



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Análisis y optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en
un supercrosscar**

Cerón Espinoza, Stefan Mauricio y Ortiz Bunci, Héctor Marcelo

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Trabajo de integración curricular, previo a la obtención del título de Ingeniero Automotriz

MSc. Cevallos Carvajal, Alex Santiago

16 de agosto del 2022

Reporte de verificación de contenido



TESIS ORTIZ - CERON.pdf

Scanned on: 19:50 August 11, 2022 UTC



Overall Similarity Score:



Results Found:



Total Words in Text:

Identical Words:	482
Words with Minor Changes:	62
Paraphrased Words:	253
Omitted Words:	0



Ing. Cevallos Carvajal, Alex Santiago
Director




Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Certificación

Certifico que el trabajo de integración curricular: **"Análisis y optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en un supercrosscar"** fue realizado por los señores **Cerón Espinoza, Stefan Mauricio y Ortiz Bunci, Héctor Marcelo** el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizada en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 16 de agosto del 2022


Ing. Cevallos Carvajal, Alex Santiago

C. C.: 0502530447



Departamento de Ciencia de la Energía y Mecánica
Carrera de Ingeniería Automotriz

Responsabilidad de Autoría

Nosotros, **Cerón Espinoza, Stefan Mauricio y Ortiz Bunci, Héctor Marcelo**, con cédulas de ciudadanía n°1726613928 y 0503872087, declaramos que el contenido, ideas y criterios del trabajo de integración curricular: **Análisis y optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en un supercrosscar** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 16 de agosto del 2022

Cerón Espinoza, Stefan Mauricio

C.C.: 1726613928

Ortiz Bunci, Héctor Marcelo

C.C.: 0503872087



Departamento de Ciencia de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

Autorización de Publicación

Nosotros **Cerón Espinoza, Stefan Mauricio Y Ortiz Bunci, Héctor Marcelo**, con cédulas de ciudadanía n° 1726613928 y 0503872087, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de integración curricular: **Análisis y optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en un supercrosscar** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

Latacunga, 16 de agosto del 2022

Cerón Espinoza, Stefan Mauricio

C.C.: 1726613928

Ortiz Bunci, Héctor Marcelo

C.C.: 0503872087

Dedicatoria I

Todo mi esfuerzo, dedicación y constancia está dedicado principalmente a mis queridos padres Alicia Espinoza y Mauricio Cerón, por su apoyo incondicional, su amor y preocupación que dedicaron en mí, por guiarme en todo momento, quienes por medio de su esfuerzo permitieron ayudarme a cumplir una de mis metas, una más en mi vida a pesar de todas las adversidades que se presentaron durante todo el camino de esta etapa universitaria. A mis abuelitos Anita y Jorge por estar siempre pendientes de mí, por apoyarme y guiarme por el camino del bien. A mi hermana Emily por su preocupación y motivación para impulsarme a seguir día tras día a conseguir el tan anhelado sueño de mi graduación. A mi novia Katherin por su preocupación, motivación y apoyo incondicional en cada momento difícil que se me presentaba durante mi carrera universitaria.

Que Dios me los cuide y proteja siempre, los quiero de todo corazón.

Muchas gracias por todo.

Dedicatoria II

Todo mi esfuerzo y constancia está dedicado principalmente a mis queridos padres Rafael Ortiz y Agustina Bunci, por su amor y paciencia, por confiar en mí y guiarme por el camino del bien, quienes gracias a su esfuerzo me permitieron cumplir una meta más a pesar de las adversidades en las que se encontraban, que Dios me los bendiga. A mis hermanos Amelia Y Santiago, quienes me impulsaron día tras día a conseguir este objetivo tan anhelado, Dios me los bendiga. A mis familiares, amigos y conocidos que estuvieron a mi lado brindándome su apoyo.

Muchas gracias de corazón.

Agradecimiento I

Agradezco a Dios por darme vida y salud especialmente durante todo este tiempo lejos de casa. Agradezco a mis Padres, mis abuelos, mi hermana y mi novia por estar siempre junto a mí apoyándome, por estar pendientes de mí, día tras día hasta conseguir mi objetivo universitario. A las personas con las que compartí durante este periodo académico, gracias por su apoyo y su amistad que me brindaron durante este tiempo, gracias. Al Ing. Alex Cevallos por guiarme en el desarrollo de este trabajo para conseguir mi titulación.

Agradecimiento II

Agradezco a Dios por darme la vida y llenarme de salud especialmente durante estas épocas tan complicadas. Agradezco a mis Padres y Hermanos por estar siempre pendientes de mí y brindarme su apoyo incondicional motivándome día a tras día a no desmayar durante toda mi etapa universitaria. A las personas con quienes compartí grandes momentos durante esta etapa, no todas las personas permanecieron a mi lado, pero durante ese momento estuvieron conmigo y me brindaron su apoyo, gracias. Y, al Ing. Alex Cevallos por guiarme en el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula.....	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación.....	3
Responsabilidad de Autoría.....	4
Autorización de Publicación.....	5
Dedicatoria I.....	6
Dedicatoria II.....	7
Agradecimiento I.....	8
Agradecimiento II.....	9
Índice de contenido.....	10
Índice de figuras.....	14
Índice de tablas.....	18
Resumen.....	19
Abstract.....	20
Capítulo I: Introducción.....	21
Antecedentes.....	21
Planteamiento del problema.....	22
Justificación e Importancia.....	23
Objetivos.....	23
<i>Objetivo General</i>	23
<i>Objetivos Específicos</i>	23
Variables de investigación.....	24
<i>Variables Dependiente</i>	24

<i>Variables Independientes</i>	24
Hipótesis	24
Capítulo II: Fundamentación teórica.....	25
Marco teórico referencial	25
<i>Generalidades</i>	25
<i>Circuito de carreras</i>	25
<i>Definición de Supercrosscar</i>	26
<i>Introducción al vehículo Suzuki Forza G10 SOCH</i>	27
<i>Generaciones del vehículo</i>	28
<i>Datos técnicos del automóvil</i>	30
<i>Medidas y planos de observación del vehículo</i>	31
<i>Definición de aerodinámica</i>	32
<i>Aerodinámica automotriz</i>	33
<i>Numero de Reynolds</i>	33
<i>Flujos laminar y turbulento</i>	35
<i>Fuerzas Importantes entre el aire y el vehículo</i>	36
<i>Resistencia Aerodinámica</i>	37
<i>Resistencia de superficie</i>	37
<i>Eficiencia aerodinámica</i>	38
<i>Aerodinámica en Vehículos</i>	41
<i>Flujos de aire</i>	42
<i>Elementos de la carrocería del Vehículo</i>	43
<i>Dinámica De Fluidos Computacional (CFD)</i>	47
Capítulo III: Metodología del desarrollo del Proyecto.....	50
Análisis del diseño actual del vehículo Suzuki Forza 1 G10 SOCH, y actualización del proyecto	50

<i>Características generales del Suzuki Forza 1</i>	50
Criterios de Diseño.....	52
Modelado.....	53
<i>Descripción y Elección del Software</i>	54
<i>Proceso de modelado del Suzuki Forza 1</i>	54
<i>Modelado del Paquete Aerodinámico</i>	57
<i>Paquete Aerodinámico aplicado al modelado del Suzuki Forza 1</i>	59
Simulación	61
<i>Metas globales</i>	65
<i>Mallado</i>	66
Simulación antes de la implementación del paquete aerodinámico.....	69
<i>Análisis del comportamiento de la velocidad en el componente z</i>	69
<i>Recorrido del viento alrededor del vehículo</i>	70
<i>Flujo del viento alrededor del vehículo</i>	71
Simulación después de aplicar el paquete aerodinámico	72
Capítulo IV: Resultados obtenidos.....	79
Resultados obtenidos sin el kit aerodinámico	79
Resultados obtenidos con el kit aerodinámico	80
Capítulo V: Análisis de resultados.....	82
Análisis antes de la implementación del paquete aerodinámico	82
Análisis después de la implementación del paquete aerodinámico	85
Comparación de parámetros obtenidos	86
Capítulo VI: Aplicación de los resultados obtenidos.....	88
Implementación del paquete aerodinámico en el vehículo Suzuki Forza 1	88

<i>Instalación de difusores de calor y entradas de aire en el capo</i>	88
<i>Instalación del difusor de aire en la parte posterior-inferior.....</i>	90
<i>Instalación del Spoiler en la parte posterior-superior del automóvil ..</i>	92
<i>Finalización de la implementación del paquete aerodinámico</i>	94
Presupuesto de diseño e implementación del paquete aerodinámico	95
Capítulo VII: Conclusiones y Recomendaciones.....	97
Conclusiones	97
Recomendaciones.....	99
Bibliografía.....	100
Anexos.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Autódromo visto desde una tribuna</i>	25
Figura 2. <i>Generaciones del vehículo Suzuki Forza</i>	27
Figura 3. <i>Primera generación del Suzuki Forza</i>	28
Figura 4. <i>Suzuki Forza tercera generación</i>	29
Figura 5. <i>Suzuki Swift Tercera generación</i>	30
Figura 6. <i>Medidas Suzuki Forza 1</i>	31
Figura 7. <i>Vista del vehículo</i>	32
Figura 8. <i>Flujo laminar o turbulento según determinadas velocidades</i>	34
Figura 9. <i>Flujo asimétrico a través del vehículo</i>	35
Figura 10. <i>Fuerzas generadas durante el desplazamiento de un cuerpo</i>	36
Figura 11. <i>Agrupación de resistencias que estan en oposicion al avance del automovil</i>	39
Figura 12. <i>Correlacion entre el coeficiente Cx y uso de combustible</i>	40
Figura 13. <i>Coeficientes de resistencia aerodinámico</i>	40
Figura 14. <i>Corriente del aire en el interior del vehiculo. Ventilación de aire caliente/frío</i>	42
Figura 15. <i>Diferencias entre las corrientes de aire, laminar y turbulento</i>	43
Figura 16. <i>Representación de salida de calor del motor</i>	43
Figura 17. <i>Representación de Splitter delantero del automóvil</i>	44
Figura 18. <i>Representación piso plano</i>	45
Figura 19. <i>Efecto suelo basado en el principio Venturi</i>	45
Figura 20. <i>Representación de spoiler posterior</i>	46
Figura 21. <i>Difusor posterior</i>	47
Figura 22. <i>Análisis CFD de un vehículo de competición</i>	48
Figura 23. <i>Vista lateral actual del Suzuki Forzar 1</i>	51
Figura 24. <i>Vista Frontal actual del Suzuki Forzar 1</i>	51
Figura 25. <i>Vista Posterior actual del Suzuki Forzar 1</i>	52
Figura 26. <i>Vista Isométrica actual del Suzuki Forzar 1</i>	52

