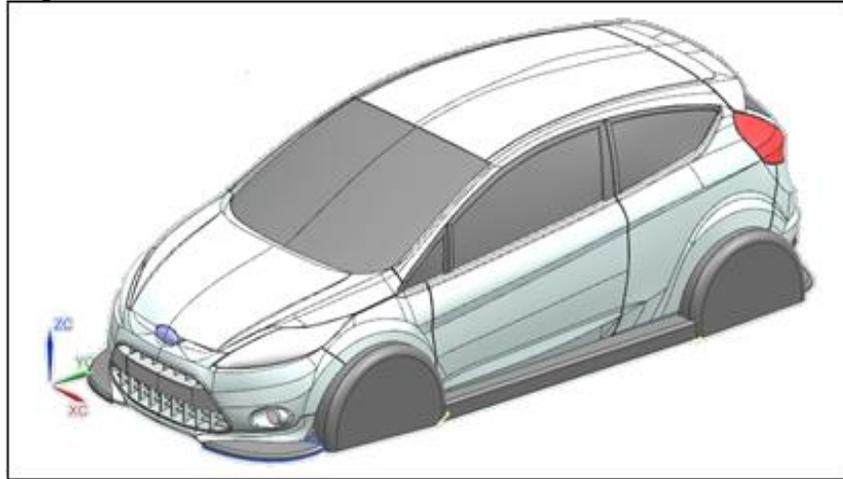
Figura 26. Modelo base Ford Fiesta



Partiendo de este modelo base se realizó un modelo CAD visto en la figura 27 en el cual se implementaron los cambios recientes del vehículo que hizo Ford para la competición del 2015, estas modificaciones externas son debidas a que la trocha se expandió hasta los 1,80 metros y fue necesario hacer unas expansiones en la carrocería para tapar las ruedas.

Para el modelamiento detallado del Ford Fiesta se tomó el modelo 3 puertas que tiene las mismas especificaciones como distancia entre ejes, largo total y altura del coche del modelo 5 puertas, por tanto, no afecta la simulación.

Figura 27. Modelo CAD Ford Fiesta.



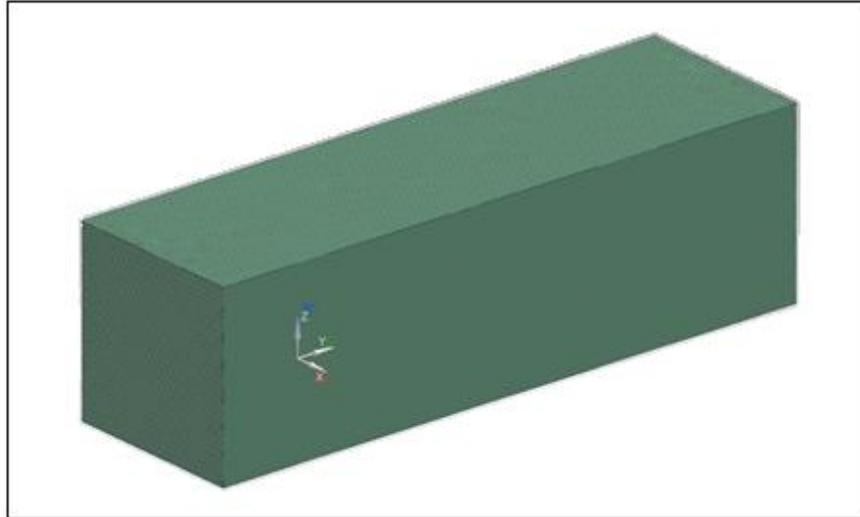
Para tener resultados cercanos a la realidad se tendrá en cuenta un solver de flujo serial con un modelo de turbulencia de longitud de mezcla, esto en el simulador genera la discretización del sistema. Como se muestra en la figura 28.

Figura 28. Parámetros de discretización

Descripción	
Opciones de solución	
Directorio de ejecución	Nombre de la solución
Selección del solver de flujo	Solver serial
Modelo de turbulencia	Longitud de mezcla
<input type="checkbox"/> Flotabilidad	
Tipo de solución	
Tipo de solución	Estado estacionario
Avanzado	
Procesamiento en paralelo	

La malla usada para todo el dominio computacional es una malla tetraédrica 3D con un tamaño de elementos de 80 milímetros mostrada en la figura 29.

Figura 29. Malla 3D del dominio computacional



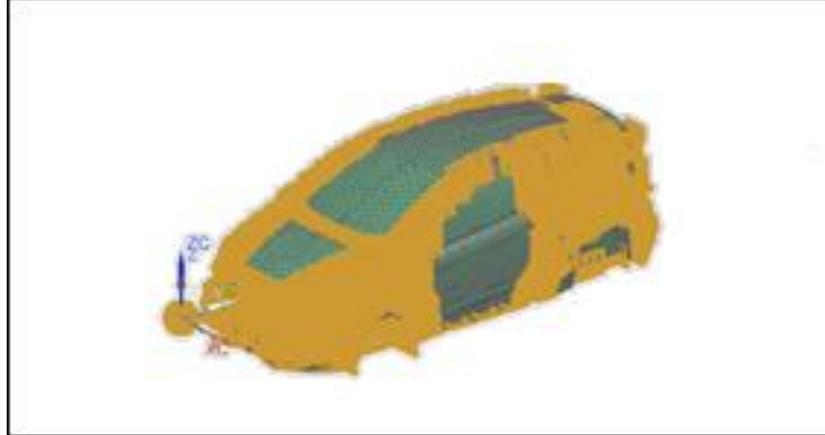
En la parte interna del dominio computacional se encuentra el modelo CAD Ford Fiesta con una malla 2D con un tamaño de elementos de 80 milímetros visto a continuación en la figura 30.

Figura 30. Malla 2D de la superficie del vehículo



En la figura 31 se muestra el control de malla es usado para generar los puntos de estudio sobre el modelo CAD Ford Fiesta con el fin de que el programa genere resultados de fuerza de arrastre y de sustentación en el centroide del modelo CAD Ford Fiesta.

Figura 31. Control de malla del modelo CAD



20.5 SIMULACIÓN

Condiciones de frontera: para generar la simulación del vehículo a través del aire se debe tomar una velocidad relativa del aire con el vehículo la cual entra en la parte frontal del dominio computacional como se muestra en la figura 32 representado con flechas, la superficie de flujo situada en los laterales del dominio computacional se evidencia en la figura 33 que hace el trabajo de una pared de aire generando aberturas y entradas en la simulación como si fuera aire real, adicionalmente en la parte trasera del dominio computacional se simula una abertura vista en la figura 34 que solo permite la salida de aire del sistema.

Figura 32. Entrada de aire

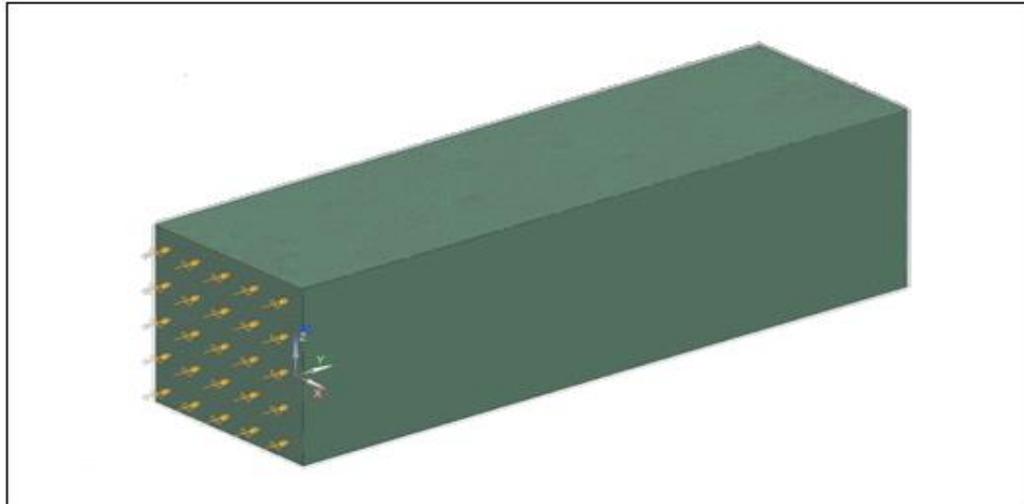


Figura 33. Superficie de flujo

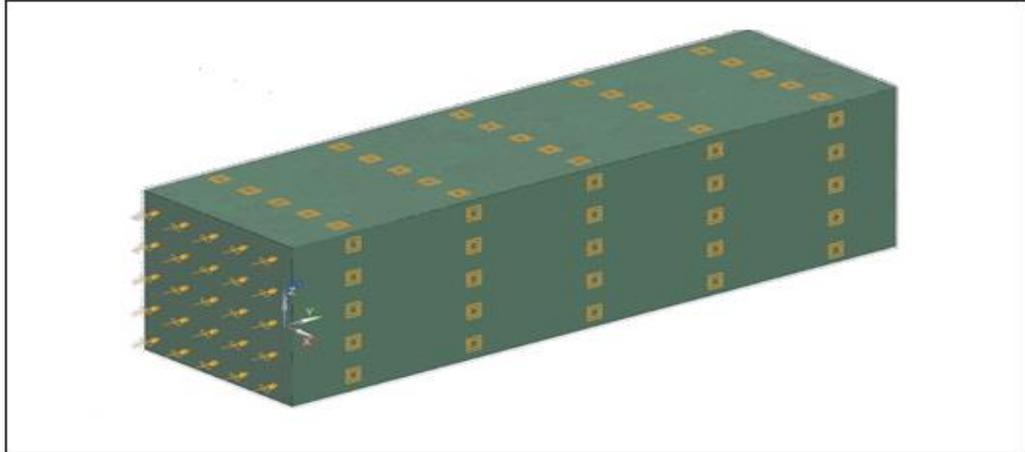
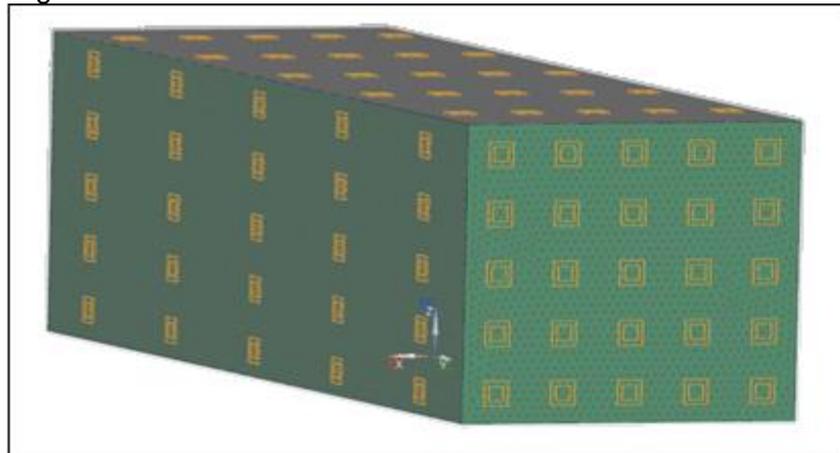


Figura 34. Abertura



Al completar los parámetros de la simulación se muestra en las figuras 35 y 36 el desarrollo del pre-procesamiento de la simulación.

Figura 35. Desarrollo del pre-procesamiento

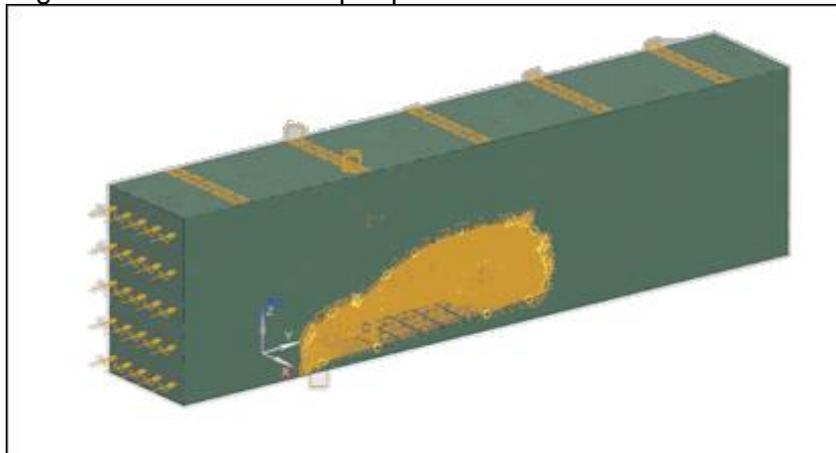
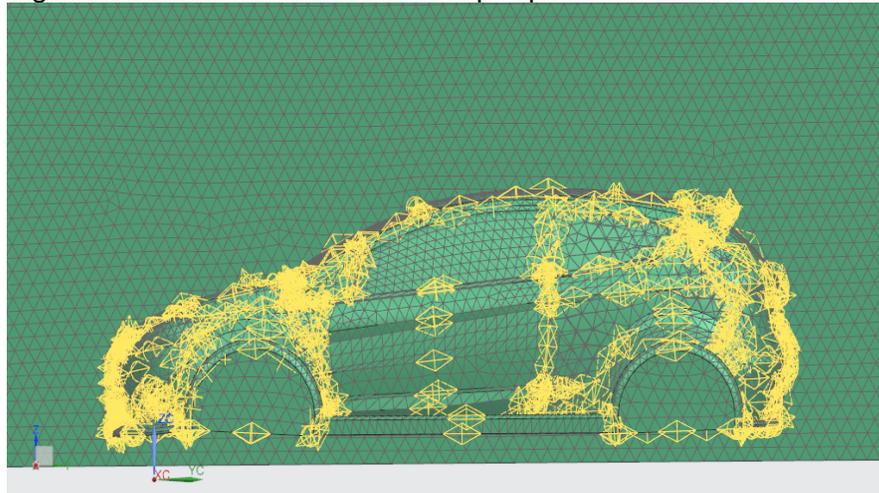


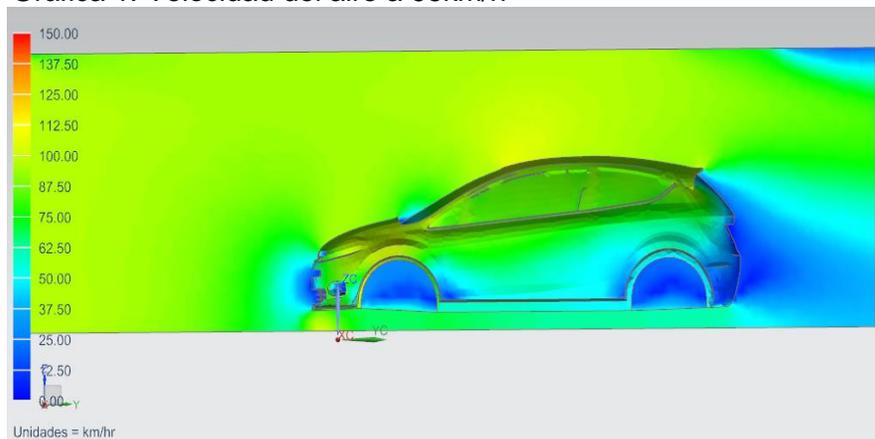
Figura 36. Detalle del desarrollo del pre-procesamiento



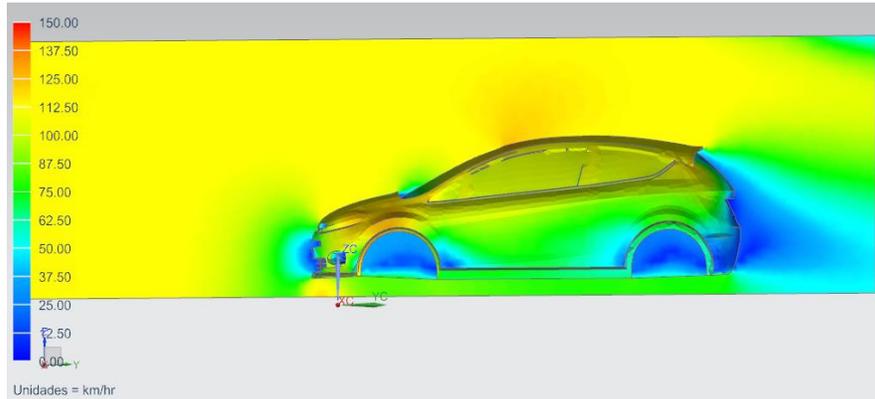
Con el modelo de competencia establecido de la figura 27 se simuló el comportamiento aerodinámico en el programa de elementos finitos NX con tres diferentes velocidades (95km/h, 116km/h y 128km/h), dando como resultado la velocidad del fluido las cuales se pueden observar en las gráficas 1 a 5 **con la misma escala de colores**.

Como punto de referencia, para las gráficas de velocidad del aire se toma una escala de colores, donde el rojo representa la velocidad de 150km/h y el color azul significa una velocidad de 0km/h, los colores intermedios varían según los límites de la escala para tener una uniformidad en todas las simulaciones.

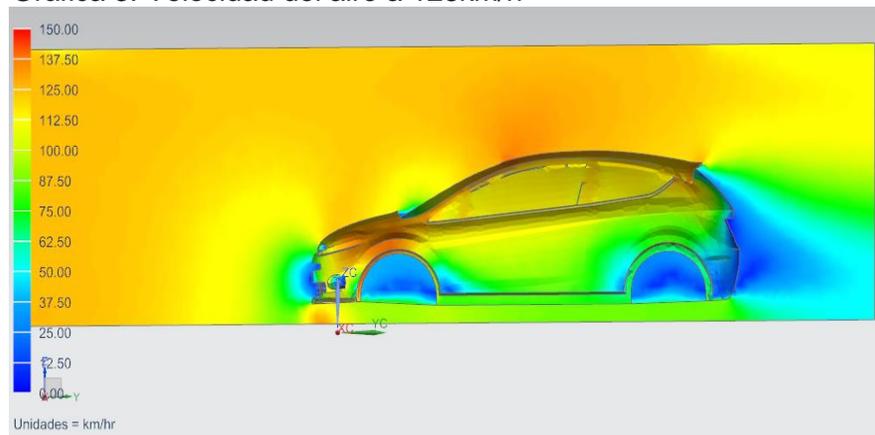
Gráfica 1. Velocidad del aire a 95km/h



Gráfica 2. Velocidad del aire a 116km/h

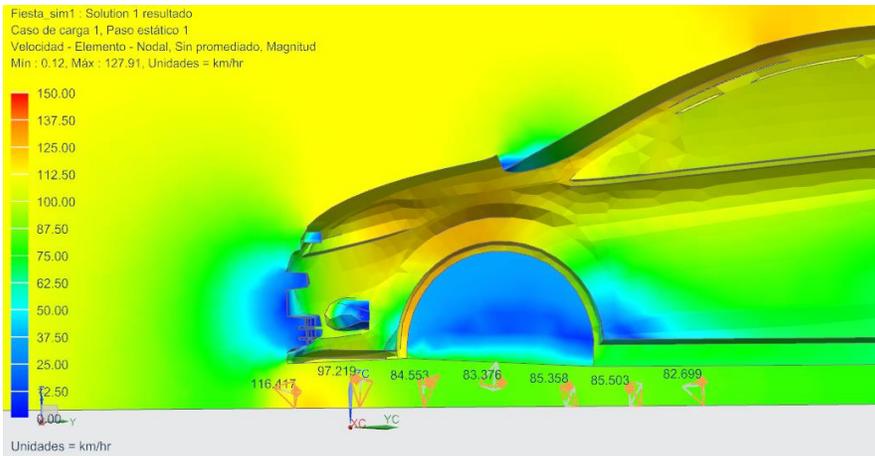


Gráfica 3. Velocidad del aire a 128km/h

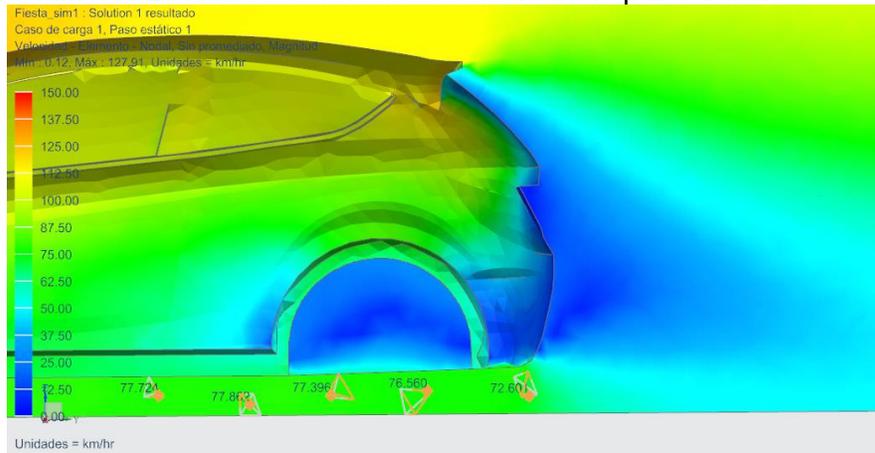


En las gráficas anteriores, las velocidades del aire son de 95km/h, 116km/h y 128km/h, donde el flujo de aire pasa más rápido por la parte superior del coche que la parte inferior.

Gráfica 4. Detalle de la velocidad del aire en el morro



Gráfica 5. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera



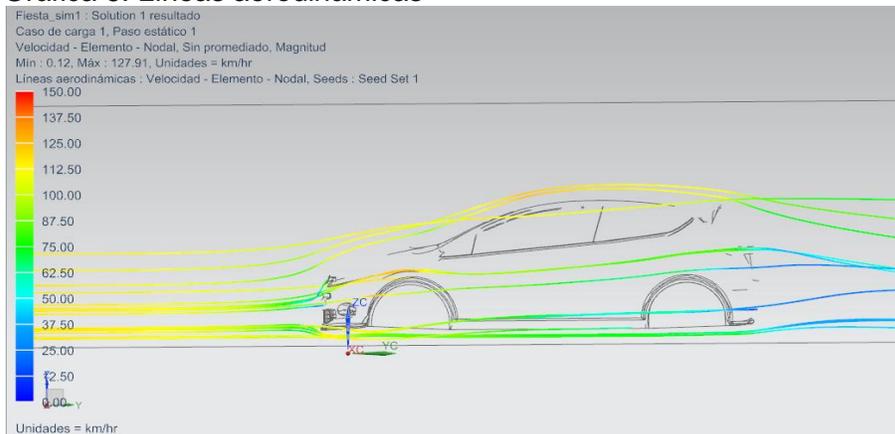
La velocidad del aire más alta se encuentra en dos puntos, en la parte más alta del vehículo y a la entrada debajo del parachoques delantero, los puntos más bajos de la velocidad del aire se encuentran en la parte posterior del vehículo y en frente del parachoques delantero.

El detalle de la parte delantera suministrados por la simulación del software NX muestra que en la parte baja el flujo de aire tiene una velocidad de 116,417km/h al dividirse el flujo, pero disminuye rápidamente con un valor promedio de 84,451km/h debido a que la altura del coche es de 14,7 centímetros y no existe un paquete aerodinámico que canalice el flujo de aire.

El detalle en la parte trasera del vehículo muestra que, en la parte baja la velocidad del aire continúa disminuyendo y al final del vehículo tiene un valor de 72,601km/h, esto quiere decir que el flujo de aire no está canalizado.

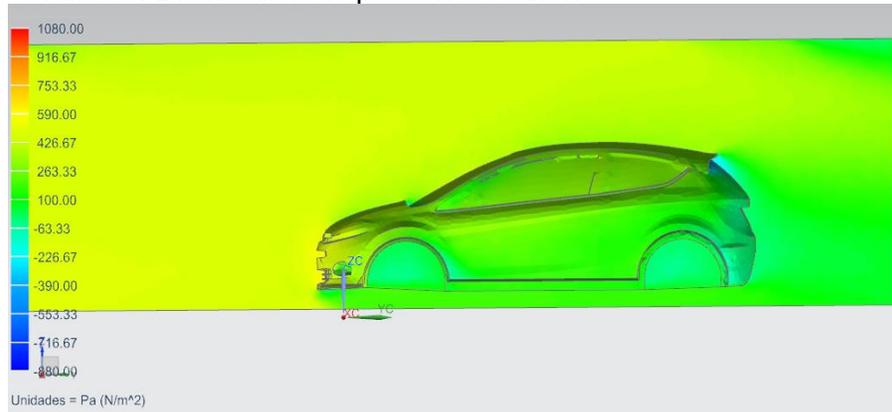
La gráfica 6 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en el modelo actual.

Gráfica 6. Líneas aerodinámicas

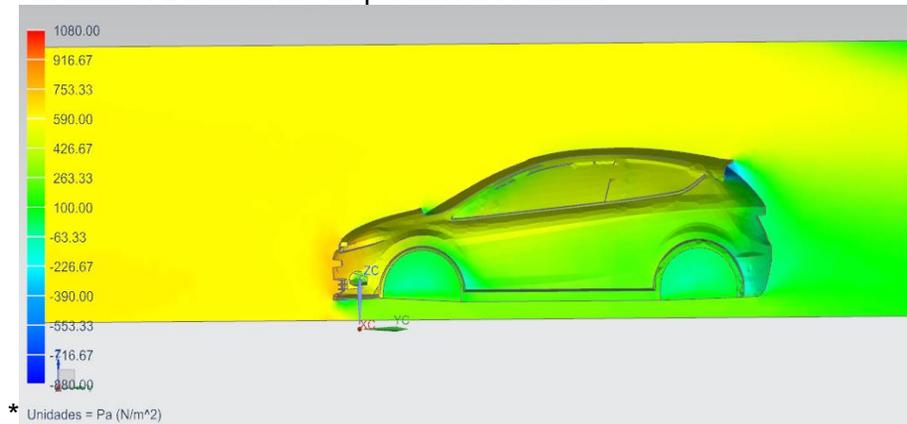


Para las gráficas de distribución de presión se muestra una presión dinámica hacia el suelo debido a que el aire tiene que recorrer mayor distancia por la parte de arriba que por la parte de abajo del vehículo como se muestra en las gráficas 7 a 11.

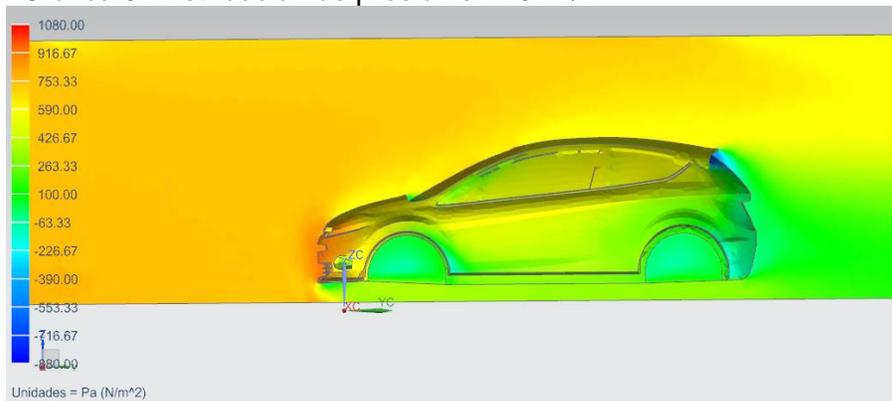
Gráfica 7. Distribución de presión a 95km/h



Gráfica 8. Distribución de presión a 116km/h



Gráfica 9. Distribución de presión a 128km/h



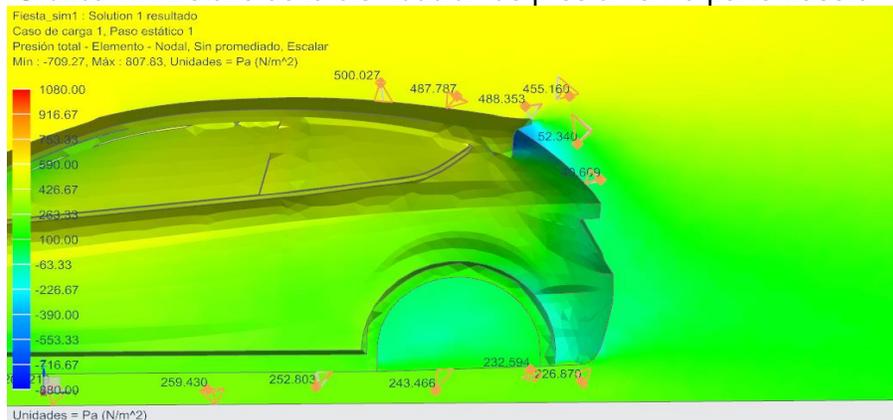
Como se puede apreciar en las gráficas anteriores, la velocidad del aire a través del vehículo se comporta de manera similar al de un vehículo de competición porque las líneas aerodinámicas se distribuyen de tal manera que las que van por arriba del vehículo son más rápidas que las de abajo, generando un diferencial de presión en dos puntos del vehículo.

La distribución de presiones se comporta de manera diferente a la de un vehículo de competición debido que en la parte trasera superior del vehículo pierde presión rompiendo el efecto suelo lo que genera una sustentación.

Gráfica 10. Detalle de la distribución de presión en el morro



Gráfica 11. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



Los detalles de la distribución de presión muestran la presión en la parte baja, al frente del vehículo tiene un valor de 508,431Pa y en la parte alta un valor de 648.190Pa, la presión dinámica en el medio del vehículo va disminuyendo con un valor medio de 276,041Pa, por último, en la parte baja a la salida del vehículo tiene un valor de 226,87Pa y en la parte alta un valor de 455.16Pa, esto quiere decir que la parte trasera es más inestable que la parte delantera del vehículo debido a que en esa parte existe mayor diferencia de presión dinámica con respecto a la parte delantera del vehículo.

En la tabla 5 se contemplan las fuerzas aerodinámicas suministradas por el software NX evidenciada en la simulación del flujo del aire en el modelo actual, se puede apreciar que a medida que el vehículo aumenta la velocidad genera más fuerza de sustentación lo cual es lo contrario que se requiere, en consecuencia, el vehículo pierde estabilidad en las curvas y puede ser riesgoso para el piloto.

Tabla 5. Fuerzas del modelo actual

Velocidad (km/h)	Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación negativa (N)
95	471,605	-91,6732
116	699,869	-140,452
128	848,718	-165,055

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.

2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Es necesario evaluar la forma de las piezas en el programa de simulación para así llegar a un resultado que permita tener mayor sustentación negativa sin aumentar drásticamente el arrastre del vehículo con un bajo costo de evaluación.

3. ANÁLISIS AERODINÁMICOS Y MECANICOS EN COMPETICIÓN

Para tener una referencia del Ford Fiesta es necesario evaluar la competencia que existe en el autódromo de Tocancipá Y Eastern Creek Raceway, con tres diferentes vehículos los cuales son Renault Twingo 2, Honda Civic y Mitsubishi Lancer.

3.1 RENAULT TWINGO 2

Existe gran variedad de vehículos que compiten en el autódromo de Tocancipá, la competencia en términos de aerodinámica con el Ford Fiesta, es el Renault Twingo 2 N°25 de la escudería Auto-Stok Team mostrado en la figura 37, este vehículo cuenta con un paquete aerodinámico desarrollado por un grupo de tres personas quienes son Felipe Sánchez, Hans Goldring y José Luis Peña; Los cuales llevaron a cabo el proyecto comenzando por el tren motriz donde reemplazaron el motor de fábrica por uno 2.0 litros aspirado, la caja de cambios se cambió por una caja secuencial para reducir el tiempo entre un cambio y otro y la suspensión fue modificada por una suspensión ajustable para mejorar el rendimiento en pista e instalar el paquete aerodinámico con facilidad.

Figura 37. Renault Twingo 2 de Auto-Stok Team



Fuente: Auto-Stok, 6 Horas de Bogotá. [En línea] 2016. Citado [07 -Abr-2016]
Disponible en: http://autostokteam.com/galerias/6-horas-bogota-diciembre-2015/#http%3A%2F%2Fautostokteam.com%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2015%2F12%2FDSC_6551.jpg

El paquete aerodinámico del Renault Twingo 2 mostrado en la figura 38 es claro ver un splitter, un piso plano y un difusor; Estas piezas fueron fabricadas en kevlar reforzado y sujetas a la parte baja del vehículo por soportes de acero, el equipo Auto-Stok Team asegura que este paquete aerodinámico afecta el rendimiento del Renault Twingo 2 mejorando 0,5 segundos por vuelta en pista.

Figura 38. Paquete aerodinámico del Renault Twingo 2



Fuente: Auto-Stok, 6 Horas de Bogotá. [En línea] 2016. Citado [07 -Abr-2016]
Disponible en: <http://autostokteam.com/galerias/6-horas-bogota-diciembre-2015/#http%3A%2F%2Fautostokteam.com%2Fwpcontent%2Fuploads%2F2015%2F12%2FDSC0193.jpg>

3.2 HONDA CIVIC

En el autódromo de Tocancipá hay un nivel alto en termino de desarrollo de vehículos y pilotos muy competitivos, como es el caso del Honda Civic N°02 conducido por Leonardo Gil en la categoría TC2000, se puede ver claramente en la figura 39 el vehículo Honda Civic, la temporada 2015 tuvo una grandiosa participación y termino en quinta posición del campeonato.

Figura 39. Honda Civic N°02



El equipo desarrolló el Honda Civic en el taller de Alejandro Torres donde gran parte de las modificaciones están en:

El motor VTEC de 1600c.c. que desarrolla unos generosos 172hp a la rueda a 7500rpm, el corte de revoluciones está en las 8200rpm, cuenta con un filtro de aire de alto flujo que va conectado a la entrada de los cilindros marca skunk2, esta permite la entrada de mezcla de aire y gasolina hacia la cámara de combustión, la inyección es marca High Tecnic, la salida de los gases de escape se cambió el colector de escape por uno nacional, en la figura 40 se evidencia un colector de escape.

Figura 40. Colector de escape



Fuente: AliExpress, Colector de escape. [En línea] 2016. Citado [30-Mar-2016] Disponible en: <http://es.aliexpress.com/item/EPMAN-STAINLESS-STEEL-PIPING-HEADER-MANIFOLD-EXHAUST-FOR-88-00-CIVIC-EG-EF-EK-EM-EP/32355962770.html?spm=2114.43010608.4.1.JX6MjK>

La caja de transmisión no presenta grandes modificaciones, para lograr que el vehículo este en el régimen de revoluciones optimo, Alejandro Torres relaciono las marchas para el autódromo de Tocancipá de tal modo que en la recta más larga el vehículo llegue al límite de revoluciones en la última marcha y en curvas se mantengan las revoluciones por encima de 5000rpm, esto con el fin de generar que el vehículo entregue la mayor cantidad de HP en el mayor tiempo posible.

Para Leonardo Gil los frenos en el autódromo de Tocancipá no es de gran importancia por eso el Honda Civic no tiene modificaciones en los frenos.

Otro aspecto importante en el Honda Civic es su suspensión, fue reemplazada por una suspensión d2racing para mejorar la velocidad en curvas sin que el vehículo de desestabilice, esta suspensión permite ajustar su altura y el rebote teniendo 32 posiciones diferentes.

Para tener una referencia de tiempos en pista del Honda Civic en la tabla 1 se muestra un tiempo marcado en pista de 1:22:289, este vehículo a parte de competir en el campeonato TC2000, compite en el campeonato CNA grupo ST1 con el N°04 mostrado en la figura 41.

Figura 41. Honda Civic N°04 en CNA



En el cuadro 3 se muestra los tiempos de la primera válida del campeonato súper TC 2000 disputada el día 20 de marzo de 2016 en el trazado uno mostrado la figura 18.

Cuadro 3. Primera válida “Súper TC 2000”

Pos.	No.	Piloto	Giros	Dif.	Vuelta Rapida	Giro	Puntos	Bonos	Vehiculo
1	157	Alejandro Torres	20	23:26.418	1:09.631	4	60		Ford
2	2	Leonardo Gil	20	+ 0.662	1:09.510	4	59	2	Honda
3	10	Juan Pablo Patiño	20	+ 15.971	1:10.301	4	55		Kia
4	49	Francesco Galvis	20	+ 22.817	1:10.723	17	53		Chevrolet
5	34	Jimmy Ramírez	20	+ 24.695	1:10.989	4	52	1	Renault
6	77	César Piamonte	20	+ 26.383	1:10.718	17	49		Honda
7	8	Mario Rojas	20	+ 31.274	1:10.954	4	47		Chevrolet
8	70	Nelson Gutiérrez	20	+ 37.772	1:11.220	4	45		Ford
9	30	Ricardo Reyes	20	+ 37.980	1:10.778	5	43		Mazda
10	325	Cristian Díaz	20	+ 45.762	1:11.218	9	41		Chevrolet
11	82	Juan David Cabrera	20	+ 51.420	1:11.314	8	40		Mazda
12	14	Melkin Marín	20	+ 59.736	1:10.581	5	39		Mazda
13	25	Julian Cañón	20	+ 1:02.434	1:11.291	3	38		Volkswagen
14	97	Danny Gianfrancesco	20	+ 1:02.611	1:11.118	18	37		Suzuki
15	22	Roger Trujillo	20	+ 1:05.401	1:12.152	10	36		Nissan
16	33	Wilson Alarcón	19	- 1 giro	1:10.453	5	35		Renault
17	60	Andrés Arrieta	19	- 1 giro	1:12.476	4	34		Renault
18	88	Fabio Valbuena	17	- 3 giros	1:12.007	9	33		Ford
19	888	Santiago Romero	16	- 4 giros	1:11.810	9	32		Chevrolet
20	128	Julían Ovalle	11	- 9 giros	1:14.184	5	0		Ford
21	20	Jaime Barrera	2	- 18 giros	3:27.017	1	0		Honda
22	43	Sebastián Prieto	0	- 20 giros	SinTiempo		0		Ford
23	35	Diego Alarcón	0	- 20 giros	SinTiempo		0		Renault

Fuente: TC2000Colombia, Resultado primera válida. [En línea] 2016. Citado [30-Mar-2016] Disponible en:
<http://www.tc2000colombia.com/Resultados%202016/TC2000/Round1/Web%20Clasificaciones%20runds%20TC%202.000%20-%202016.pdf>

Es necesario evaluar los tiempos del Honda Civic en el circuito 1 del autódromo de Tocancipá, hizo un tiempo de 1:09:510, el más rápido en pista debido que es una competición no solo basta mejorar el tiempo, el ideal es llegar en primer lugar, por esta razón se tomó de referencia el vehículo de Leonardo Gil.

3.3 MITSUBISHI LANCER

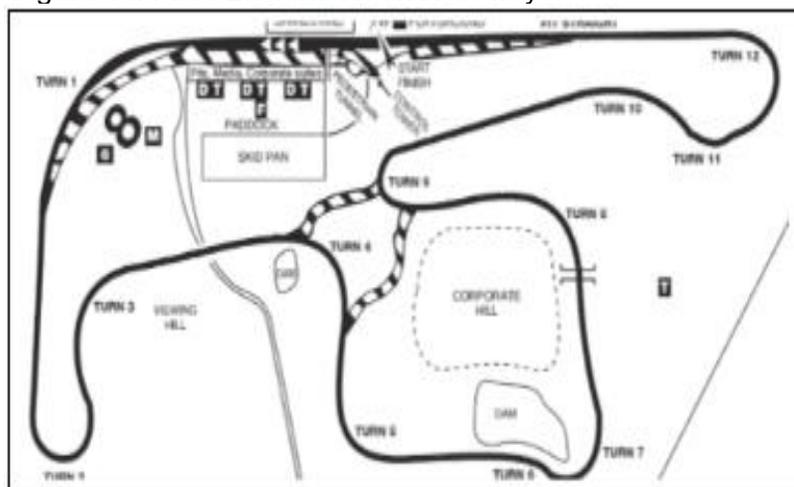
Otra referencia en términos de aerodinámica para tener en cuenta es el Mitsubishi Lancer mostrado en la figura 42 que compitió en la pista de Eastern Creek Gateway en Australia vista en la figura 43 donde se evidencio los tiempos de un antes y un después solo contando con un splitter y un piso plano.

Figura 42. Mitsubishi Lancer



Fuente: Michaelhiscoe, Mitsubishi Lancer. [En línea] 2016. Citado [11–Abr-2016] Disponible en: <http://www.michaelhiscoe.com/2011/09/how-to-make-a-carbon-fibre-racecar-splitter/>

Figura 43. Pista Eastern Creek Raceway



Fuente: Nathan Morcom, Eastern Creek. [En línea] 2016. Citado [13–Abr-2016] Disponible en: <http://www.nathanmorcom.com/december-11-2011-eastern-creek-6-hour-production-touring-car-race-report.html>

Según la practicas del Mitsubishi Lancer, después de colocar el splitter y piso plano mostrados en las figuras 44 y 45 paso a girar de 0.8 a 1 segundo más rápido por vuelta con respecto a los tiempos del vehículo sin modificaciones aerodinámicas.