Figura 27. <i>Vistas de los planos del vehículo Suzuki Forza 1</i>	54
Figura 28. <i>Planos de las vistas proyectadas a una superficie</i>	55
Figura 29. <i>Superficie del vehículo semiterminada</i>	56
Figura 30. <i>Modelado del vehículo Suzuki Forza 1 finalizado</i>	56
Figura 31. <i>Modelado de los faldones según la dimensión de los travesaños inferiores</i>	57
Figura 32. <i>Modelado del splitter delantero acorde a la dimensión del automóvil</i>	57
Figura 33. <i>Modelado de difusores de calor y entrada de aire en el capo del automóvil</i>	58
Figura 34. <i>Modelado del spoiler posterior</i>	58
Figura 35. <i>Modelado del difusor posterior – inferior del automóvil</i>	59
Figura 36. <i>Paquete aerodinámico colocado en la parte delantera del modelado</i>	60
Figura 37. <i>Paquete aerodinámico colocado en la parte posterior del modelado</i>	60
Figura 38. <i>Difusores de calor y entrada de aire ubicado en el capo del automóvil</i>	61
Figura 39. <i>Wizar – registro de datos</i>	62
Figura 40. <i>Selección de unidades</i>	62
Figura 41. <i>Selección de entorno de análisis</i>	63
Figura 42. <i>Selección de tipo de fluido a interactuar con el objeto de análisis</i>	63
Figura 43. <i>Condiciones iniciales de análisis</i>	64
Figura 44. <i>Condiciones de frontera</i>	65
Figura 45. <i>Componentes X, Y, Z</i>	65
Figura 46. <i>Elección de tipo de datos a obtener</i>	66
Figura 47. <i>Grado de mallado</i>	66
Figura 48. <i>Refinado y control de mallado</i>	67
Figura 49. <i>Generación de mallado</i>	67
Figura 50. <i>Niveles de refinamiento del mallado</i>	68
Figura 51. <i>Solución del mallado</i>	68
Figura 52. <i>Análisis de presión</i>	69
Figura 53. <i>Análisis de la velocidad del aire en Z</i>	70
Figura 54. <i>Transcurso del aire sobre el vehículo</i>	70

Figura 55. <i>Zonas de aire turbulentas durante el trayecto del vehículo</i>	71
Figura 56. <i>Flujos y zonas lineales de aire durante el trayecto del vehículo</i>	71
Figura 57. <i>Flujo de aire</i>	72
Figura 58. <i>Flujo de aire en el eje Y</i>	72
Figura 59. <i>Dominio de análisis computacional aplicado el paquete aerodinámico</i>	73
Figura 60. <i>Ejes coordenados del dominio computacional</i>	73
Figura 61. <i>Mallado global de tipo 4</i>	74
Figura 62. <i>Mallado local en zonas de contacto directo con el aire</i>	74
Figura 63. <i>Ejecución de solución en el programa Solidworks</i>	75
Figura 64. <i>Rangos seleccionados del mallado local</i>	75
Figura 65. <i>Análisis de presión relativa del vehículo</i>	76
Figura 66. <i>Velocidad en z presentes en cada zona del automóvil</i>	76
Figura 67. <i>Análisis de flujo de aire</i>	77
Figura 68. <i>Flujo laminar en la carrocería del automóvil</i>	77
Figura 69. <i>Aparición de flujos turbulentos en la carrocería del automóvil</i>	78
Figura 70. <i>Área sin kit aerodinámico</i>	82
Figura 71. <i>Área con kit aerodinámico</i>	83
Figura 72. <i>Cortes en el capo para la instalación posterior de los difusores y tomas de aire</i>	88
Figura 73. <i>Difusores y tomas de aire instalados sobre el capo</i>	89
Figura 74. <i>Barnizado de los componentes a ser implementados para su posterior pintado</i>	89
Figura 75. <i>Comprobación de la instalación sobre la superficie del capo</i>	90
Figura 76. <i>Comprobación del corte e instalación la placa de acero</i>	91
Figura 77. <i>Corte y doblado de la placa de acero inoxidable</i>	91
Figura 78. <i>Uso de cizalla para el corte de los restos de la placa de acero</i>	92
Figura 79. <i>Instalación y fijación del difusor de aire posterior</i>	92
Figura 80. <i>Comprobación de las dimensiones del spoiler posterior</i>	93
Figura 81. <i>Instalación del spoiler posterior</i>	93
Figura 82. <i>Difusor de aire y spoiler posterior instalados en el vehículo</i>	94

Figura 83. <i>Vista lateral del vehículo Suzuki Forza 1</i>	94
Figura 84. <i>Vista isométrica del vehículo Suzuki Forza 1</i>	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Especificaciones técnicas del vehículo</i>	30
Tabla 2. <i>Dimensiones generales del vehículo Suzuki Forza 1</i>	53
Tabla 3. <i>Datos obtenidos antes de aplicar el paquete aerodinámico</i>	79
Tabla 4. <i>Resultados obtenidos después de aplicar el paquete aerodinámico</i>	80

Resumen

El presente trabajo de investigación se encuentra enfocado en el mejoramiento del comportamiento aerodinámico que se presenta en el vehículo Suzuki G10 Soch para aplicación en un Supercrosscar, el estudio de la aerodinámica en el vehículo procura dar a conocer los efectos y acciones que ejerce el aire sobre el vehículo en movimiento y la forma en el que éste pueda ser optimizado. Para el análisis se realiza una simulación en pista para determinar el valor del coeficiente aerodinámico (C_x) y el de sustentación (C_L) con diferentes parámetros especificados para el vehículo, determinando así estos coeficientes con sus respectivas fuerzas aplicadas, velocidades y presiones que se ejercen sobre el sólido a ser analizado. Para determinar los resultados requeridos para el análisis se realiza un modelado del vehículo a simular en el programa SolidWorks 2021, con el propósito de realizar una simulación la cual nos permita obtener valores de fuerzas de arrastre y sustentación para las condiciones especificadas en el vehículo y para su posterior análisis de coeficientes aerodinámicos. Previo a esto se tomaron las dimensiones originales del vehículo para que sea modificada la estructura de su carrocería, en el programa CAD Solidworks, así determinar si los componentes implementados cumplirán con el mejoramiento aerodinámico planteado para el circuito al que será utilizado. El resultado final será un vehículo con una gran adherencia al suelo y estabilidad, permitiendo mejorar las velocidades en las que son tomadas las curvas del circuito.

Palabras claves: Aerodinámica, Coeficiente aerodinámico, SuperCrosscar, Suzuki G10 Soch

Abstract

The present research work is focused on the improvement of the aerodynamic behavior that is presented in the Suzuki G10 Soch vehicle for application in a Supercrosscar, the study of the aerodynamics in the vehicle seeks to publicize the effects and actions that the air exerts on the vehicle in motion and the way in which it can be optimized. For the analysis, a simulation is carried out on the track to determine the value of the aerodynamic coefficient (C_x) and that of lift (C_L) with different parameters specified for the vehicle, thus determining these coefficients with their respective applied forces, speeds and pressures that are exerted. on the solid to be analyzed. To determine the results required for the analysis, a modeling of the vehicle to be simulated is carried out in the SolidWorks 2021 program, with the purpose of carrying out a simulation which allows us to obtain values of drag and lift forces for the conditions specified in the vehicle and for its subsequent analysis of aerodynamic coefficients. Prior to this, the original dimensions of the vehicle were taken so that the structure of its bodywork was modified, in the CAD Solidworks program, in order to determine if the implemented components will comply with the aerodynamic improvement proposed for the circuit to which it will be used. The end result will be a vehicle with great grip on the ground and stability, allowing the speeds at which the curves of the circuit are taken to be improved.

Key words: Aerodynamics, Drag coefficient, SuperCrosscar, Suzuki G10 Soch

Capítulo I

Introducción

Antecedentes

La aerodinámica se encuentra dentro del área de la Mecánica de Fluidos que se dedica a analizar las interacciones entre dos sólidos que se encuentran en movimiento continuo. Su objetivo principal es el análisis del comportamiento que presenta el aire en diferentes circunstancias; además, posee gran importancia en el automóvil al momento de diseñar su carrocería, pues gracias a ella se pueden optimizar recursos como el consumo de combustible y mejorar el comportamiento direccional a diferentes velocidades (Fraija B., 2006).

Analizar el comportamiento aerodinámico del automóvil resulta indispensable para el diseño del mismo, debido a que esta influye en varios aspectos como: la estabilidad y seguridad durante el movimiento, la seguridad de percepción, actividad de conjuntos mecánicos, potencia de marcha y el confort de los ocupantes.

En un auto normal, el valor de la resistencia aerodinámica es debido a la exigencia de desplazamiento del aire en torno a las variaciones de presión que se crean por este fenómeno, la depresión que se genera en la parte trasera es la principal causa de esta resistencia (Gomez, 2009).

De acuerdo a la revisión bibliográfica hemos comprobado que existen análisis similares realizados por diferentes entidades educativas como la Facultad de Ciencias Técnicas - Escuela de Ingeniería Automotriz, UIDE propuesto por los señores (Samaniego, Antamba, & Guerrero, 2021) con el tema: "ANÁLISIS DEL DISEÑO AERODINÁMICO DE UN ALERÓN PREPARADO PARA COMPETENCIA UTILIZANDO SIMULACIONES NUMÉRICAS DE DINÁMICA DE FLUIDOS COMPUTACIONAL (DFC)", donde es analizado por datos numéricos el comportamiento en la aerodinámica del vehículo Forza G10 con

alerón para desempeño en competencias realizadas en pista, demostrando que un ángulo adecuado obtenido mediante simulación, es ideal debido a que los neumáticos consiguen un mejor agarre en las zonas que tiene contacto con el neumáticos tengan un mejor agarre con la superficie de rodadura alcanzando una mejor eficiencia en la aerodinámica del vehículo.

Planteamiento del problema

En el momento que se creó el automóvil solo se lo consideraba como un medio para transportarse y las velocidades obtenidas dependían de la potencia y cilindrada del motor, en el final del siglo XIX y en los inicios del siglo XX, el afán de los fabricantes se encontraba centrado en mejorar y optimizar los elementos mecánicos del vehículo (Motor y transmisión), sin tener en cuenta que la estética es un papel importante. Los vehículos eran conformados de un chasis limitado, sobre el cual se acopla la transmisión y el motor transmisión, conjuntamente con las ruedas y su pertinente sistema de dirección (Fraija B., 2006).

La carrocería estaba matizada más a la moda, con un diseño generado por carroceros, con un fin más estético que ingenieril, pequeños agregados como antenas, molduras, espejos, manillas o retrovisores influyen negativamente en la aerodinámica, en los automóviles actuales, durante el diseño de este, la forma del vehículo influye de manera fundamental, puesto que contribuye al beneficio de la potencia desarrollada por el motor, así como en el equilibrio del automóvil a velocidades elevadas (Fraija B., 2006).

De acuerdo a todo lo mencionado previamente se entiende la factibilidad de realizar el diseño y optimización de la aerodinámica del vehículo Suzuki Forza 1, teniendo en cuenta condiciones iniciales; determinando deformaciones máximas y resistencias causadas en la carrocería por efecto de su diseño original, por medio de esto, delimitar la eficiencia aerodinámica de dicho automóvil y a partir de la modificación de la configuración geométrica

de la carrocería original, implementar de manera practica en el automóvil obteniendo una mejor eficiencia aerodinámica ideal para aplicación en circuitos.

Justificación e Importancia

Actualmente en la industria automotriz, los vehículos han estado en constante cambio y evolución, con la transformación de la carrocería llegan a tener gran aceptación brindando comodidad y estilo, por lo tanto, la fuerza aerodinámica que es generada por la corriente de aire que fluye por debajo y sobre el automóvil, son mínimas, brindando ventajas en el avance final del automóvil, así como en el esfuerzo que se genera sobre los neumáticos.

Con la realización de este proyecto tanto la carrocería y estética del automóvil serán mejoradas, presentando un menor esfuerzo aerodinámico ideal para ser aplicado en circuitos de competición.

Objetivos

Objetivo General

- Análisis y optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en un supercrosscar.

Objetivos Específicos

- Optimización de la aerodinámica de un Suzuki G10 Soch, con aplicación en un supercrosscar.
- Obtener el análisis de la aerodinámica vehicular presente en la carrocería utilizando un módulo de simulación.
- Desarrollar la optimización aerodinámica respecto de las condiciones finales determinando condiciones de flujo para su posterior implementación.

- Implementar la optimización aerodinámica en la carrocería del vehículo Suzuki Forza G10 Soch, teniendo en cuenta el análisis efectuado en el módulo de simulación.
- Consultar bibliografía del análisis aerodinámico de la carrocería presente en vehículos.

Variables de investigación

Variables Dependiente

- Flujo adecuado en la carrocería para su mejor desempeño aerodinámico.

Variables Independientes

- Selección adecuada de las mejoras en la carrocería.
- Variaciones de condiciones de flujo de aire en los circuitos de prueba del vehículo.

Hipótesis

- ¿Se conseguirá mejorar la aerodinámica del vehículo por medio de la implementación de diferentes recursos en su carrocería y del análisis computacional de las condiciones de flujo de aire que presente en el circuito?

Capítulo II

Fundamentación teórica

Marco teórico referencial

Generalidades

En el estudio propuesto, tomando como referencia un análisis aerodinámico de un vehículo para competición tipo Supercrosscar, mediante la optimización de componentes y su forma, se puede obtener un coche con una excelente relación peso, estabilidad y resistencia aerodinámica mínima. Se aprovechan las ventajas tecnológicas para abordar este estudio de tal forma que, al ser optimizado, será de bajo costo y alto rendimiento.

Circuito de carreras

Dentro del ámbito de competencia automovilística, el circuito de carreras para el cual está orientada la investigación está compuesto por caminos cerrados, a diferencia de las pistas rectas que son utilizadas para Rallys y carreras de resistencias, debido a que el camino da pocas vueltas. Generalmente el objetivo del curso es completar la mayor cantidad de vueltas en el menor tiempo posible, pero existen otras variaciones, como acercar las vueltas a una marca predeterminada.

Figura 1

Autódromo visto desde una tribuna.



Nota. Tomado de Autódromo Yahuarcocha [Fotografía], por M. Quinteros, 2011, Flickr

A nivel internacional existe una entidad que regula todos los reglamentos que corresponden a estos tipos de competencias, más en las que son de carácter internacional, la cual se le conoce como Federación Internacional de Automovilismo (FIA), fundada en 1904, con sede en París llegando a ser una asociación sin objetivo de lucrarse de las demás asociaciones por la cual está compuesta, exactamente alrededor de 230 organizaciones deportivas de automovilismo nacional con más de 35 países de varios continentes.

Encargada de administrar la regulación y reglamentación del deporte internacional motor, promover mejoras de seguridad, así como la sostenibilidad de la promoción de la investigación regulando los procedimientos de seguridad y el cuidado del medio ambiente, de modo que llegue a evolucionar el deporte motor (FIA, 2022).

El deporte nacional en Ecuador, es regulado por la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo FEDAK delegada por la FIA, reconocido legalmente por el Estado Ecuatoriano, el Ministerio del Deporte y varios organismos pertinentes. Su estructura y estatus aprobados legalmente le permiten dirigir, controlar, regular y autorizar las actividades deportivas de varias modalidades del deporte motor que se lleva practicando a nivel nacional (FEDAK, 2022).

Definición de Supercrosscar

Como Supercrosscar se entiende, un vehículo de chasis tubular con carrocería de fibra de vidrio o chapa, motor de motocicleta y tracción posterior, con una potencia que llega a rondar los 150 – 200 CV y un peso de lo más bajo posible válido tanto para tierra como para asfalto.

La carrocería de chapa se construye de acuerdo al arco de seguridad conforme a todos los artículos provistos por la FIA. En cuanto al vehículo en general debe contar con una relación peso-potencia que ronda los 2.5 Kg/CV, la cual es posible alcanzar por el empleo

de una mecánica de moto de ligera y potente o con el uso de una carrocería de un vehículo de proporciones pequeñas de modo que se reduzca el peso.

Introducción al vehículo Suzuki Forza G10 SOCH

El Suzuki Forza o también conocido como Suzuki Swift es un automóvil urbano producido por la empresa japonesa Suzuki y fue vendido a todo el mundo en cuatro tipos de carrocerías las cuales fueron sedán convertible, notchback y de 3 o 5 puertas. El nombre se originó principalmente por el cambio de nombre a su vehículo el Suzuki Cultus, los cuales fueron vendidos a siete países por tres generaciones y fue comercializado con el nombre de Suzuki Swift por las primeras dos generaciones. Existen dos generaciones las cuales, en los años 1985, 1989 y 2022, llegaron a ponerse en venta, mientras que durante el año 2000 llegó a alcanzar alrededor de un millón de unidades entregadas.

Figura 2

Generaciones del vehículo Suzuki Forza.



Nota. Tomado de Suzuki Forza un icono en la historia del automovilismo en Ecuador

[Fotografía] por Fayals Autos, 2021, Fayals

Generaciones del vehículo

Primera generación. La primera generación del Suzuki también fue llamada como Suzuki Forza y para GM fue conocido como Chevrolet Sprint. El vehículo fue producido con tres tipos de carrocerías los cuales eran compactos, de tres puertas y cinco puertas, descapotables y berlinas de cuatro puertas. Estas versiones presentaban motores de gasolina con cilindraje de 880, 1000 y hasta 1300 centímetros cúbicos ya sea a inyección o a carburación.

Figura 3

Primera generación del Suzuki Forza.