También es cierto que según la telemetría del Mitsubishi Lancer en la curva uno del circuito donde es una curva a alta velocidad, arrojó como resultado un aumento en promedio de 5 a 6km/h más de velocidad que sin los componentes aerodinámicos, esto quiere decir que el Splitter y el piso plano si cumplen una función importante en el vehículo.

Figura 44. Splitter del Mitsubishi Lancer



Fuente: Michaelhiscoe, Splitter. [En línea] 2016. Citado [11–Abr-2016] Disponible en: <http://www.michaelhiscoe.com/2011/09/how-to-make-a-carbon-fibre-racecar-splitter/>

Figura 45. Piso plano del Mitsubishi Lancer



Fuente: Michaelhiscoe, Piso plano. [En línea] 2016. Citado [11–Abr-2016] Disponible en: <http://www.michaelhiscoe.com/2011/09/how-to-make-a-carbon-fibre-racecar-splitter/>

En términos de aerodinámica, el Mitsubishi Lancer da un punto de referencia que experimentalmente con piezas no muy sofisticadas y sin nada más que colocando dos componentes aerodinámicos es posible mejorar los tiempos en pista, pero para conseguir una mejor eficiencia de estos componentes.

3.4 ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA COMPETENCIA

El cuadro 4 mostrado a continuación, hace referencia a los tiempos marcados por el Renault Twingo 2, Honda Civic y el Ford Fiesta en el trazado dos mostrado en la figura 19.

Cuadro 4. Comparación de tiempos

Vehículo	Tiempo de vuelta
Renault Twingo 2	01:19.632
Honda Civic	01:22.289
Ford Fiesta actual	01:24.363

Analizando el cuadro anterior de comparación de tiempos de vuelta, el vehículo con mejor tiempo es el Renault Twingo 2 con un margen de aproximadamente 3 segundos al Honda Civic y la diferencia con el Ford Fiesta crece hasta los 5 segundos, esta diferencia en tiempos se debe a las especificaciones del Renault Twingo 2 analizadas en el numeral 3.1.

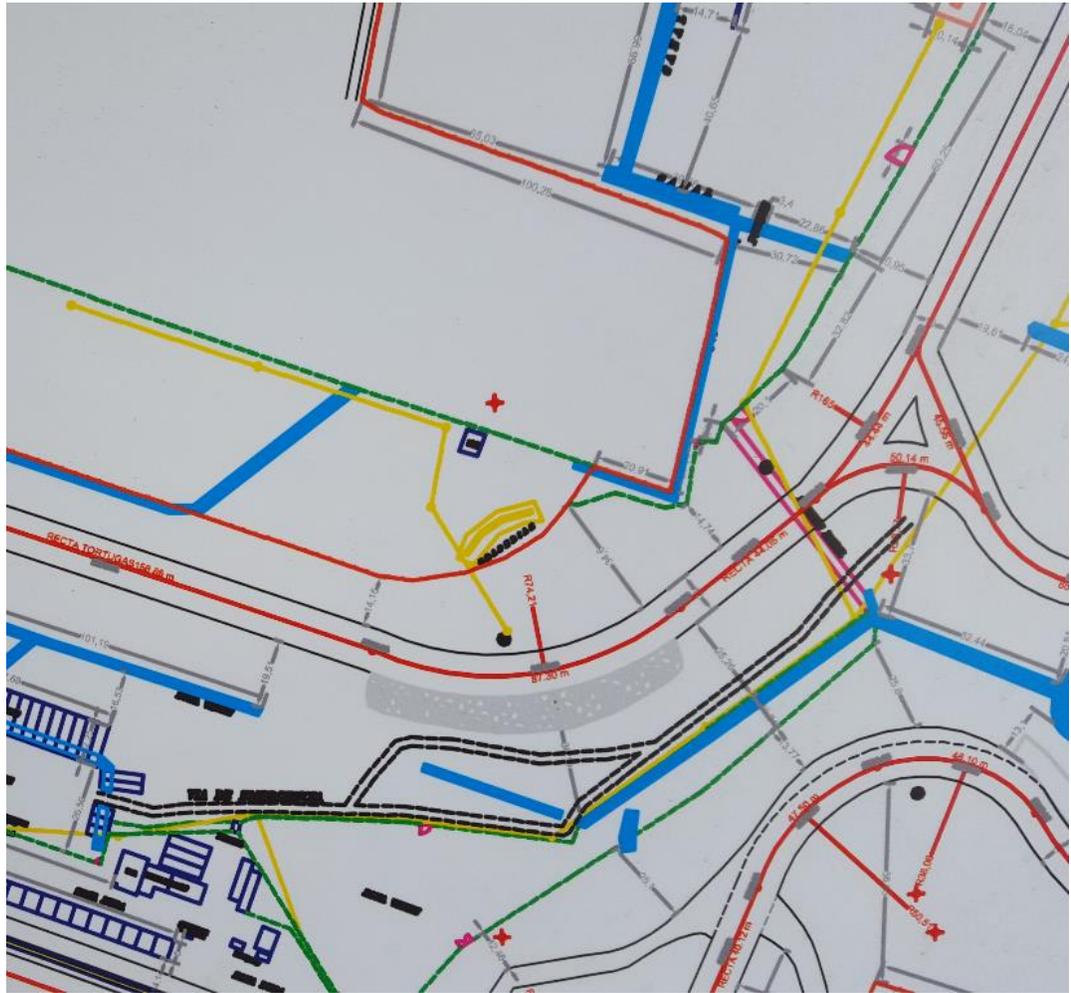
El cuadro 5 muestra la velocidad en curva que desarrollan los vehículos Mitsubishi Lancer en circuito Eastern Creek Raceway y el Ford Fiesta en el autódromo de Tocancipá.

Cuadro 5. Comparación de velocidades

Vehículo	Velocidad en curva
Lancer sin paquete aerodinámico	160 km/h
Lancer con paquete aerodinámico	166km/h
Ford Fiesta actual	128 km/h

Como se observa en el cuadro 5 el Mitsubishi Lancer gano de 5 a 6km/h en la primera curva del circuito Eastern Creek Raceway por los efectos del paquete aerodinámico instalado, el Ford Fiesta mantiene una velocidad promedio de 128km/h en la curva de Valientes mostrada en la gráfica 12 con un radio de 74,21m y longitud de 87,3m.

Grafica 12. Curva de Valientes



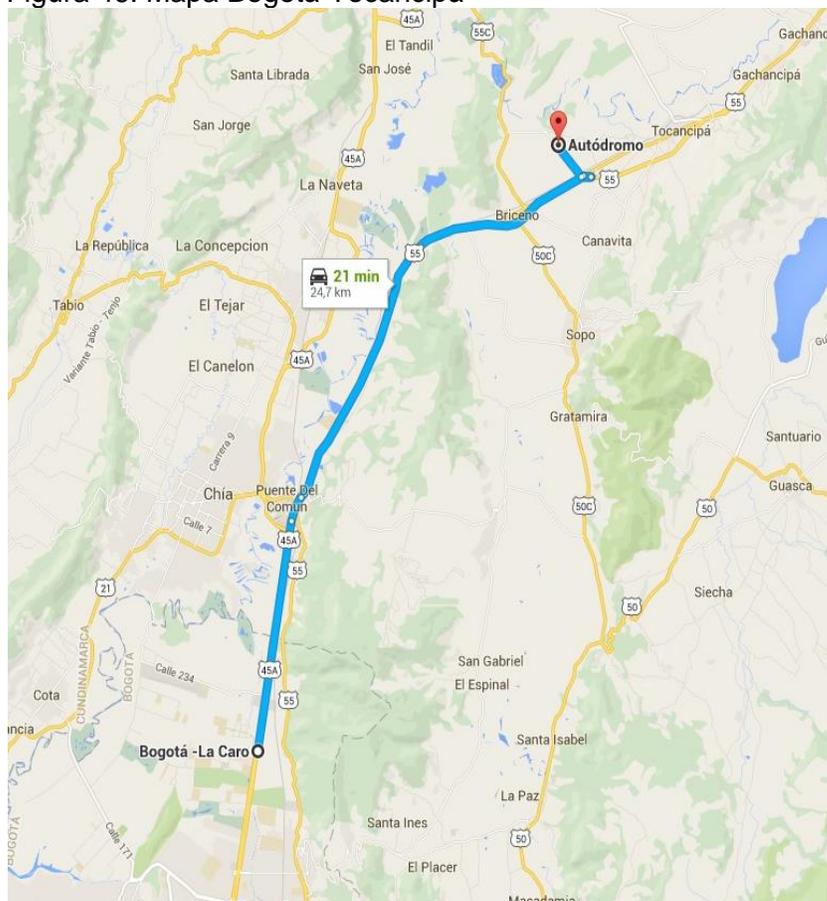
4. PARÁMETROS BÁSICOS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

En este capítulo se encuentra lo relacionado con las variables principales que interactúa el Ford Fiesta.

Para tener un concepto del autódromo de Tocancipá, en el numeral 1.8, se muestra los trazados en las figuras 18 a 22, donde se realiza las diferentes válidas del campeonato CNA.

Es claro entender que el escenario donde compite el Ford Fiesta MRT1 es en el autódromo de Tocancipá ubicado a 25 kilómetros de Bogotá saliendo por la Autopista Norte vía Tunja, n la figura 46 se muestra el mapa Bogotá-Tocancipá.

Figura 46. Mapa Bogotá-Tocancipá



Fuente: Google, Mapas. [En línea] 2016. Citado [29 –Ene-2016] Disponible en: <https://www.google.com/maps/dir/Bogot%C3%A1,+Colombia/Tocancip%C3%A1,+Cundinamarca,+Colombia/@4.8355823,-74.1315443,11z/data=!3m1!4m1!4m13!1m5!1m1!1s0x8e3f9bfd2da6cb29:0x239d635520a33914!2m2!1d-74.072092!2d4.7109886!1m5!1m1!1s0x8e4073c05feeca95:0x25555067e0bb3e14!2m2!1d-73.9108229!2d4.965002!3e0>

Las condiciones climáticas en el sitio tienen propiedades expuestas en el cuadro 6.

Cuadro 6. Información meteorológica

Temperatura	
Máxima	24°C
Mínima	1,5°C
Promedio	12°C
Velocidad del viento	12km/h
Presión Atmosférica	101.351 kPa
Densidad del aire	
A nivel del mar	1.2931 kg/m ³
Tocancipá a 2606m	0.9484kg/m ³

La telemetría es el estudio práctico de las variables respecto a la posición de un vehículo donde las variables esenciales son la velocidad y aceleración, con los datos obtenidos de la telemetría se puede evaluar la velocidad que alcanza el Ford Fiesta en las diferentes curvas del autódromo donde principalmente se evaluará la curva “Valientes” (curva más rápida del circuito) mostrada anteriormente en la gráfica 12, esta curva da una referencia para comparar las alternativas de diseño.

En la curva “Valientes” la velocidad por el GPS es de 128.2km/h, esta velocidad es constante durante toda la curva y es un punto de referencia para saber cuánto tiempo se puede ganar con un paquete aerodinámico, por esto se tomó como referencia la curva de Valientes debido que las otras curvas del trazado tienen un radio variable, son de menor velocidad y no son de velocidad constante. A continuación, en la figura 47 se muestra el área frontal del Ford Fiesta.

Figura 47. Área frontal del Ford Fiesta



Fuente: Keciwi, Ford Fiesta. [En línea] 2016. Citado [7-Jul-2016] Disponible en: <http://keciwi.com/ford-fiesta-st-2016.html>

Los datos de fábrica del Ford Fiesta como peso y medidas están especificados en la ficha técnica del ANEXO A. El coeficiente de arrastre del vehículo está vinculado al área frontal, la cual se multiplica el alto y ancho del vehículo menos las cavidades sabiendo que no es un rectángulo perfecto.

El área frontal es hallada multiplicando el área total de vehículo que es la base 1,722m por la altura 1,473m dando una figura geométrica equivalente a un rectángulo y la operación es de la siguiente manera:

$$\text{Área total} = 1,722m * 1,473m$$

$$\text{Área total} = 2,536m^2$$

A el área total se resta un área de cavidades equivalente a las partes donde no existe carrocería que es en las esquinas superiores con forma de triángulos con una base de 0,344m y una altura de 0,454m, adicionalmente en la parte baja entre las ruedas existe otro espacio sobrante que es restado al área total con forma de rectángulo con una base de 1,332m y una altura de 0,2532m dando un área mostrada a continuación.

$$\text{Área de cavidades} = ((0,334m * 0,454m) + (0,2532m * 1,332m))$$

$$\text{Área de cavidades} = 0,488m^2$$

La operación para el área frontal es la resta del área total menos el área de cavidades de esta manera:

$$\text{Área frontal} = (\text{Área total}) - (\text{Área de cavidades})$$

$$\text{Área frontal} = (1,722m * 1,473m) - ((0,334m * 0,454m) + (0,2532m * 1,332m))$$

$$\text{Área frontal} = 2,047m^2$$

“Para un ala siempre se toma la superficie de planta, ya que es así como se expresan los coeficientes, pero en el caso de un vehículo entero, lo normal es utilizar el área frontal tanto para sustentación como para resistencia.”²

La aerodinámica de fábrica del Ford Fiesta es útil para uso cotidiano y poco efectivo en competición, aunque existen piezas de fábrica que en la competición son eficientes como el techo, el vidrio panorámico, las puertas laterales y trasera.

²MC BEATH. Simón, Aerodinámica del automóvil de competición. BARCELONA: CEAC. 2005. Pág. 27

Con el fin de tener una base de comparación es necesario hallar los coeficientes de arrastre y sustentación con los datos obtenidos de la simulación las siguiente formula:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

Donde:

a= Área frontal del vehículo

v= Velocidad relativa del aire en m/s

ρ = Densidad del aire en Tocancipá

F= Fuerza de arrastre o sustentación suministrada por el software de simulación

Cx= Coeficiente de arrastre(Cx) o de sustentación(Cs).

Para este caso el área sería de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 26,38m/s equivalente a 95km/h, la densidad del aire sería 0,9484kg/m³ la fuerza de arrastre con valor de 471,61N y la fuerza de sustentación con valor de -91,67N, con estos datos se puede determinar los coeficientes del vehículo como se muestra a continuación:

$$C_x = \frac{471,61N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (26,38 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_x = 0,698$$

$$C_s = \frac{-91,67N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (26,38 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = -0,136$$

Los coeficientes afectan directamente a las fuerzas del aire que el vehículo está sometido, por tanto, cualquier cambio mínimo en la trayectoria o velocidad del aire cambia la distribución de presión, generando así que cambie el arrastre y la sustentación del vehículo como se muestra en la tabla 6 y 7.

Tabla 6. Coeficiente de arrastre con respecto a la velocidad

Velocidad (km/h)	Fuerza de arrastre (N)	Coeficiente de arrastre
95	471,61	0,698
116	699,87	0,694
128	848,72	0,692

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.

Tabla 7. Coeficiente de sustentación con respecto a la velocidad

Velocidad (km/h)	Fuerza de sustentación negativa (N)	Coeficiente de sustentación
95	-91,67	-0,136
116	-140,45	-0,139
128	-165,06	-0,135

Nota: 1-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

La fuerza de sustentación negativa se puede expresar en masa con la siguiente fórmula:

$$m = \frac{F}{g}$$

$$m = \frac{-140.45N}{9,81 \text{ m/s}^2} = -14,31kg$$

Analizando los coeficientes de arrastre y sustentación de las tablas 6 y 7 se puede evidenciar que a medida que la velocidad y la fuerza aumentan, existe una disminución de los coeficientes. Para el caso del arrastre, el Cx va disminuyendo y para el caso de la sustentación entre 116km/h y 128km/h no hay una diferencia considerable en la fuerza de sustentación, por esto el Cs en este punto ha disminuido.

Por medio de los coeficientes se puede tener un punto de comparación para las alternativas de diseño con el fin de determinar cuánto arrastre y sustentación genera las diferentes clases de splitter, piso plano y difusores a evaluar. Se estimarán valores en la tabla 8 de un modelo a desarrollar en relación con el modelo actual.

Para las alternativas de diseño se debe tener en cuenta que a medida que aumente la fuerza de sustentación, la fuerza de arrastre debe aumentar. Por lo cual las alternativas de diseño se escogerán el diseño que genere mayor fuerza de sustentación negativa sin que aumente considerablemente la fuerza de arrastre.

Tabla 8. Objetivo de resultados

	Modelo actual	Modelo a diseñar
Coeficiente de arrastre	0,698	1,047
Coeficiente de sustentación	-0,136	0,136

En conclusión, el coeficiente de arrastre se espera que empeore con relación con el modelo actual como máximo un 50%, dando un valor esperado de 1,047. En la sustentación, se espera una mejoría mínima del 200% generando una sustentación negativa, manteniendo el vehículo estable. El valor en el modelo a diseñar se considera de 0,136. El diseño final deberá aumentar la estabilidad del Ford Fiesta haciendo que en cada vuelta mejore de 0,5 a 1 segundo por vuelta. Planteando una hipótesis, el modelo a diseñar en el proyecto debe bajar el tiempo de vuelta, haciendo de 0.5 a 1 segundo mejor por vuelta con el paquete aerodinámico.

5. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS DE DISEÑO

En este capítulo se analizará las alternativas planteadas para los componentes del paquete aerodinámico donde cada alternativa estará determinada con las siguientes condiciones.

El Ford Fiesta tiene una altura sobre el suelo de 14,7cm, la velocidad del vehículo se tomará de 116km/h debido que es la velocidad promedio que corre el Ford Fiesta, la temperatura ambiente se asumirá de 12°C y la presión de 101,351kPa generando así, que el aire tenga una densidad de 0,9484kg/m³.

Primero que todo, es necesario analizar la parte frontal del Ford Fiesta donde el splitter es el encargado de dividir el flujo de aire mientras que, el piso plano conduce el flujo a través del vehículo sin restricción, por último, el flujo de aire encuentra el difusor el cual genera presión negativa en la parte trasera del vehículo.

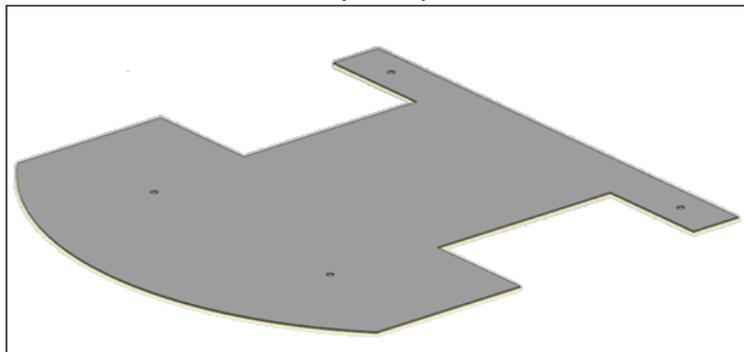
5.1 SPLITTER

La primera restricción que tiene el flujo de aire en el vehículo es el splitter, este divide el flujo y genera sustentación negativa, para ver la diferencia de diseño, se plantearon tres opciones las cuales son dos splitter planos, uno de 1cm y otro 4cm más bajo que el splitter de 1cm, por ultimo un splitter en forma de túnel.

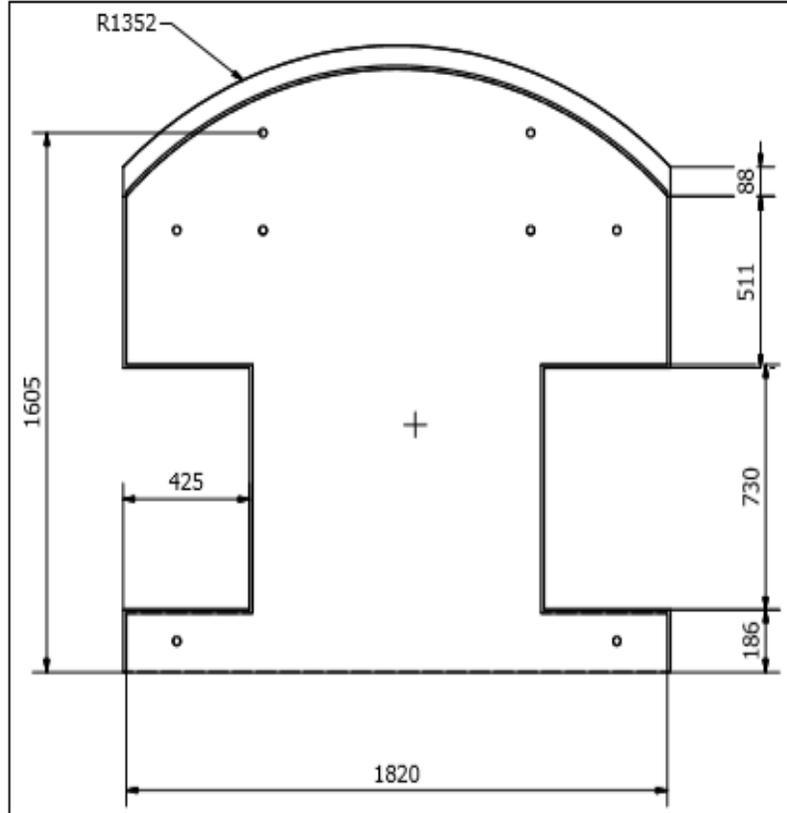
El splitter en su diseño, el ancho del mismo debe ser el ancho de la parte más ancha del vehículo, en la parte frontal solo debe sobresalir 6cm por delante del parachoques y en la parte trasera debe ir hasta terminar el paso de la rueda delantera donde se encuentra el pilar A, el espesor será de 1cm llegando a un máximo de 5cm.

5.1.1 Splitter plano de 1cm. Esta pieza con altura de 1cm reduce la altura sobre el suelo a 13,7cm y sus dimensiones vistas en las gráficas 13 a 15 cumple la función de crear sustentación negativa con una forma simple de fabricar.

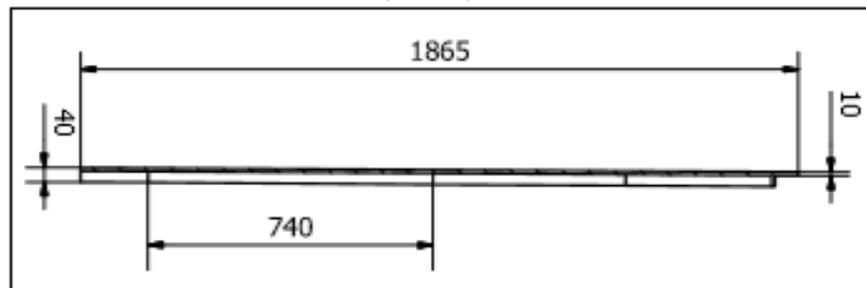
Gráfica 13. Vista 3D del splitter plano de 1cm



Gráfica 14. Vista inferior del splitter plano de 1cm

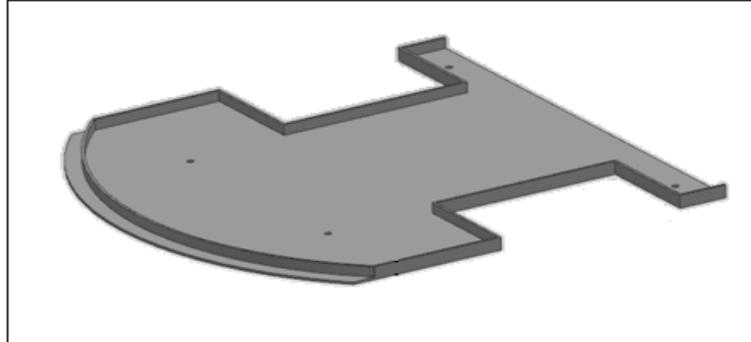


Gráfica 15. Vista frontal del splitter plano de 1cm

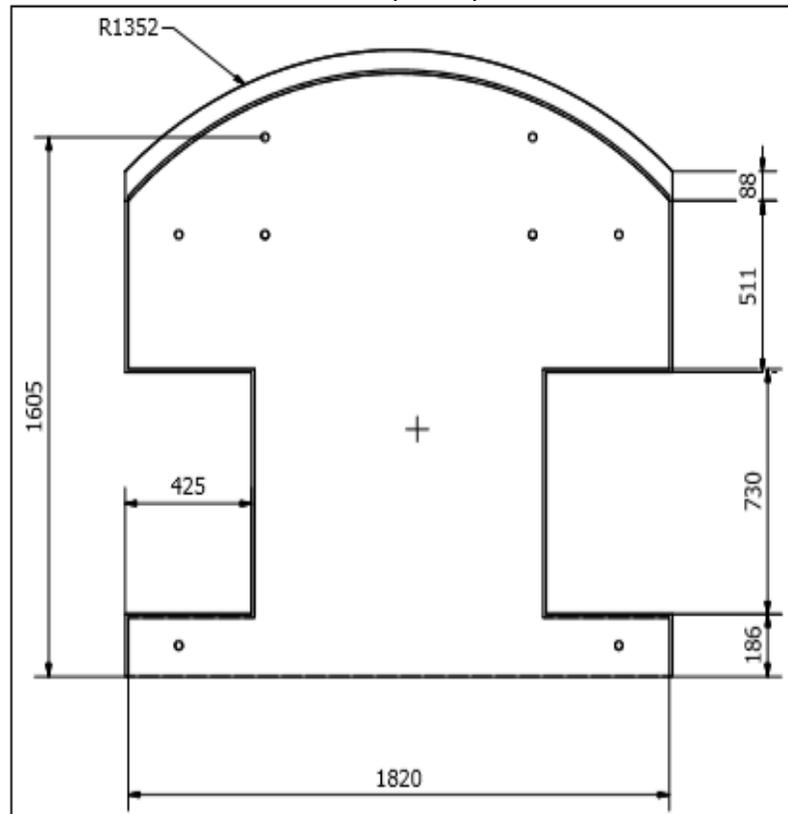


5.1.2 Splitter plano de 4cm. El splitter plano de 4cm es una modificación del splitter anterior con la diferencia que es 4 centímetros más bajo, llegando a una altura total sobre el suelo de 9,7cm y adicionalmente tiene una cara protectora en la parte superior para que el flujo no pase por encima del splitter a la parte baja del vehículo, sus dimensiones están expuestas en las gráficas 16 a 18, según la teoría entre menos área tenga por debajo del vehículo, se generará más fuerza de sustentación.

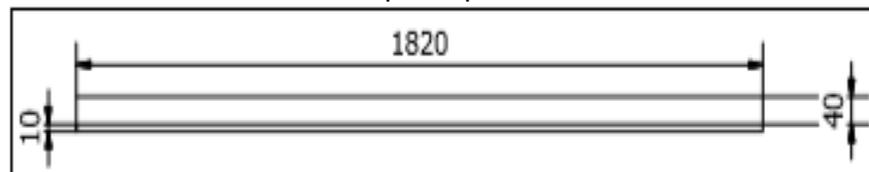
Gráfica 16. Vista 3D del splitter plano de 4cm



Gráfica 17. Vista inferior del splitter plano de 4cm

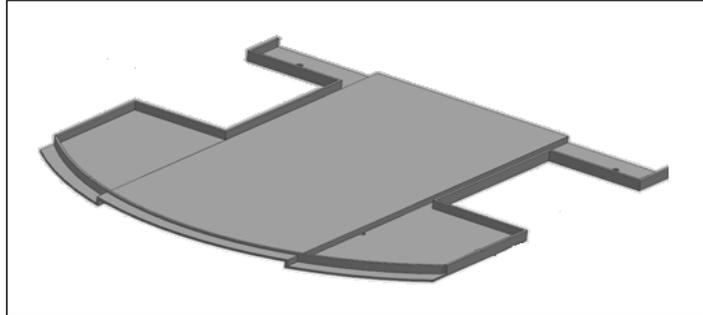


Grafica 18. Vista frontal del splitter plano de 4cm

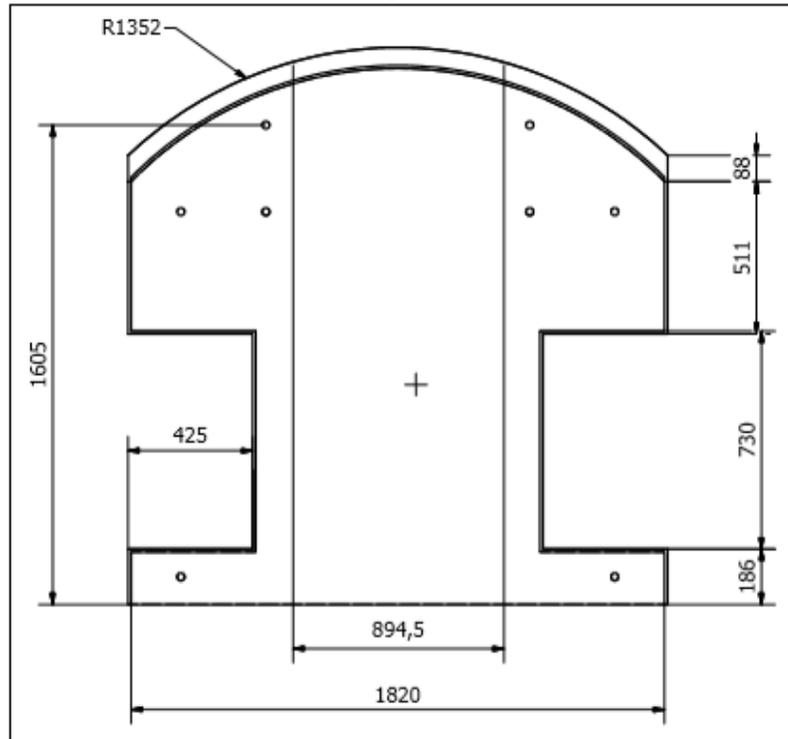


5.1.3 Splitter en forma de túnel. La variante que tiene esta pieza es que las puntas del vehículo son más bajas que en el medio, llegando a una altura total en los extremos del splitter de 9,7cm y la parte central la altura total sobre el suelo es de 13,7cm como se muestra en las gráficas 19 a 21 haciendo que se canalice el flujo de aire en la parte central baja del vehículo.

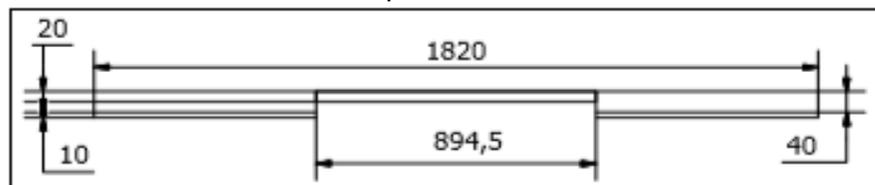
Gráfica 19. Vista 3D del splitter en forma de túnel



Gráfica 20. Vista inferior del splitter en forma de túnel



Gráfica 21. Vista frontal del splitter en forma de túnel



5.2 PISO PLANO

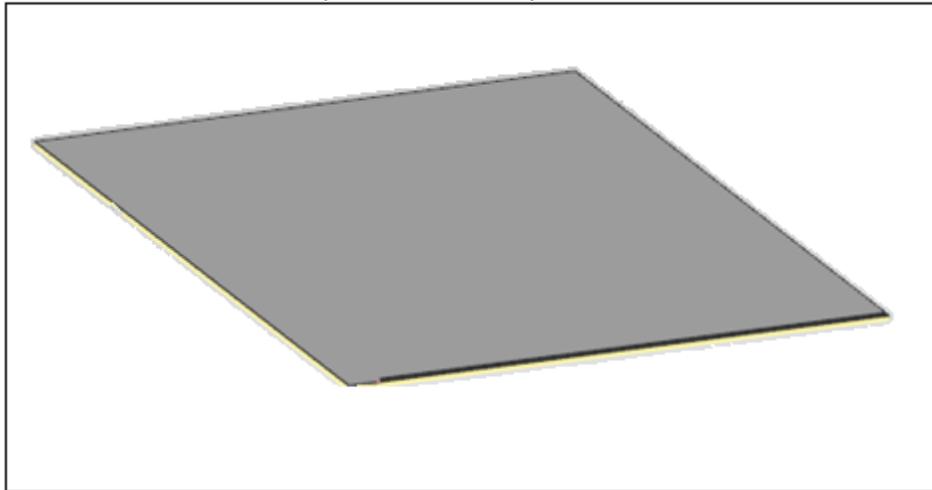
Cuando el flujo de aire pasa a través de todo el splitter, se encuentra con el piso plano el que cumple la función de canalizar el flujo en la parte media del vehículo hasta el difusor.

Las limitaciones del piso plano están determinadas por el ancho del vehículo y en su largo esta entre el pilar A y el pilar C que son los pasos de las ruedas. Las opciones de piso plano son un piso totalmente plano, un piso curvo y un piso inclinado.

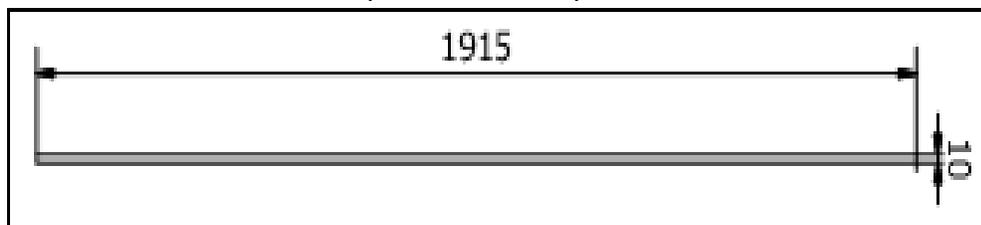
El espesor mínimo de las diferentes alternativas de piso plano es de 1 cm, hasta los 5cm. La altura mínima sobre el suelo de 9,7cm y la altura máxima es de 13,7cm.

5.2.1 Piso totalmente plano. Este piso tiene la característica de ser lo más paralelo al suelo con una altura sobre el suelo de 13,7cm, de esta manera genera menos perdida por lo que el flujo pasa sin ninguna restricción, sus dimensiones se muestran a continuación en las gráficas 22 a 24.

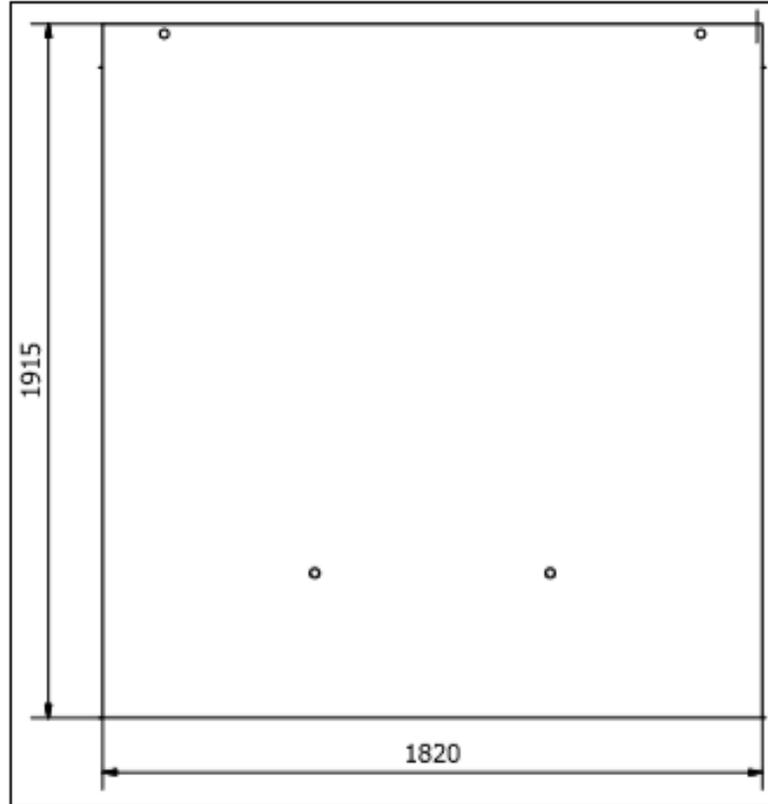
Gráfica 22. Vista 3D del piso totalmente plano



Gráfica 23. Vista lateral del piso totalmente plano

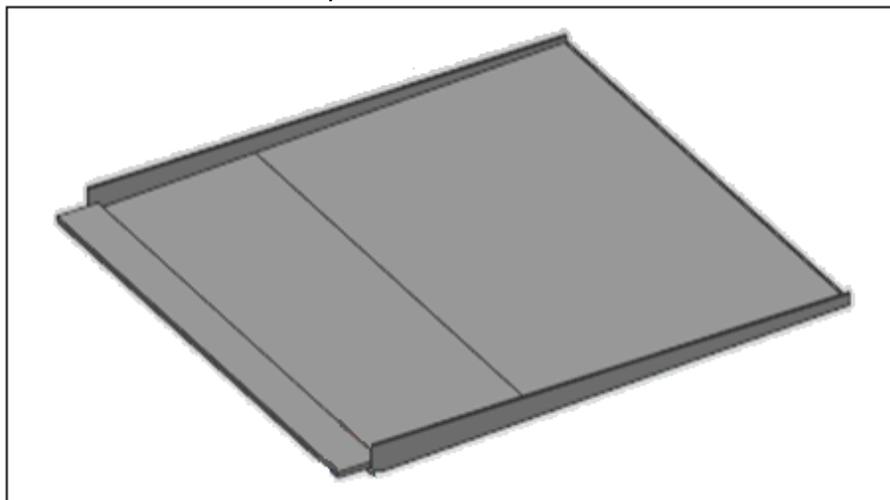


Gráfica 24. Vista inferior del piso totalmente plano

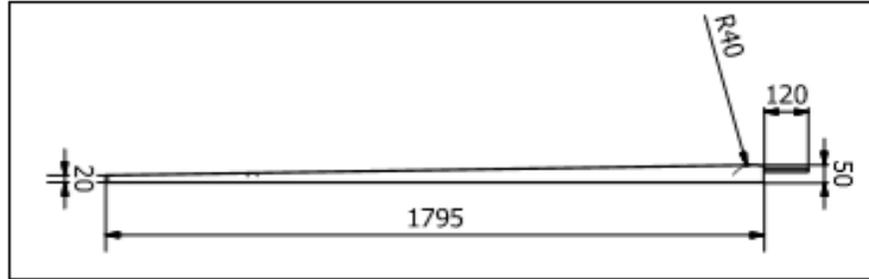


5.2.2 Piso curvo. Este tipo de piso tiene el punto más bajo en la sección baja del pilar A, a 9,7cm de altura sobre el suelo, llegando a la parte final a 13,7cm de altura sobre el suelo, las dimensiones se muestran en las gráficas 25 a 27. Este diseño es usado con el fin de generar menos presión en la parte baja del vehículo en consecuencia, se crea más fuerza de sustentación negativa.