Nota. Tomado de Suzuki Forza Turbo 1987-1988 [Fotografía] por Carros y Clásicos, 2021, CarrosyClásicos.com

Segunda generación. La segunda generación de esta marca de vehículos presentaba el motor de 1000 centímetros cúbicos de 53 HP, 1300 centímetros cúbicos con 71 HP y un motor de 1.6 litros de 79 HP, presentaba mejoras en su aerodinámica y de igual forma en su chasis y su amortiguación puesto que es independiente de todas las cuatro ruedas al igual que su chasis. Además, presentaba discos de freno en todas las cuatro

ruedas, los cuales eran suficientes para detener 850 Kg que pesa el coche incluido el peso de su conductor.

Figura 4

Suzuki Forza tercera generación.



Nota. Tomado de Suzuki Forza, un icono en la historia de automovilismo en Ecuador [Fotografía] por Fayals.com, 2021.

Tercera generación. La tercera generación estaba compuesta por una carrocería de tipo Coup ya sea de tres o cinco puertas, por lo que su tamaño interior era menor que el exterior en referencia a los modelos europeos de su categoría, que se encuentran alrededor de 4,0 metros de largo. Actualmente se encuentran modelos que presentan tracción en las cuatro ruedas, que presentan cajas de cambios automática de cuatro marchas y manual de 5 marchas.

En este modelo se presenta motores a gasolina con cilindraje de 1.6 litros 125 CV, 1300 centímetros cúbicos de 90.75 HP y el motor de 1500 centímetros cúbicos con 102 CV.

Figura 5

Suzuki Swift Tercera generación.



Nota. Tomado de Suzuki Forza, un icono en la historia de automovilismo en Ecuador por Fayals.

Datos técnicos del automóvil

Cada uno de los detalles técnicas del automóvil se aprecian en la Tabla 1.

Tabla 1

Especificaciones técnicas del vehículo.

Datos Técnicos	
Motor	4 en línea
Código motor	G10
Tipo de combustible	Gasolina
Tipo de alimentación	Carburador
Posición motor	Transversal
Cilindrada	993 cm ³
Diámetro x Carrera	74.0 x 77.0 mm
Número de válvulas	6 válvulas
Sobrealimentación	No tiene
Relación de compresión	8.8

Datos Técnicos	
Potencia máx	49 HP - 37 kW a 5800 rpm
Par máximo	55 lbft - 75 Nm a 3600 rpm
Tracción	FWD
Caja de cambios	5 velocidades Manual
Longitud	367 cm
Anchura	154 cm
Altura	135 cm
Peso	670 kg

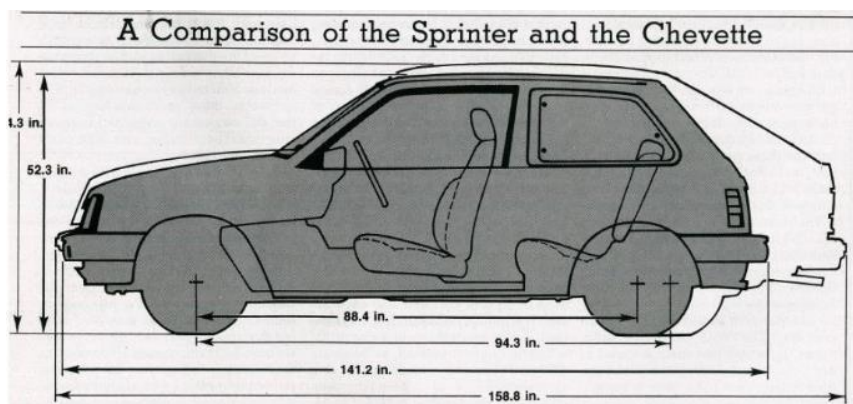
Nota. En la presente tabla se presenta un resumen detallado de las principales características y especificaciones técnicas del vehículo. Tomado de Suzuki Swift 1.0 Ficha Tecnica. Por ultimateSPECS.

Medidas y planos de observación del vehículo

Las medidas del vehículo se presentan en la figura 6

Figura 6

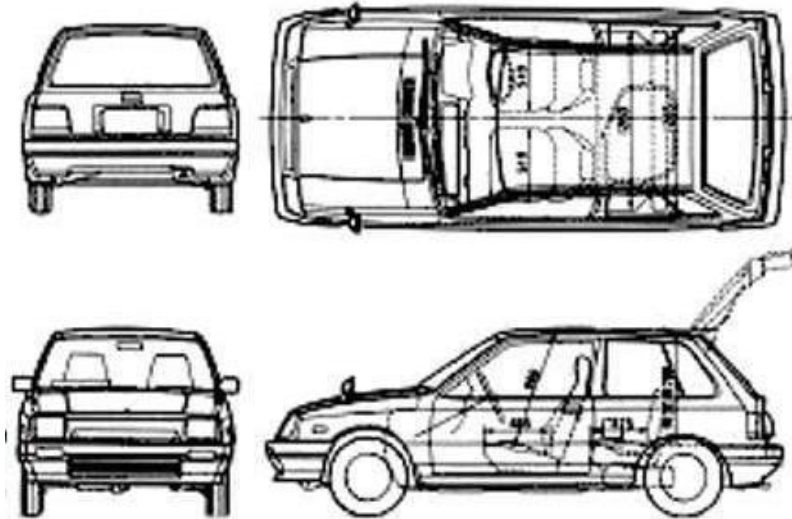
Medidas Suzuki Forza 1.



Nota. Tomado de Chevrolet Chevette vs Chevrolet Sprint. Por TestDriveJunkie.

Figura 7

Vista del vehículo.



Nota. Tomado de Suzuki Swift MK1 3-door Hatchback 1986 por Findbluerint.com.

Definición de aerodinámica

Es una de las ramas que comprende la mecánica de fluidos la cual realiza el estudio del comportamiento del aire y las fuerzas aplicadas sobre estos cuerpos que están en constante movimiento dentro de estos fluidos. Al momento que un coche se desliza, tiene que aislar una gran cantidad de volumen de aire para continuar y de igual forma para facilitar que se llene el vacío que es generado detrás del mismo (Trabajo UIDE).

La presencia del objeto dentro del fluido gaseoso rectifica la reparación de velocidades y presiones de las partículas en el fluido, esto causa fuerzas de resistencia y sustentación. A bajas velocidades, la fuerza presentada es pequeña, pero en velocidades altas se presenta una gran cantidad de resistencia que tiene que ser vencida aumentando la potencia del motor para conseguir más velocidad.

Aerodinámica automotriz

Al momento de realizar el diseño en cualquier vehículo el campo de la aerodinámica cumple un papel sumamente importante, por medio de estudios realizados se ha llegado a determinar que las líneas y el diseño exterior del carro es un punto decisivo al momento de comprar un coche.

A pesar que la aerodinámica se presenta como aquel aspecto que contribuye de manera esencial al momento de dar un aspecto llamativo al vehículo, este no es su único objetivo ya que existen importantes características de seguridad y técnicas que dependen de un diseño aerodinámico eficiente.

Para obtener una alta calidad en la aerodinámica, la forma de la carrocería es una categoría decisiva para conseguir esta, cuestiones como adherencia al piso, su estabilidad, consumo de combustible, dependerán de esta.

Durante el transcurso en carretera del vehículo, las magnitudes de fuerzas aerodinámicas que se crean en el vehículo, dependen de características del aire (densidad y viscosidad) y de la forma del sólido, considerando la rugosidad superficial, la zona de contacto con el fluido, así como también de la velocidad relativa entre estos dos elementos.

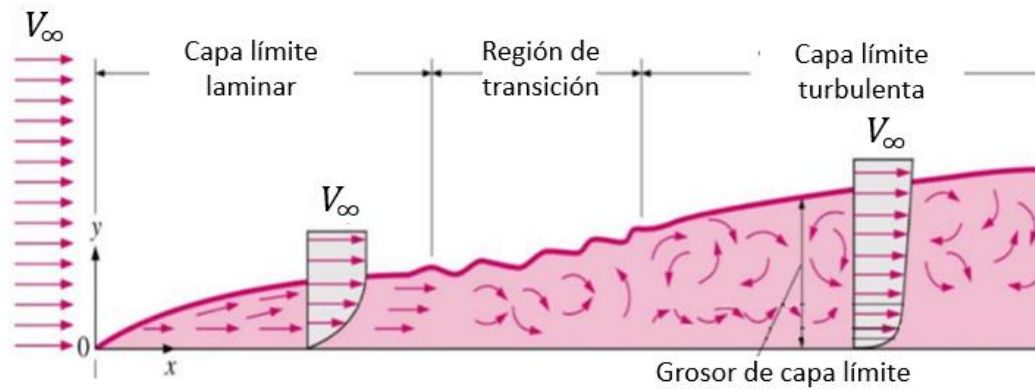
Sin embargo, no solo es importante la forma del vehículo, sino también la relación de anchura y longitud de este, que debe estar en torno a $1/3$ para lograr conseguir una mínima resistencia.

Numero de Reynolds

Para determinar el factor de oposición es necesario hacer uso de la cifra de Reynolds puesto que es una aplicación del mismo, el cual define la actuación de un fluido pudiendo llegar a ser laminar o turbulento de acuerdo a la forma o comportamiento que se enfrente el fluido.

Figura 8

Flujo laminar o turbulento según determinadas velocidades



Nota. Tomado de ¿Qué es el número de Reynolds? [Fotografía], por Mario Osma, 2020, AerodinámicaF1.

Este número está definido 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

Si Re es diminuto, empiezan a dominar las fuerzas viscosas ante las fuerzas de inercia, por lo que la viscosidad del fluido hará que el deslizamiento de las partículas sean más ordenadas.