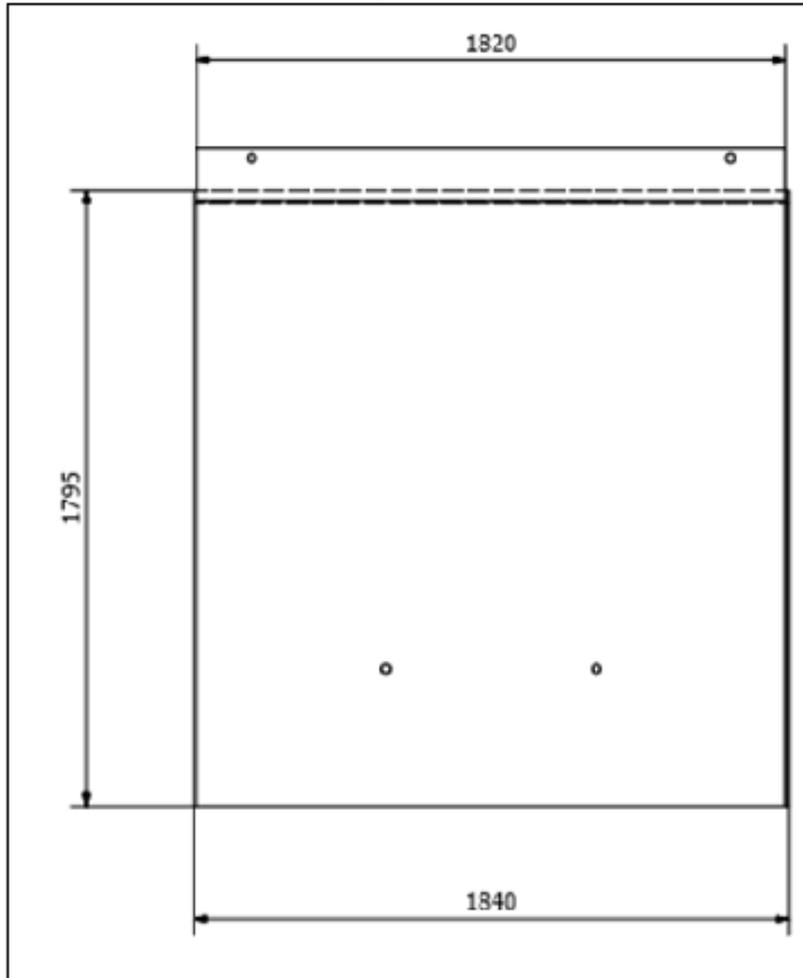
Gráfica 25. Vista 3D del piso curvo



Gráfica 26. Vista lateral del piso curvo

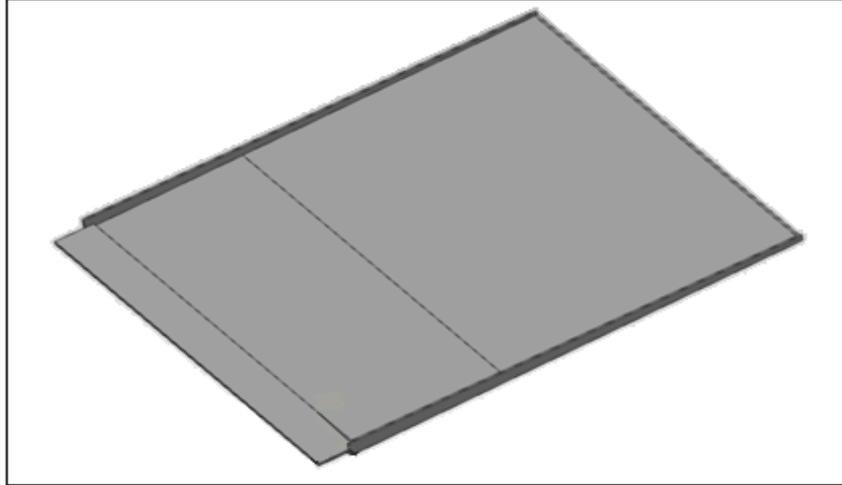


Gráfica 27. Vista inferior del piso curvo

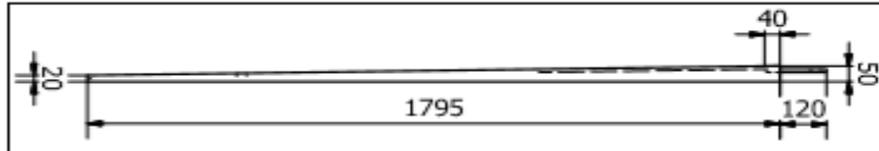


5.2.3 Piso inclinado. Para esta opción, la elevación inicia en la parte baja del pilar A, a una altura sobre el suelo de 9,7cm, llegando a la parte final una altura sobre el suelo de 13,7cm, sus dimensiones se muestran en las gráficas 28 a 30, esta alternativa de piso plano genera que el flujo no tenga un cambio violento de dirección, en consecuencia, disminuye la presión en ese punto.

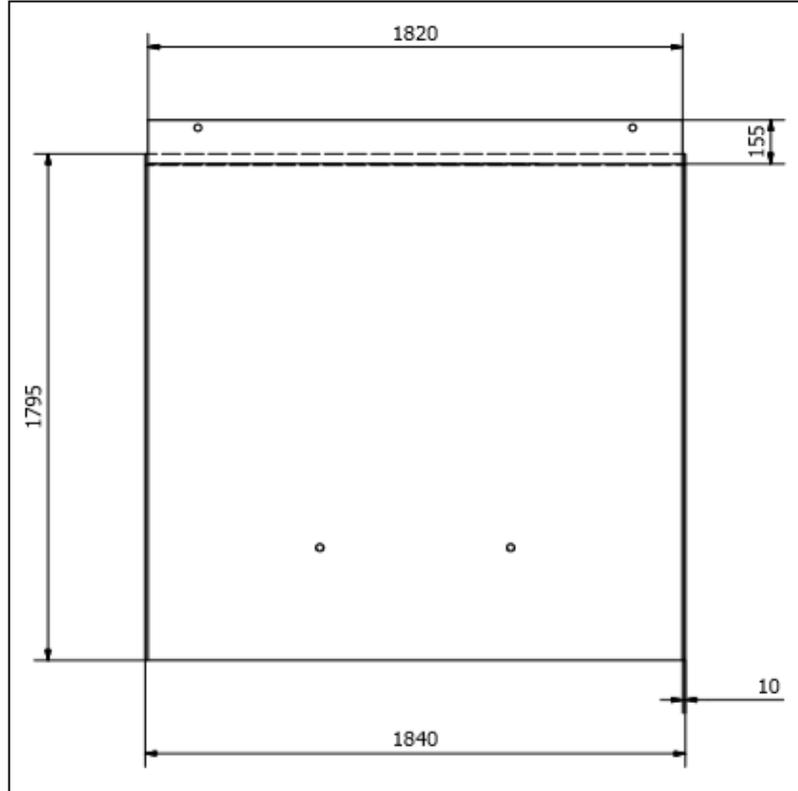
Gráfica 28. Vista 3D del piso inclinado



Gráfica 29. Vista lateral del piso inclinado



Gráfica 30. Vista inferior del piso inclinado



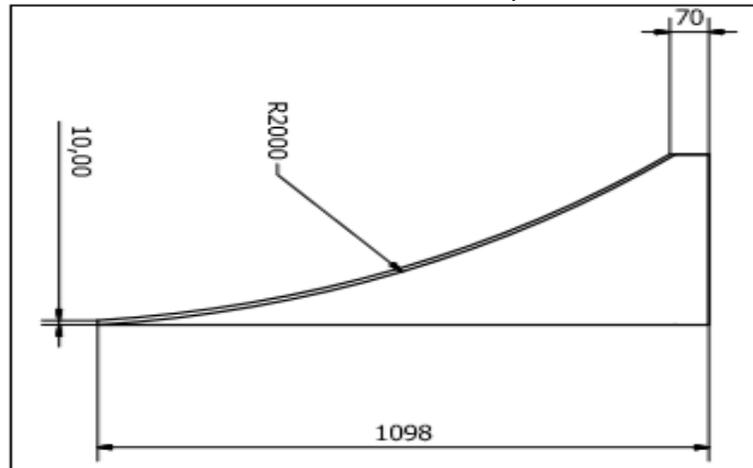
5.3 DIFUSOR

Con el fin de que el aire que recorre por debajo del vehículo no choque y genere turbulencia es necesario colocar un difusor donde todas las opciones quedan a una altura sobre el suelo de 13,7cm, con esta pieza no solo se completa el paquete aerodinámico, también genera distribución de presión jugando con el área (espacio entre aletas) y la velocidad del aire. Se recomienda que el difusor tenga un mínimo de 10° de inclinación en su curvatura.

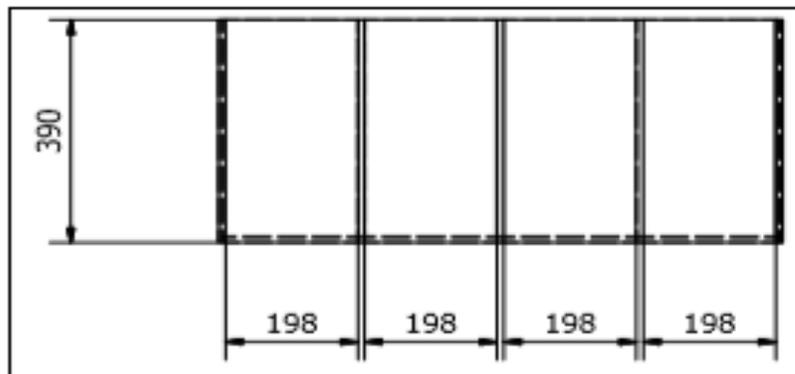
El área de trabajo del difusor en su ancho va entre los pasos de las ruedas traseras. Mientras que su largo va después del pilar C hasta 6cm después del parachoques trasero.

5.3.1 Difusor Simple. El difusor simple cumple la función de canalizar el flujo de aire lo más suave posible hacia la parte trasera del vehículo, cuenta con cinco aletas separadas simétricamente que ayudan a reducir el arrastre, en las gráficas 31 a 33 se muestra en detalle el difusor.

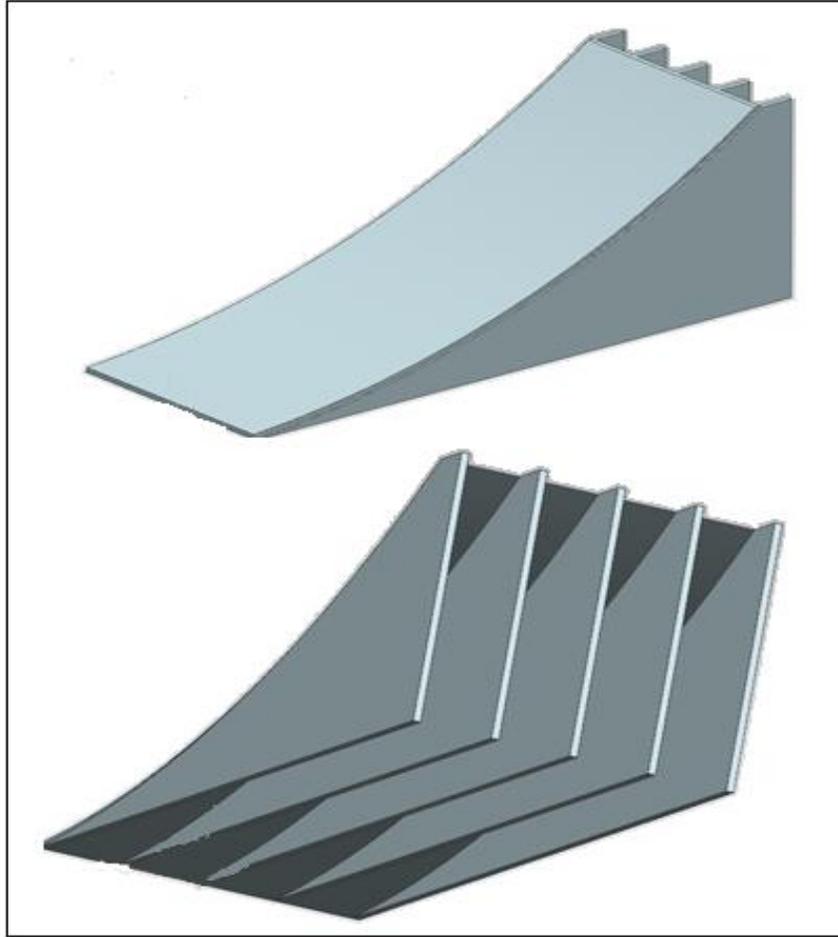
Gráfica 31. Vista lateral del difusor simple



Gráfica 32. Vista trasera del difusor simple

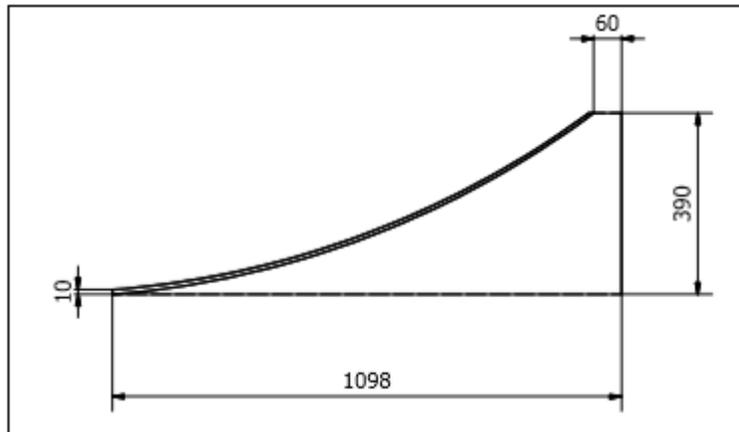


Gráfica 33. Vista 3D del difusor simple

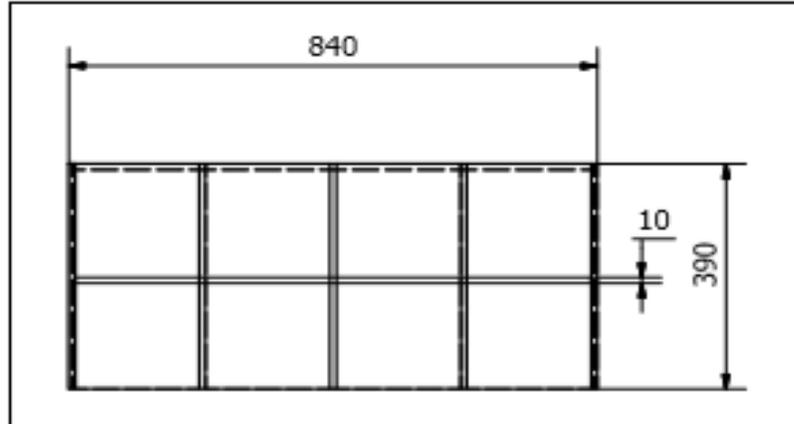


5.3.2 Doble difusor. Se le llama doble difusor al difusor equipado con una aleta paralela a la curvatura que realiza el difusor visto en las gráficas 34 a 36, esta aleta actúa similar a un alerón generando mayor carga aerodinámica.

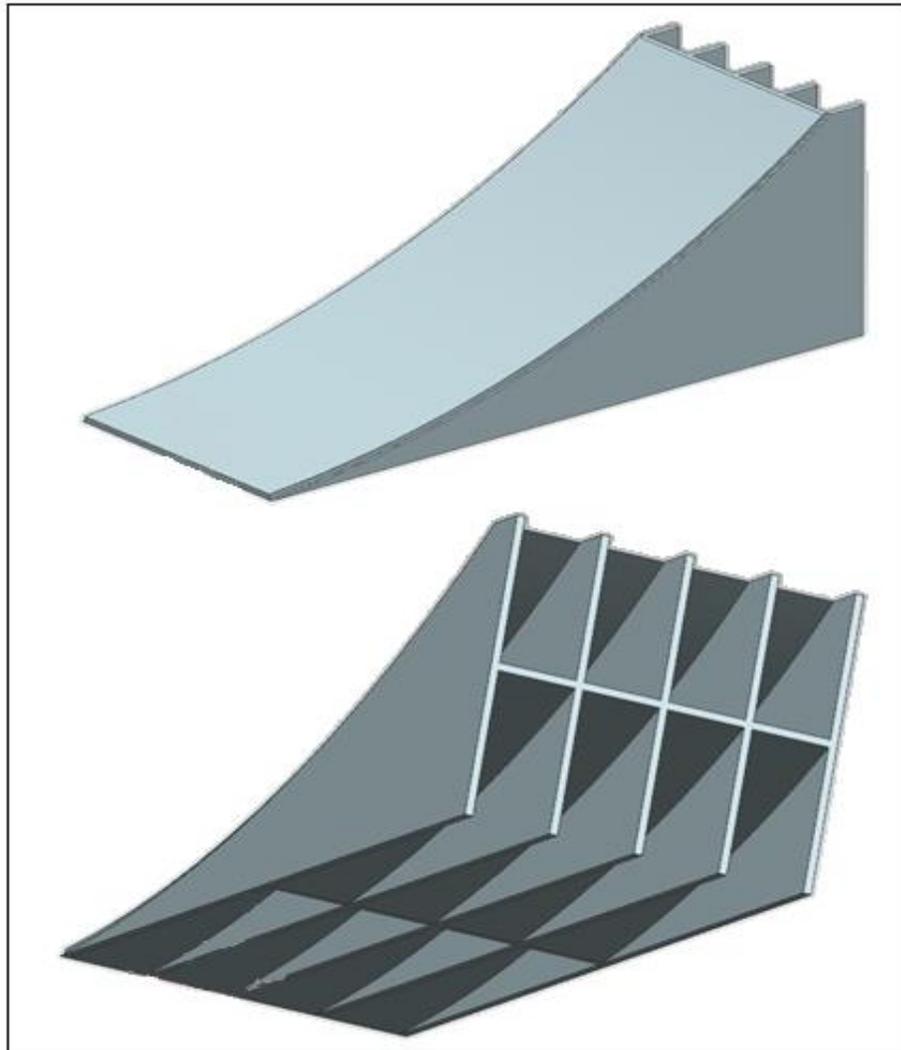
Gráfica 34. Vista lateral del doble difusor



Gráfica 35. Vista trasera del doble difusor



Gráfica 36. Vista 3D del doble difusor



5.4 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Teniendo las diferentes opciones de splitter y piso plano, se plantearon las diferentes alternativas mostradas en el cuadro 7.

Cuadro 7. Alternativas de splitter y piso plano

Alternativa	Splitter			Piso		
	1 cm	Túnel	4 cm	Plano	Curvo	Inclinado
Uno	x			x		
Dos	x				x	
Tres		X			x	
Cuatro			X			x

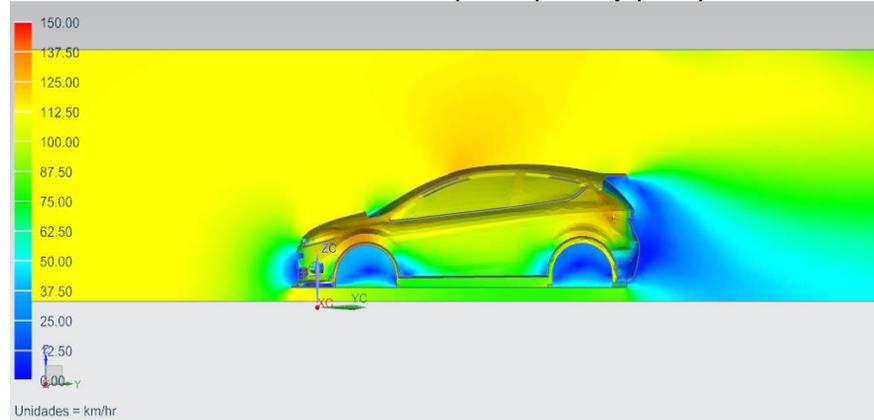
Según el cuadro anterior, para la alternativa uno se contempla a partir de la construcción más sencilla y funcional, en la alternativa dos se cambió el piso plano por un piso curvo con el fin de modificar la presión debajo del vehículo, no se tomó la opción de splitter de 1 cm y piso inclinado puesto que no habría una inclinación en la parte media del piso plano.

En la alternativa tres el splitter tiene forma de túnel con el fin de distribuir la presión en la parte media del vehículo, adicionalmente se planteó un piso curvo, para este tipo de splitter no es posible colocar un piso plano ni piso inclinado porque al empalmar estos dos elementos, no hay una superficie plana o redondeada en la intersección de los dos.

Para la alternativa cuatro se contemplan un splitter 4cm más bajo que el primer splitter y un piso inclinado, con el fin que a la salida del splitter no se genere turbulencia por el diferencial de área. Con este splitter 4cm más bajo, no es posible colocar el piso curvo ni el piso plano puesto que en la unión de estos dos elementos se necesita que sea lo más suave posible.

5.4.1 Alternativa uno. splitter plano y piso plano. En esta sección se analizan los componentes aerodinámicos: splitter y piso plano. En las gráficas 37 a 43, se evidencia como interactúa el Ford Fiesta con un splitter plano de 1cm y un piso totalmente plano.

Gráfica 37. Velocidad del aire de splitter plano y piso plano

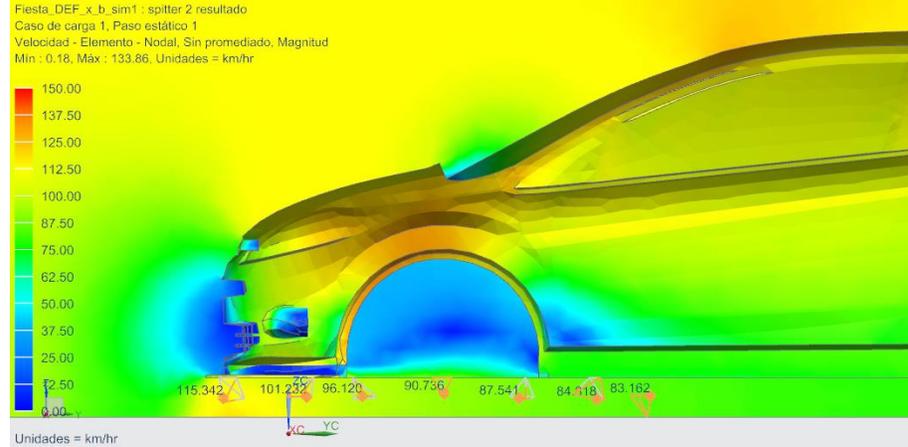


Como se observa en la gráfica 37 en la parte delantera y trasera, el flujo de aire tiende a cero, en la parte baja actúa el paquete aerodinámico de la alternativa uno con respecto a la velocidad del aire y en la parte superior genera mayor velocidad del aire.

En la gráfica 38 se muestra un detalle del morro donde es evidente un estancamiento de aire de color azul en el frente de la defensa delantera debido a que el modelo CAD es un sólido y no tiene entradas ni salidas de aire, también se presenta estancamiento de aire en frente del vidrio panorámico, en el paso de las ruedas y detrás de ellas.

Para todas las alternativas de diseño se analizan dos partes principales del vehículo. Una es donde el splitter separa el flujo, allí se muestra una velocidad de 115,342km/h y va disminuyendo la velocidad a medida que pasa por la parte baja del vehículo. La segunda es bajo el pilar A, donde se une el piso plano con el splitter. La velocidad del aire tiene un valor de 84,818km/h.

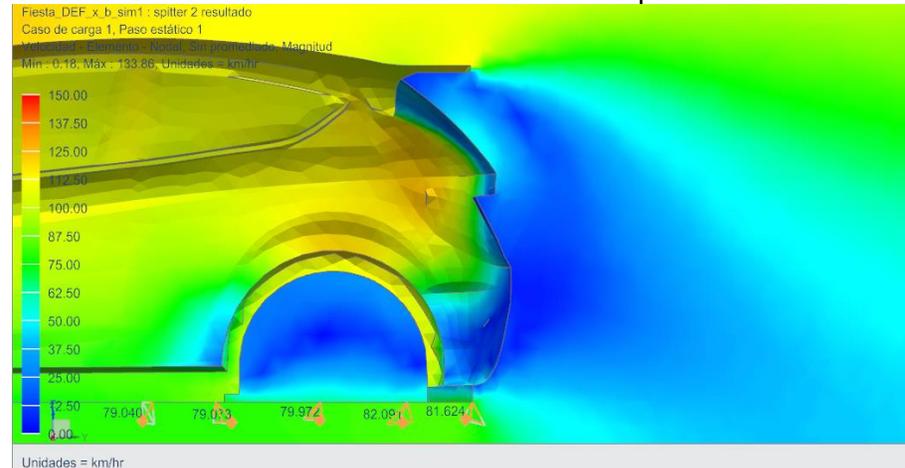
Gráfica 38. Detalle de la velocidad del aire en el morro



Adicionalmente, en la gráfica 39 se muestra un detalle de la parte trasera del vehículo, como es un modelo hatchback el flujo de aire genera turbulencia haciendo la velocidad del aire sea baja y haya menos presión dinámica.

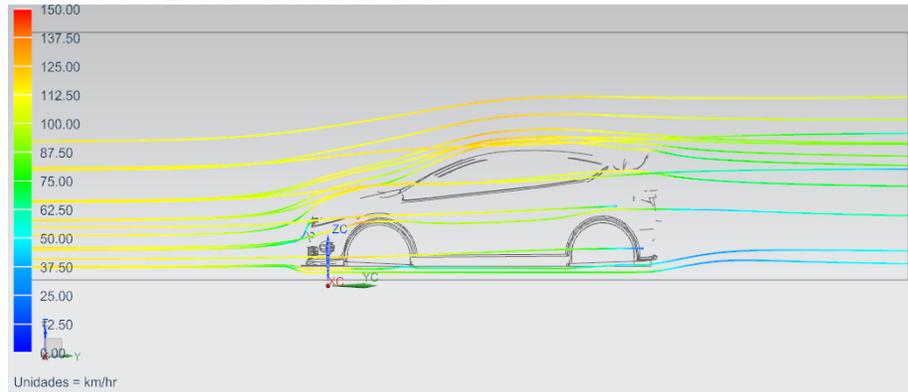
En la parte trasera del vehículo se aprecia que bajo el pilar C, donde termina el piso plano existe una velocidad del aire de 79,073km/h.

Gráfica 39. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera



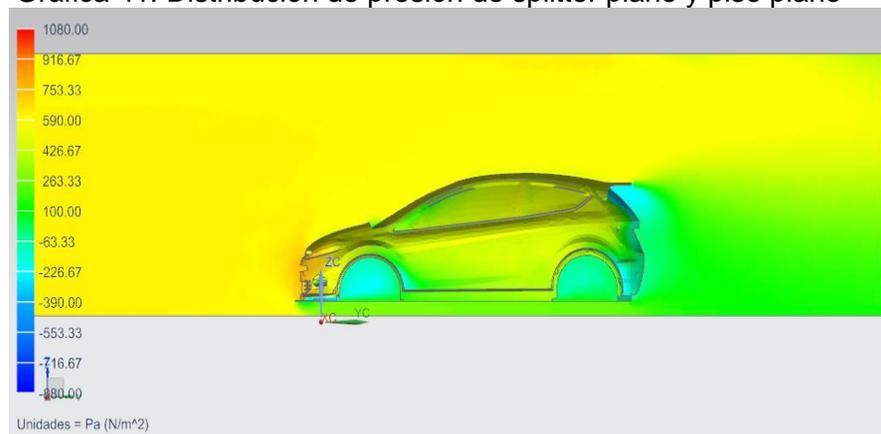
La gráfica 40 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en la primera alternativa.

Gráfica 40. Líneas aerodinámicas



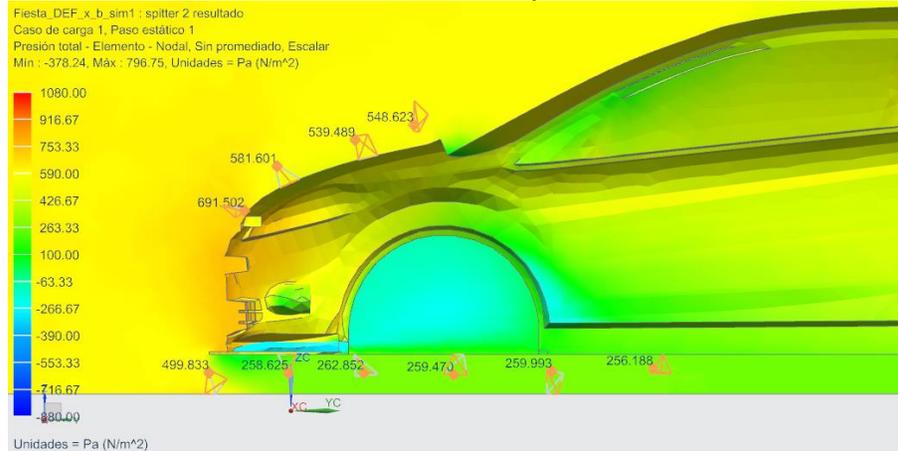
La distribución de presión expuesta en la gráfica 41, se puede apreciar que en la parte superior del splitter (morro) se ve un incremento de la presión dinámica significativa con respecto al modelo actual.

Gráfica 41. Distribución de presión de splitter plano y piso plano

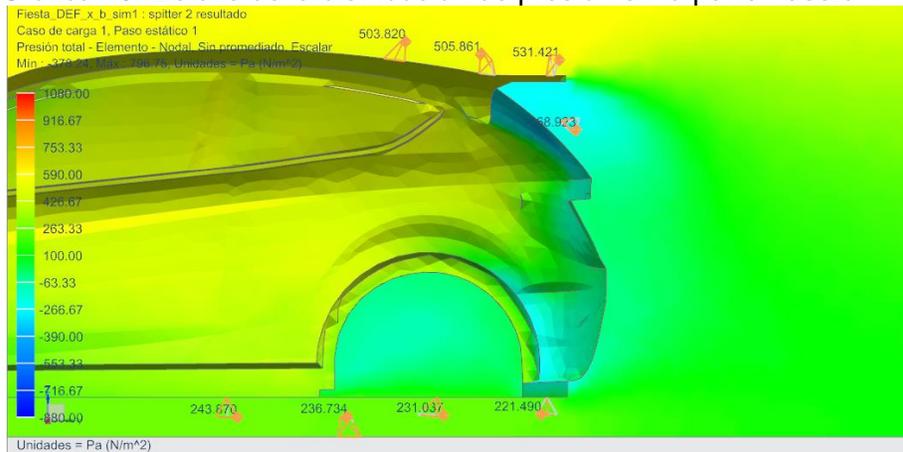


Un detalle del morro se muestra en la gráfica 42, donde el splitter divide el flujo de aire, la presión dinámica tiene un valor de 499,833Pa y va disminuyendo a lo largo del vehículo. Bajo el pilar A, que es la unión del piso plano con el splitter, la presión dinámica tiene un valor de 259,833Pa.

Gráfica 42. Detalle de la distribución de presión en el morro



Gráfica 43. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



En la parte trasera, un detalle se muestra en la gráfica 43. Donde es claro ver que bajo el pilar C, donde termina el piso plano, el valor de presión dinámica en ese punto es de 237,93Pa y hacia la salida del vehículo su valor decrece hasta llegar a la salida con un valor de 221,49Pa, comparado con la parte superior da un valor de diferencia de presión de 309,931Pa esto quiere decir que el vehículo gana más estabilidad con esta alternativa con respecto al modelo actual de competición.

En la tabla 9 se muestran las fuerzas de arrastre y sustentación negativa que este paquete genera en el Ford Fiesta dado por la simulación del software NX.

Tabla 9. Fuerza alternativa uno

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación Negativa (N)
895,436	212,674

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por la alternativa uno son:

$$m = \frac{212,674N}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 21,67kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual es:

$$21,67kg - (-14,31kg) = 35,98kg$$

La fuerza de arrastre generada de más por la alternativa uno en la cual consiste en un splitter de 1cm y un piso totalmente plano comparado con el modelo actual de competición es:

$$895,436N - 699,87N = 195,566N$$

Con las fuerzas obtenidas de la tabla 9 se puede concluir de esta primera alternativa que con respecto al modelo actual el Ford Fiesta gana sustentación negativa de 35,98kg de fuerza y la fuerza de arrastre aumenta 195,566N.

Para la alternativa uno el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire sería 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 895,436N y la fuerza de sustentación con valor de 212,674N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{895,436N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

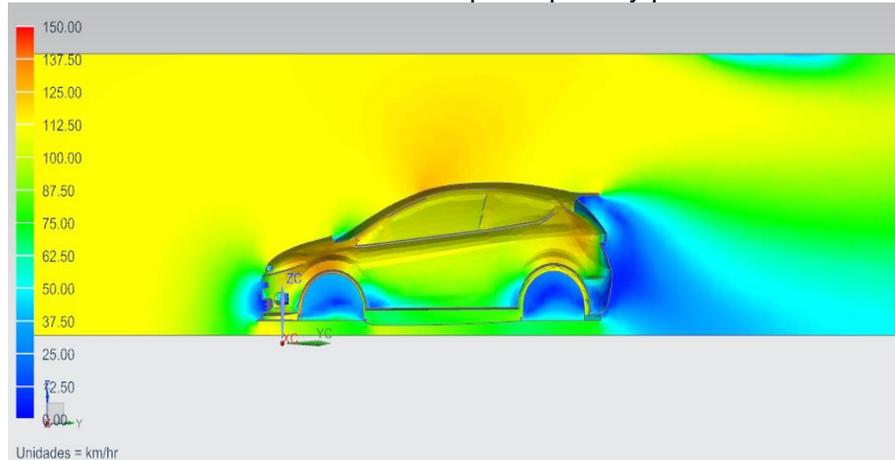
$$C_x = 0,889$$

$$C_s = \frac{212,674N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = 0,211$$

5.4.2 Alternativa dos. splitter plano y piso curvo. Para la segunda alternativa, se mantiene el splitter plano de 1 cm y se modifica el piso totalmente plano por un piso en forma de aleta donde el punto más bajo es en pilar A. En las gráficas 44 a 50 se cómo interactúa el Ford Fiesta con un splitter plano y un piso curvo.

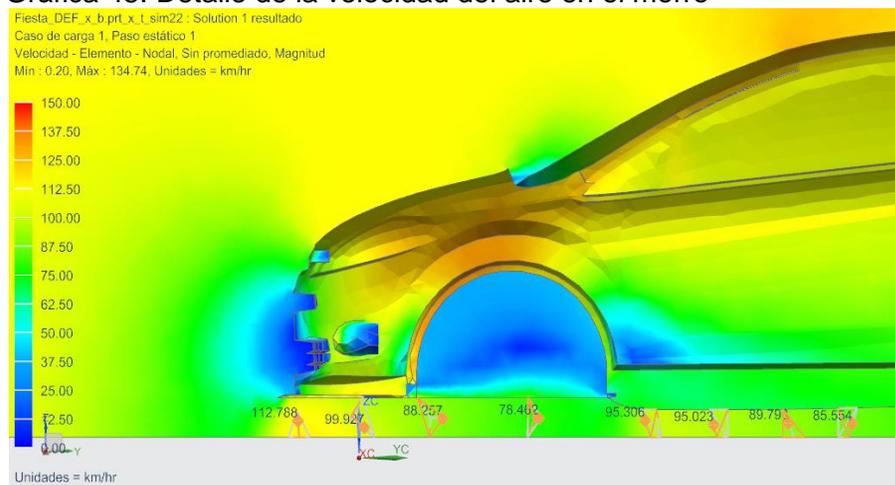
Gráfica 44. Velocidad del aire de splitter plano y piso curvo



Como se observa en la gráfica 44 en la parte delantera y trasera, el flujo tiende a cero. En la parte baja se puede apreciar un pequeño incremento de la velocidad al comienzo de la entrada del piso curvo y se va reduciendo gradualmente hasta el final del Ford Fiesta.

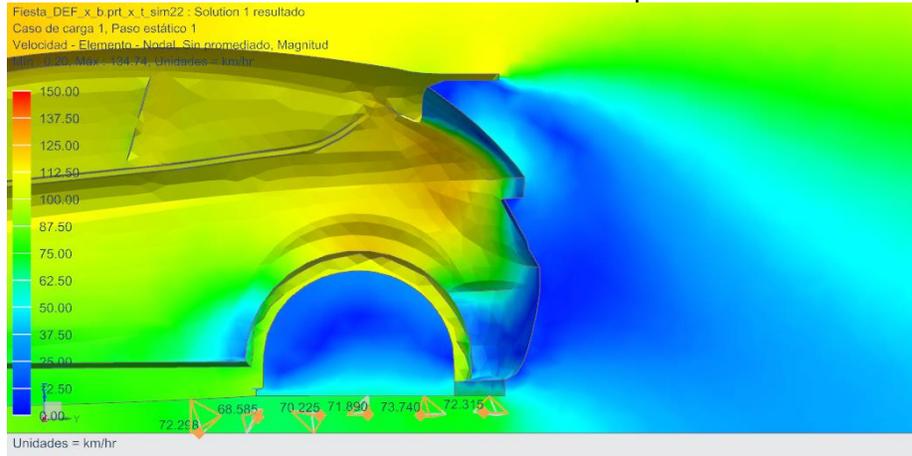
El detalle del morro visto en la gráfica 45, muestra que, en la división del flujo de aire por el splitter tiene un valor de 112,788km/h, la variación de piso plano por esta alternativa muestra que bajo el pilar A existe un aumento de velocidad debido a que el piso plano reduce el área por donde pasa el flujo de aire, dando un valor en ese punto de 95,306km/h.

Gráfica 45. Detalle de la velocidad del aire en el morro



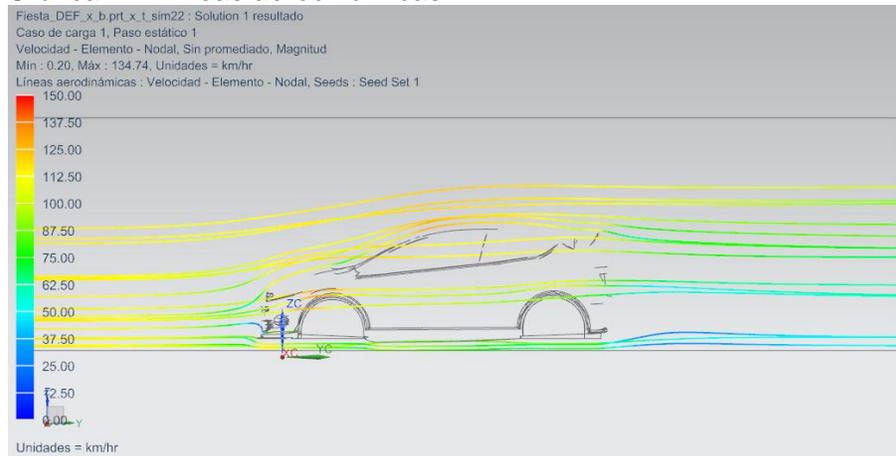
Analizando los datos de la gráfica 46 muestra el detalle de la parte trasera del vehículo. Debido al cambio de piso plano, los valores de velocidad de aire se mantienen en un valor promedio de 71,5km/h. Si se mantiene la velocidad de aire en valores promedio, en teoría la presión debe sufrir el mismo efecto.

Gráfica 46. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera



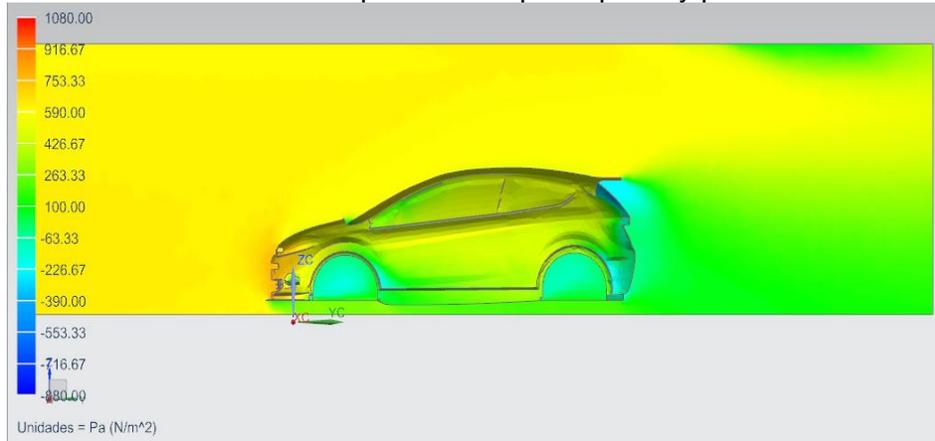
La gráfica 47 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en la segunda alternativa.

Gráfica 47. Líneas aerodinámicas



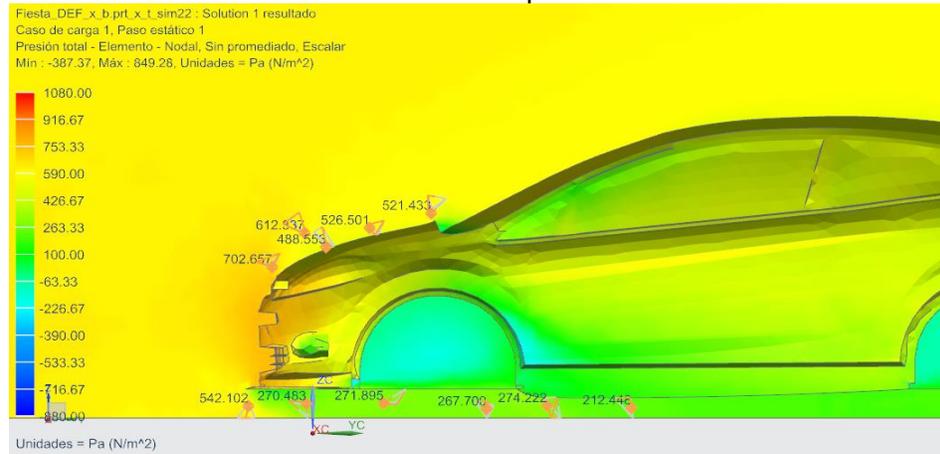
Los cambios de presión expuestos en la gráfica 48 se puede apreciar que en el morro se ve un incremento de la presión dinámica con respecto al modelo actual.

Gráfica 48. Distribución de presión de splitter plano y piso curvo



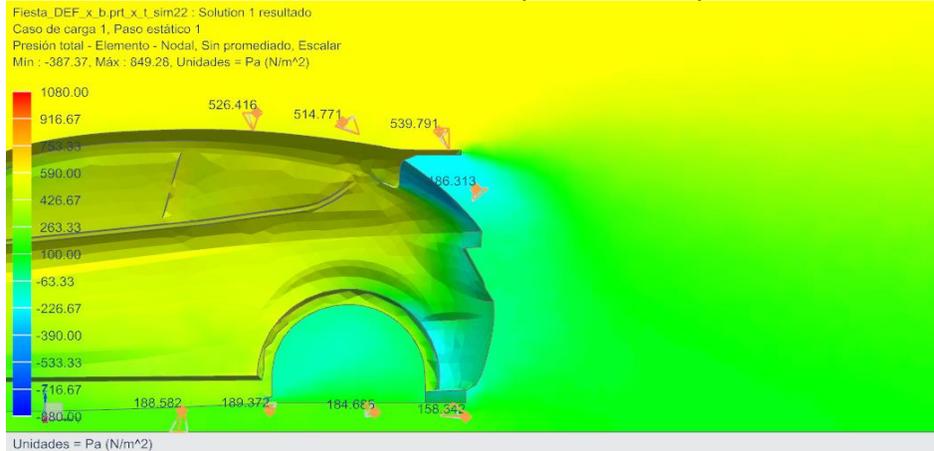
Un detalle del morro se muestra en la gráfica 49, donde en la sección que el splitter divide el flujo de aire la presión dinámica tiene un valor de 542,102Pa y va disminuyendo hasta llegar al piso plano, allí la presión dinámica aumenta hasta los 274,222Pa y continúa disminuyendo su valor debido a la forma del piso plano.

Gráfica 49. Detalle de la distribución de presión en el morro



En la gráfica 50 se muestra el detalle de la parte trasera, a que a medida que el flujo de aire pasa por el vehículo, va reduciendo la presión dinámica dando un valor a la salida del paquete aerodinámico de 158,342 Pa, comparado con la parte superior la diferencia de presión es de 381,629Pa, esto significa que el vehículo genera mayor estabilidad en la parte trasera que la alternativa anterior.

Gráfica 50. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



En la tabla 10 se muestran las fuerzas de arrastre y sustentación negativa de la segunda alternativa.

Tabla 10. Fuerza alternativa dos

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación Negativa (N)
894,371	192,573

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por la alternativa dos son:

$$m = \frac{192,573N}{9,81 \text{ m/s}^2} = 19,63kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual es:

$$19,63kg - (-14,31kg) = 33,94kg$$

La fuerza de arrastre generada de más por la alternativa dos es:

$$894,371N - 699,87N = 194,501N$$

Para esta alternativa la fuerza de sustentación negativa es menor que la alternativa uno, también reduce la fuerza de arrastre lo cual genera una mejor relación de fuerzas que la primera alternativa.

Con los datos obtenidos de la tabla 10 donde la segunda alternativa un valor de sustentación negativa de 33,94kg de fuerza y la fuerza de arrastre aumenta 194,501N con respecto al modelo actual.

En la alternativa dos el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire sería 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 894,371N y la fuerza de sustentación con valor de 192,573N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{894,371N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

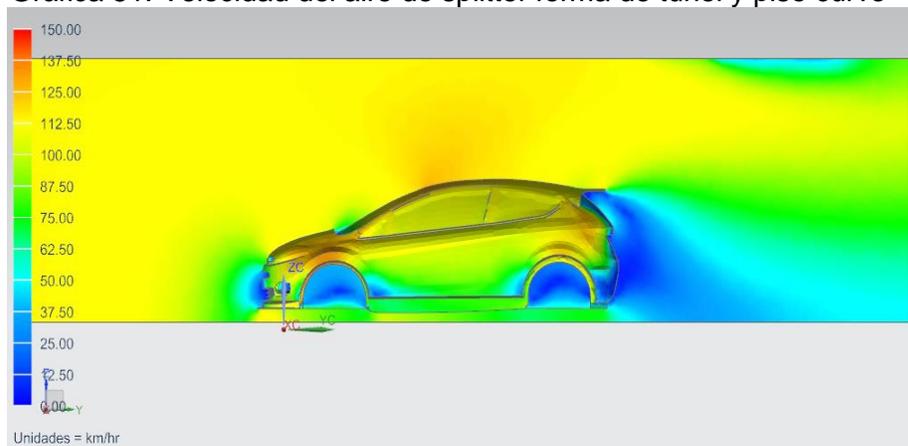
$$C_x = 0,888$$

$$C_s = \frac{192,573N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = 0,191$$

5.4.3 Alternativa tres. splitter forma de túnel y piso curvo. El splitter para esta alternativa, se tiene una forma de túnel para el splitter y el piso plano tiene una curvatura donde el punto más bajo es en la sección del pilar A. En las gráficas 51 a 57 se observa la simulación para esta alternativa.

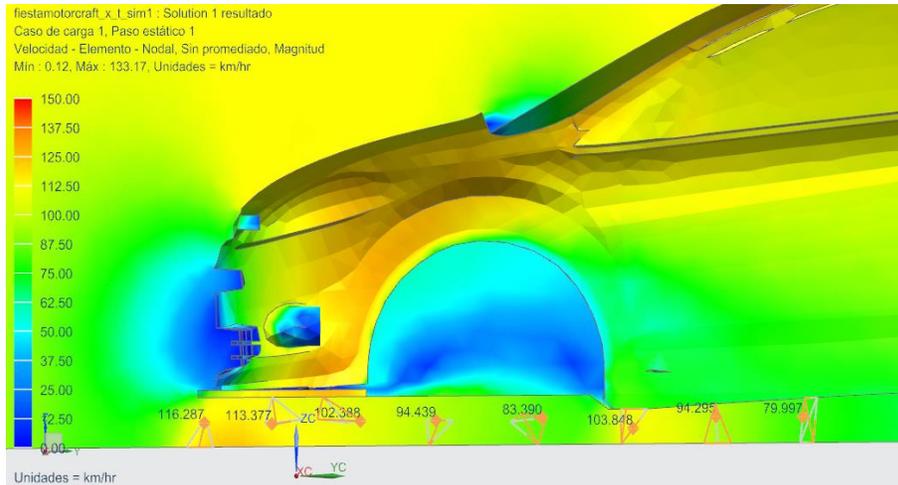
Gráfica 51. Velocidad del aire de splitter forma de túnel y piso curvo



Como se observa en la gráfica 51 en la parte delantera y trasera, el flujo tiende a cero, en la parte baja se puede apreciar un pequeño incremento de la velocidad al comienzo de la entrada del splitter y se va reduciendo gradualmente hasta el inicio del piso curvo, donde aumenta por segunda vez y el cual también reduce su velocidad gradualmente hasta el final del Ford Fiesta.

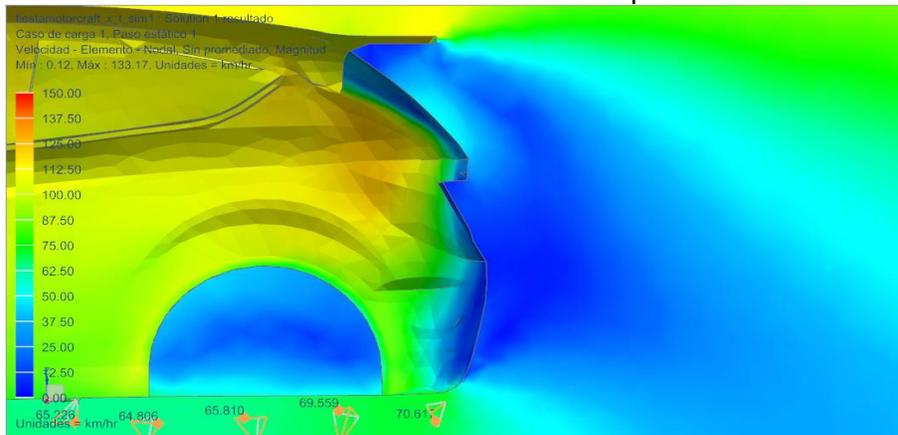
La gráfica 52 muestra el detalle en el morro donde el valor de la velocidad del aire en la división del splitter es de 115,287 km/h, a diferencia con el splitter de 1 cm, este splitter tiene la característica que aumenta la velocidad del flujo con un valor promedio a través del mismo de 101,976 km/h.

Gráfica 52. Detalle de la velocidad del aire en el morro



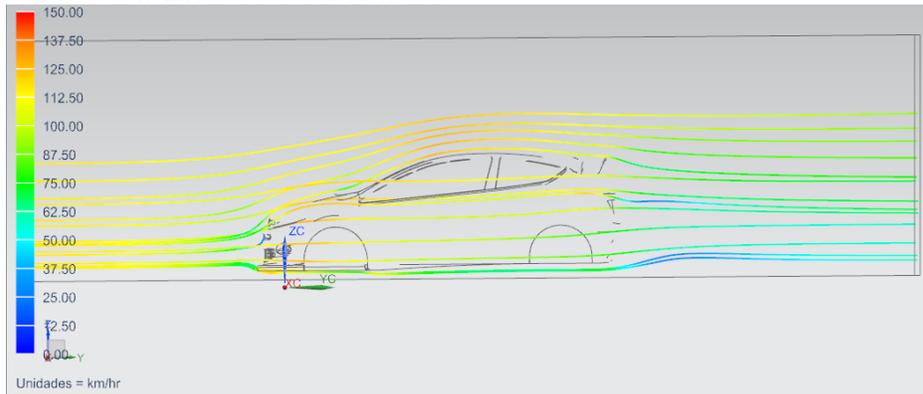
La parte trasera en la alternativa tres, es similar a la parte trasera de la alternativa dos, la diferencia es que la velocidad del aire es menor en esta alternativa y sufre el efecto de turbulencia haciendo que al final del vehículo aumente la velocidad del aire con un valor de 70,617 km/h.

Gráfica 53. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera

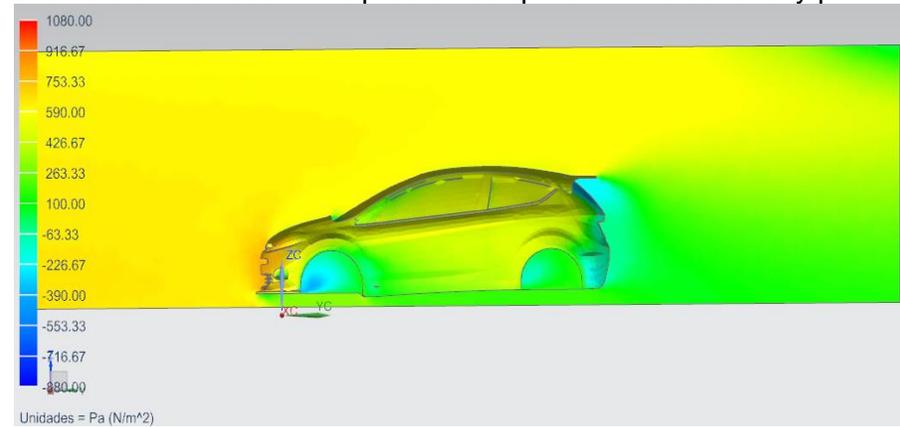


La gráfica 54 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en la tercera alternativa.

Gráfica 54. Líneas aerodinámicas



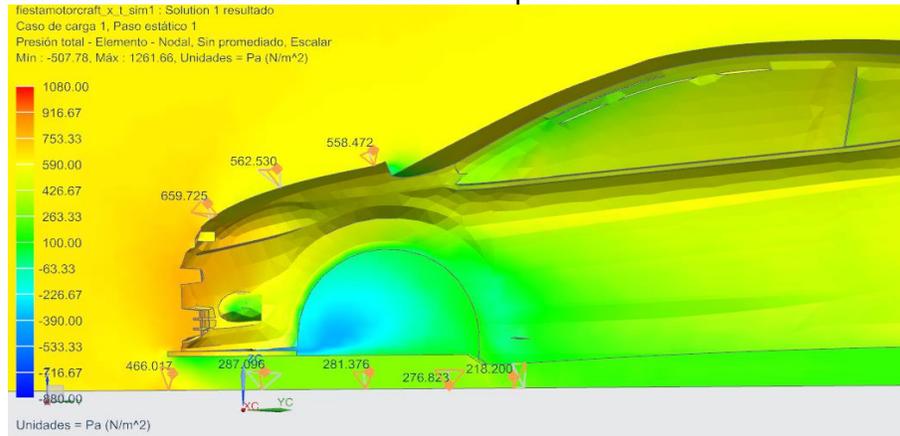
Gráfica 55. Distribución de presión de splitter forma de túnel y piso curvo



Los cambios de presión expuestos en la gráfica 55 muestra que la presión encima del vehículo supera a la presión que va por debajo del vehículo, generando "efecto suelo".

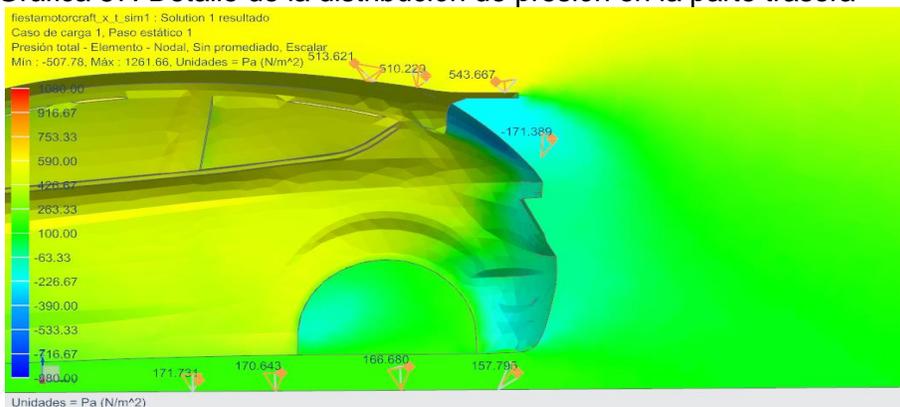
La grafica 56 muestra el detalle de la presión dinámica en el morro del vehículo, donde los valores de presión dinámica son más altos que en las alternativas anteriores debido al splitter en forma de túnel. En la sección que divide el flujo de aire tiene un valor de 466,017Pa, a través del splitter la presión dinámica promedio es de 265,873Pa y bajo el pilar A, donde comienza el piso plano, aumenta un poco la presión dinámica con un valor de 218,2Pa. Después de allí, se reduce la presión dinámica hasta la parte trasera del vehículo.

Gráfica 56. Detalle de la distribución de presión en el morro



La distribución de presión dinámica en la parte trasera del vehículo se muestra en la gráfica 57, donde es evidente que a medida que el flujo de aire pasa por el vehículo, la presión dinámica va disminuyendo, dando un valor a la salida del vehículo de 157,795Pa. Significa que, por el diferencial de presión entre la parte superior y la parte inferior con un valor de 385,872Pa el vehículo en la parte trasera es más estable.

Gráfica 57. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



Las fuerzas de arrastre y sustentación negativa se contemplan en la tabla 11.

Tabla 11. Fuerza alternativa tres

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación negativa (N)
919,219	332,945

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por la alternativa tres, son:

$$m = \frac{332,945N}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 33,939kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual es:

$$33,939kg - (-14,31kg) = 48,249kg$$

La fuerza de arrastre generada de más por la alternativa tres es de:

$$919,219N - 699,87N = 219,349N$$

Con los datos obtenidos de la tabla 11 donde el valor de fuerza de sustentación negativa es de 48,249 kg de fuerza y la fuerza de arrastre aumenta a 219,349N con respecto al modelo actual.

Existe un cambio significativo con respecto a las alternativas anteriores, esta alternativa genera una fuerza de sustentación negativa, casi el doble a las anteriores. En consecuencia, genera fuerza de arrastre excesiva en comparación con la sustentación ganada.

Para la alternativa tres el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire sería 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 919,219N y la fuerza de sustentación con valor de 332,945N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{919,219N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

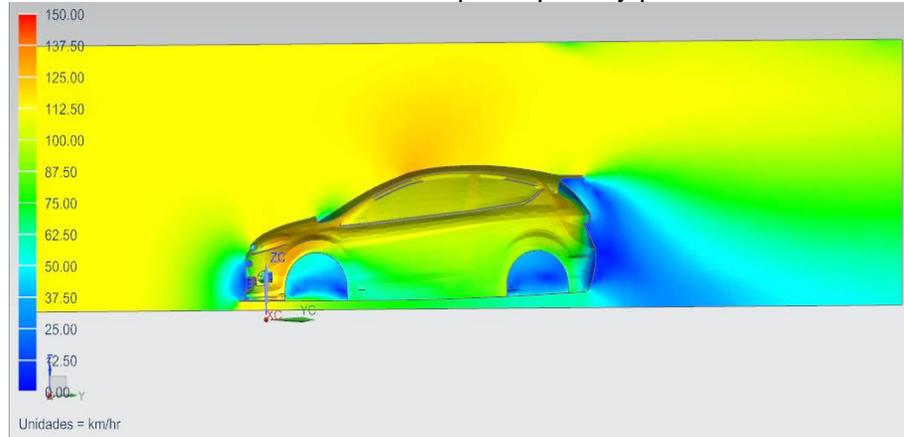
$$C_x = 0,913$$

$$C_s = \frac{332,945N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

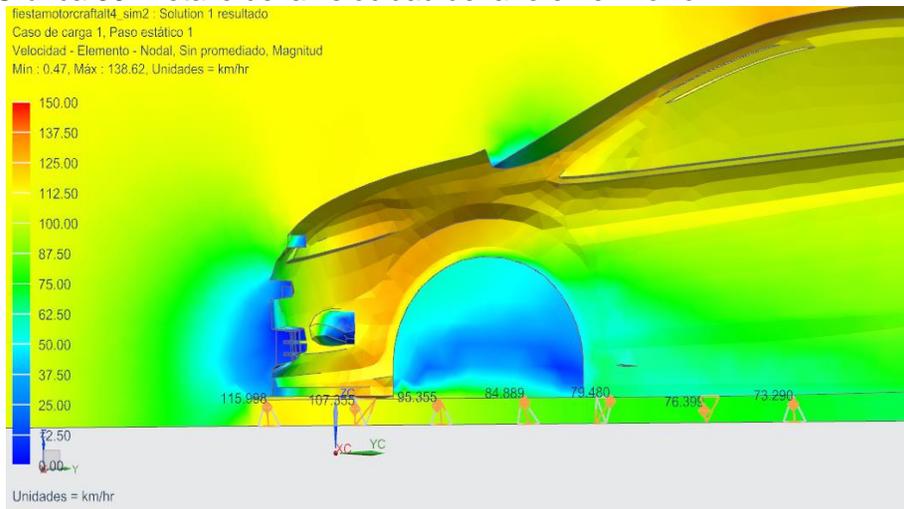
$$C_s = 0,33$$

5.4.4 Alternativa cuatro. splitter plano y piso inclinado. En esta alternativa se mantiene el splitter plano, pero con la diferencia que es 4cm con respecto al primer splitter para que el área entre el splitter y el suelo sea menor y teóricamente el flujo aumente su velocidad, adicionalmente está acompañado de un piso plano inclinado el cual guiará el flujo evitando turbulencia como se muestra la simulación a continuación en las gráficas 58 a 64.

Gráfica 58. Velocidad del aire de splitter plano y piso inclinado

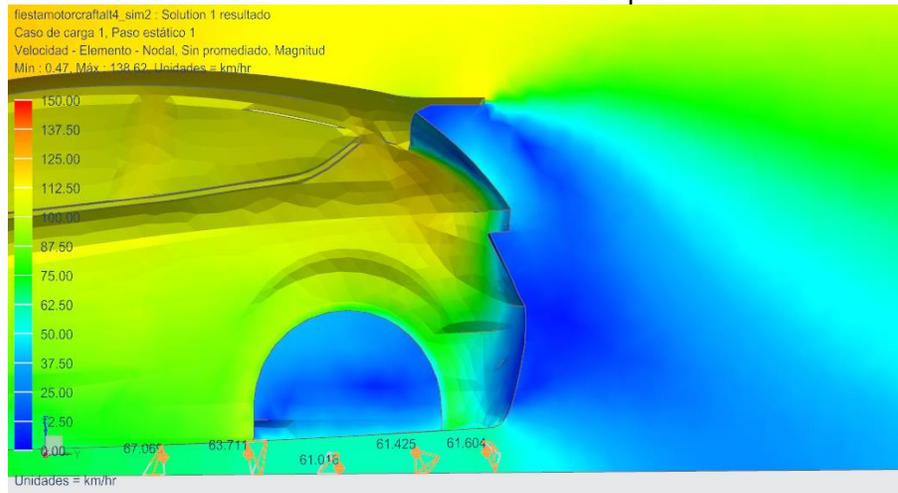


Gráfica 59. Detalle de la velocidad del aire en el morro



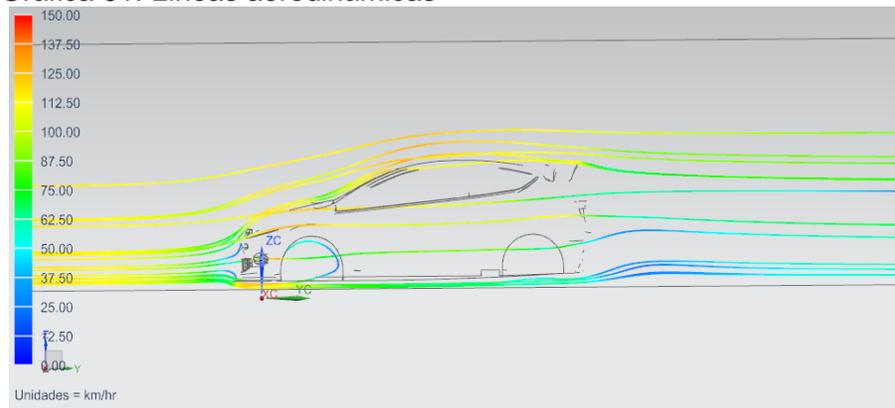
La velocidad en esta alternativa es importante estudiarla debido a que el splitter está más bajo lo que genera mejor división de flujo de aire, la velocidad en el splitter es de 115,998km/h y va reduciendo la velocidad del fluido hasta que llega a la parte trasera con una velocidad de 61,604km/h. En comparación con la alternativa anterior, el flujo de aire aumenta donde comienza la curvatura del piso plano. Mientras que en esta alternativa el flujo va disminuyendo la velocidad constantemente hasta la parte trasera del Ford Fiesta.

Gráfica 60. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera

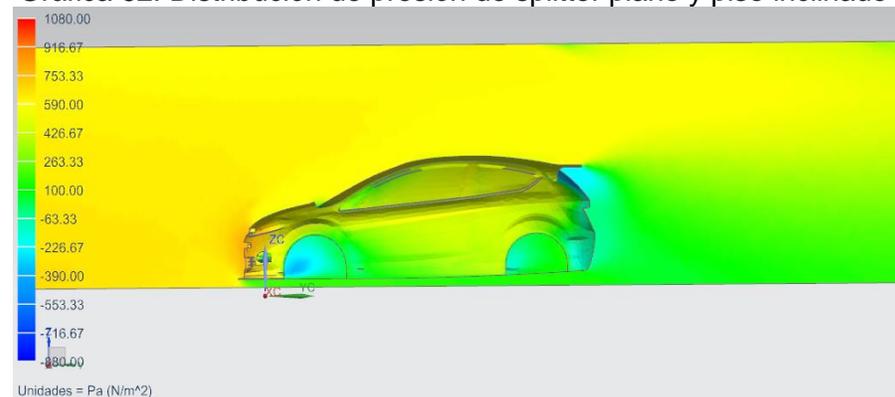


La gráfica 61 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en la cuarta alternativa.

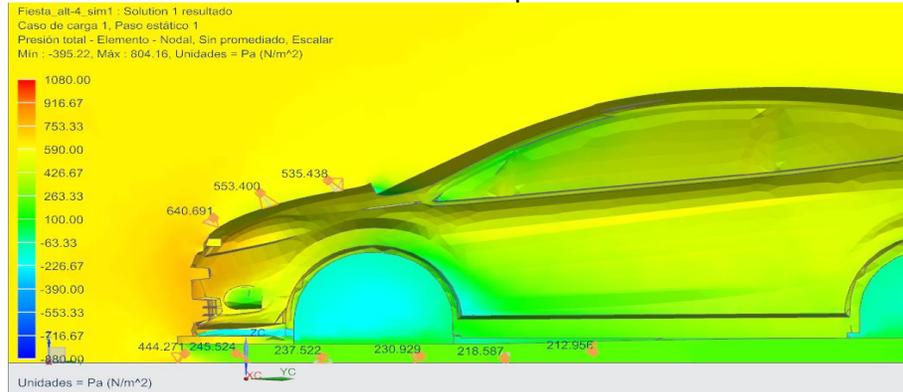
Gráfica 61. Líneas aerodinámicas



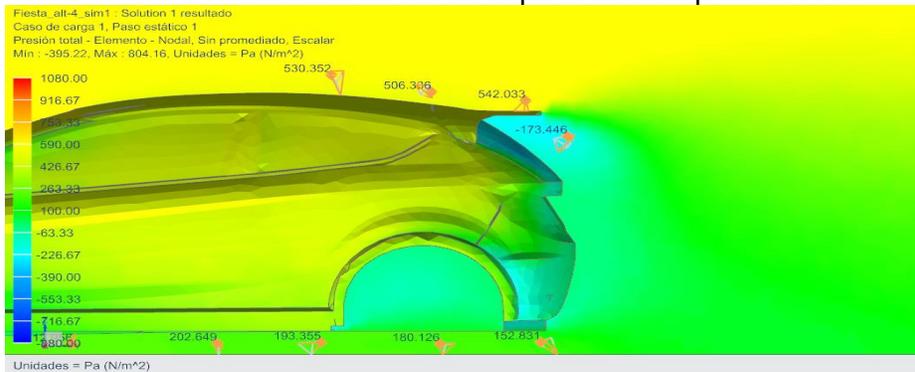
Gráfica 62. Distribución de presión de splitter plano y piso inclinado



Gráfica 63. Detalle de la distribución de presión en el morro



Gráfica 64. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



Los cambios de presión expuestos en las gráficas anteriores, se puede apreciar que en el morro la presión dinámica tiene un valor de 444,271Pa del vehículo se ve un incremento de la presión y se reduce a lo largo del vehículo hasta que en la parte trasera llega a un valor de 152,831Pa y un diferencial de presión con la parte superior del vehículo de 389,202Pa dando el mejor resultado de estabilidad por las cuatro alternativas.

En la tabla 12 se muestran las fuerzas de arrastre y sustentación producidas por la alternativa cuatro.

Tabla 12. Fuerza alternativa cuatro

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación Negativa (N)
891,672	252,913

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por la alternativa cuatro, son:

$$m = \frac{252,913N}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 25,81kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual es:

$$25,781kg - (-14,31kg) = 40,0911kg$$

La fuerza de arrastre generada de más por la alternativa cuatro es:

$$891,672N - 699,87N = 191,804N$$

Con las fuerzas expuestas en la tabla 12 se ve el incremento de fuerza de sustentación en 40,0911kg de fuerza y el arrastre aumenta a 191,804N con respecto al modelo actual.

La cuarta alternativa se destaca sobre las otras tres alternativas, debido que su fuerza de sustentación negativa es de 252,913N y un arrastre de 891,672N. Estos valores son apropiados para un vehículo de carreras porque en teoría el vehículo es más estable en pista.

En la alternativa cuatro el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire sería 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 891,672N y la fuerza de sustentación con valor de 252,913N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{891,672N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_x = 0,885$$

$$C_s = \frac{252,913N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = 0,251$$

5.4.5 Comparación de alternativas. Se comparó las diferentes alternativas de diseño de splitter y piso plano para dar un valor en términos de rendimiento para determinar cuál es la mejor opción, en la tabla 13 mostrada a continuación se observa los diferentes coeficientes de cada alternativa.

Tabla 13. Comparación de alternativas

Alternativa	Coefficiente de arrastre (C _x)	Coefficiente de sustentación (C _s)	Relación de coeficiente (C _s /C _x)
Actual	0,698	-0,136	-0,19
Uno	0,889	0,211	0,237
Dos	0,888	0,191	0,215
Tres	0,913	0,33	0,361
Cuatro	0,885	0,251	0,284

Al analizar la tabla anterior, existe un cambio de coeficientes entre el vehículo actual con relación a las alternativas uno (1) a cuarto (4), mejorando la relación del coeficiente sustentación sobre el coeficiente de arrastre.

Se destaca que la mejor alternativa teórica es la tercera, la cual constituye el splitter en forma de túnel y piso curvo con una relación de coeficiente de 0.361, pero en ámbitos de construcción no es la más apropiada puesto que su geometría es difícil de fabricar porque tiene varias cavidades y curvaturas.

Como criterios de eficiencia y facilidad de fabricación la alternativa que cumple mejor estos parámetros es la cuarta que compone un splitter plano 4cm más bajo del splitter de 1cm y un piso inclinado que tiene una relación de coeficiente de 0,284 no muy lejos de la alternativa tres con diferencia de 0,077, lo cual la cuarta alternativa es la más apropiada para simular los diferentes difusores.

5.4.6 Comparación entre difusores. Es necesario analizar el flujo de aire al final del vehículo después de que el flujo de aire pasa primero por el splitter, el piso plano y luego por el difusor, para ello se cuenta con dos diferentes difusores que modifican el flujo de aire al final del vehículo.

El cuadro 8 muestra los tipos de difusores acompañados del splitter 4cm más bajo que el splitter de 1cm y del piso inclinado.

Cuadro 8. Tipos de difusor

Splitter	Piso	Difusor	
		Sencillo	Doble
4cm	Inclinado	Sencillo	Doble
x	X	x	
x	X		x

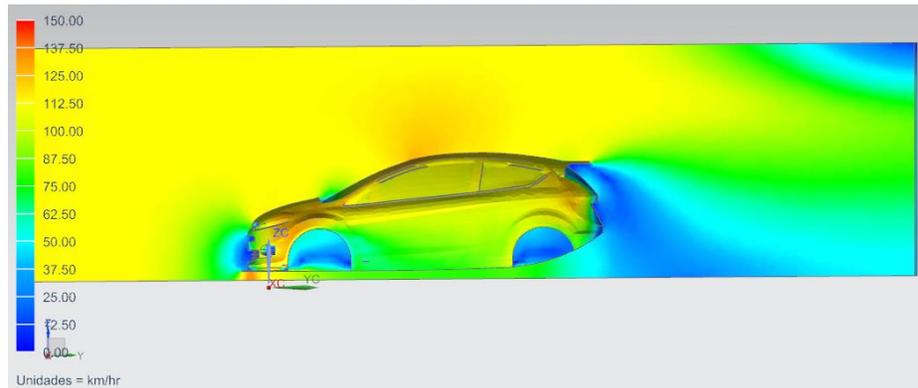
Para analizar los dos tipos de difusores es necesario tener la alternativa cuatro como base para analizar el comportamiento del flujo de aire que pasa a través del difusor sencillo y del doble difusor.

Difusor sencillo

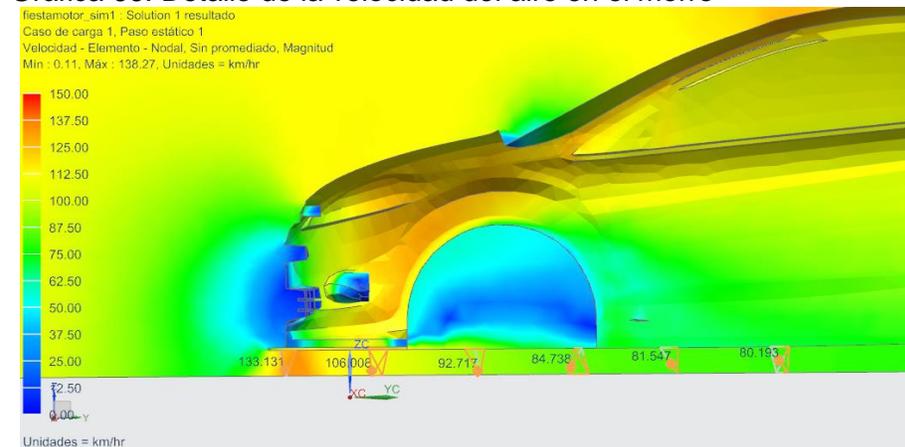
Con los parámetros de la alternativa cuatro se añade un difusor sencillo en la parte trasera del vehículo completando el paquete aerodinámico. El difusor es añadido para mejorar el flujo de salida con el fin de no chocar con el flujo que viene por la parte superior generando así, una distribución de presión en la parte trasera del vehículo.

La velocidad del aire y la distribución de presión se muestran a continuación en las gráficas 65 a 71.

Gráfica 65. Velocidad del aire de difusor sencillo

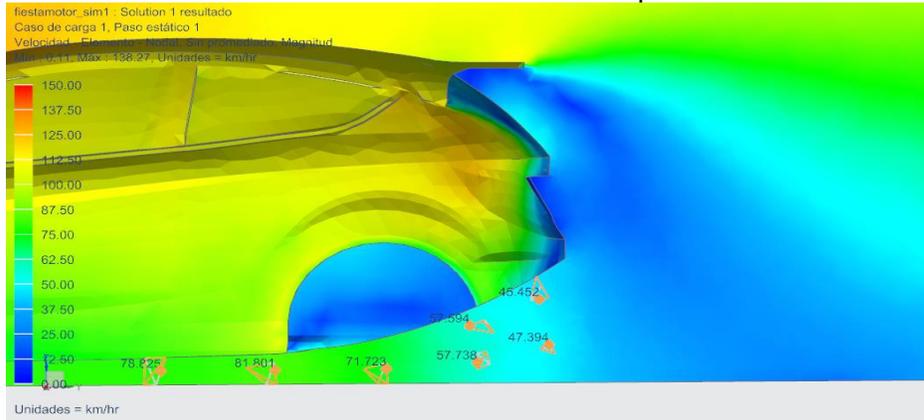


Gráfica 66. Detalle de la velocidad del aire en el morro



A diferencia con las anteriores alternativas, el flujo en la parte trasera cambio de tal modo que se redujo el umbral azul que corresponde al flujo de aire con velocidad menor.

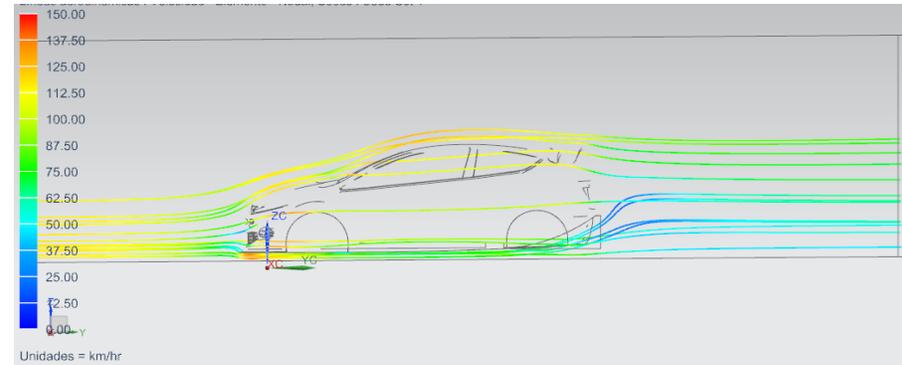
Gráfica 67. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera



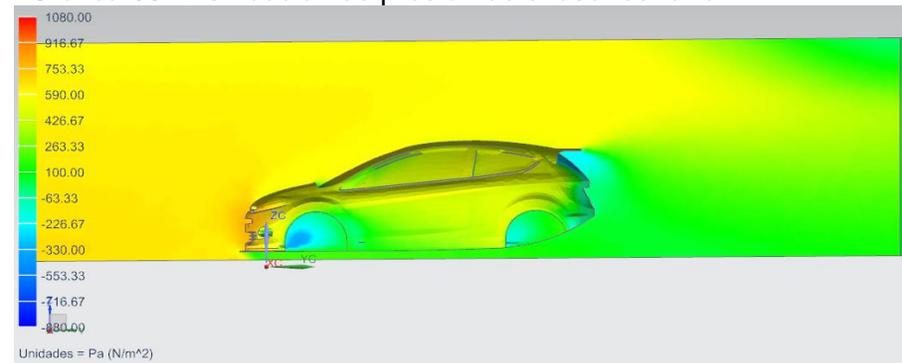
La velocidad del aire en la división del splitter tiene un valor de 133,131km/h, de ahí hasta la parte trasera del vehículo disminuye su velocidad hasta llegar a la entrada del difusor con un valor de 81,801km/h y en la parte final del difusor tiene un valor de 46,452km/h, para que el flujo se una a la turbulencia ocasionada por la geometría del vehículo.

La gráfica 68 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en el difusor sencillo.

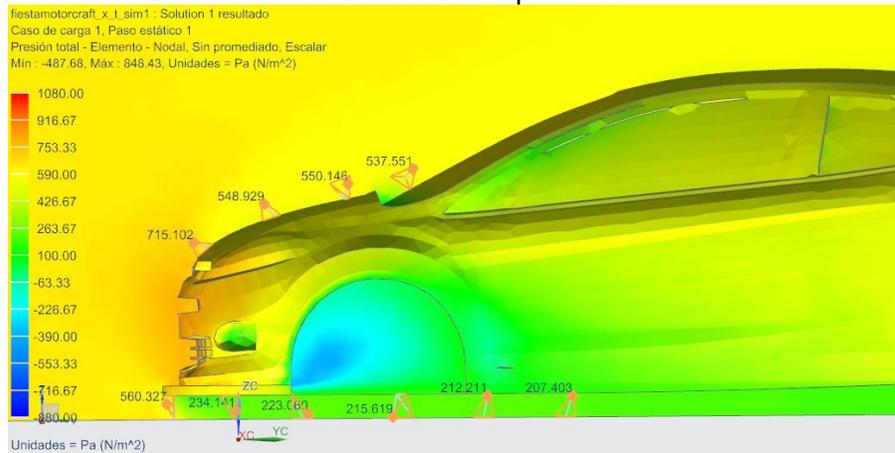
Gráfica 68. Líneas aerodinámicas



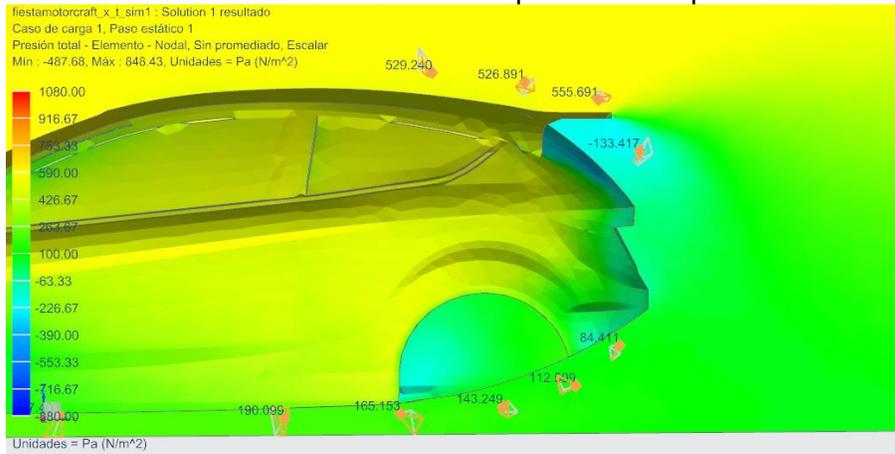
Gráfica 69. Distribución de presión de difusor sencillo



Gráfica 70. Detalle de la distribución de presión en el morro



Gráfica 71. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



Analizando las gráficas de presión dinámica, en la división del splitter se muestra un aumento de presión debido a la división del flujo, con un valor en ese punto de 560,323Pa, en la parte baja del vehículo la presión se reduce poco a poco hasta llegar al difusor trasero, con un valor de presión dinámica a la salida del difusor de 84,411Pa, para las anteriores alternativas la baja presión dinámica se generaba en toda la parte trasera y en esta alternativa con difusor sencillo, la baja presión dinámica se redujo a solo debajo del spoiler trasero. El diferencial de presión en la parte trasera es de 471,28Pa dando valor mayor a la alternativa cuatro lo que se traduce en un vehículo aún más estable gracias al difusor sencillo.