Si Re es grande, las fuerzas de inercia estarán por encima de las fuerzas viscosas, implicando que la viscosidad del fluido se encuentra baja por lo que el movimiento de las partículas será de forma caótica y desordenada.

Flujos laminar y turbulento

Dentro del comportamiento de los fluidos se tiene dos tipos de flujos, el flujo laminar, aquel donde sus moléculas se mueven de forma ordenada al estar unidas entre sí a lo largo de una trayectoria fija, siguiendo una misma dirección de tal manera que forman capas o láminas que se deslizan una sobre otra.

Por otro lado, el flujo turbulento es aquel en donde las partículas pasan de una zona a otra en cualquier dirección y sin seguir un orden, chocando e intercambiando cantidad de movimiento entre ellas, generando pérdidas de energía en todo el flujo (Gallardo, 2017).

Figura 9

Flujo asimétrico a través del vehículo.



Nota. Tomado de Diseño de un paquete Aerodinámico para un Vehículo de Carreras MRT1 [Fotografía], por Jeen Aramburo & Juan Grandas, 2016, Repositorio de la Universidad América.

La variación estará de acuerdo al color el cual significara un incremento de velocidad, mientras que un color rojo expresa mayor velocidad, el color azul determina que la velocidad del fluido al pasar por el vehículo es baja.

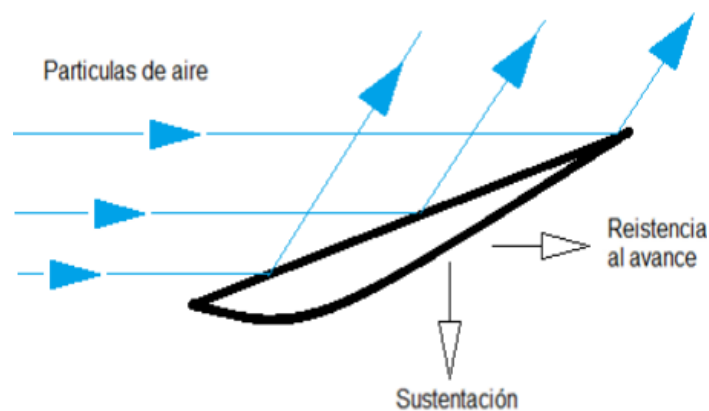
En el automóvil, el fluido que debe generarse para conseguir más velocidad es laminar, debido a que es más ordenado a comparación de la afluencia turbulenta.

Fuerzas Importantes entre el aire y el vehículo

La aerodinámica automotriz comprende el análisis de las fuerzas que llegan a generarse al existir un choque de partículas de aire que se encuentran a una determinada velocidad con respecto a un cuerpo, provocando una oposición a la sustentación y al avance que se indica en la figura 10.

Figura 10

Fuerzas generadas durante el desplazamiento de un cuerpo.



Nota. Tomado de Diseño de un paquete Aerodinámico para un Vehículo de Carreras MRT1 [Fotografía], por Jeen Aramburo & Juan Grandas, 2016, Repositorio de la Universidad América

Dentro de la aerodinámica, se hallan dos fuerzas específicas, la resistencia y sustentación, que al combinarse dan como resultado una sola fuerza conocida como fuerza aerodinámica total (Aramburo & Grandas, 2016).

La ecuación de sustentación como componente de la fuerza aerodinámica es:

$$Sustentacion = \frac{1}{2} * C_L * \rho * v^2 * A$$

Mientras que la ecuación de la resistencia como componente de la fuerza aerodinámica es:

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

Cabe mencionar que el área A, en estas ecuaciones siempre debe ser tomada la superficie en planta, debido a las expresiones de los coeficientes C_x y C_L , sin embargo, si el cálculo está tomado para todo el vehículo completo, el área a utilizar debe ser su área frontal (Alonso, 2006).

Resistencia Aerodinámica

Esta fuerza es opuesta al movimiento de un objeto sólido cuando este se desplaza a través de un fluido, conocida también como resistencia al avance o arrastre, es proporcional a la velocidad del vehículo puesto que va en sentido contrario del mismo. A mayor velocidad, mayor resistencia.

$$Resistencia_a = \frac{1}{2} * C_x * \rho * v^2 * A$$

Va depender de la forma del objeto, su posición, la densidad del fluido y la velocidad del objeto, por lo tanto, esta resistencia no es constante (Gallardo, 2017).

Resistencia de superficie

Se definen dos tipos, resistencia de forma y resistencia por fricción.

Resistencia de forma. Es la resistencia al avance producida por la forma que posee el objeto cuando este está atravesando un fluido, en el vehículo, esto se da cuando las partículas que forma la masa de aire colisionan con el automóvil reduciendo la velocidad y obligando al motor a generar más potencia para recuperar la velocidad perdida, por lo tanto al reducir esta resistencia, el motor gastará menos potencia consiguiendo ganar más velocidad (Gallardo, 2017).

Resistencia por fricción. Es aquella que se oponen al movimiento cuando dos cuerpos que están en desplazamiento se ponen en contacto entre ellos. En los vehículos, la resistencia se genera cuando el aire entra en contacto con la superficie del automóvil y empieza a interactuar con él (Gallardo, 2017).

Resistencia por presión. Está comprendida como la resistencia al avance producida sobre los elementos que se desplazan en un fluido cuando se genera una

diferencia de presiones entre una zona alta y baja de presión, ubicándose en la parte frontal y posterior del objeto respectivamente.

Eficiencia aerodinámica

Se define como la relación que existe entre el coeficiente de sustentación (C_L) y el coeficiente de resistencia (C_x).

$$n_A = \frac{C_L}{C_x}$$

Para poseer un diseño eficiente, el coeficiente de sustentación debe tener valores negativos muy altos y valores de coeficiente de resistencia cercanos a cero, sin embargo, conseguir esto no es posible de modo que si se incrementa el valor de la sustentación también se incrementa el valor del arrastre (Gallardo, 2017).

Coeficiente de sustentación (C_L). Es la fuerza perpendicular al recorrido presentada sobre un sólido cuando este se mueve por medio de un fluido, cuantifica el apoyo de las ruedas respecto al piso y su probable “elevación” por efecto del viento, es adimensional y permite determinar la efectividad que posee la forma de un cuerpo determinado mientras se desplaza a través de un fluido, mientras más alto es el valor de este coeficiente mayor será la sustentación producida sobre el objeto y viceversa. Según nomenclatura “L” por su significado en inglés “lift”.

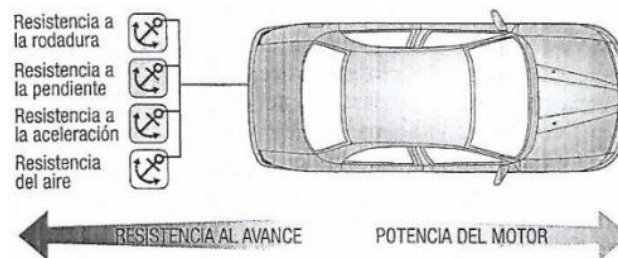
Coeficiente de Deriva. Durante el recorrido del vehículo se llegan a formar ráfagas por todo el exterior del automóvil, estas ráfagas de aire que se presentan lateralmente sobre la carrocería comprometen al momento de la conducción llegando a incidir de manera decisiva en la trayectoria del mismo, hace referencia a la fuerza que está aplicada a la forma lateral del vehículo, afectando directamente a la estabilidad.

Coeficiente de resistencia Aerodinámica (C_x). Está determinada en su totalidad por la forma que tiene el objeto y cuantifica el arrastre o resistencia que presenta el mismo cuando se encuentra dentro de un fluido conocido también como coeficiente C_D .

Según la nomenclatura, “D” corresponde a la inicial de la palabra inglesa “Drag”. Este coeficiente de resistencia aerodinámica depende de la resistencia de forma y la resistencia por fricción del objeto.

Figura 11

Agrupación de resistencias que están en oposición al avance del automóvil.



Nota. Tomado de Desarrollo De Un Facelift Del Vehículo BMW X5 F15 Y Análisis De Aerodinámica A Través De La Plataforma Autodesk (p.129), por M. Onofre, s.f., Universidad Internacional del Ecuador.

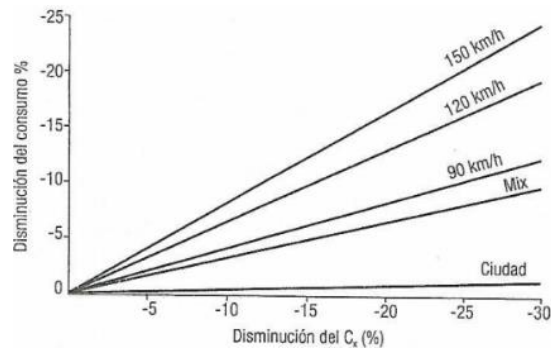
La potencia empleada, se encontrará en relación directa con el volumen del sólido, por lo tanto, cuanto más aerodinámica sea la forma del objeto a analizar, resultará mejor la amplitud de penetración aerodinámica, de este modo, será menor la potencia involucrada para lograr vencer la oposición del aire durante el desplazamiento (Onofre, 2016).

El concepto de oposición al aire es un concepto más dentro del conjunto de las distintas resistencias (resistencia en la aceleración, resistencia de la pendiente de marcha, resistencia a la rodadura, etc.) que impiden el avance del vehículo, sin embargo, la presión dinámica la cual se forma en la parte frontal del automóvil en el avance, es fundamental debido a que crece mucho más rápido en relación a la velocidad.