En la tabla 14 se muestra las fuerzas de arrastre y sustentación que este paquete genera en el Ford Fiesta

Tabla 14. Fuerzas del difusor sencillo

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación negativa(N)
1023,38	692,828

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por el difusor sencillo, son de:

$$m = \frac{692,828N}{9,81 \text{ m/s}^2} = 70,624kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual seria de:

$$70,624kg - (-14,31kg) = 84,934kg$$

La fuerza de arrastre generado de más por el difusor sencillo es de:

$$1023,38N - 699,87N = 323,51N$$

Con los datos obtenidos en la tabla 14 se concluyó que el difusor sencillo tiene una fuerza de sustentación negativa de más del doble con respecto a la alternativa cuatro, la ganancia de la fuerza de arrastre es proporcional a la fuerza de sustentación negativa ganada.

Con respecto al modelo actual el Ford Fiesta se gana sustentación en 80,934 kg de fuerza y el arrastre aumenta a 323,51N.

En el difusor sencillo el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire seria 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 1023,38N y la fuerza de sustentación con valor de 692,828N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{1023,38N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_x = 1,016$$

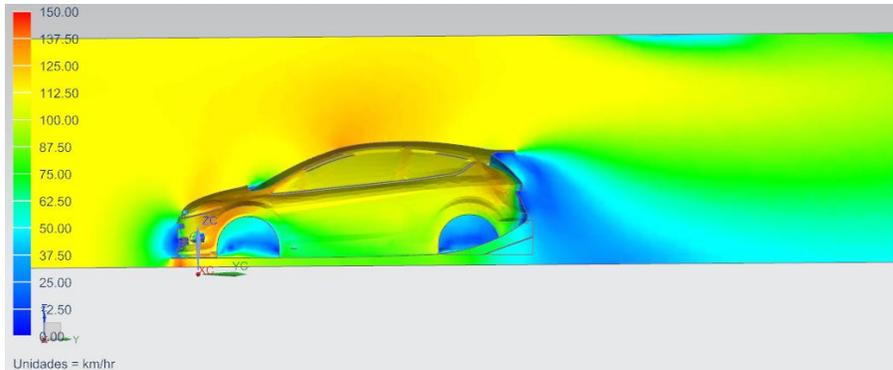
$$C_s = \frac{692,828N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = 0,688$$

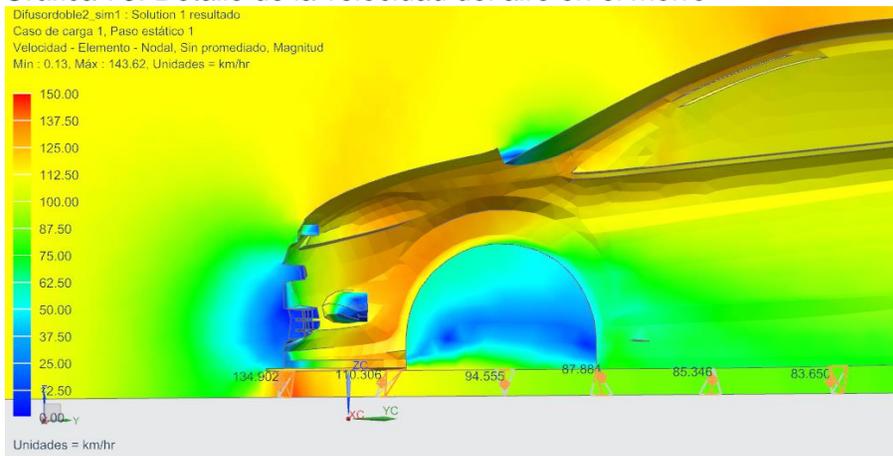
Doble difusor

La variante de este difusor, se parte de un difusor sencillo donde se le agrega una placa curva con el fin de que actué como un alerón en la parte baja del vehículo, la simulación de esta alternativa se muestra en las gráficas 72 a 78.

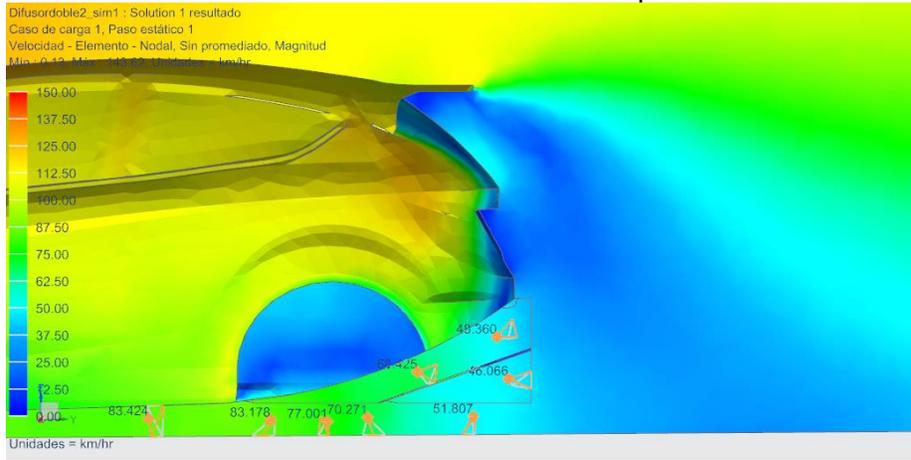
Gráfica 72. Velocidad del aire de doble difusor



Gráfica 73. Detalle de la velocidad del aire en el morro

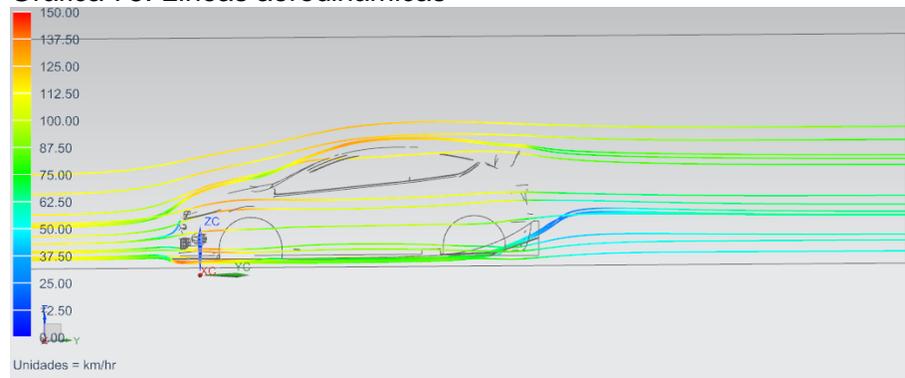


Gráfica 74. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera



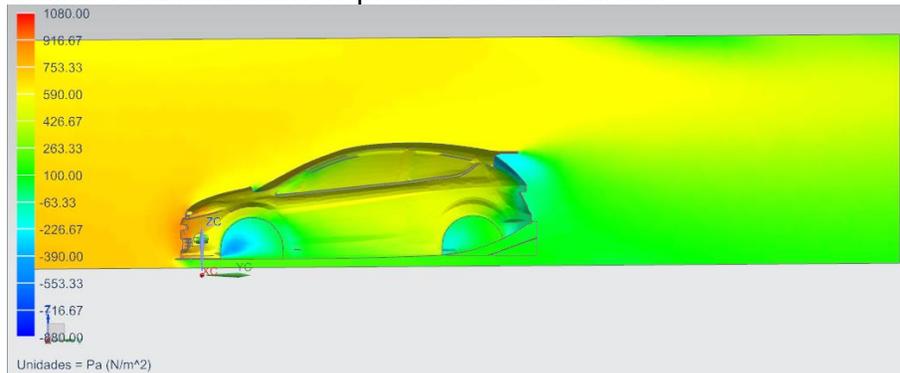
La gráfica 75 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo en el doble difusor.

Gráfica 75. Líneas aerodinámicas

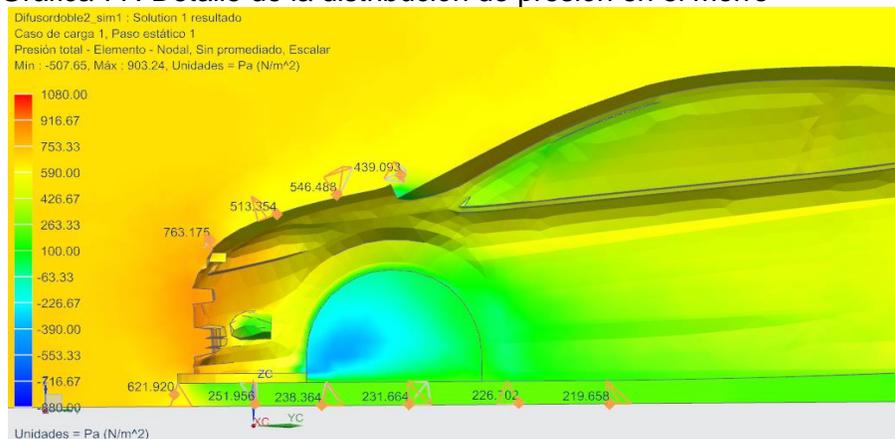


Un detalle de la velocidad del aire se ve en las gráficas anteriores, donde la principal variación es en la parte trasera que cumple la función de generar sustentación negativa y en consecuencia arrastre, en la parte trasera del vehículo aparece una división de corrientes a través del difusor con un valor de 46,066km/h, debido a la placa añadida, la que genera menos velocidad al final del difusor para que no choque con el flujo de aire de la parte superior del vehículo.

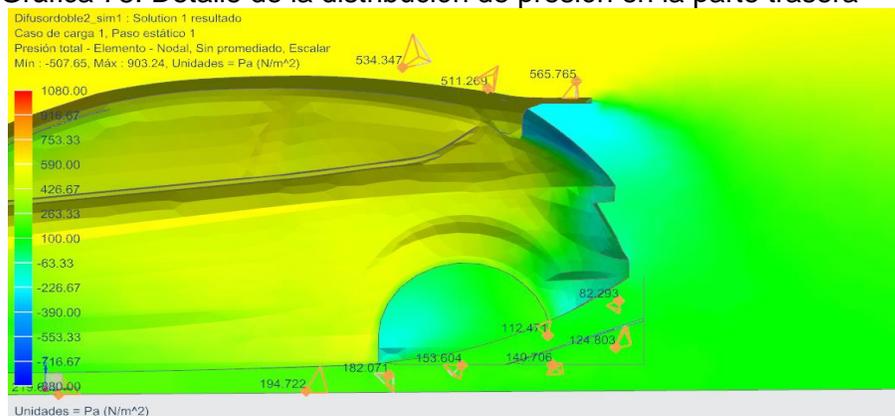
Gráfica 76. Distribución de presión de doble difusor



Gráfica 77. Detalle de la distribución de presión en el morro



Gráfica 78. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



Los cambios de presión expuestos en las gráficas anteriores, se puede apreciar un incremento de presión en el morro con un valor de 621,92Pa, en la parte trasera del vehículo la presión dinámica a la salida del difusor va disminuyendo después de que ha pasado por el vehículo con un valor a la salida de 82,293Pa, el diferencial de presión en la parte trasera es de 483,472Pa, esto hace que el vehículo sea estable generando el efecto suelo.

En la tabla 15 se muestra las fuerzas de arrastre y sustentación que este paquete genera en el Ford Fiesta.

Tabla 15. Fuerzas del doble difusor

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación Negativa (N)
1253,66	810,954

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por el doble difusor, son de:

$$m = \frac{810,954N}{9,81 \frac{m}{s^2}} = 82,666kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual seria de:

$$82,666kg - (-14,31kg) = 96,976kg$$

La fuerza de arrastre generado de más por el doble difusor es de:

$$1253,66N - 699,87N = 553,79N$$

Con los datos de la tabla 15 se aprecia que, con agregar el doble difusor en la parte trasera del vehículo se genera mayor sustentación negativa y a la ves mayor fuerza de arrastre, con respecto al modelo actual el vehículo gana un peso de 82,666kg a 116km/h y el arrastre aumenta 553,79N

Para el doble difusor el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire seria 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 1253,66N y la fuerza de sustentación con valor de 810,954N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{1253,66N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_x = 1,245$$

$$C_s = \frac{810,954N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = 0,805$$

5.4.7 ELECCIÓN DEL MODELO CON PAQUETE AERODINÁMICO

A continuación, en la tabla 16 se comparan los coeficientes de la alternativa cuatro con el difusor sencillo y del doble difusor con respecto al paquete aerodinámico actual.

Tabla 16. Comparación de coeficientes

Alternativa	Coefficiente de Arrastre (c_x)	Coefficiente de sustentación (c_s)	Relación de coeficiente (c_s/c_x)
Actual	0,698	-0,136	-0,195
Cuatro	0,885	0,251	0,284
Difusor sencillo	1,016	0,688	0,677
Doble difusor	1,245	0,805	0,647

Como se puede apreciar en la tabla anterior al adicionar un difusor se aumenta considerablemente el coeficiente de sustentación mientras que el coeficiente de arrastre tiene un pequeño aumento, generando mejor relación de coeficientes.

En la alternativa de difusor sencillo se considera la mejor teóricamente porque es la que genera mayor sustentación proporcional a la fuerza de arrastre.

El mejor coeficiente sustentación negativa se obtiene con el doble difusor con un valor de 0,805, pero a su vez nos genera una alta fuerza de resistencia, lo cual le baja su eficiencia. El difusor sencillo tiene menos rendimiento que el doble difusor con una diferencia de relación de coeficiente de 0,03, debido a que el difusor sencillo tiene casi el mismo rendimiento que el doble difusor y su fabricación no es compleja, en teoría se opta por este difusor, pero llevando el diseño de difusor al Ford Fiesta real, existe una limitante vista en la figura 38.

Se debe buscar otra alternativa de diseño para montar un difusor en el vehículo sin sacrificar la eficiencia que produce, a continuación, se evalúa un difusor de 10° que cumple los parámetros establecidos.

Difusor de 10°

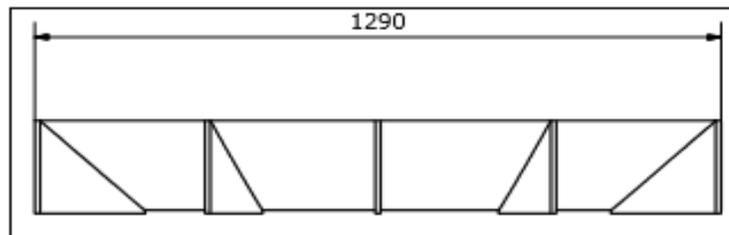
La variante del difusor de 10° es una modificación del difusor sencillo, solo que más bajo y con una inclinación de 10°, fue necesario evaluar este difusor debido a que existe una barra estabilizadora mostrada en la figura 48 que impide colocar un difusor de más de 10° respetando la normativa de no sobresalir el difusor del extremo del vehículo más de 6cm.

Figura 48. Barra estabilizadora

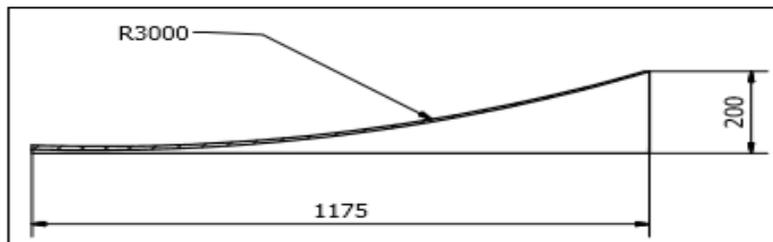


Las dimensiones del difusor de 10° se muestran a continuación en las gráficas 79 a 82

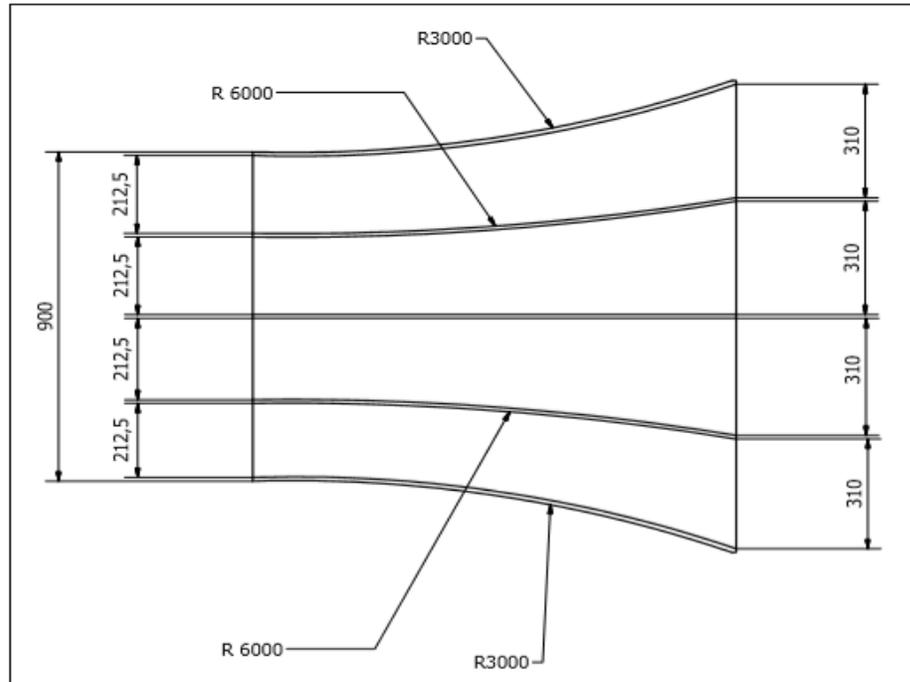
Gráfica 79. Vista trasera del difusor de 10°



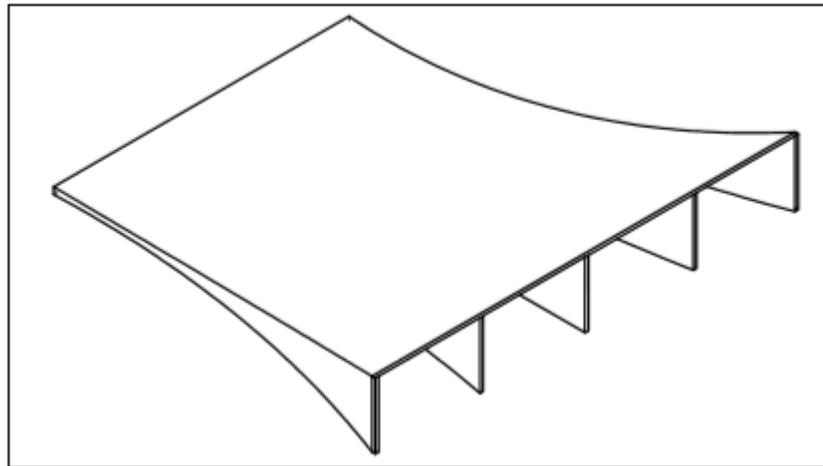
Gráfica 80. Vista lateral del difusor de 10°



Gráfica 81. Vista inferior del difusor de 10°

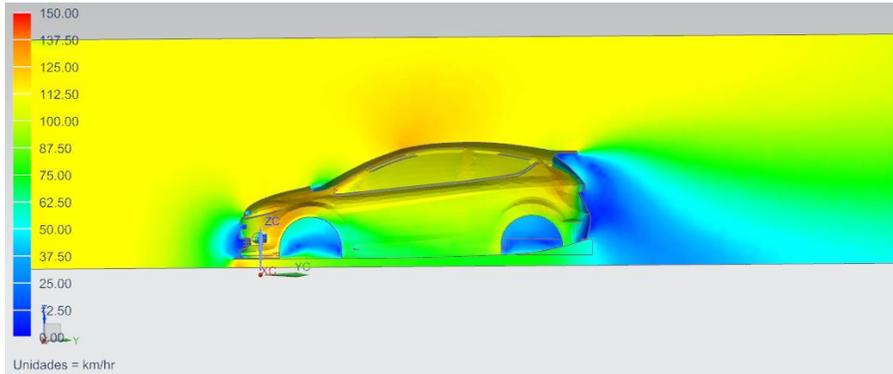


Gráfica 82. Vista 3D del difusor de 10°

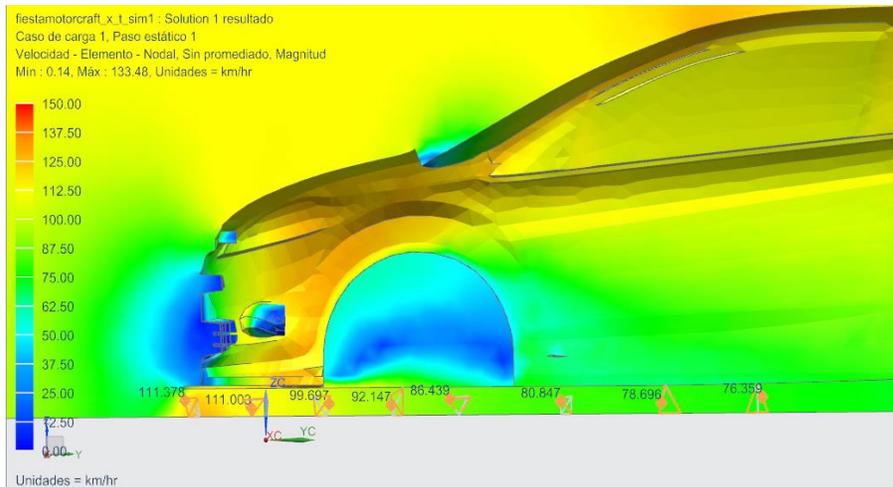


El difusor de 10°, cambia la geometría debido a que disminuye la altura y el área que se pierde, se compensa expandiendo el difusor hacia los lados. La simulación de esta variante se muestra en las gráficas 83 a 89.

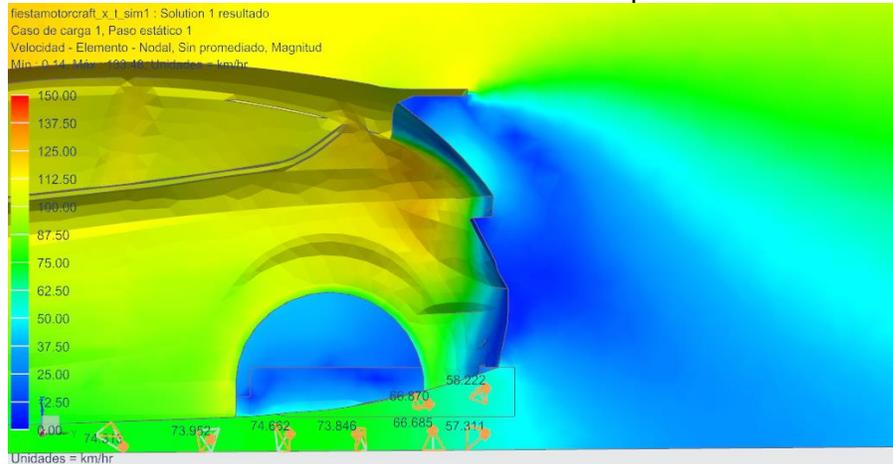
Gráfica 83. Velocidad del aire del difusor de 10°



Gráfica 84. Detalle de la velocidad del aire en el morro



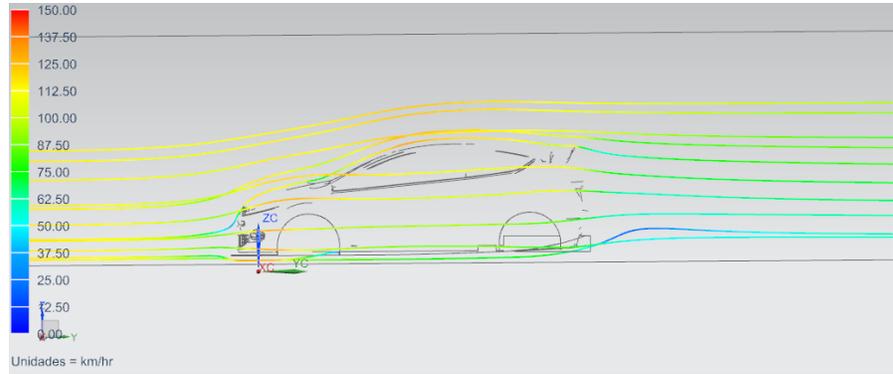
Gráfica 85. Detalle de la velocidad del aire en la parte trasera



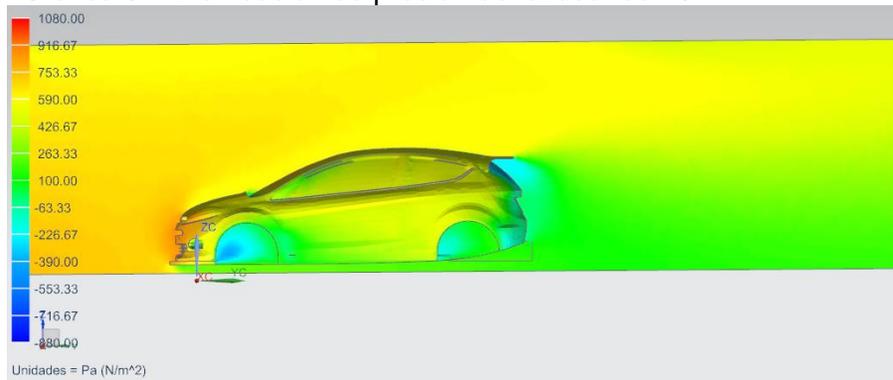
El detalle de la velocidad del aire muestra que en la sección del splitter tiene un valor de 111,378km/h, hacia la parte trasera del vehículo el aire disminuye su velocidad y en la parte del splitter la velocidad promedio es de 66,266km/h.

La gráfica 86 muestra las líneas aerodinámicas de cómo se comporta el flujo de aire a través del vehículo con el difusor de 10°.

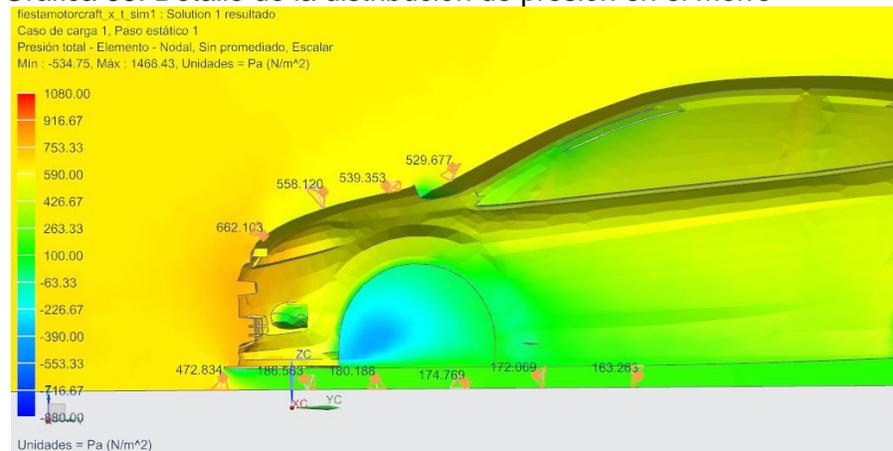
Gráfica 86. Líneas aerodinámicas



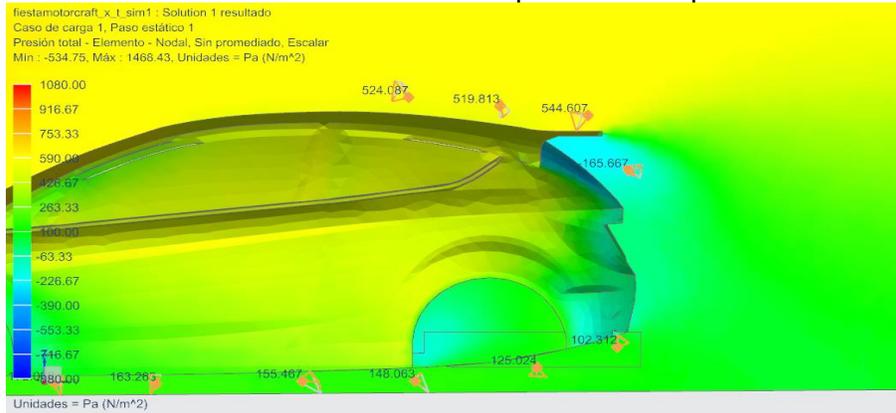
Gráfica 87. Distribución de presión del difusor de 10°



Gráfica 88. Detalle de la distribución de presión en el morro



Gráfica 89. Detalle de la distribución de presión en la parte trasera



El detalle de la distribución de presiones muestra que en la parte baja, al dividirse el flujo de aire en la parte delantera da un valor de 472,834Pa, a medida que el flujo de aire pasa por el vehículo reduce poco a poco la presión dinámica, después del paso de la rueda delantera la presión dinámica tiene un valor de 172,069Pa, al comenzar el difusor la presión es de 148,063Pa y al final del difusor la presión dinámica tiene un valor de 102,312Pa. El diferencial de presión es de 442,295Pa, esto quiere decir que el vehículo aún es estable con esta alternativa de difusor a 10°.

En la tabla 17 se muestra las fuerzas de arrastre y sustentación que este paquete genera en el Ford Fiesta.

Tabla 17. Fuerzas del doble difusor

Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación Negativa(N)
971,602	599,676

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.
2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Los kilogramos generados de más por el difusor de 10°, son de:

$$m = \frac{599,676N}{9,81 \text{ m/s}^2} = 61,129kg$$

Teniendo una ganancia con respecto al modelo actual sería de:

$$61,129kg - (-14,31kg) = 75,439kg$$

La fuerza de arrastre generado de más por el difusor de 10° es de:

$$971,602N - 699,87N = 271,732N$$

Con los datos de la tabla 17 se aprecia que con el difusor de 10° en la parte trasera del vehículo se genera mayor sustentación negativa y a la vez mayor fuerza de arrastre, con respecto al modelo actual vehículo gana un peso de 75,439kg a 116km/h y el arrastre aumenta a 271,732N

En el difusor de 10° el área es de 2,047m², la velocidad relativa del aire es de 32,2m/s equivalente a 116km/h, la densidad del aire sería 0,9484kg/m³, la fuerza de arrastre con valor de 971,602N y la fuerza de sustentación con valor de 599,676N, con estos datos se puede determinar los coeficientes de la alternativa uno como se muestra a continuación:

$$C = \frac{F * 2}{\rho * v^2 * a}$$

$$C_x = \frac{971,602N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_x = 0,965$$

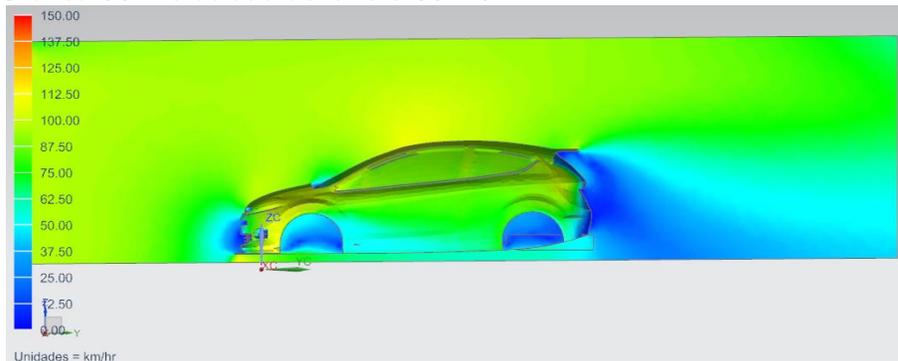
$$C_s = \frac{599,676N * 2}{0,9484 \frac{kg}{m^3} * (32,2 \frac{m}{s})^2 * 2,047m^2}$$

$$C_s = 0,595$$

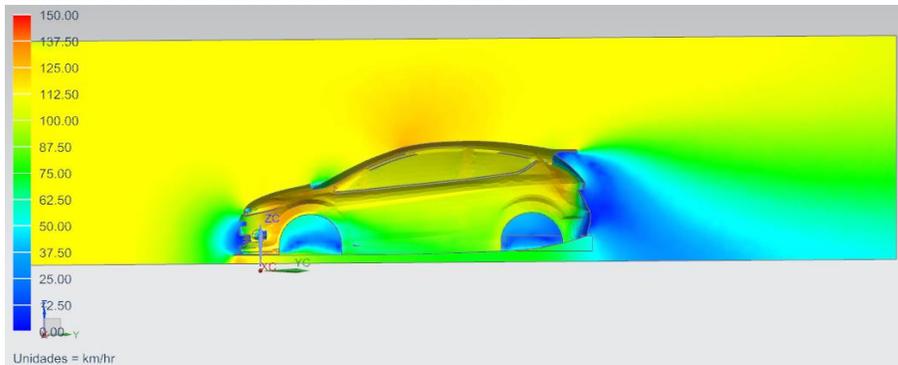
6. ANÁLISIS DEL MODELO CON PAQUETE AERODINÁMICO

En este capítulo se compara el modelo con paquete aerodinámico con respecto al modelo actual de competición para llegar a un resultado final, determinando la mejora de desempeño en pista. Es de suma importancia tener los datos del modelo actual para tener un punto de referencia y saber cuánto es lo que se espera mejorar en cuestión de tiempos, en las gráficas 90 a 95 aparece la velocidad del aire y la distribución de presión a diferentes velocidades del modelo con paquete aerodinámico (son las mismas velocidades analizadas en el modelo actual del numeral 2.5).

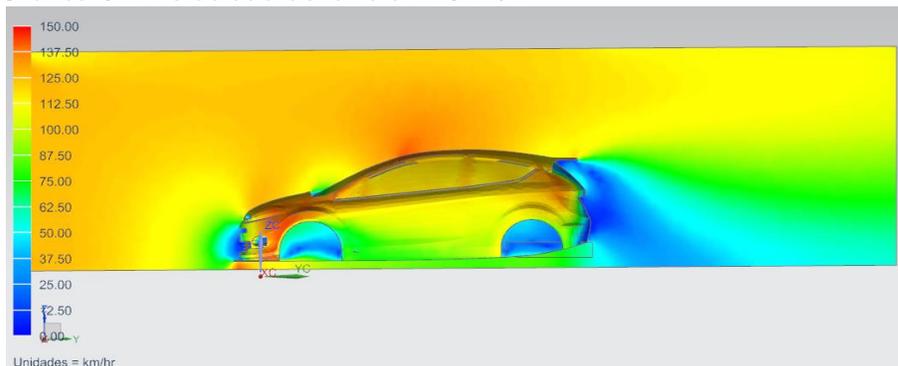
Gráfica 90. Velocidad del aire a 95km/h



Gráfica 91. Velocidad del aire a 116km/h

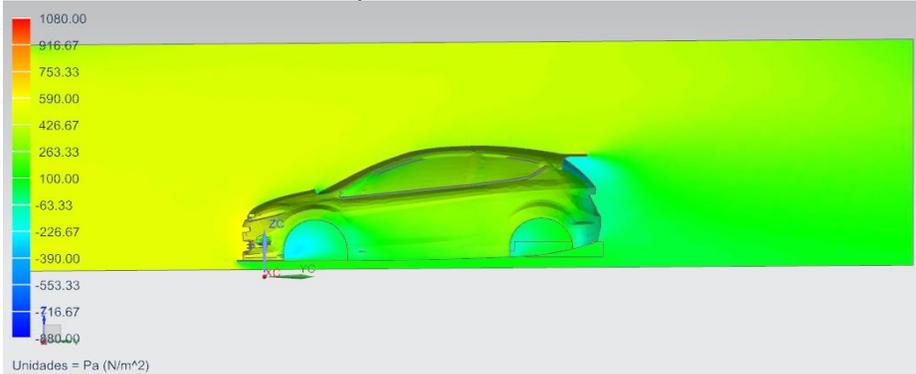


Gráfica 92. Velocidad del aire a 128km/h

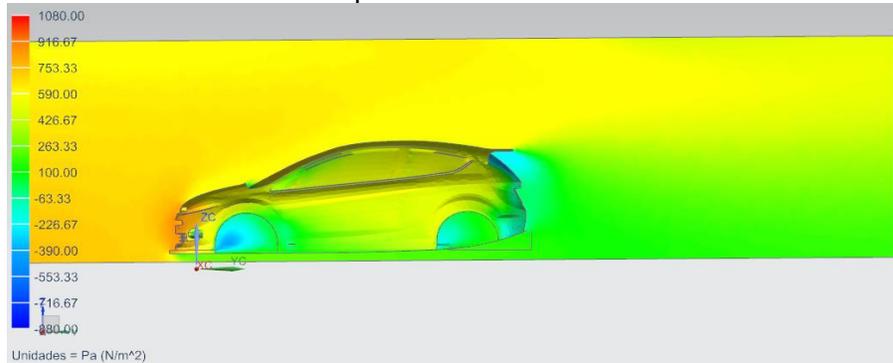


Para las velocidades del aire se aprecia que los estancamientos del flujo no continúan en la parte frontal ni en la parte trasera del vehículo, adicionalmente en la parte frontal del vehículo se puede ver la división del flujo en el splitter, por lo que la parte superior de este tiene un flujo lento y la parte inferior tiene un flujo rápido.

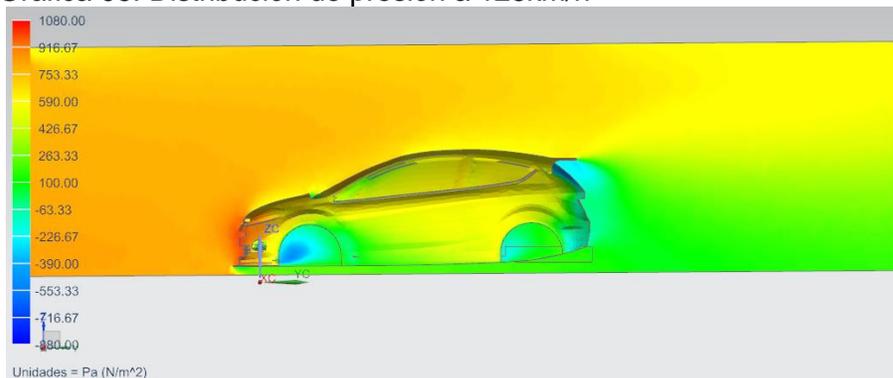
Gráfica 93. Distribución de presión a 95km/h



Gráfica 94. Distribución de presión a 116km/h



Gráfica 95. Distribución de presión a 128km/h



Las gráficas de distribución de presión mostradas anteriormente evidencian que a medida que aumenta la velocidad, la presión también crece debido a que existe una mayor fuerza de arrastre.

Las fuerzas de arrastre y sustentación en la tabla 18 se aprecia un aumento de la magnitud con respecto a la velocidad, esto es debido a que el flujo de aire genera resistencia.

Tabla 18. Fuerzas del modelo con paquete aerodinámico

Velocidad (km/h)	Fuerza de arrastre (N)	Fuerza de sustentación negativa (N)
95	677,586	452,642
116	1023,38	692,828
128	1266,17	848,952

Nota: 1-La fuerza de arrastre va en dirección del flujo de aire.

2-La fuerza de sustentación negativa va en dirección perpendicular hacia abajo del vehículo.

Al analizar la tabla anterior se evidencia que a mayor velocidad del aire; el vehículo se estabiliza debido a la fuerza de sustentación negativa que genera el paquete aerodinámico.

En las tablas 19 y 20 mostradas a continuación se evidencia respectivamente el coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación a diferentes velocidades.

Tabla 19. Coeficientes de arrastre

Velocidad (km/h)	Fuerza de arrastre (N)	Coeficiente de arrastre
95	667,586	1,002
116	1023,38	1,015
128	1266,17	1,032

Se puede concluir de la tabla 18 que el coeficiente de arrastre aumenta con el cambio de velocidad, pero otro factor importante es el difusor el cual genera presión hacia el suelo en la parte trasera del vehículo.

Tabla 20. Coeficientes sustentación

Velocidad (km/h)	Fuerza de sustentación negativa (N)	Coeficiente de sustentación
95	452,642	0,67
116	692,828	0,687
128	848,952	0,692

Cabe destacar de la tabla anterior que, gracias al paquete aerodinámico principalmente el difusor, al aumentar la velocidad del vehículo también aumenta el coeficiente de sustentación generando "efecto suelo" que permite estabilizar el vehículo.

Comparación modelo actual vs modelo con paquete aerodinámico: con el fin de ver los resultados que desarrolla el paquete aerodinámico se comparan diferentes variables que el vehículo está sometido en la competición.

El número de Reynolds que es un valor adimensional, donde están sometidos todos los fluidos y expresa una relación de viscosidad y velocidad del fluido, permite comparar fácilmente el modelo con paquete aerodinámico con el modelo actual, comparando las fuerzas de sustentación y arrastre por medio de coeficientes.

Para determinar Reynolds de las diferentes velocidades de un cuerpo sumergido en un fluido se usa la fórmula de Reynolds en la capa límite del vehículo teniendo la velocidad inicial, la viscosidad cinética y el ancho de la capa límite. En este caso el ancho de la capa límite, equivale al largo del vehículo mostrado en la ficha técnica del ANEXO A.

$$R_s = \frac{v * l}{\nu}$$

Donde:

R_s = Reynolds según la superficie.

v = Velocidad.

l = Longitud de la superficie.

ν = Viscosidad.

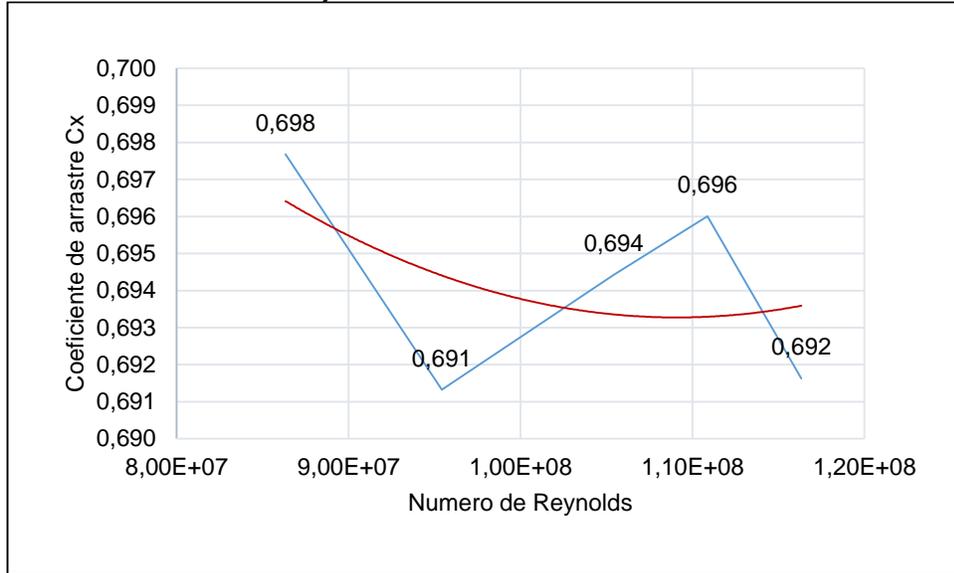
$$R_s = \frac{32,22 \frac{m}{s} * 4,057m}{1,24 \times 10^{-6} \frac{m^2}{s}}$$

$$R_s = 1,05 \times 10^8$$

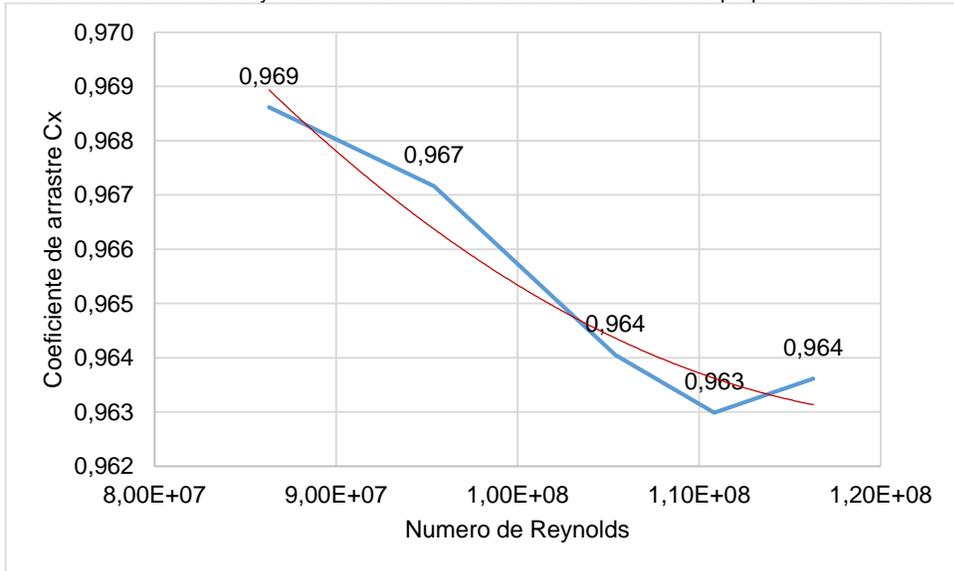
En las siguientes graficas de la 96 a 100 se observa el análisis del modelo actual con respecto al modelo con paquete aerodinámico.

En la gráfica 96 se muestra en el modelo actual una variación de Reynolds, el cual influye en el coeficiente de arrastre haciendo que este disminuya, debido a la fuerza de sustentación. Provocando una pequeña elevación del vehículo. Para el modelo con paquete aerodinámico. En la gráfica 97, es clara la línea de tendencia punteada de color rojo, es claro un incremento del coeficiente de arrastre a diferentes números de Reynolds, dando aproximadamente un valor promedio total entre los dos modelos de 45%. Esto quiere decir que, a mayor velocidad se genera más fuerza de arrastre haciendo que el vehículo requiera más potencia.

Grafica 96. Número de Reynolds vs coeficiente de arrastre del modelo actual

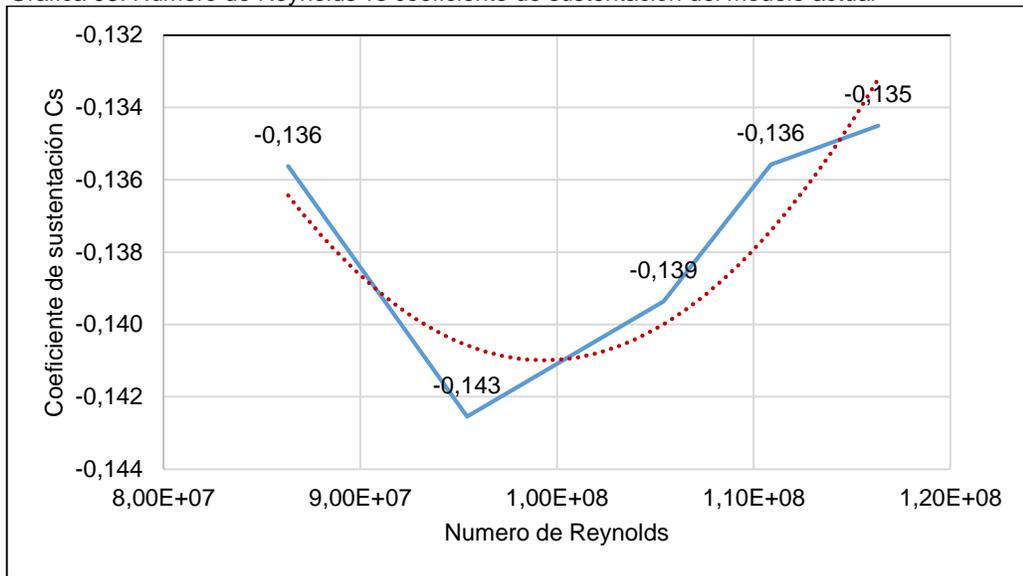


Grafica 97. Número de Reynolds vs coeficiente de arrastre del modelo con paquete aerodinámico

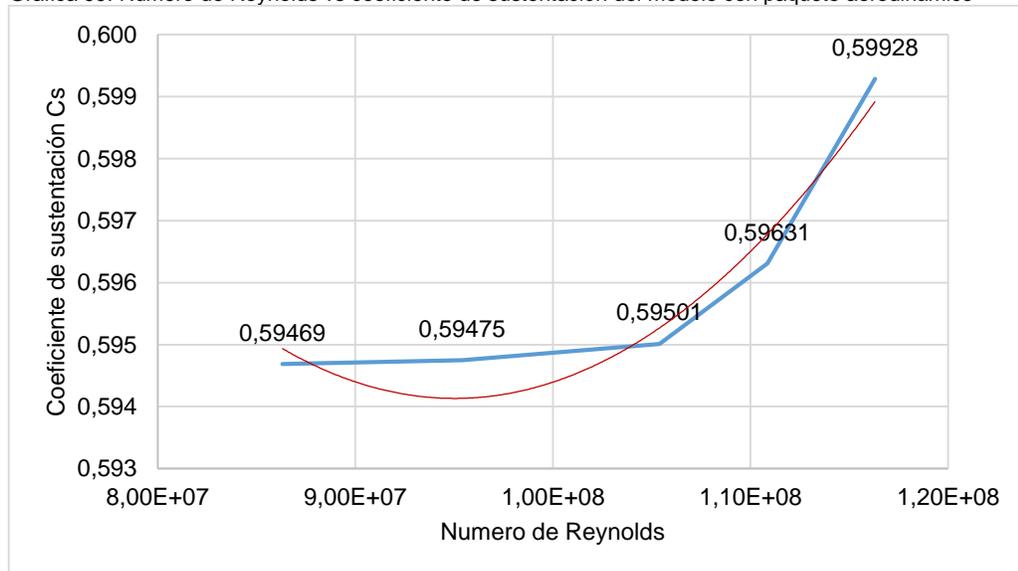


Comparando las gráficas 98 y 99 existe una mejora del coeficiente de sustentación a diferentes números de Reynolds del modelo actual con respecto al modelo con paquete aerodinámico, dando aproximadamente un valor promedio total entre las dos de 400%. Esto quiere decir que genera mejor fuerza de sustentación negativa haciendo que el vehículo mejore la estabilidad y aumente la velocidad en curva.

Grafica 98. Número de Reynolds vs coeficiente de sustentación del modelo actual

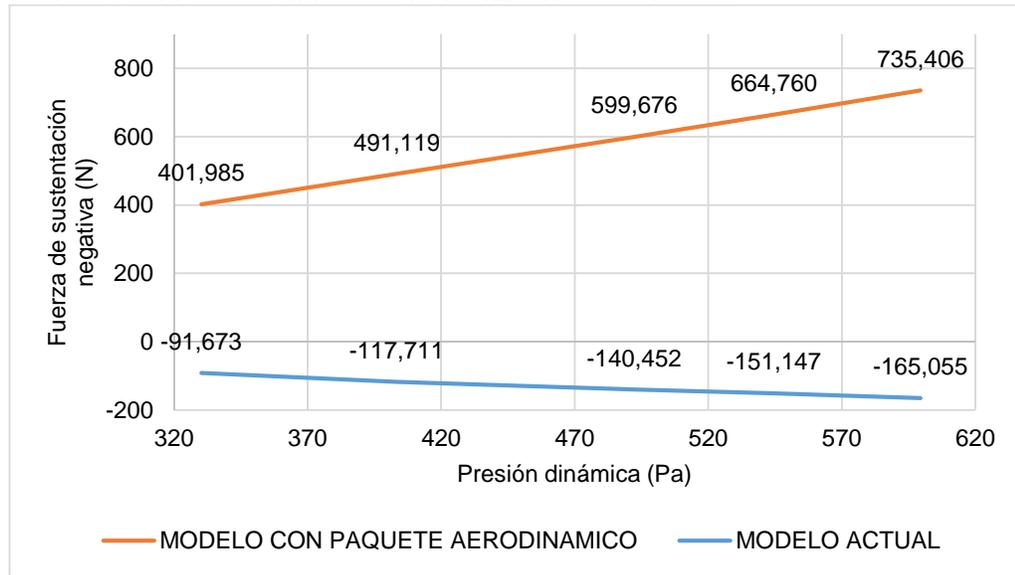


Grafica 99. Número de Reynolds vs coeficiente de sustentación del modelo con paquete aerodinámico

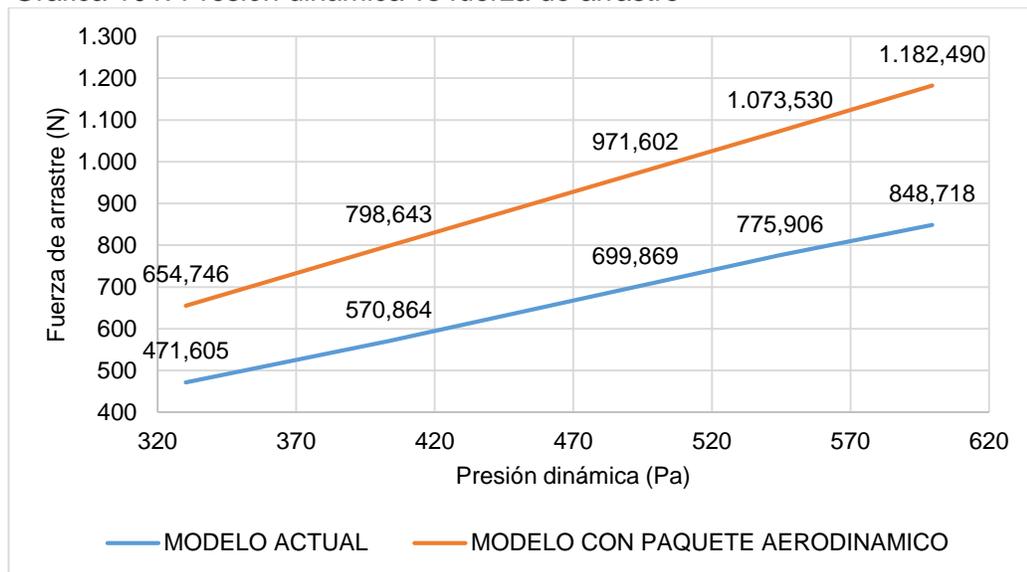


Como se observa en las gráficas 100 y 101, a medida que aumenta la presión dinámica en el vehículo, también aumenta la fuerza de arrastre para los dos casos. En el modelo con paquete aerodinámico, la fuerza de sustentación negativa genera un aumento con respecto a la presión dinámica, generando estabilidad en el vehículo; Mientras que, en el modelo actual la fuerza de sustentación negativa empeora con el aumento de la presión dinámica, volviendo el vehículo inestable.

Grafica 100. Presión dinámica vs fuerza de sustentación

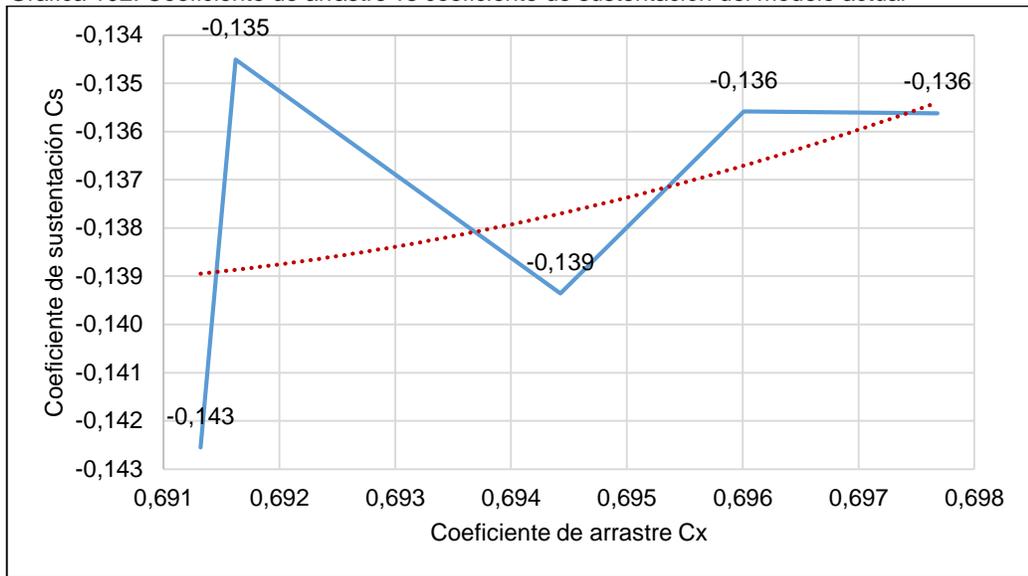


Grafica 101. Presión dinámica vs fuerza de arrastre

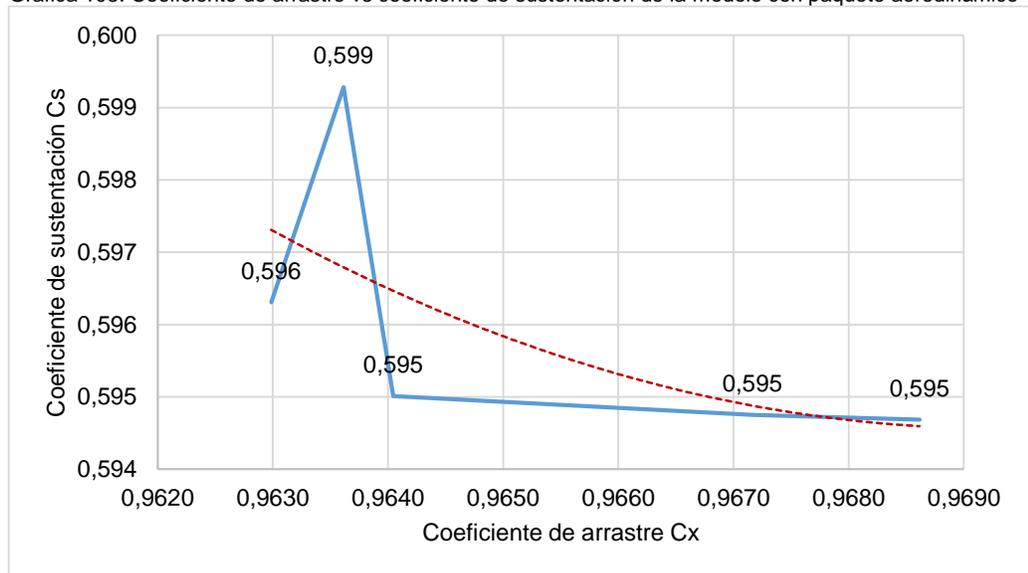


Como se observa en la gráfica 102 el coeficiente de sustentación no es simétrico generando valores inesperados con respecto al coeficiente de arrastre. Esto se debe a que el vehículo no tiene un canal de aire en la parte baja, en la gráfica 103 al introducir dicho canal “paquete aerodinámico” genera un orden en el cual el coeficiente de sustentación es proporcional al coeficiente de arrastre.

Grafica 102. Coeficiente de arrastre vs coeficiente de sustentación del modelo actual

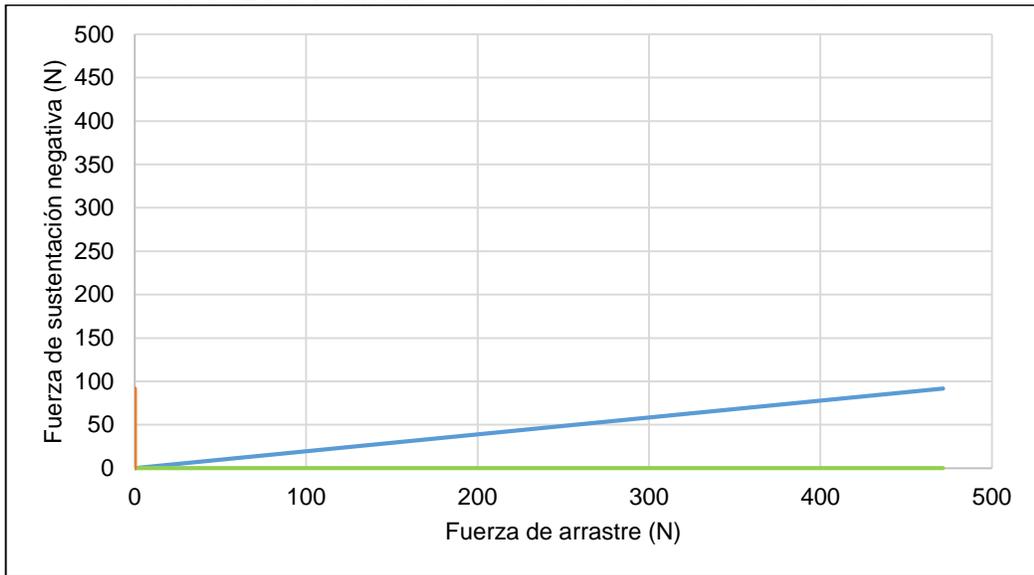


Grafica 103. Coeficiente de arrastre vs coeficiente de sustentación de la modelo con paquete aerodinámico



Como se puede apreciar en las gráficas 104 a 106, la fuerza aerodinámica del modelo actual tiene aproximadamente un ángulo de incidencia de 10° . Esto quiere decir que el modelo actual a diferentes velocidades genera poca sustentación y el arrastre es el principal factor de la fuerza aerodinámica total.

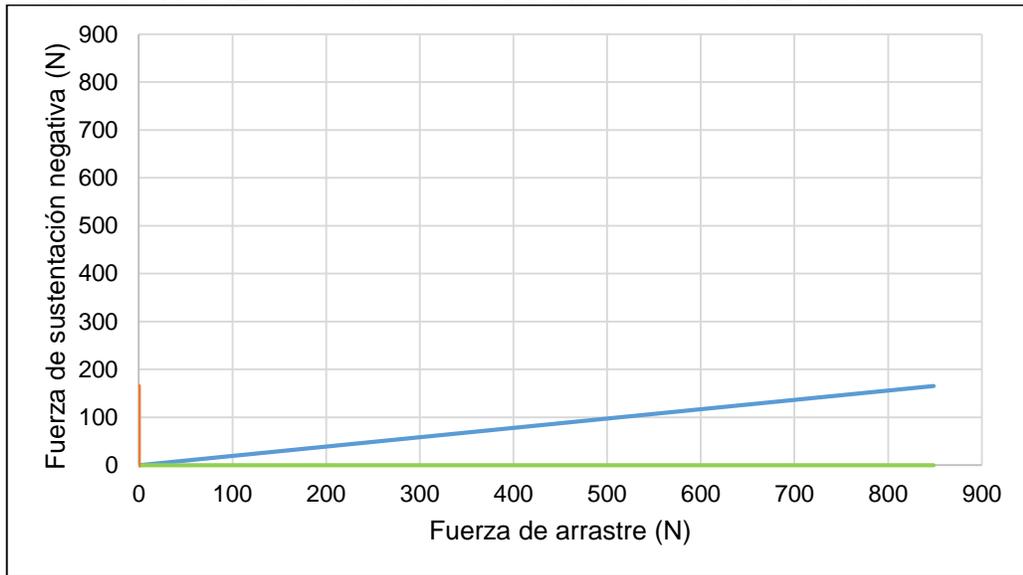
Grafica 104. Fuerza aerodinámica total del modelo actual 95km/h



Grafica 105. Fuerza aerodinámica total del modelo actual 116km/h

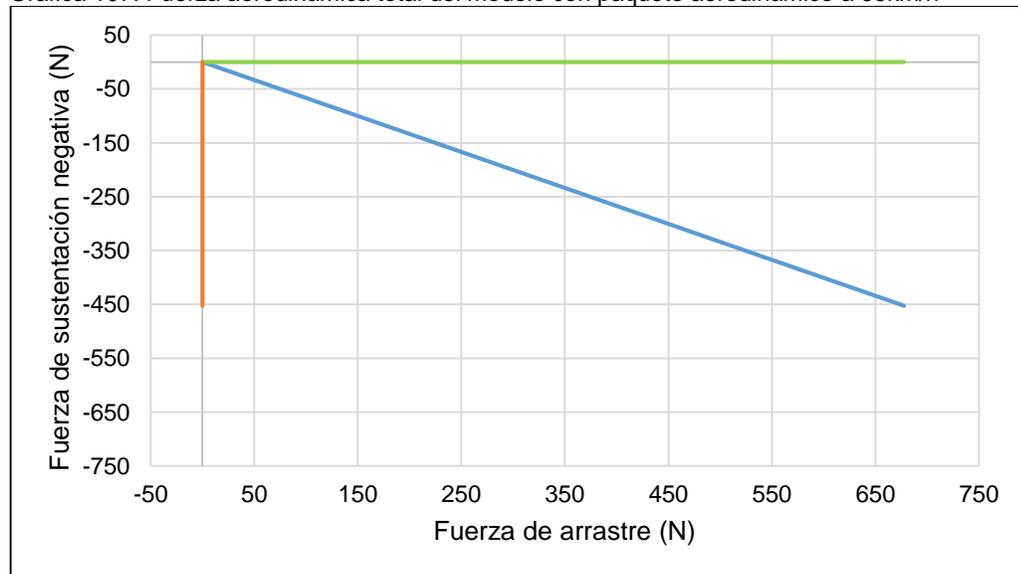


Grafica 106. Fuerza aerodinámica total del modelo actual 128km/h

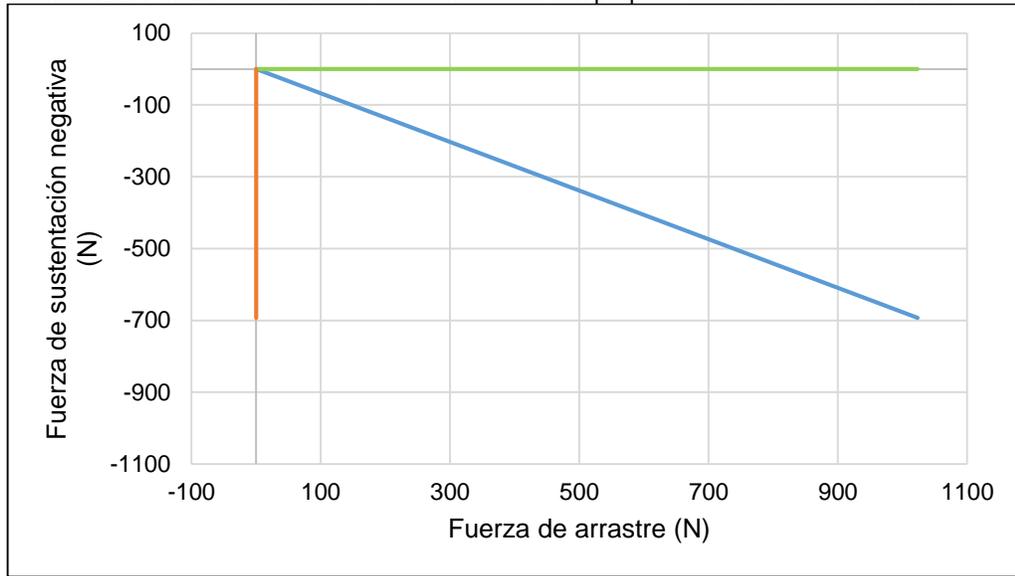


En las gráficas 107 a 109, la fuerza aerodinámica del modelo con paquete aerodinámico, tiene aproximadamente un ángulo de incidencia de -33° , en el modelo con paquete aerodinámico a diferentes velocidades genera sustentación negativa sin que la magnitud del arrastre sea tan variable como en el modelo actual.

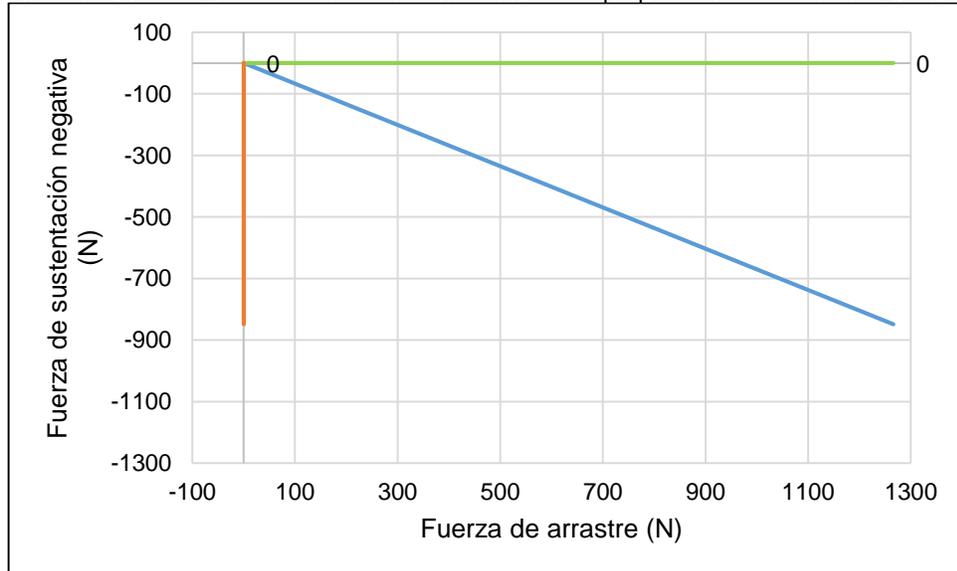
Grafica 107. Fuerza aerodinámica total del modelo con paquete aerodinámico a 95km/h



Grafica 108. Fuerza aerodinámica total del modelo con paquete aerodinámico a 116km/h

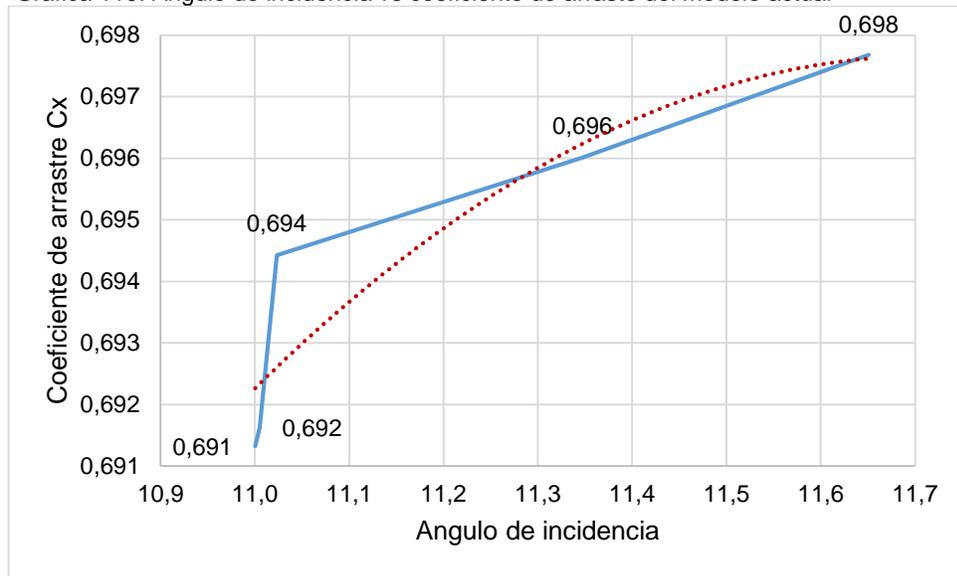


Grafica 109. Fuerza aerodinámica total del modelo con paquete aerodinámico a 128km/h

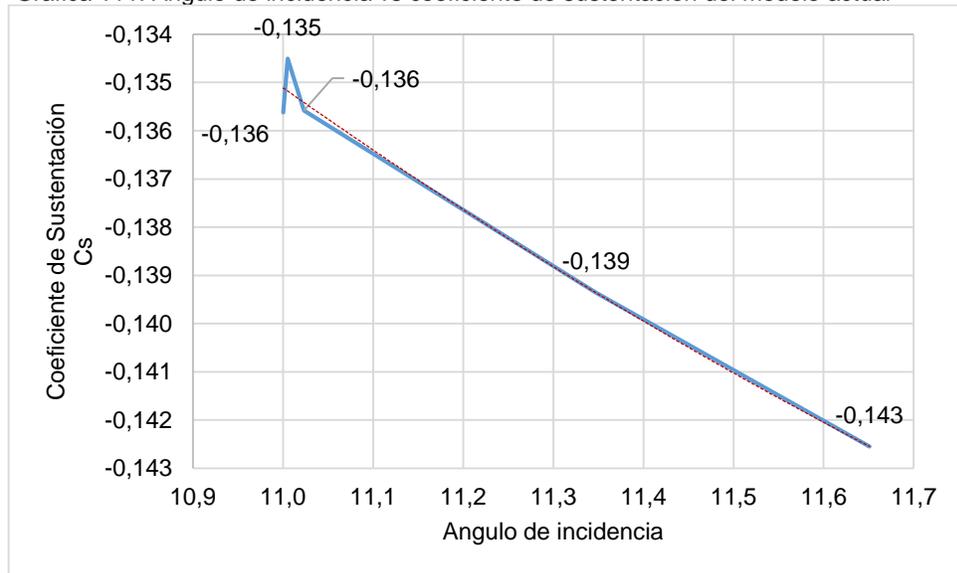


Como se observa en las graficas 110 y 111 al tener un ángulo de incidencia positivo, genera que el vehículo tenga una fuerza de sustentación positiva, haciendo que este se desestabilice y la fuerza de arrastre aumente.

Grafica 110. Angulo de incidencia vs coeficiente de arrastre del modelo actual

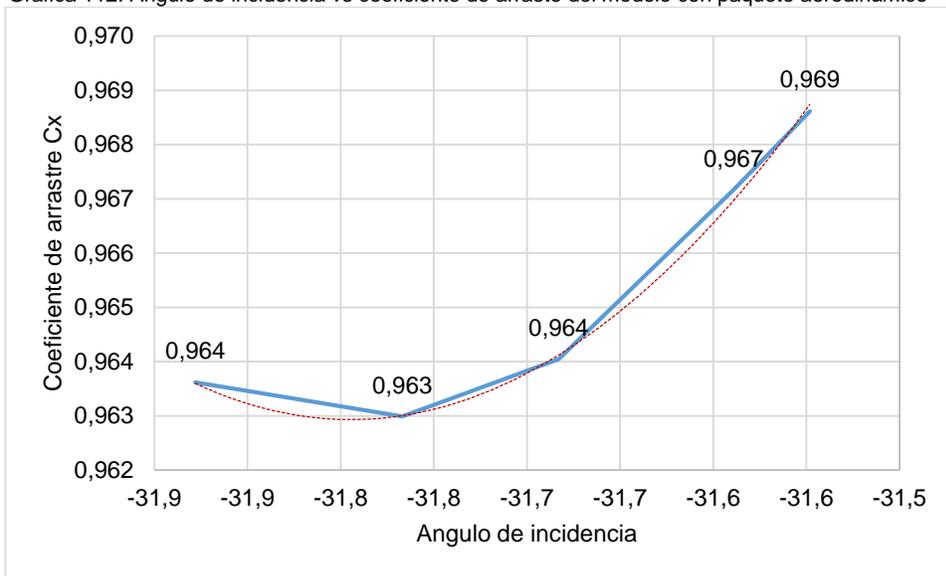


Grafica 111. Angulo de incidencia vs coeficiente de sustentacion del modelo actual

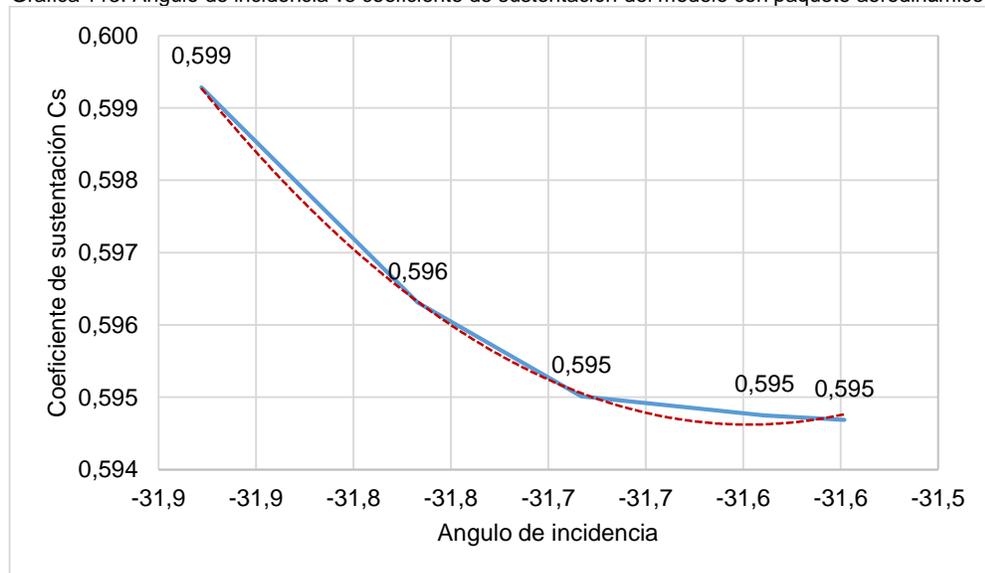


El efecto contrario del modelo actual se aprecia en las gráficas 112 y 113 el cual el modelo con paquete aerodinámico genera un ángulo de incidencia negativo y contribuye a una sustentación negativa con el fin de que el vehículo sea más estable, teniendo la desventaja de un aumento de arrastre.

Grafica 112. Angulo de incidencia vs coeficiente de arrastre del modelo con paquete aerodinámico



Grafica 113. Angulo de incidencia vs coeficiente de sustentación del modelo con paquete aerodinámico



La resistencia aerodinámica es una fuerza ejercida por el flujo de aire contra un cuerpo y está dada por la presión dinámica, la velocidad, el área frontal y el coeficiente de arrastre del vehículo.

En el caso del Ford Fiesta es necesario analizar el modelo actual en relación con los datos proporcionados anteriormente por el simulador para saber la resistencia aerodinámica generada por la fuerza de arrastre y el coeficiente de sustentación, los datos obtenidos en la gráfica 114 están dados por la fórmula que define el modelo actual a continuación:

$$Potencia = \frac{C_x * A * v^3}{1225}$$

Donde:

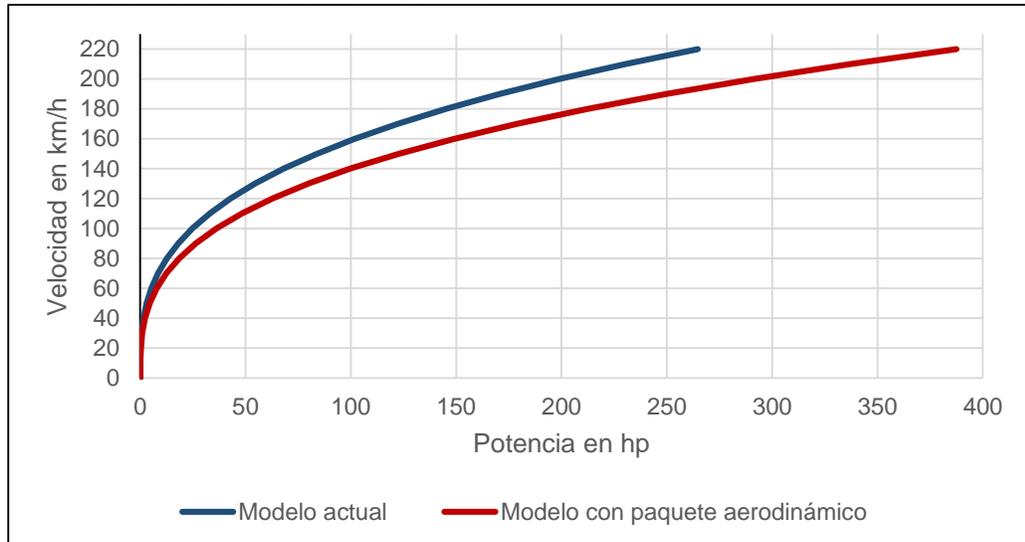
Cx: Coeficiente de arrastre.

A: Área frontal del vehículo.

v: Velocidad del vehículo.

La gráfica 114 muestra la resistencia que se genera debido al cambio de coeficiente de arrastre proporcionado por el programa de CFD de 1,016 del modelo con paquete aerodinámico dando un valor aproximado de velocidad máxima a los 180hp del Ford Fiesta de 170km/h.

Grafica 114. Resistencia aerodinámica



Nota: -La gasolina que puede ser consumida de más por el modelo con paquete aerodinámico no es relevante debido a que la reserva de combustible es bastante grande abasteciendo las necesidades que genera del paquete aerodinámico.

Al analizar la anterior gráfica se muestra una velocidad máxima en recta del modelo actual y el modelo con paquete aerodinámico, las especificaciones del modelo actual del Ford Fiesta el cual genera 180hp desarrolla una velocidad máxima vista en la gráfica 68 de aproximadamente 200km/h con un coeficiente de arrastre dado por el simulador de 0.694.

Es normal que con el paquete aerodinámico reduzca la velocidad máxima en 30km/h debido a que existe una relación entre el coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación. Si aumenta el coeficiente de sustentación, el coeficiente de arrastre también debe aumentar, la consecuencia de la reducción de velocidad en recta es porque en curva se gana la mayor parte del tiempo gracias a la sustentación.