Consumo de combustible, ruido producido por el vehículo al avanzar en carrera y las distintas prestaciones, dependerán directamente de la resistencia aerodinámica. Para considerarlos con valores aceptables, actualmente deben encontrarse en torno a 0.30 como se indica en la figura 12.

Figura 12

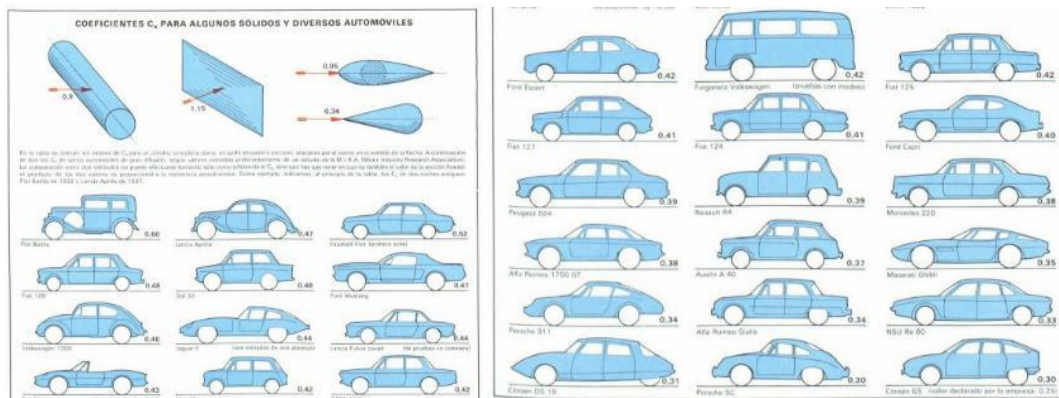
Correlación entre el coeficiente Cx y el uso de combustible.



Nota. Tomado de Desarrollo De Un Facelift Del Vehículo BMW X5 F15 Y Análisis De Aerodinámica A Través De La Plataforma Autodesk (p.129), por M. Onofre, s.f., Universidad Internacional del Ecuador.

Figura 13

Coefficientes de resistencia aerodinámico.



Nota. Tomado de Technical Courses, Estudio de la Aerodinámica de un vehículo [Fotografía], por Technical Courses, 2014.

En la figura 13 se observa los diferentes coeficientes de arrastre que pueden tener los autos con una misma superficie frontal pero diferente forma, también se comprueba como los objetos son afectados por la succión en la parte posterior debido a las turbulencias que se generan ahí aumentando el coeficiente de arrastre.

Aerodinámica en Vehículos

Está basada principalmente al efecto suelo, que comprende la fuerza del viento que llega a producir sustentación negativa y a su vez de arrastramiento.

“El argumento por el cual se elige la superficie frontal es que se suponen que por detrás del plano 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 propulsión” (Courses, 2014).

De esta forma, la potencia requerida por el automóvil para lograr vencer la fuerza de arrastre que el aire ejerce sobre él es:

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

Donde:

C_D = *Coeficiente de arrastre*

a = *Area frontal*

v = *Velocidad*

A continuación, se presenta la ecuación que permite determinar la velocidad en curva de acuerdo al peso del vehículo:

$$v = \sqrt{\frac{\mu * \omega * r}{m}}$$

Donde:

μ = *Coeficiente de rozamiento*

ω = *Peso del vehiculo*

r = *Radio de la curva*

m = *masa del vehiculo*

Representa el rendimiento de velocidad con respecto al kit aerodinámico de acuerdo al peso generado que es creado por la fuerza de sustentación (Aramburo & Grandas, 2016).

Flujos de aire

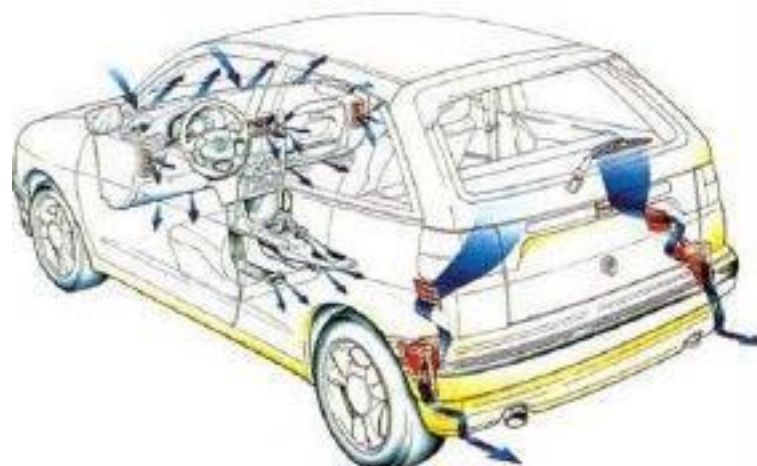
Al momento que se presenta el roce entre el aire y el vehículo pueden presentarse dos flujos distintos de aire, el flujo interior y exterior.

Flujo interior. Este tipo de flujo reúne el aire de ventilación presentado en el habitáculo y el que va ser empleado en la refrigeración y admisión del motor. Este flujo presenta aproximadamente 20% del total de la resistencia aerodinámica presentada en el vehículo y condiciona el rendimiento térmico del motor y el confort climático para los pasajeros. La aerodinámica interior de la carrocería debe ser capaz de:

- Conservar la temperatura en el interior de manera continua, llegando a ser independiente de la velocidad y la temperatura exterior del vehículo.
- Cambiar el aire de manera que el ambiente no se empobrezca.
- Evitar la alteración de la humedad interior

Figura 14

Corriente del aire en el interior del vehículo. Ventilación de aire caliente/frío.



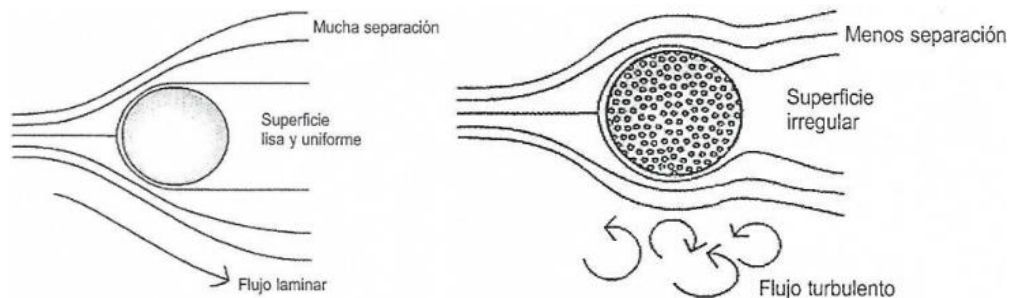
Nota. Tomado de Ventilación y Calefacción [Fotografía], por D. Alba, 2011, Slideshare

Flujo exterior. Abarca ya sea el aire que se propaga sobre la carrocería como aquel que fluye por la misma y el suelo; implicando el principal factor de resistencia aerodinámica.

Factores que actúan directamente en la resistencia aerodinámica ante el avance del automóvil se encuentran: la forma de la carrocería, el tamaño, velocidad del vehículo con respecto al aire y su densidad.

Figura 15

Diferencias entre las corrientes de aire, laminar y turbulento.



Nota. Tomado de Desarrollo De Un Facelift Del Vehículo BMW X5 F15 Y Análisis De Aerodinámica A Través De La Plataforma Autodesk (p.129), por M. Onofre, s.f., Universidad Internacional del Ecuador.

Elementos de la carrocería del Vehículo

Capot. Dentro de la aerodinámica, el capot comprende la capa límite que recubre el motor, cambiando la ruta de la corriente a través de varios canales, los cuales fluyen hacia los laterales o en su extremo superior del automóvil, de tal manera la figura 16 muestra las salidas de calor para enfriar el motor.

Figura 16

Representación de salida de calor del motor.



Nota. Tomado de Ventilación del capot delantero [Fotografía], por Aliexpress, 2022,

Splitter. Conocida también como difusor de aire delantero, divide la carga aerodinámica que se presenta en la delantera de su parte inferior y superior del automóvil con el objetivo de provocar sustentación negativa de acuerdo a la desigualdad de presión. Está agarrado al chasis o alguna parte fija del bastidor inferior del automóvil, el cual debe ir anclado por dos o más soportes de manera que se mantenga una postura paralela al piso, es así que la figura 17 indica un Splitter ubicado en su parte inferior del automóvil.

Figura 17

Representación de Splitter delantero del automóvil.



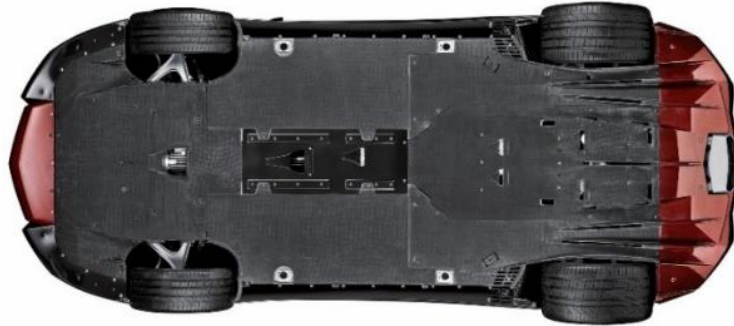
Nota. Tomado de Aún más profundo: ¡el ala de copa para el spoiler / splitter delantero!

[Fotografía], por TuningBlog, 2021.

Piso plano. Su función es asistir a que el aire se extienda por la parte inferior del automóvil, para que así exista mayor velocidad en comparación del aire que fluye por su parte extrema superior, provocando una diferencial de presión y generando el efecto suelo, en la figura 18, se representa una representación de piso plano.

Figura 18

Representación piso plano.