La variación de arrastre entre los dos modelos empieza con una mínima diferencia a partir de 40km/h donde en ese punto la curva muestra una diferencia de potencia para que los modelos generen la misma velocidad.

A continuación, se determina la velocidad ganada en curva de acuerdo con los datos obtenidos por el CDF y el cuadro 9 se encuentra diferentes coeficientes de fricción dependiendo de material.

Cuadro 9. Coeficientes de fricción

MATERIAL	Cf
Acero con acero	0,74
Aluminio con acero	0,61
Cobre con acero	0,53
Caucho con concreto	1,0
Madera con madera	0,25-0,5
Vidrio con vidrio	0,94
Madera encerada con nieve húmeda	0,14
Madera encerada con nieve seca	0,04
Metal con metal (lubricados)	0,15
Hielo con hielo	0,1
Teflón con teflón	0,04
Articulaciones sinoviales de seres humanos	0,01

Fuente: Libro "FISICA" Pág. 97

Con el coeficiente de fricción que es de 1,0 (caucho con concreto), el radio de la curva de valientes es de 74,21 m y la masa del vehículo es 1057kg se determina la velocidad teórica en la curva.

$$V = \left(\sqrt{\frac{1 * 1057kg * 9,81 \frac{m}{s^2} * 74,21m}{1057kg}} \right) * \left(\frac{3600s}{1h} \right) * \left(\frac{1km}{1000m} \right)$$

$$V = 97,13 \frac{km}{h}$$

Con esa velocidad se calcula la carga de sustentación negativa que genera el paquete aerodinámico el cual experimenta el vehículo.

$$Carga = \frac{0,9484 \frac{kg}{m^3}}{2} * \left(24,98 \frac{m}{s}\right)^2 * 2,047m^2 * 0,595$$

$$Carga = 420,53N$$

Con ese peso extra que genera el paquete aerodinámico, se calcula la nueva velocidad para poder determinar cuánto fue el incremento de la velocidad en la curva.

$$V = \left(\sqrt{\frac{1 * \left(\left(1057kg * 9,81 \frac{m}{s^2} \right) + 420,53N \right) * 74,21m}{1057kg}} \right) * \left(\frac{3600s}{1h} \right) * \left(\frac{1km}{1000m} \right)$$

$$V = 99,083 \frac{km}{h}$$

Para determinar la diferencia de velocidades, se compara la velocidad de las ecuaciones anteriores sin paquete aerodinámico y con paquete aerodinámico para dar una velocidad ganada en la curva de valientes.

$$V_{ganada} = (99,083 - 97,13) \frac{km}{h}$$

$$V_{ganada} = 1,95 \frac{km}{h}$$

Como se observa el vehículo obtuvo un incremento teórico de 1,95 km/h en la curva gracias al paquete aerodinámico, esto representa menor tiempo de vuelta.

Tiempo ganado en las curvas

Para poder determinar cuánto es la ganancia total en la pista se toma el ANEXO D que especifica las dimensiones de la pista para así determinar cuánto es el tiempo ganado en cada curva con el paquete aerodinámico con el fin de saber cuánto es el tiempo que gana el vehículo en una vuelta, como se observa en la tabla 21.

Tabla 21. Tiempos en curvas

Radio de la curva (m)	Velocidad de vuelta (km/h)	Carga (N)	Velocidad con paquete (km/h)	Perímetro de la curva (m)	Tiempo sin paquete aerodinámico (s)	Tiempo con paquete aerodinámico (s)	Ganancia de tiempo (s)
74,210	97,133	420,530	99,083	87,300	3,236	3,172	0,064
60,250	87,522	341,422	88,951	88,290	3,632	3,573	0,058
50,510	80,136	286,228	81,234	47,500	2,134	2,105	0,029
38,060	69,562	215,677	70,282	48,100	2,489	2,464	0,025
102,120	113,944	578,689	117,081	75,690	2,391	2,327	0,064
38,450	69,917	217,887	70,648	75,560	3,891	3,850	0,040
134,540	130,786	762,406	135,509	73,220	2,015	1,945	0,070
184,960	153,347	1048,123	160,911	108,950	2,558	2,437	0,120
73,190	96,463	414,750	98,374	178,330	6,655	6,526	0,129
165,000	144,837	935,015	151,226	44,440	1,105	1,058	0,047
81,090	101,536	459,517	103,762	58,700	2,081	2,037	0,045
64,150	90,310	363,522	91,879	61,700	2,460	2,418	0,042
35,930	67,587	203,607	68,248	34,200	1,822	1,804	0,018
45,950	76,433	260,387	77,387	74,780	3,522	3,479	0,043
70,240	94,499	398,033	96,296	60,260	2,296	2,253	0,043
56,990	85,121	322,948	86,436	11,380	0,481	0,474	0,007
165,500	145,056	937,848	151,474	106,800	2,651	2,538	0,112
TOTAL					45,417	44,460	0,957

Tomando el circuito dos de 2725 metros y 17 curvas se analiza el tiempo ganado en cada curva para determinar el tiempo ganado por vuelta gracias al paquete aerodinámico, como se observa en la tabla 21 el tiempo que gana teóricamente el vehículo con el paquete aerodinámico es de aproximadamente un segundo por vuelta.

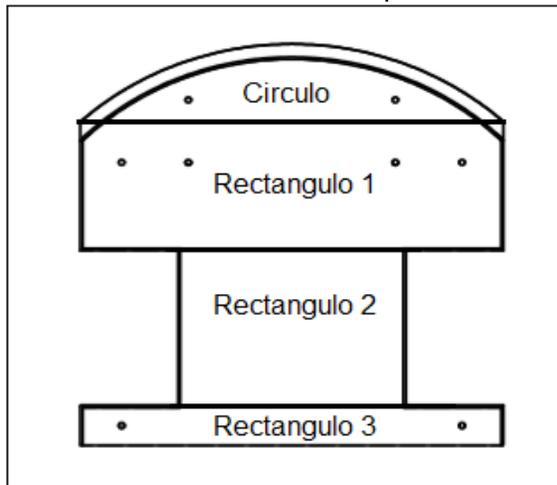
7. EVALUACION DE COSTOS

Este capítulo se determinan los costos de inversión del modelo con paquete aerodinámico el cual tiene mejor rendimiento y cumple los requisitos de diseño.

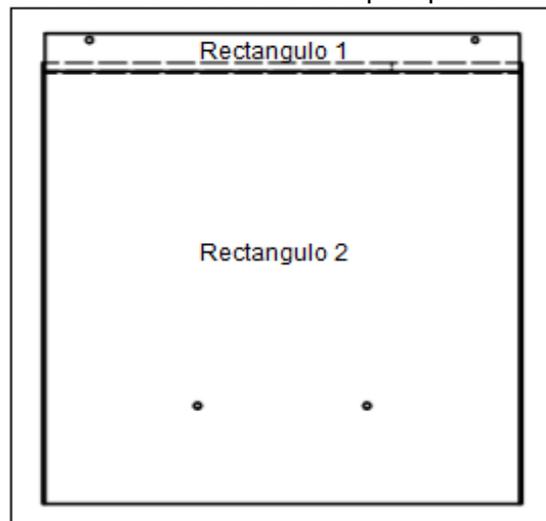
Cabe destacar que el implemento del paquete aerodinámico genera un rendimiento monetario el cual no es muy específico al momento de evaluarlo debido a que tiene muchos factores externos como la publicidad, el despeño en pista, la competencia, entre otros; Lo cual esta evaluación muestra los costos necesarios para la inversión de la creación del paquete aerodinámico.

Las gráficas 115 a 117 muestran las secciones como se divide los tres componentes del paquete aerodinámico.

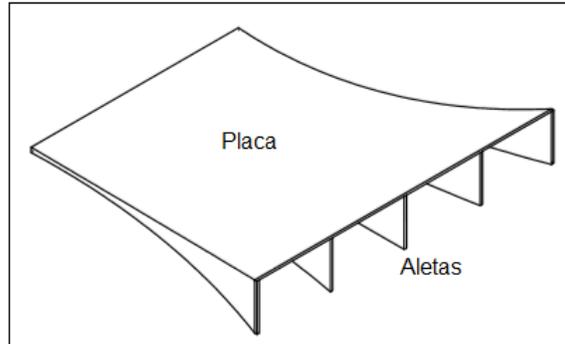
Grafica 115. Secciones del splitter



Grafica 116. Secciones del piso plano



Grafica 117. Secciones del difusor



En las tablas 22 a 25 se muestra el área de cada componente que está formado el paquete aerodinámico con el fin de saber cuánto material se necesita para cada una de las partes.

Tabla 22. Área total del splitter

Sección del splitter	Área en m ²
Área sección del círculo	0,34
Área rectángulo 1	1,08
Área rectángulo 2	0,72
Área rectángulo 3	0,34
Total sin borde	2,48
Área borde	0,34
Total	2,81

Tabla 23. Área total del piso plano

Sección del piso plano	Área en m ²
Área rectángulo 1	3,30
Área rectángulo 2	0,22
Total sin borde	3,52
Área borde	0,11
Total	3,63

Tabla 24. Área total del difusor

Sección del difusor	Área en m ²
Placa	1,51
Aleta x5	0,58
Total	2,09

Tabla 25. Área total del paquete aerodinámico

Pieza	Área
Splitter	2,81
Piso plano	3,63
Difusor	2,09
Total	8,53

El área total de los componentes del paquete aerodinámico suma 8,53m². El kevlar reforzado se comercializa en Colombia por m² con un valor para el 2016 de \$150.000 + IVA.

Los costos de los materiales se muestran en la tabla 26 donde se especifica cuánto cuesta cada material y su valor total. Los pernos usados son SAE grado 5 de 1 pulgada de diámetro. El kevlar reforzado tiene como unidad m².

Tabla 26. Costos de materiales

Ítem	Unidad	Valor unitario	Total
Perno SAE grado 5	14	\$900	\$12.600
Kevlar reforzado	9	\$150.000	\$1'350.000
Varilla mecanizada	8	\$20.000	\$160.000
Total			\$1'522.600

Con los materiales descritos anteriormente, es necesario contratar al personal requerido para la construcción del paquete aerodinámico, mostrado en la tabla 27.

Tabla 27. Talento humano

Ítem	Costo
Costo de ingeniería	\$5'525.000
Corte	\$400.000
Doblado	\$200.000
Soldadura	\$500.000
Montaje y ensamblaje	\$700.000
Total	\$7'325.000

En la tabla 28 muestra el costo total del paquete aerodinámico y el talento humano para la construcción del mismo que es de \$8'847.600.

Tabla 28. Costo total del paquete aerodinámico

Ítem	Costo
Costo de materiales	\$1'522.000
Talento humano	\$7'325.000
Total	\$8'847.000

8. CONCLUSIONES

- La mayor carga aerodinámica que genera el paquete, se concentra en el difusor con un 50% de la carga aerodinámica representado en la fuerza de sustentación negativa, el splitter un 42% y el piso plano un 8%.
- Entre menor distancia haya entre el splitter y el suelo, se genera mejor rendimiento aerodinámico, con el fin de tener mayor velocidad del flujo y menor presión en la parte baja del vehículo, generando una fuerza de sustentación negativa
- Al implementar un paquete aerodinámico a cualquier vehículo este reducirá su velocidad en recta debido al arrastre generado por el paquete, sin cambiar la potencia del vehículo. Pero La velocidad en las curvas aumenta por la estabilidad que le genera el paquete aerodinámico como resultado de la fuerza de sustentación negativa
- El análisis de un paquete aerodinámico con CFD debe estar sometido como complemento a un análisis experimental con túnel de viento o prueba en pista, con el fin de diseñar el paquete más efectivo para el vehículo, los resultados en aerodinámica se ven reflejados a partir de una velocidad de 80km/h donde es posible apreciar en los resultados arrojados por el software el cambio de la fuerza aerodinámica total.
- La mayor ventaja del análisis CFD es la realización de numerosos ensayos numéricos sin la necesidad de elevar costos en la creación de modelos, analizando mayor número de modelos con el fin de generar nuevos diseños o modificando un diseño existente.

9. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar un análisis de túnel de viento o prueba en pista al modelo con paquete aerodinámico, para expresar un resultado cercano a la realidad. Antes de realizar un cambio al vehículo en competición.
- Se recomienda un análisis de diferentes alerones o spoiler trasero, para verificar las variaciones de flujo con respecto al modelo actual y al modelo con paquete aerodinámico, con el fin de mejorar el rendimiento entre fuerza de arrastre y la fuerza de sustentación negativa.
- Se recomienda un análisis del exterior del vehículo con diferentes accesorios como lo son flaps, modificar las aberturas en el capo y canales aerodinámicos en el cuerpo del vehículo.
- Se recomienda realizar ensayos experimentales para obtener datos de resistencia al avance con el propósito de correlacionarlos con los resultados numéricos y realizar una comparación grafica de las curvas de resistencia al avance y poder concluir un valor aproximado de la diferencia entre lo obtenido de los ensayos y los ensayos numéricos.

BIBLIOGRAFÍA

Autódromos S.A., Pistas. [En línea] 2015. Citado [29–Ene-2016] Disponible en: (<http://autodromodetocancipa.com/autodromo/page/circuitos-autodromo/>)

Autódromos S.A., Reglamento general. [En línea] 2015. Citado [22–Sep-2015] Disponible en: (www.clublostortugas.com/servlet/Download.php?idExternalFile=3750&name=Reglamento%20General%20CNA%20-%202015..pdf)

Autódromos S.A., Reglamento Técnico. [En línea] 2015. Citado [22–Sep-2015] Disponible en: (www.clublostortugas.com/servlet/Download.php?idExternalFile=3750&name=Reglamento%20Tecnico%20CNA%20-%202015..pdf)

FICHA TÉCNICA, Ford Fiesta. [En línea] 2015. Citado [15-Sep-2015] Disponible en: (http://www.ford.com.co/servlet/BlobServer/Fiesta_brochure.pdf?blobtable=DFYBlob&blobheader=application/pdf&blobwhere=1249184350570&blobcol=urlblob&blobkey=id&gnav=header-brochure)

FTechnical courses, Estudio de la aerodinámica de un vehículo. [En línea] 2015. Citado [10–Feb-2016] Disponible en: (http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89)

FuelWaters, Fondo plano [en línea] 2016. Citado [2-mar-2016] disponible en: (<http://glosariofuelwasters.blogspot.com.co/2011/07/fondo-plano-suelo-plano.html>)

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias bibliográficas, contenido, forma y escritura. NTC5613. Bogotá: ICONTEC, 2008, p1-2

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC4490. Bogotá: ICONTEC, 1998 p.2

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. NTC 1486 documentación, presentación de tesis, trabajo de grado y otros trabajos de investigación. Sexta actualización. Bogotá: ICONTEC, 2008 110p.

KATZ. Joseph, Race Car Aerodynamics. USA: Bentley Publisher, 1994. 240p

MATAIX, Claudio. (1982). Mecánica de Fluidos y Maquinas Hidráulicas. México: México Oxford 1982.

MC BEATH. Simón, Aerodinámica del automóvil de competición. BARCELONA: CEAC. 2005. 248p.

Michaelhiscoe, Piso plano. [en línea] 2016. Citado [11-Abr-2016] disponible en: (<http://www.michaelhiscoe.com/2011/09/how-to-make-a-carbon-fibre-racecar-splitter/>)

MUNSON, Bruce Roy; Theodore HISAO, Young, Donald F. (2005). Fundamentos de Mecánica de Fluidos. México: Lumusa WILEY

My Laps, 6 horas de Bogotá. [en línea] 2015. Citado [29-Ene-2016] disponible en: (<http://www.mylaps.com/en/classification/3348772?perClass=1>)

Raymond A. Serway y Jerry S. Faughn, Física. Volumen 1, séptima edición. 713p.

RILEY, William F; Arriola JUAREZ; (2001). Mecánica de Materiales. México: limusa.

WORLD TIME ATTACK CHALLENGE [en línea] [22-Sep-2015] disponible en: (<http://www.worldtimeattack.com/index.php/understanding-wtac-aerodynamics/>)

ANEXOS

ANEXO A.
FICHA TÉCNICA FORD FIESTA



FORD FIESTA CON 24 INNOVACIONES

FIESTA CON 24 INNOVACIONES LISTAS PARA SER USADAS.

Aquí encontrarás más de 24 razones para elegir el FIESTA. Conócelo y sabrás por qué es el carro más equipado en su categoría.

Es un diseño más sofisticado, que se destaca en su parrilla trapezoidal imponente, los grupos ópticos delantero y trasero, en su capó esculpido y en su parachoques envolvente. Kinetic Design 2.0 es diseño inspirado en la energía en movimiento.

KINETIC
DESIGN 2.0

PESOS

	SPORTBACK/HATCHBACK
CAPACIDAD DEL BALCÓN	362 l / 281 l
TANQUE DE COMBUSTIBLE	47L
PESO VACÍO MANUAL	1.169 kg / 1.151 kg
PESO VACÍO POWERSHIFT	1.192 kg / 1.168 kg



MOTOR

TIPO	BUMPER 1.6 I TRICT 164
DEPLAZAMIENTO	1.597 c.c.
CILINDROS	4
POTENCIA MÁXIMA	120 HP @ 6350 R.P.M.
TORQUE MÁXIMO	112 kg/ft (92 Nm) @ 5.000 R.P.M.
RELACIÓN DE COMPRESIÓN	11,0 : 1



DIMENSIONES

	SPORTBACK/HATCHBACK
① LONGITUD TOTAL	4.409 mm / 4.056 mm
② ANCHO TOTAL	1.722 mm
③ ALTURA TOTAL	1.473 mm
④ DISTANCIA ENTRE EJE	2.490 mm



SISTEMA DE FRENOS

TIPO	FRENOS DE POTENCIA CON ABS Y CONTROL DE ESTABILIDAD (ESC CON ADHESIÓN)
DELANTEROS	DISCOS VENTILADOS
TRASEROS	TAMBOR

LLANTAS Y RINES

	SE	TITANIUM
LLANTAS	PIPS/GORIS	PIPS/SORT6
RINES	15" ALEACIÓN	16" ALEACIÓN
LLANTA DE REPUESTO	REPUESTO 15" x 4" MINIPARE TEMPORAL DE ACERO	

DIRECCIÓN

TIPO	ASISTIDA ELÉCTRICA EPS CON SISTEMA DE ANULACIÓN DE VIBRACIONES Y COMPENSACIÓN DE DIRECCIÓN
COLUMNA	TELESCÓPICA
RELACIÓN	14,25 : 1



6 PowerShift
con nueva
relación 4,105



CAJA

La transmisión PowerShift con SelectShift de 6 marchas te brinda un nuevo nivel de comodidad y rendimiento, gracias a su tecnología de doble embrague seco robotizado, con la que garantiza un avance de marchas suave, eficiente y sin interrupciones, ya sea en modo automático o manual-secuencial.

RELACIONES DE CAJA	TRANSMISIÓN MANUAL DE 6 VELOCIDADES	TRANSMISIÓN A 6 VELOCIDADES CON SELECTSHIFT
1ª	3,845 : 1	3,917 : 1
2ª	2,038 : 1	2,429 : 1
3ª	1,281 : 1	1,436 : 1
4ª	0,951 : 1	1,021 : 1
5ª	0,756 : 1	0,867 : 1
6ª	-	0,702 : 1
REVERSA	3,615 : 1	3,507 : 1
RELACIÓN FINAL DE EJE	4,07 : 1	4,105 : 1

SUSPENSIÓN

Experimenta un andar ágil, pero controlado gracias a su suspensión de inspiración europea.

DELANTERA	INDEPENDIENTE CON AMORTIGUADORES Y ESPRIALES TIPO MCPHERSON CON BARRA ESTABILIZADORA
TRASERA	DE TORCIÓN SEMIINDEPENDIENTE CON ESPRIALES Y AMORTIGUADORES DE COLUMNA ACTIVA



Ford Motor de Colombia se reserva el derecho de hacer cualquier modificación sin previo aviso a colores, equipos o especificaciones detalladas en este folleto.

DENTRO DEL FIESTA, SEGURIDAD TIENE UN MAYOR SIGNIFICADO.

Gracias a las sofisticadas tecnologías de Ford, el interior del Nuevo Fiesta es una cápsula de tranquilidad para ti y tus acompañantes.

7 AIRBAGS

- VOLANTES (2)
- DELANTEROS (2)
- CENTRALES (2)
- LATERALES (2)
- MOBILIAS DEL PILOTO
- PILOTO Y CONJUNTO
- LATERALES
- PILOTO Y CONJUNTO



CONTROL VECTORIAL DE TORQUE

Actúa como un diferencial de deslizamiento limitado para equilibrar constantemente la distribución de torque entre las ruedas delanteras. El resultado es una asistencia extra para ayudar al conductor a mantenerse en el camino, especialmente en las curvas, al entregar más torque a la rueda que se encuentra en la parte externa de la curva.

- CONTROL ELECTRONICO DE ESTABILIDAD
- ASISTENTE DE ARRANQUE EN PENDIENTE
- SENSOR DE REVERSA*
- SENSOR DE PRESION EN LAS LLANTAS (TPMS)
- SEGURIDAD ELECTRONICA CON CONTROLES DE CAMBIOS
- SEGURIDAD ELECTRONICA EN LAS 4 PUERTAS



Sensor de presión en llantas (TPMS)

- Alarma antirobo perimetral.
- Control remoto integrado a llave de apertura del vehículo y maletero.
- Sistema de alarma después de accidentes (S.O.S. Post Crash).
- Sistema antirobo con llave codificada (PATS).
- Cinturones de seguridad pretensionados.

* Disponible únicamente en el FORD FIESTA TITANUM.

Incluye una pantalla táctil LCD de 6,5" en panel central para control de audio, entretenimiento e información telefónica. 2 puertos USB; lector de memoria SD;

EQUIPAMIENTO INTERIOR

	SE	TITANUM
ENCENDIDO	-	BOTÓN DE ENCENDIDO
AIRE ACONDICIONADO	SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO MANUAL CON FILTROS	CLIMATIZADOR CON CONTROL AUTOMÁTICO DE TEMPERATURA (EATC)
COMUNICACIÓN	SYNC™ SISTEMA DE CONECTIVIDAD MÓVIL CON PANTALLA DE 5,0"	SYNC™ MY FORD TOUCH PANTALLA TÁCTIL DE 6,5"
VOLANTE	VOLANTE DE DIRECCIÓN FORMADO EN CUERO, INCLUYE CONTROLES DE CRUCEO, SYNC™ Y AUDIO.	
ILUMINACIÓN	AMBIENT LIGHTING / ILUMINACIÓN AMBIENTAL DE 7 COLORES	
PALANCA DE CAMBIOS	PALANCA DE CAMBIOS CON ACABADOS METALIZADOS	
DELANTEROS	TEJIDO BUNICO, ASIENTO MÍNIMO EN 4 POSICIONES (SELECCIÓN) Y 2 (OPCIONAL)	TEJIDO BUNICO, ASIENTO MÍNIMO EN 8 POSICIONES CON ASIENTO CALIENTE (PASAJERO) Y 2 (OPCIONAL)
ASIENTOS	TRASERO	ASIENTO TRASERO ASISTENTE 60/40
MATERIAL	TELA PREMIUM	CUERO
RADIO	AM/FM + CD + MP3 + ENTRADA AUXILIAR AUDIO	
PARLANTES	4 + 2 TWEETERS	
	CONSOLA DE PISO CENTRAL CON APARATOS, PORTAVIDEOS Y PORTAUSBETS TRASERO	
	CONSOLA DE TECHO	
	2 PORTAVIDEOS DELANTEROS Y 1 TRASERO.	



FUNCIONALES

- WI-FI HOTSPOT*
- MYKEY™
- TETO CONECTADO (SUNROOF) CON APERTURA ELECTRICA
- SENSOR DE LLAVES AUTOMÁTICO
- AMBIENT LIGHTING
- TORRES DE CARGA USB
- EASY FUEL
- ESPRIN ELECTROCRIMINOL*
- BOTÓN DE ENCENDIDO*
- APERTURA SIN LLAVE*
- CLIMATIZADOR AUTOMÁTICO (EATC)*
- VIDRIOS ELÉCTRICOS

EQUIPAMIENTO EXTERIOR

	SE	TITANUM
FAROS		FAROS DELANTEROS QUAD-BEAM HALOGENOS
ESPALDADERAS	-	ESPALDADERAS CON BIEL CROMADO
RUMPER		RUMPERE BODY COLOR
SPOILER		SPOILER TRASERO BODY COLOR (VERSION HATCHBACK)
PARRILLA		PARRILLA SUPERIOR NEGRA CON BARRAS CROMADAS
PARRILLA INFERIOR		PARRILLA INFERIOR NEGRA CON BOMBE PULCRADO
RETROVISORES		REVISOR EXTERNO CON LENTE DE BOMBE PULCRADO
REVISOR EXTERNO		REVISOR EXTERNO CON LENTE DE BOMBE PULCRADO
PANORAMICO		VEHICULO PANORAMICO CON LUMINADO ANTIRREFLEJO (SOLARPROOF WINDSHIELD)
LIMPIAVIDRIOS		LIMPIAVIDRIOS AUTOMÁTICOS Y LIMPICRISTALOS TRASERO (VERSION HATCHBACK)

* Disponible únicamente en el FORD FIESTA TITANUM.



Ford Motor informa a todos los usuarios de esta página, que la información contenida en ella y en sus distintos sitios es de carácter informativo y referencial. La información contenida en la misma no debe ser tomada en ningún momento como oferta susceptible de ser aceptada por tercera persona para los efectos de los artículos 845 y siguientes del Código de Comercio (o las normas que las reemplacen o sustituyan) ni como fuente de obligaciones para Ford Motor y/o sus socios de negocios en todas las secciones o sitios. En caso de requerir información precisa respecto de alguno de los productos o servicios a que se refiere esta página, será necesario que el Usuario contacte directamente a uno de nuestros concesionarios autorizados o a la línea de atención Ford, quienes le brindarán la asistencia requerida.

ANEXO B.
REGLAMENTO GENERAL DEL AUTÓDROMO DE TOCANCIPÁ



Club Los Tortugas

CLUB LOS TORTUGAS
CAMPEONATO NACIONAL DE AUTOMOVILISMO
2015
REGLAMENTO GENERAL

-CARACTERÍSTICAS

Artículo 1.- Este es un campeonato, organizado por el Club Los Tortugas para impulsar la modalidad de competencias de duración y velocidad, en el automovilismo colombiano. Como tal, y para garantizar su nivel y desarrollo, el Club se reserva el derecho de aceptar o negar las solicitudes de inscripción de cualquier participante, colombiano o extranjero, cuando a juicio del club el solicitante participante carezca de la idoneidad necesaria para participar en esta categoría de evento, aunque este posea una licencia otorgada por la FCAD. Esta decisión es potestativa del Club y no da lugar a reclamaciones o explicaciones.

-ORGANIZACIÓN

Artículo 2.- El Club Los Tortugas tiene la organización deportiva completa del campeonato, cuyo cumplimiento deportivo será vigilado por las autoridades de la FCAD y podrá recurrir a otras entidades para el apoyo logístico y promocional del certamen en todos sus aspectos.

El Club seguirá parámetros técnicos, de seguridad y de conducta definidos por la FCAD y su reglamento deportivo nacional, sin excepciones. No obstante, pueden presentarse parámetros o normas adicionales que complementen los establecidos por la FCAD y que se entienden aprobados una vez hayan sido validados por la Federación Colombiana de Automovilismo Deportivo para este campeonato.

-COMPETENCIAS Y CALENDARIO

Artículo 3.- El Campeonato Nacional 2015, consta de seis fechas así:

Marzo 15 Domingo
Abril 26 Domingo
Mayo 31 Domingo
Julio 5 Domingo
Agosto 23 Domingo
Octubre 17 Sábado

Las condiciones de cada competencia se especificarán en los reglamentos particulares que se publicarán 15 días antes de cada fecha con los detalles de horarios, directivos, etc.

Se establece como requisito obligatorio para participar en la competencia las 6 Horas de Bogotá, evento que no hace parte del Campeonato Nacional de Automovilismo CNA, el inscribirse y haber tomado la partida en cuatro fechas del campeonato (Marzo 15, Mayo 31, Agosto 30 y Octubre 17). Esta regulación es obligatoria salvo para automóviles extranjeros.

-RESULTADOS Y PREMIOS

Artículo 4.- Cada carrera tendrá su premiación independiente (trofeos) y el campeonato también. Es obligatorio que los pilotos que ocupen las tres primeras casillas en cada categoría se presenten al podio con su respectivo overol de piloto. Se resalta la obligación que el overol deberá estar debidamente vestido.

-PUNTAJES Y CONDICIONES

Artículo 5.- El campeonato Nacional se juzgará adjudicando puntos en cada una de las válidas. Para cada válida la clasificación en cada categoría técnica asignará el siguiente puntaje:

1.-	20 Pts.	4.-	12	7.-	6	10.-	3
2.-	16	5.-	10	8.-	5	11.-	2
3.-	14	6.-	8	9.-	4	12.-	1

En las carreras de una hora y dos horas que eventualmente se hagan, se hará una parada obligatoria para todos los carros, que no podrá ser bajo condiciones de "pace car", pero en cualquier momento de la prueba, a discreción del participante. La duración mínima de esa parada será de 20 segundos. Se busca compensar en tiempo a quienes hagan cambio de piloto.

El campeonato clasificará a los automóviles en las siguientes categorías:

ST1:	Súper turismos hasta 1.600 CC
ST2:	Súper turismos de 1.601 a 2.000 CC
GT:	Súper turismos de más de 2.000 CC
FL1:	Fuerza Libre hasta 1.340 CC con motor de motocicleta
FL2:	Fuerza Libre hasta 2.000 CC con motores de automóvil
FL3:	Fuerza Libre de 2.001 CC en adelante

En caso de no completarse una categoría con el mínimo de tres vehículos, estos subirán a la categoría superior de acuerdo con el orden que se describe:

Súper Turismos hasta 1.600 CC (ST1) pasan a Súper Turismos hasta 2.000 CC (ST2).
Súper Turismos hasta 2.000 CC (ST2) a Gran Turismos de más de 2.000 CC (GT) Siempre y cuando la Categoría (GT) este conformada.
De no existir la categoría GT, los grupos ST1 y ST2 se unirán para conformar categoría.
Fuerza Libre 1 hasta 1.340 CC motores de motocicleta (FL1) pasa a Fuerza Libre 2 hasta 2.000 CC motores de automóvil (FL2).
Fuerza Libre 2 hasta 2.000 CC motores de automóvil (FL2) pasa a Fuerza Libre 3 de 2001 CC en adelante (FL3) Siempre y cuando la Categoría (FL3) este conformada.
De no existir la categoría FL3, los grupos FL1 y FL2 se unirán para conformar categoría.
La categoría tope para los turismos será: Súper turismos hasta 2000 CC (ST3) O (GT) de conformarse. Y para los Fuerza Libre será: la Fuerza Libre de 2001cc en adelante (FL3).

-CONDICIONES PARA CLASIFICAR COMO GANADOR O FINALISTA DE UNA CARRERA:

Artículo 6.- Para ser declarado ganador de una carrera cualquiera de las de este campeonato, es OBLIGATORIO pasar la meta y tomar la bandera a cuadros.

Para este efecto ningún vehículo puede detenerse antes de la meta para esperar la bandera. Su paso en la vuelta final de bandera debe ser por la pista y no cuenta hacerlo por los pits. Debe hacerlo por sus propios medios. Es totalmente prohibido que sea empujado por otro vehículo o el piloto. Esto genera la descalificación inmediata de ambos autos en el caso de empujar.

En el momento en que se dé la bandera a cuadros al vehículo ganador en la línea de meta, se cierra la salida de pits para todos los carros que se encuentren en la zona de servicio y ningún carro se puede reincorporar a la zona de competencia.

Para ser declarado ganador, además del requisito anterior, hay que cumplir una distancia mínima establecida de la siguiente manera: El tiempo de clasificación del carro en mención se tomará como base para el cálculo de su recorrido en el tiempo de la carrera, aumentándole un 20%. Ese tiempo de vuelta estimado se proyecta a la duración de la carrera y sobre ese resultado, el carro debe haber

dado el 70% de las vueltas que arrojan sus cuentas de rendimiento. En caso de aproximación en el resultado, se irá siempre hacia el número entero de vueltas inferior.

No se contarán las décimas ni las milésimas de segundo de los tiempos y se tomará como base de cálculo el número entero anterior.

Ejemplo: Si un carro clasifica en un tiempo de 1 minuto, 20 segundos y 32 milésimas, se toma como su tiempo de base de cálculo 1 minuto 20 segundos, es decir 80 segundos. A esos 80 segundos le sumamos el 20%, y da 96 segundos.

Dividimos las 2 Horas (que equivalen a 7.200 segundos) por el tiempo de vuelta del carro en cuestión y nos da que debería hacer 75 vueltas exactas. A esa distancia le quitamos el 25% y nos da que debería hacer 56.25 vueltas para ser considerado ganador. Esa cifra se aproxima a 56 vueltas.

Todas las demás posiciones de cada categoría se dan como lo dice el RDN., a los carros que hayan hecho al menos el 70% o más de la distancia del ganador de cada categoría.

En caso que un carro termine solo en su categoría, se clasifica por esta norma y si no cumple con la distancia requerida la categoría se declara desierta en premios, puesto por puesto.

Antes de la salida de la carrera y no más de 90 minutos después de las clasificaciones, la dirección de carrera debe obligatoriamente publicar las distancias mínimas oficiales hechas con base en estas tablas para todas las categorías a fin de que todos los competidores puedan establecer la proyección de su rendimiento mínimo en la prueba para ser clasificados, en condiciones climáticas que hayan cambiado de manera evidente entre clasificación y carrera o viceversa, la dirección podrá obviar este requisito a su discreción.

-TURNOS DE MANEJO

Artículo 7.- Para las válidas de velocidad no hay restricción de tiempo para los turnos de manejo, si es un solo piloto podrá manejar las dos series y en caso que sean dos pilotos, deberán informar a la dirección de carrera cual conducirá en cada serie y así mismo tendrá que clasificar para la misma en caso de que haya series de clasificación independientes.

Para las carreras de duración el tiempo máximo de manejo por piloto será de 120 minutos (dos horas) y deberán descansar 30 minutos para volver a subirse al vehículo. Esta duración de las carreras se refiere a la distancia nominal del reglamento. En el caso en el que una carrera pactada a una distancia similar a 2 horas, la válida se terminará cuando suceda alguno de los dos (tiempo 120 minutos o distancia) por lo cual los pilotos podrán permanecer al volante hasta su terminación.

-ENTRENAMIENTOS, CLASIFICACIONES Y GRILLAS

Artículo 10.- Todas las válidas constarán de al menos una sesión clasificatoria para formar la grilla de salida que se ordenará por tiempos generales de todas las categorías en orden ascendente de cronometrajes, con excepción de aquellas carreras para las cuales el reglamento particular no establezca las tandas de clasificación.

En cada una de las series clasificatorias (si las hay), es obligatorio que los pilotos que estén inscritos, cada uno compita en una sesión si van a alternar el carro y se sumarán sus tiempos para el orden de la grilla. Si hay más de una sesión clasificatoria la grilla se hará por la suma de los mejores tiempos en cada una de estas y si dos pilotos van a conducir el mismo automóvil, cada uno debe hacerlo individualmente en la totalidad de una de las sesiones.

Para las carreras de velocidad sólo habrá una tanda de clasificación para cada válida que se vaya a correr durante la jornada. Si hay dos pilotos, deberán informar a dirección de carrera el circuito que va a clasificar cada uno de ellos y así tendrán que correr.

El Club queda en la facultad de reprogramar las sesiones de clasificación si por efectos de tiempo no puede realizar más de una por jornada. Solamente se adjudican puntos de la POLE por esta sesión, y en las siguientes carreras del mismo día los carros se ubicarán en la grilla de acuerdo al resultado de la válida inmediatamente anterior. Para la última carrera se harán las sesiones de clasificación independientes para cada uno de los circuitos del día en caso de que tengan trazados diferentes.

Las sesiones de clasificación deben durar como mínimo 15 minutos efectivos de bandera verde.

En el caso que por fuerza mayor solamente se haga una sesión, rige la mejor vuelta del carro sin importar el piloto que la haya logrado. Es decir que no hay lugar a sumatoria de tiempos.

Estas sesiones de clasificación pueden ser en día diferente o en distinta condición en una sola fecha (día y noche) según lo diga el reglamento particular o se pueden modificar en el orden de los días de la prueba de acuerdo a decisiones tomadas por el colegio de comisarios por motivos de fuerza mayor, sin lugar a reclamaciones.

En algún caso extremo en el cual por motivos extraordinarios no se puedan cumplir las clasificaciones, la salida se dará en el orden de las posiciones del campeonato y serán ubicados por grupos completos de categorías, de mayor a menor rendimiento y no se darán puntos por POLE. Si hay algún vehículo que no tiene puntos, pero ha corrido previamente, se colocará al final de su grupo. Y si es un automóvil que no tiene participaciones previas, estará al final de la grilla, con el mismo criterio de ordenamiento.

En el caso de que esta circunstancia se diera en la primera prueba del campeonato para la cual no hay puntajes previos, los puestos se adjudicarán por sorteo entre los autos de cada categoría y se ordenarán con el mismo criterio citado previamente y no hay puntos por la pole.

En cualquier válida del año el Club organizador podrá decidir que el orden de salida se realizará según el orden del campeonato a la fecha y esto será informado al colegio de comisarios y no se darán puntos por POLE. Para estos casos puntuales quedará debidamente establecido en el Reglamento Particular.

-TIEMPO PORCENTUAL DE CLASIFICACIÓN

Artículo 11.- Es indispensable que cualquier automóvil haga vueltas de clasificación en un tiempo que no supere el 110% del promedio de las mejores vueltas del primer clasificado de su categoría para poder tomar la largada de cualquier carrera. Artículo 176 del RDN.

Esta situación es motivo directo e inmediato para que no sea autorizada su participación. El Colegio de Comisarios, podrá autorizar, a su juicio y discrecionalmente, la salida de algún vehículo que no lo haya logrado, siempre y cuando existan condiciones de seguridad y de todas maneras corre bajo observación. Lo anterior SERÁ por solicitud del Club organizador.

-PESOS MÍNIMOS

Artículo 19.- Tal como lo define el reglamento técnico, el peso mínimo de cualquier vehículo se tomará en la condición en que la Comisión Técnica lo haga, sin piloto y sin importar los líquidos que haya a bordo en cualquier momento del evento.

La única báscula oficial es la del autódromo o aquella que designe la comisión técnica, con la cual se efectúa la revisión preliminar. Si ésta se sustituye, la nueva será empadronada confrontando los pesos de vehículos previamente chequeados con la posibilidad de que cada participante pueda revisar el peso de su automóvil.

-GASOLINAS

Artículo 20.- Para cualquier validación de gasolina la muestra de referencia será la que se obtenga en los tanques de gasolina extra o etílica del autódromo y contra ésta se harán los exámenes a que haya lugar.

Es aceptada la gasolina corriente con etanol totalmente de acuerdo con la de los expendios públicos de ese combustible y también su mezcla con la extra o etílica.

Está prohibida la entrada de Gasolina por parte de los competidores, salvo autorización de la organización y autódromos.

- REPARACIONES Y LÍMITES DEL PIT

Ninguna operación mecánica podrá efectuarse por fuera de la línea amarilla continua que delimita la zona técnica de los pits. El incumplimiento será sancionado con una multa de 1 SMMLV, conforme a la tabla de sanciones del RDN.

Toda reparación demorada, debe efectuarse dentro del box y será ordenada por el comisario si lo considera necesario, sin lugar a explicaciones.

Ningún vehículo puede ser bloqueado en gatos o torres de manera permanente para un arreglo en la zona de mecánica rápida pits. Sólo se puede hacer en garajes.

Los vehículos que abandonen la competencia, deben igualmente ser retirados del box a la zona de paddock para permitir el mayor espacio a otros competidores y circulación en la zona técnica.

-CRONOMETRAJE - Cada auto deberá estar dotado de un transmisor suministrado y homologado por Autódromos y la F.C.A.D. Para tal efecto este transmisor se deberá colocar en un sitio específico del auto, ubicado en la parte interna de alguno del guardabarros delantero, según especificaciones de la Comisión Técnica de la F.C.A.D.

Alquiler y venta: Lo gestionará cada piloto con Autódromos S.A.

En lo posible se tratará de llevar manualmente un registro del paso por meta, no del tiempo.

En todos los casos es responsabilidad del equipo el correcto funcionamiento de este transmisor.