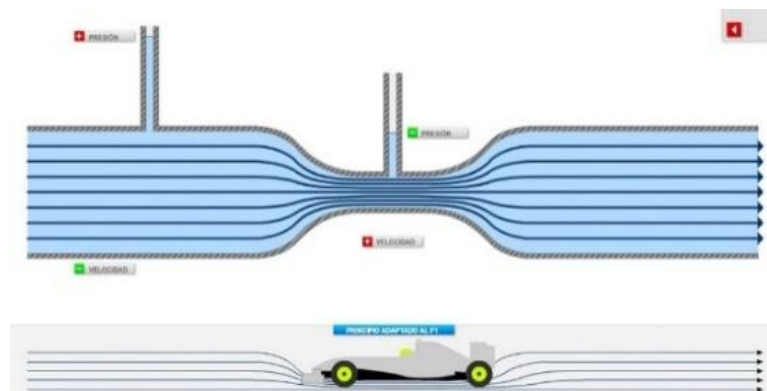


Nota. Tomado de ¿Qué es realmente un difusor aerodinámico? [Fotografía], por J.J. Lopez, 2020, Espirituracer.com

Efecto suelo. En el automovilismo el obtener un mayor “efecto suelo” garantiza evitar pérdidas de agarre cuando se alcance velocidades altas. Este fenómeno llega a producirse por un diferencial de presiones generados en los laterales del vehículo o cuerpo a analizar, tiene su principio en el efecto Venturi puesto que, al canalizar un fluido por un paso estrecho, este alcanzará mayores velocidades y al mismo tiempo disminuirá la presión llegando a producir un efecto de succión.

Figura 19

Efecto suelo basado en el principio Venturi.



Nota. Tomado de Técnica F1: ¿Qué es y cómo funciona el efecto suelo? [Fotografía], por TécnicaF1, 2016, Planetadelmotor.com.

Este efecto se logra al manipular el diseño de modo que la zona de alta presión se produzca en la parte superior del automóvil y la zona de baja presión este en su parte inferior, y la diferencia de presión provocará una succión que adherirá al automóvil contra el piso, llegando a obtener un mayor agarre.

Con el efecto suelo se logra aumentar considerablemente el esfuerzo límite de adherencia entre los neumáticos y el piso aerodinámicamente esto sin aumentar la masa del vehículo, se complementa al incorporar un plano aerodinámico posterior (alerón) con forma invertida, logrando obtener más agarre a mayores velocidades.

Spoiler. Lleva como objetivo recoger el flujo que sobrepasa por encima del automóvil, provocando que el flujo de aire se vuelva turbulento, de modo que se divida el recorrido de flujo de aire procedente del extremo superior, en comparación del aire que se extiende por debajo del vehículo, beneficiando a la estabilidad del auto, por lo que la figura 20, muestra un spoiler ubicado en la parte trasera del automóvil.

Figura 20

Representación de spoiler posterior.



Nota. Tomado de Diseño de un paquete Aerodinámico para un Vehículo de Carreras MRT1 [Fotografía], por Jeen Aramburo & Juan Grandas, 2016, Repositorio de la Universidad América.

Difusor posterior. Obtener un efecto aerodinámico en la parte inferior es tan importante como obtenerlo en la parte superior, por lo tanto, es importante ubicar un difusor de forma curvilínea el cual termina más arriba de donde empezó y en algunas ocasiones

sobrepasando las medidas del automóvil, como función principal cumple con disminuir el arrastre generado por la fuerza aerodinámica de esta forma se produce sustentación negativa volviéndolo más estable al automóvil, en la figura 21, se muestra el diseño de un difusor posterior.

Figura 21

Difusor posterior.



Nota. Tomado de Diseño de un paquete Aerodinámico para un Vehículo de Carreras MRT1 [Fotografía], por Jeen Aramburo & Juan Grandas, 2016, Repositorio de la Universidad América.

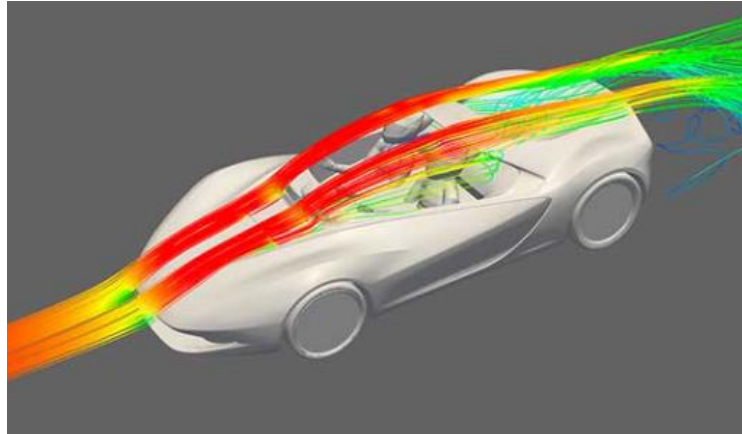
Dinámica De Fluidos Computacional (CFD)

Dentro del mundo automovilístico hay varias maneras de efectuar un análisis aerodinámico, diferentes alternativas de softwares como Helix Engys, Ansys, Flow 3D y varias extensiones de los programas dedicadas al diseño y modelado de piezas como SolidWorks, Inventor, Catia, NX-10, etc.

Entre las maneras más utilizadas de estudios aerodinámicos están el túnel de viento, CFD y la teoría de capa limite, de los cuales, es más efectivo el túnel de viento puesto que se aplica aire directamente sobre la estructura y se mide las cargas generadas, por lo que su censado y adquisición de datos viene dada por la utilización de sensores.

Figura 22

Análisis CFD de un vehículo de competición.



Nota. Tomado de Modelos computacionales en ingeniería automotriz [Fotografía], por S. Osorio, 2019, Excelenciasdelmotor.com

No obstante, el CFD utiliza diferentes algoritmos junto con métodos numéricos para realizar el análisis de objetos dentro de una malla, de esta manera se obtienen fuerzas y momentos producidos sobre el elemento a analizar (Tacuri & Zambrano, 2019).

El CFD proporciona información detallada del comportamiento del flujo del fluido tales como:

- Fuerzas de elevación, arrastre (flujos externos, internos, aeroespacial, automotriz).
- Distribución de presión, velocidad, temperatura, etc.

Es usado en todas las etapas de procesos de ingeniería, tales como:

- Solución de problemas
- Solución de problemas
- Desarrollo detallado de un producto
- Rediseño
- Estudios conceptuales de nuevos diseños

La utilización del CFD frente al túnel de viento presenta una ventaja principal que es un ensayo económico de efectuar, de esta manera es posible diseñar componentes que constituyen al vehículo con un coeficiente más aerodinámico. Es necesario considerar la

metodología utilizada por el software de diseño: pos-procesamiento, procesamiento y pre-procesamiento.

Pre-Procesamiento. En este paso se realizan los ajustes previos y la configuración del modelo a trabajar. Se escoge el tipo de modelo de turbulencia, el tipo de fluido, el dominio computacional, el mallado de elementos y las condiciones de frontera a trabajar.

Procesamiento. Dentro del procesamiento posterior a la configuración realizada, se realiza el proceso de simulación mediante la resolución de múltiples ecuaciones de diferente tipo hasta llegar a un resultado determinado. Esta etapa toma bastante tiempo y requiere de un gran poder computacional, dependerá de las diferentes condiciones escogidas anteriormente.

Pos-Procesamiento. Para obtener mejores resultados durante la simulación de los elementos aerodinámicos por medio de CFD es imprescindible tener un movimiento de aire semejante al flujo de aire real. Se analiza el flujo por medio de la presión con campos coloreados, escala de colores y líneas aerodinámicas, por lo que es necesario utilizar números adimensionales que involucren varias propiedades, de esta manera sea posible controlar varias de las propiedades características, haciendo uso del número de Reynolds como método de apoyo, ya sea antes y después de los datos generados por el software CAD con el propósito de obtener un punto para realizar la comparación (Aramburo & Grandas, 2016).

Capítulo III

Metodología del desarrollo del Proyecto

Análisis del diseño actual del vehículo Suzuki Forza 1 G10 SOCH, y actualización del proyecto

El vehículo Suzuki Forza 1 actualmente tiene su diseño fábrica, sin ninguna modificación sea en la parte mecánica o estética, es un automóvil que cuenta con 1000 centímetros cúbicos, cuenta con un par máximo de 75 Nm a 3600 RPM y un peso total de 670 Kg.

Características generales del Suzuki Forza 1

Para tener más detalles del Suzuki Forza 1, es de vital importancia entender a fondo los elementos mecánicos que permiten obtener una mejor aerodinámica del automóvil, ya que la altura, estabilidad y potencia del automóvil influyen durante el análisis y se puede determinar que componente requiere mayor carga aerodinámica

Motor. Es el elemento más importante en el vehículo, puesto que la potencia estará vinculada con la cilindrada total de todos sus cilindros. El Suzuki Forza 1 está dotado con un motor de 3 cilindros en línea de 993 C.C. con aspiración natural el cual llega a ofrecer una potencia generosa de 49 HP, se implementó un sistema de inyección MPFI (Sistema Multipuerto De Inyección Electrónica).

Frenos. Como todo sistema de frenado, este cumple con la función de detener el automóvil cuando el conductor o usuario lo desee, el actual vehículo cuenta con frenos de tambor en la parte posterior y discos de freno en la parte delantera, los cuales se cambiaron por discos rayados y mordazas en serie, los cuales otorgan al vehículo mayor capacidad de frenado.