Ante una falla del transponder, la dirección de carrera informa al delegado del equipo para que tome las acciones necesarias. No cabe ningún tipo de reclamación.

-PENALIZACIONES Aplican todas las sanciones previstas en el RDN.

Cuando haya sanciones de detención, el auto deberá detenerse en una zona que se demarcará después de la zona de los pits donde el vehículo cumplirá el castigo que determine el Colegio de Comisarios.

Los motivos de la sanción se informarán al delegado y por ningún motivo habrá dialogo entre el comisario y el piloto.

El auto puede reanudar la marcha una vez haya tomado la sanción impuesta.

Un piloto que sea requerido para cumplir una penalización de detención, de cualquier tipo en la zona de sanciones, no puede usar esa misma ocasión de entrada a pits para hacer reparaciones, tanqueos o cambios de piloto por lo cual la zona de sanciones se hará a la salida del pit y si el vehículo previamente ha parado en su box o ha tenido alguna asistencia en la zona, debe dar otra vuelta y regresar para pagar su sanción

Cuando el piloto es objeto de esta sanción, no podrá regresar a su pit hasta tanto no dé otra vuelta al circuito, salvo si tiene una falla mecánica evidente que le impide rodar. Si es empujado hacia su

box por los mecánicos, se contará esa maniobra como equivalente a un servicio de grúa. En competencias de velocidad al recibir este servicio automáticamente el vehículo quedará excluido.

Al terminar la zona de pits en ambos sentidos, habrá una raya que delimita el inicio de la zona de competencia. Cualquier auto que se detenga entre esa raya y la pista propiamente dicha y no pueda continuar la marcha, podrá ser retornado a su box empujado por los comisarios de pista. Una vez en ingresado en la zona de pits será entregado a los mecánicos quienes lo ingresarán por la parte de atrás de los pits a la zona de reparaciones. Nunca se podrá empujar en reversa hacia el box por el corredor de pits. Cada retorno de estos, después de la citada raya será contabilizado como un servicio de grúa y lo podrá hacer solamente en tantas veces como el RDN establezca estos servicios, el reglamento particular de cada prueba o lo que comunique el director en la reunión de pilotos. Después de esas oportunidades será declarado como retirado en el cronometraje. La asistencia será brindada únicamente por los comisarios de pista.

En la zona de penalización no podrá haber persona distinta al comisario o autoridad respectiva y el delegado del equipo, quien le informará al piloto el motivo de la sanción. La autoridad solamente se encarga de vigilar que la parada cumpla con el monto del castigo.

La velocidad en Pits es de 60 Km/h (Artículo 162 R.D.N). Cualquier exceso será penalizado con "stop and go". Si reincide, será descalificado. Si sucede en la última vuelta, se la cargarán 45 segundos a su tiempo final de carrera.

Todo vehículo sancionado con bandera negra por conducta anti deportiva cargará 40 Kilos para las categorías de turismos y 20 Kilos para las categorías de prototipos, a partir de la próxima fecha hasta el final del campeonato, sin importar que el lastre máximo, de existir, ya esté cumplido.

ESTO se refiere a sanciones por conducta antideportiva y se excluyen los sobrepasos irregulares bajo bandera amarilla. Este lastre es acumulativo por cada sanción.

Este recargo se hará sobre el peso real que haya mostrado en la báscula en ese día de competencia o en las inmediatamente anteriores y no sobre el peso mínimo de su categoría.

-TEXTO FINAL Cualquier caso no previsto en el presente reglamento general, será resuelto por el Club Los Tortugas y en última instancia por la Federación Colombiana de Automovilismo Deportivo. La Federación Colombiana de Automovilismo Deportivo y El Club Deportivo Los Tortugas, en previo acuerdo, se reservan la facultad de modificar total o parcialmente el presente reglamento general y/o adicionar disposiciones reglamentarias cuando a su juicio las circunstancias así lo requieran, con la anticipación establecida en el RDN.

Federación Colombiana de Automovilismo Deportivo Club Deportivo Los Tortugas Enero 21 de 2015

ANEXO C.
REGLAMENTO TÉCNICO DEL AUTÓDROMO DE TOCANCIPÁ



CLUB LOS TORTUGAS
CAMPEONATO NACIONAL DE AUTOMOVILISMO 2015
REGLAMENTO TÉCNICO
(APLICA PARA TODAS LAS CATEGORÍAS DE SUPERTURISMOS Y FUERZA LIBRE A NIVEL NACIONAL)

IMPORTANTE

Si la interpretación de algún término del presente reglamento pudiese dar origen a dudas, la F.C.A.D. solicita que el preparador o piloto del automóvil se abstengan de interpretarlos según su propio y personal criterio. En tal caso se sugiere que mediante nota escrita se dirija a la F.C.A.D solicitando en ella la correspondiente aclaración a fin de que ésta, a través de su Comisión Técnica lo haga en un informe del cual quedará copia formal en la F.C.A.D y deberá publicarse con ambas posiciones, la consulta y la respuesta en las páginas web de la Federación y el Club Los Tortugas. Dicho informe será la única constancia válida para el preparador o piloto en caso de que existan objeciones o demandas acerca del punto consultado. Los Comisarios Técnicos encargados de las inspecciones de los carros en una competencia, darán validez exclusivamente a los informes que estén respaldados por las aclaraciones oficiales de la Federación y su Comisión Técnica y emitidos por escrito.

Cuando se produzca una consulta por parte de un participante y su respuesta implique algún cambio o adición al reglamento técnico, la Federación y el Club, una vez aprobado están en la obligación de darla a conocer públicamente con un mínimo de 30 días antes de que pueda entrar en vigencia.

CLASIFICACIÓN Y DEFINICIONES

-CLASIFICACIÓN

Categorías y grupos

Los vehículos utilizados en el presente campeonato de turismos, súper turismos, prototipos y Fuerza Libre dividirán en las siguientes categorías y grupos:

CATEGORÍA	Grupo ST1:	Turismos hasta 1600 cc
	Grupo ST2:	Súper Turismos de 1601 cc hasta 2000 cc
	Grupo GT:	Gran Turismo de más de 2.000 cc
	Grupo FL1:	Fuerza Libre hasta 1340 cc motores de motocicleta
	Grupo FL2:	Fuerza Libre hasta 2000cc motores de automóvil
	Grupo FL3:	Fuerza Libre de 2001cc en adelante

Salvo disposiciones contrarias, los organizadores son libres de agrupar dos o más categorías o grupos, de acuerdo con las circunstancias particulares de cada prueba y con los niveles de ascenso previstos en los reglamentos respectivos.

Pesos

Las diferentes categorías y sus respectivos grupos deberán regirse por la tabla de pesos, correspondiente a su categoría.

En el Autódromo, la báscula oficial para el pesaje de los vehículos es aquella instalada en tal Autódromo. Para todos los efectos, el peso de un vehículo que pudiere registrarse en una báscula distinta a la báscula oficial, carece de validez.

En el caso de que un vehículo ascienda de categoría por no completar la suya, sube con el peso reglamentario de la clase que le correspondía, incluidos sus descargos si hay lugar.

ARTÍCULO 1 - EQUIPO Y MEDIDAS DE SEGURIDAD

1. Equipo de Seguridad:

El siguiente equipo de seguridad, es de carácter obligatorio para todas las categorías y grupos:

Es obligatorio el uso de jaulas de seguridad de diseño apropiado, que incluyan barras laterales para protección del piloto. Los arcos principales deben ser de una sola pieza, presentarse a revisión técnica sin forrar y firmemente anclados mediante doble platina, una de ellas por debajo del piso del vehículo coincidente con la base de la estructura. Para su fabricación y homologación rigen las normas publicadas en el anexo respectivo publicado por la FCAD y que se considera parte de este reglamento.

Sistema extintor fijo (integral); capacidad mínima de 5 LBS de CO² o polvo químico seco. Las boquillas no deben disparar directamente a la cara del piloto (riesgo de quemaduras por frío). El sistema debe ser accionado por el piloto sentado con el arnés colocado. Debe estar marcado con círculo rojo y la letra E, debe contar con manómetro y su vigencia (Fecha de vencimiento). Debe estar en posición que asegure la correcta evacuación del material extintor. Nota: Para aquellos vehículos equipados con sistemas de extinción de fábrica estos serán admitidos siempre y cuando sea evidente su funcionamiento el agente extintor sea el adecuado y esté vigente.

Se deben instalar dos (2) interruptores maestros; uno en el exterior del vehículo, en el costado derecho, en posición claramente identificable en el lugar más próximo al parabrisas, en parte no móvil; el otro, donde el piloto sentado y amarrado pueda accionarlo fácilmente. Deberán cortar la corriente del motor a cualquier nivel de revoluciones y el circuito de la batería.

Arnés de seguridad de cuatro (4) puntos mínimos homologado por la FIA o su equivalencia para autoridades técnico deportivas de Estados Unidos a su vez reconocidas por la FIA, firmemente anclado a la carrocería, reforzado en el sitio de anclaje al chasis o a la jaula; estos deben estar correctamente anclados con tornillos de acero de mínimo grado cinco (5). Se debe tener en cuenta la fecha de vencimiento del arnés y esta debe ser visible para los comisarios técnicos.

Se deben remover los asientos de atrás y del copiloto. Es obligatorio el uso de asiento tipo cubo para competencia homologado por la FIA o su equivalencia para autoridades técnico deportivas de Estados Unidos a su vez reconocidas por la FIA, de construcción monolítica (una pieza) firmemente anclado a la carrocería. El asiento deberá incluir en su diseño el apoyo cabeza, así como también las aberturas que permitan el paso de los cinturones de seguridad (4) cuatro aberturas como mínimo. Se podrá utilizar corredera, siempre que ésta sea asegurada por medio de pasadores pinados en caso de que no sea la corredera de origen del vehículo que será homologada directamente. No se permite ningún tipo de suspensión en los asientos. Los asientos deberán tener su fecha de

vencimiento vigente según el certificado de la autoridad deportiva que los debe acompañar. Los asientos metálicos no tienen fecha de vencimiento, pero podrán ser prohibidos por la Comisión Técnica en caso de que hayan sido objeto de golpes o accidentes que pueden afectar su integridad o seguridad.

Es obligatorio el uso del Hans Device para el casco del piloto en todas las categorías y en todas las salidas a pista oficiales del vehículo.

Se debe eliminar totalmente cualquier tipo de seguro que tengan las puertas, capot o baúl, diferentes a los pines de seguridad para toda circunstancia oficial de competencia. Estas deben poder operarse sin ayuda de herramientas diferentes desde el exterior y la puerta del conductor debe tener sus cierres de manija de origen tanto internos como externos.

Los conductos de combustible, agua y lubricación, si pasan por el habitáculo deben ir canalizados, no pueden tener uniones dentro de la cabina y deben estar en perfecto estado, fijos a la carrocería con abrazaderas y no deben presentar escapes. Toda tubería que transporte elementos calientes y que vaya dentro del habitáculo debe ser aislada térmicamente.

Se exige el sistema de llenado rápido para gasolina si el vehículo va a ser reabastecido en competencia. La toma del vehículo, tanque o manguera; con macho y el sistema de llenado rápido para TODAS las categorías debe estar instalado por el lado contrario a la salida del escape.

Es obligatorio el tanque de recuperación de aceite y en caso de no tener retorno al cárter, deberá ser de capacidad mínima de medio galón, protegido del calor.

Se deben instalar dos espejos retrovisores exteriores, uno a cada lado, adicionales al espejo interior, en condiciones de visibilidad óptimas. Cada retrovisor debe tener al menos una superficie de cristal de espejo de 90 cm².

El vehículo no debe tener ningún tipo de alfombras o material inflamable en su interior.

En los vehículos con cardán, se debe instalar un protector que evite que caiga al piso en caso que se suelte y otro dentro de la cabina si la Comisión Técnica juzga que el túnel es insuficiente.

La remoción de los vidrios laterales es permitida.

El parabrisas deberá ser en vidrio laminado o Triplex y estar en perfectas condiciones. El parabrisas debe asegurarse a la carrocería en sus bordes horizontales en las cuatro esquinas, mediante platinas de 1" de ancho por 1/8" de espesor; deben estar aseguradas a la carrocería y además pisar el empaque o bocel. El vidrio trasero debe fijarse a la carrocería en su dimensión vertical total, mediante platinas de 1/8" de espesor por 1" de ancho. Los vidrios que van montados con pegante de origen en la carrocería no necesitan estos seguros.

Una red de protección es obligatoria en el costado interno a la altura del piloto. La red debe estar formada por tiras tejidas por lo menos 19 mm (3/4 ") ancho y la distancia entre tira y tira no podrá ser mayor a 60mm. Las tiras deben ser de tejido y el tejido no puede ser inflamable y deben ir cosidas juntas en cada punto de cruce. La red no debe ser de un carácter temporal y debe estar anclada al roll bar o a puntos de la carrocería independientes de las puertas y el piloto debe poder liberarla desde su puesto de conducción con los cinturones ajustados y con una sola mano.

- Vista desde el lado, debe llegar desde el centro del volante al B-pilar.

Fijación: La red debe fijarse a la estructura de seguridad o a una parte fija de la carrocería, por encima de la ventana del conductor, por medio de un sistema de liberación rápida que funcionará incluso si el coche vuelca.

Debe ser posible separar la red con una sola mano. Con este fin, el mango o palanca debe tener marcas de color ("Dayglo" naranja), y debe ser visible desde el exterior.

Los vehículos no podrán tener PLEXYGLASS o ningún tipo de material en la ventana del piloto, excepto los vehículos que han sido fabricados para competencia y estén homologados por el fabricante.

Es obligatoria la instalación de una platina de mínimo 5 mm de espesor con una perforación de 5 cm de diámetro. Dicha platina debe sobresalir completamente del capot y de la tapa de baúl por la parte derecha en posición vertical, firmemente ancladas para efectos de remolque e izado. Se deben pintar de color amarillo. En los autos de quinta puerta se autoriza que en anclaje trasero se haga al roll bar con la debida marcación. De existir en los vehículos otros sistemas para su halado o izado debe ser aprobado por la comisión técnica de la FCAD.

La batería se debe fijar en toda su dimensión transversal, mediante correas de material resistente a la corrosión o con el soporte original o con alguno equivalente que dé las máximas garantías de sujeción. Se permite la colocación de la batería dentro del habitáculo siempre y cuando esté protegida mediante una caja de seguridad que no podrá ser de material conductor a la electricidad.

Los costados externos de las ruedas no podrán sobresalir de los guardabarros, bombas o ensanchados.

Es obligatorio el uso de tornillería de acero grado 8 como mínimo norma DIN o 5 norma SAE en todos los elementos de seguridad.

Timón: Es obligatorio en todo tipo de vehículos un mecanismo de extracción rápida del timón homologado por FIA o la autoridad deportiva equivalente de Estados Unidos. No se permiten timones con partes de madera

Seguros de capó: Deben proveerse pines metálicos debidamente asegurados y que sean operables sin herramientas especiales por parte de los comisarios.

Luz de posición: Desde las 6 de la tarde es obligatorio tener como mínimo un faro de color rojo en la parte trasera del vehículo de luz permanente.

No se permite el uso de strobos de ningún tipo o flashes. No se permite el uso de luces giratorias o "licuadoras".

La luz de posición debe funcionar al encender el limpia brisas y al momento de dar la orden por la dirección de competencia. La luz debe ser fija, de mínimo 8 x 8 cm ubicada a no más de 1.20 metros del suelo y es obligatoria una segunda luz de posición en todos los turismos en un lugar por encima del borde inferior del vidrio trasero.

Para la porción de carrera nocturna las luces en los turismos deben ser el conjunto óptico original del automóvil y las luces traseras también de origen. Solamente se permite el uso de dos luces adicionales ubicadas en el sitio previsto para las exploradoras en la carrocería original debidamente protegidas por el bómper delantero y que no sean sobresalientes del mismo.

En los prototipos, las lámparas deben ser carenadas y estar incorporadas en la trompa del vehículo. No se permiten lámparas adicionales. En el caso de autos cuya trompa no permita este montaje por tener una configuración frontal diferente, su ubicación y fijación debe ser de carácter permanente y sólida y ser autorizada previamente por la Comisión Técnica de la Federación. No pueden ser más de cuatro lámparas en el gran total, pero la óptica principal se considera como una unidad y puede tener dos reflectores.

La altura de cualquier tipo de faros no debe sobrepasar la línea inferior del parabrisas o la altura del capot y su número debe ser siempre par.

No se permite llevar objetos dentro del vehículo que puedan tener movilidad y afectar la integridad física del piloto.

El tubo de escape debe terminar debajo de la carrocería a los costados, detrás del par central a ras con la carrocería, o en la parte posterior, sobresaliente de la línea de la carrocería un máximo de 5 cm.

2. Medidas de Seguridad:

Las siguientes medidas de seguridad deberán ser adoptadas y acatadas por la totalidad de los participantes, salvo las excepciones anotadas:

Está terminantemente prohibido el transporte de gasolina adicional en recipientes que no estén fijados de manera permanente en el vehículo. Deben estar conectados al sistema de tanqueo rápido de seguridad del vehículo y suministrar únicamente a través del sistema de alimentación que va a los carburadores o inyectores.

No se puede modificar la carrocería en su apariencia original. Se puede reemplazar el material de los siguientes elementos: Capot, guardafangos puertas y tapa de baúl, sólo en los Turismos y Súper Turismos. Ninguna parte diferente a las citadas y que corresponda a la cabina y estructura del vehículo se puede modificar en materiales. Para efectos de esta norma, todas las partes diferentes a capot, tapa de baúl y puertas, deben ser íntegramente de material original. La carrocería de FL1, FL2 y FL3 es libre.

Es permitido el uso de spoiler siempre y cuando su *forma* no sobrepase el perfil lateral de la carrocería original. La medida máxima permitida en la altura del spoiler *trasero* es de 30cm, sobre la parte más alta de la carrocería original. El suplemento de los guardabarros debe ser firmemente anclado y deberá cubrir la rueda para las categorías que se permite.

Se permite la remoción del material cromado. Es obligatoria la remoción de los parachoques metálicos y soportes de los mismos. (Si estos son integrados a la carrocería de material plástico) No se permiten elementos no previstos en el reglamento.

La carrocería debe estar en buen estado; no se puede presentar con abolladuras viejas. El vehículo debe estar limpio al momento de la revisión técnica.

Se permiten orificios para ventilación del habitáculo, siempre y cuando no se afecte la estructura de la pieza perforada.

Se permite soldar, reforzar partes de la carrocería interior o exterior y modificar su funcionamiento siempre y cuando no se altere la apariencia original del vehículo *ni su material*.

Se permiten túneles en el conjunto delantero y trasero para fines aerodinámicos.

Es obligatorio proteger los faros delanteros y cualquier tipo de faro adicional con cinta adhesiva transparente. No aplica a faros plásticos. Los faros podrán ser reemplazados por tapas que cubran los orificios que deje su retiro de las posiciones originales, firmemente ancladas.

Se permitirá quitar parrillas, boceles, farolas y demás elementos de lujo.

Internamente y externamente la estructura y la carrocería podrán ser reforzadas en forma libre pero no alterando su material original.

Ambas puertas delanteras se deberán poder abrir y cerrar desde adentro y afuera para dar acceso libre al habitáculo. Se permitirá remover las cremalleras de los eleva vidrios y es obligatorio remover los tapizados que deben ser reemplazados por tapas en material ignífugo en todas las puertas. Los sistemas de apertura interna de la tapa del baúl y el capot deben estar desconectados, lo mismo que el seguro del timón con la llave de encendido.

La puerta del piloto debe operar desde adentro y afuera con el cierre y mandos originales y también la opuesta, que no podrá tener broches rápidos u otras sujeciones.

El suplemento de los guardabarros deberá estar firmemente anclado a la carrocería.

El pedal del acelerador, embrague y freno deberán ser accionados mecánicamente por el pie del piloto.

En vehículos que por fabricación o modificación tengan la bomba de gasolina, filtros, reguladores o mangueras de combustible en el interior del habitáculo, deben llevarlos en el alojamiento de la rueda de auxilio y deberán estar protegidos con una tapa hermética AISLANTE e ignífuga. y con desagüe por medio de un agujero al exterior del baúl. Las bombas de gasolina funcionarán únicamente cuando el motor esté en marcha.

Es prohibido en cualquier vehículo el uso de vidrios polarizados o con papel ahumado.

Es obligatorio en todos los vehículos equipados con transmisión automática el uso de "Switch neutro" en el varillaje de cambio. Este switch permitirá únicamente el encendido del vehículo en las posiciones de "Parqueo" o "Neutro".

El ruido generado por los vehículos no podrá exceder los 110 db a 6300 RPM o 3/4 del máximo de las revoluciones del motor si es menor, medidos a una distancia de 50 cm. y en un ángulo de 45° del punto de salida del exhosto. Es permitido modificar la plataforma del piso para la ubicación de la tubería creando túneles que solamente la contengan, pero en ningún caso el diámetro podrá exceder 21 cm. Si éste túnel pasa por algún elemento estructural, éste no debe ser modificado. Sin que haya lugar a ninguna apelación o explicación, la Comisión Técnica podrá a su juicio exigir un silenciador a cualquier vehículo cuyo ruido exceda los parámetros audibles que estimen los jueces.

En ninguna categoría se permite correr con rines estampados de lámina de acero, salvo que éstos porten una homologación específica para competencia. Todos los demás deben ser de aleación de la más alta especificación. Deben usarse insertos de acero en los puntos de sujeción de todas las ruedas. No podrán correr autos con las ruedas fijadas por los bulones a la aleación de manera directa.

Para todos los elementos de seguridad son válidas las homologaciones de FIA y de la norma SFI de estados unidos.

ARTÍCULO 2 - TURISMOS

Grupo ST1: HASTA 1600 c.c. y Grupo ST2: HASTA 2.000 c.c.

DEFINICIÓN

Deberán ser automóviles de Turismo de gran producción (mínimo 500 unidades) y deberán tener al menos 4 (cuatro) plazas. Se permitirá la participación de automóviles importados, pero solamente para vehículos que tengan representación oficial de la marca en el país o la hayan tenido en el pasado durante más de cinco años comprobados ante el Ministerio del Transporte o la Superintendencia de Industria y Comercio.

PESO MÍNIMO

El peso mínimo que debe presentar un vehículo al ser requerido para el pesaje, incluyendo lubricantes y demás líquidos, sin piloto, será el siguiente:

PESOS MÍNIMOS Y LASTRES

Se fijan los siguientes pesos mínimos para los vehículos de la categoría Turismos y Super Turismos.

De 0 a 1.000 c.c.: 740 Kg.

De 1.001 c.c. a 1.100 c.c.: 750 Kg.

De 1.101 c.c. a 1.200 c.c.: 760 Kg.

De 1.201 c.c. a 1.300 c.c.: 770 Kg.

De 1.301 c.c. a 1.400 c.c.: 780 Kg.

De 1.401 c.c. a 1.500 c.c.: 790 Kg.

De 1.501 c.c. a 1.600 c.c.: 800 Kg.

De 1.601 c.c. a 1.700 c.c.: 890 Kg. De 1.701 c.c. a 1.800 c.c.: 910 Kg.

De 1.801 c.c. a 1.900 c.c.: 930 Kg.

De 1.901 c.c. a 2.000 c.c.: 950 Kg.

Durante las pruebas de clasificación es prohibido agregar líquidos de cualquier tipo diferentes al agua refrigerante del motor o al aceite de lubricación.

Se aclara que el peso mínimo es el que se tome en cualquier momento del evento en la condición en la cual se encuentre el vehículo, a juicio de la comisión técnica o por demanda presentada por algún competidor.

Cualquier competidor podrá pedir el pesaje de un vehículo de su misma categoría o de la que compitió en caso de haber sido ascendido previo pago de acuerdo a lo establecido en el reglamento particular cancelado a la dirección de competencia al momento de presentar la demanda. La revisión solamente se podrá efectuar cuando el vehículo pase la meta de una sesión en curso o termine el tiempo oficial para la misma. La comisión técnica, cuando reciba un reclamo de éstos o por iniciativa propia, bloqueará el aporte de piezas y líquidos al vehículo durante la sesión.

Los autos con motores con admisión comprimida de cualquier tipo que supere la presión atmosférica deberán llevar un peso adicional a su peso mínimo, visible y permanente, debidamente colocado solo dentro del habitáculo en el sitio que el piloto decida y aprobado por la comisión técnica. Este peso será de 30 kilogramos para los vehículos con cilindrada hasta 1.142 c.c. y 40 kilogramos para los vehículos con cilindrada hasta 1.400 c.c. Es decir, realizada la multiplicación por el debido factor $1.142 \text{ c.c.} \times 1.4 = 1.600 \text{ c.c.}$ y $1.400 \text{ c.c.} \times 1.4 = 2.000 \text{ c.c.}$

Nota 1: El piloto proveerá el lastre en lingotes. Todos los vehículos deben tener los tornillos de fijación que garanticen que el lastre quede firmemente anclado y que se pueda remover fácilmente para el control de su peso.

CONDICIONES GENERALES

3.1 -Motor

- El motor debe ser de la misma marca del vehículo que se inscribe y tiene que corresponder a un modelo y tipo, cilindrada y configuración que se haya fabricado en el país en serie. Para efectos de equivalencia, se entiende en que Suzuki se considera Chevrolet en los carros de esa marca que se hicieron bajo la marca Chevrolet. Igualmente se asimilan en Ford o Mazda los motores que cumplen este requisito y Dacia con Renault.

Los vehículos importados que tengan un motor diferente al de su origen, deben solicitar una homologación previa a la Federación que tendrá como criterio fundamental para su aprobación que mantenga un equilibrio con los requisitos y perfiles técnicos que se aplican a los autos de origen nacional.

Se considera homologable un motor que cumpla esas normas previas pero cuya cilindrada se haya ajustado internamente para una categoría específica.

No se permiten autos con motor central y todos deben conservarlo en su disposición de origen. Es decir, longitudinal o transversal, delantero o trasero, de acuerdo con el vehículo de base y no se pueden modificar su altura original sobre el puente o bastidor delantero ni su colocación longitudinal con respecto al mismo. O sea el motor debe estar en la misma posición del carro original y si se trata

de una máquina que proviene de otro vehículo esta se debe instalar en las alturas y lugar en que el auto de base tiene su motor inicial.

Los vehículos que fueron previamente objeto de una homologación especial de cambio de marca de sus motores mantienen su autorización.

La altura e inclinación del motor debe preservar la ingeniería y arquitectura del carro original.

Cilindrada: Se permite encamisar, agrandar las camisas o cambiar el cigüeñal para llegar a la cilindrada deseada dentro los límites de esta categoría.

- *Lubricación:* es obligatorio instalar un recuperador de aceite que, en caso de no tener retorno al cárter, deberá ser de medio galón de capacidad. Se permite su uso de *bombas exteriores* de aceite.

- *Cárter:* Se permite su cambio y modificación, se permite el uso de acumulador de presión y el uso de cárter seco.

- *Ventilador:* libre

- *Bomba de Agua:* libre.

- *Poleas y Correas:* libres.

- *Bloque:* Está permitido encamisar el bloque. El material de la camisa es libre. Se entiende por camisa la funda metálica introducida en el bloque bien sea a presión o cualquier otro sistema. Está permitido modificar el círculo de la bancada, la altura del centro del cigüeñal a la superficie del asiento de la culata, desbarbar y pulir el bloque o agrandar los conductos de lubricación.

- *Culata:* Original de la marca del motor. De modificación libre.

- *Bielas:* Se permiten únicamente las de material ferroso.

- *Cigüeñal:* Libre, de material *magnético*.

- *Libres:* Válvulas, balancines, impulsadores, pistones, anillos, casquetes, bulones, resortes, cazuelas, guías, bujes, rodamientos, empaquetadura, múltiple de admisión y escape.

- *Volante:* Libre de modificación en material *magnético*.

- *Alimentación:* Libre. Se permite el uso de supercargadores, turbocargadores o similares, multiplicando la cilindrada por uno punto cuatro (1.4).

En los vehículos con motores con admisión comprimida de cilindrada hasta 1.600 c.c. El diámetro máximo de la boca de admisión será de 38 mm, y para los motores hasta 2.000 c.c. la boca de admisión será de 45mm.

Si el turbo usado tiene un diámetro mayor se instalará un reductor que lleve a la medida oficial (38 mm) o (45 mm), según corresponda, fijado a no más de 15 mm del plano pasante por la extremidad de las palas de las ruedas del compresor. El reductor será fijado sobre el cuerpo de la turbina en forma inamovible asegurándose que la unión entre el cuerpo del turbo y el reductor sea perfecta. La presión de sobrealimentación no está limitada. A ese efecto la conexión entre la cápsula y el wastegate se podrá hacer regulable, aunque no lo sea de origen. El sistema original de funcionamiento puede ser modificado.

Para vehículos con compresor volumétrico no está previsto el reductor y el tamaño y tipo de las poleas es libre.

-Combustible: No está permitido el uso de Óxido Nitroso (Nitro). Únicamente gasolinas de uso comercial, corriente, extra o la utilizada en aviación. Se considera oficial únicamente la gasolina entregada en el surtidor del autódromo o de la pista en uso en caso de comprobaciones, referencias o reclamaciones.

Aire de admisión: No es permitido agregar ningún componente al aire de admisión del motor tales como agua, hidrógeno, óxido nitroso, o cualquier otro elemento que altere la composición química del aire natural.

-Refrigeración: libre.

Es prohibido transportar en cualquier parte del vehículo elementos de refrigeración para el motor o sus accesorios diferentes a los radiadores de aceite, agua o turbinas de aire. Por ejemplo, hielo seco u otro elemento similar, no están permitidos.

3.2 - Transmisión:

-Relación de caja y diferencial: Caja de cambios, transmisión, cardan y ejes libres de marca y multiplicaciones. En los vehículos que utilicen cardan es obligatorio el uso del protector del mismo. La caja será de máximo seis velocidades adelante.

-Embrague: Balinera, prensa y disco libres, de sistema seco.

3.3 -Suspensión:

- Muelles, rótulas, terminales, portacachos, portamanguetas y bocines libres.

-Tijeras: originales de modificación libre en el material de origen. Se autoriza el uso de una o más barras estabilizadoras de montaje libre.

La suspensión puede usar brazos o elementos adicionales a los originales

Todos los elementos estructurales sobre los cuales van ancladas las suspensiones delanteras y traseras deben ser los originales en materiales y posición y podrán ser reforzados sin alterar su función ni ubicación. por ejemplo, cunas y puentes de la suspensión o partes que tengan funciones similares

AMORTIGUADORES: Es libre su reemplazo por sistemas con "coil overs" pero no pueden modificar el principio de funcionamiento de la suspensión, por ejemplo, deben mantener el funcionamiento McPherson en el tren delantero o trasero si esta es la configuración de origen del vehículo y así para otros mecanismos o principios.

Se permite la modificación de los anclajes y sistemas de apoyo superior e inferior del amortiguador en la carrocería para permitir diferentes posiciones de alineación.

Los amortiguadores y resortes traseros son de libre colocación.

Se permite el cambio de sistemas de barras de torsión a resortes de otro tipo si cumplen las normas técnicas y de seguridad especificadas.

3.4 - Rines y llantas: Rines: Máximo de 8 pulgadas ancho y 15 de diámetro en aleación y provistos de insertos de acero en los puntos de fijación.

Grupo ST1: HASTA 1.600 c.c. y *Grupo ST2:* HASTA 2.000 c.c.

MICHELIN PILOT SPORT PS3 195/50R15 82 V

3.5- Frenos:

-Todos los elementos del sistema de frenos como bomba, tubería, cálliper o mordazas, cilindros etc. son libres de marca y modelo. Se permiten los sistemas ABS.

Solamente está autorizado usar callipers o mordazas hasta con 4 pistones.

-El material de fricción es libre.

Se recomienda el uso de líquido DOT 5 o de competencia.

Se permitirá refrigerar los frenos delanteros o traseros mediante mangueras que no sobresalgan de la carrocería y cuyas tomas estén incorporadas al bumper delantero o al frontal. Del mismo modo se permite refrigerar los frenos traseros mediante mangueras cuyas tomas deberán estar localizadas en las ventanas traseras o los costados sin sobresalir de la carrocería.

3.6 - Dirección:

-La caja de dirección, brazos axiales, bombas y demás elementos son libres de marca, modelo y posición. -El seguro de timón debe ser desmontado o desactivado.

3.7- Carrocería

3.7.1) Exterior

El vehículo debe conservar la apariencia completa del modelo original, con sus luces traseras y delanteras. Para carreras diurnas se autoriza el uso de tapas que reemplazan las linternas principales pero que den la apariencia de marca del auto original para preservar su identidad ante el público.

3.7.2) Chasis o Bastidor

-Se permite reforzar el chasis mediante el adosado de platinas, perfiles, tubos o planchuelas de acero en forma estructural para mejorar la distribución de esfuerzos.

-La altura del vehículo con respecto al piso será libre. Una vez elaboradas las suspensiones delantera y trasera, ninguna parte del vehículo deberá tocar el suelo cuando todos los neumáticos de un mismo lado están desinflados.

3.7.3) Interior:

-El panel de instrumentos es de libre remoción y puede ser reemplazado. Se permite instalar tantos medidores como sea necesario, siempre y cuando no obstaculicen la visión del piloto ni el fácil abandono del habitáculo para el mismo. No se permiten instrumentos en los tubos verticales del roll bar.

3.8 - Sistema Eléctrico:

Distribuidor, bobina, computadora, cables de alta y bujías son libres.

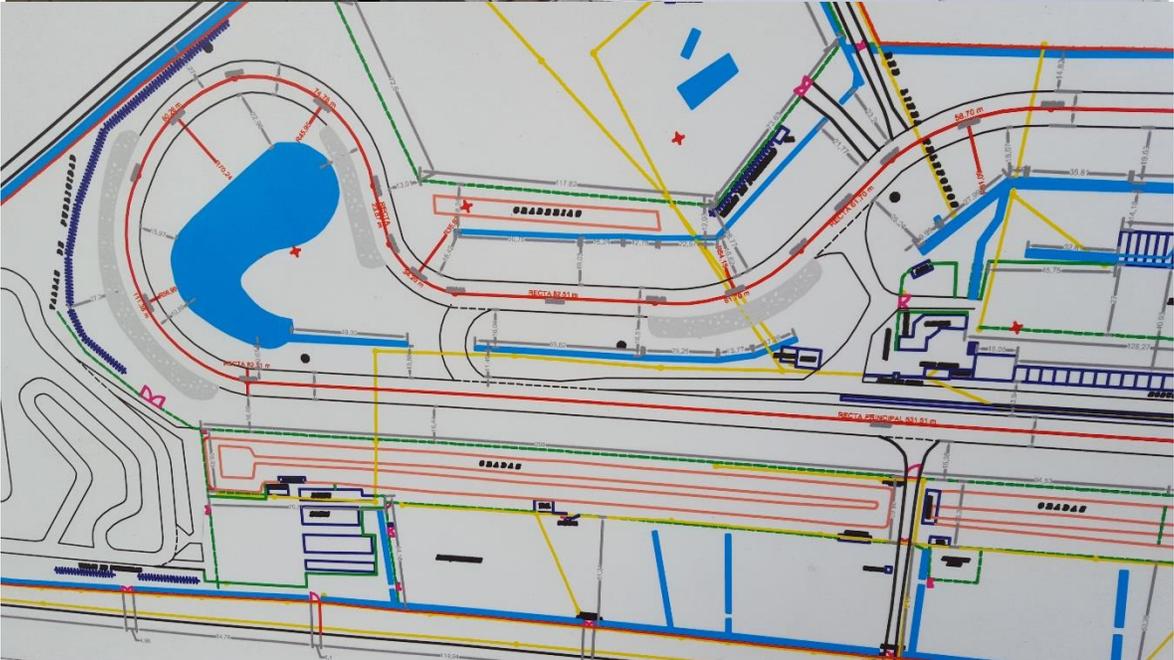
3.9 - Tanque de Combustible:

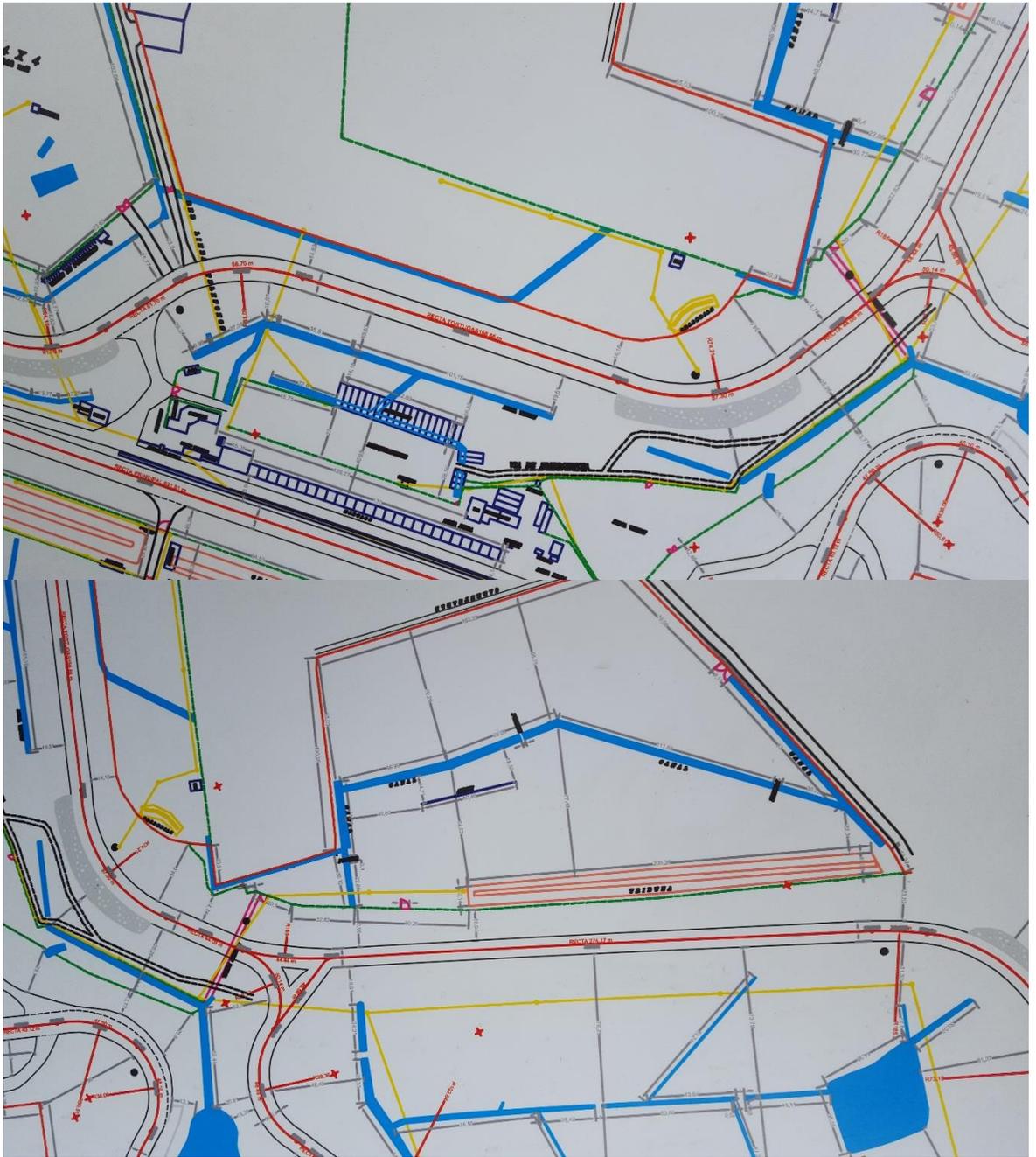
Se recomienda tanque de seguridad. Si la posición es dentro del habitáculo, será obligatorio el uso de tanque con pared ignífuga. Es obligatorio un aislamiento que separe el compartimiento del motor con el tanque de combustible. El tanque debe encontrarse debidamente anclado y aislado. Se exigirá, el uso de llenado rápido y válvula de desfogue.

TEXTO FINAL

Cualquier caso no previsto en el presente reglamento técnico, será resuelto por la FCAD, en única instancia. La FCAD se reserva la facultad de modificar total o parcialmente el presente reglamento técnico y/o adicionar disposiciones reglamentarias cuando a su juicio las circunstancias así lo requieran.

ANEXO D.
MAPA CON SUS DIMENSIONES DEL AUTÓDROMO DE TOCANCIPÁ







PLANOS