Jaula Antivuelco. Componente imprescindible para competir en carreras de circuitos, para colocarla se debe suprimir todos los elementos interiores del vehículo como

asientos, tapizado, cobertores, etc., con el fin de disminuir la mayor cantidad de peso, esta jaula fue diseñada y construida por Ariel Flores Yáñez y Andrés Vizujete, la cual posee medidas del habitáculo, otorgando seguridad por cualquier caso de un accidente.

Suspensión. A comparación de la suspensión de fábrica, esta se llegó a cambiar por una suspensión autoajutable puesto que se necesita obtener más agarre y se necesita mantener la velocidad en curvas.

Aspecto Físico. Para entender un poco referente al aspecto físico visual del Suzuki Forza 1, se muestra desde la figura 23 a la 26, su estado actual

Figura 23

Vista lateral actual del Suzuki Forzar 1.



Figura 24

Vista Frontal actual del Suzuki Forzar 1.



Figura 25

Vista Posterior actual del Suzuki Forzar 1.

**Figura 26**

Vista Isométrica actual del Suzuki Forzar 1.



Posee un capo ligero de chapa metálica sin difusores de aire y calor, no cuenta con splitter delantero, difusor de aire posterior ni spoiler posterior, elementos que deben ser optimizados para llegar a conseguir mayor aerodinámica sobre el vehículo Suzuki Forza 1.

Criterios de Diseño

Este es el punto de partida que se toma como base para el inicio del proyecto, por lo que se tienen dimensiones y parámetros iniciales más relevantes del automóvil, medidas la altura, el ancho, el largo máximo del vehículo, etc.

Tabla 2

Dimensiones generales del vehículo Suzuki Forza 1.

Criterio	Dimensión
Longitud	3670 mm
Altura	1540 mm
Anchura	1350 mm
Distancia de piso al faldón	304.7 mm
Distancia entre ejes	2245.36 mm
Peso	670 Kg

Nota. Especificación de dimensiones del vehículo Suzuki Forza 1.

Las funciones que debemos llegar a obtener son:

- Reducir las cargas aerodinámicas
- Facilidad de construcción
- Bajo coeficiente Cx.

Modelado

Dentro del ámbito ingenieril de la industria automotriz, los primeros diseños y modelados se realizaban en hojas de papel debido a la escasa tecnología de la época quienes aun así conservaban la mayor precisión posible, con el pasar de los años la necesidad por mejorar cada uno de los diseños y la innovación tecnológica ya sea en su calidad y apariencia, ha dado como resultado la invención de softwares de modelado, que

ofrecen soluciones al momento de efectuar un diseño de alta calidad, ofreciendo a los usuarios crear y transformar ideas en grandes esquemas.

Descripción y Elección del Software.

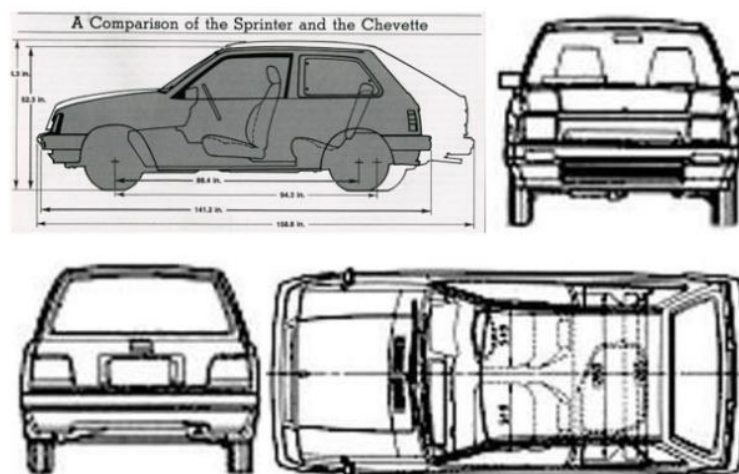
Softwares de modelado existen varios los cuales ofrecen gran variedad de análisis dentro de su interfaz, tal es el caso de SolidWorks, el cual se basa en el diseño asistido por computador en 3D, el cual permite realizar múltiples funciones al mismo tiempo que se obtiene información necesaria de la idea planteada, se caracteriza por contener herramientas de fácil interpretación, es considerado como uno de los mejores softwares de modelado y el cual será utilizado para realizar el diseño, modelado y estudio propuesto de la presente tesis.

Proceso de modelado del Suzuki Forza 1.

Para obtener el análisis de cualquier elemento es imprescindible empezar por construir un modelo base, para nuestro análisis se necesita el modelado de toda la superficie del vehículo, se inició obtener los planos del automóvil.

Figura 27

Vistas de los planos del vehículo Suzuki Forza 1.

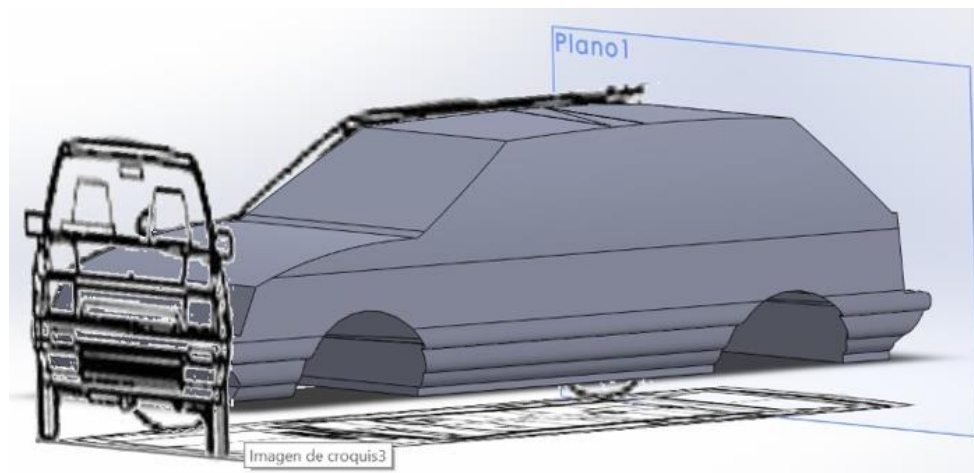
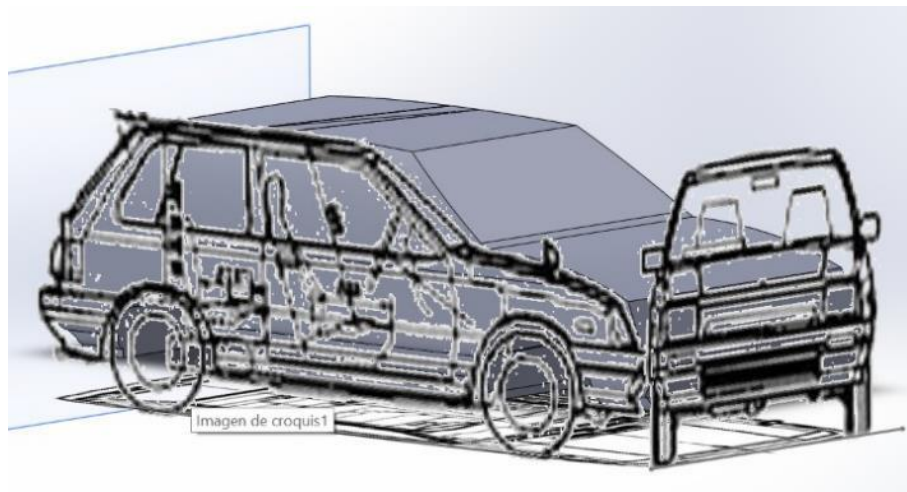


Nota. Tomado de Suzuki Swift MK1 3-door Hatchback 1986 por Findbluerint.com.

Posterior a esto se insertan en el plano de SolidWorks para poder proyectarlos con las dimensiones originales con un porcentaje de error mínimo.

Figura 28

Planos de las vistas proyectadas a una superficie.

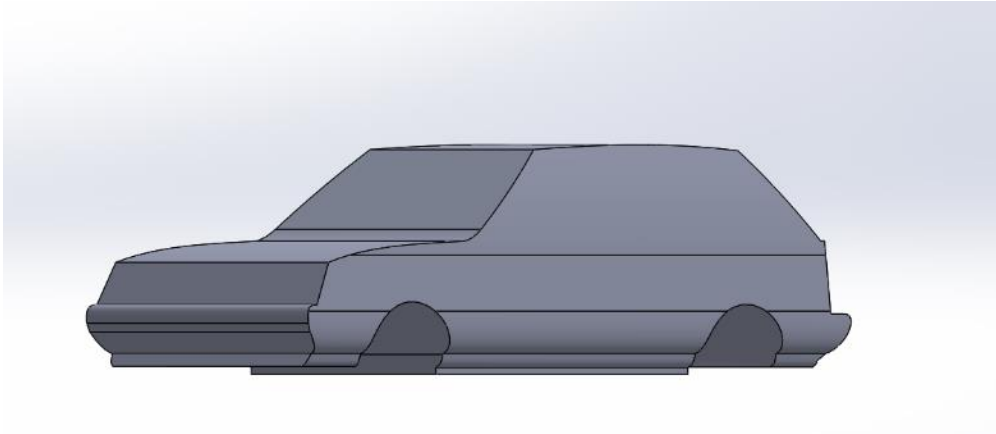


Nota. Aplicación de contornos del vehículo para su diseño en el programa CAD 3D.

Una vez proyectada las vistas de los planos para generar una superficie se agregan detalles para conseguir un diseño original cercano a su diseño original de fábrica.

Figura 29

Superficie del vehículo semiterminada.

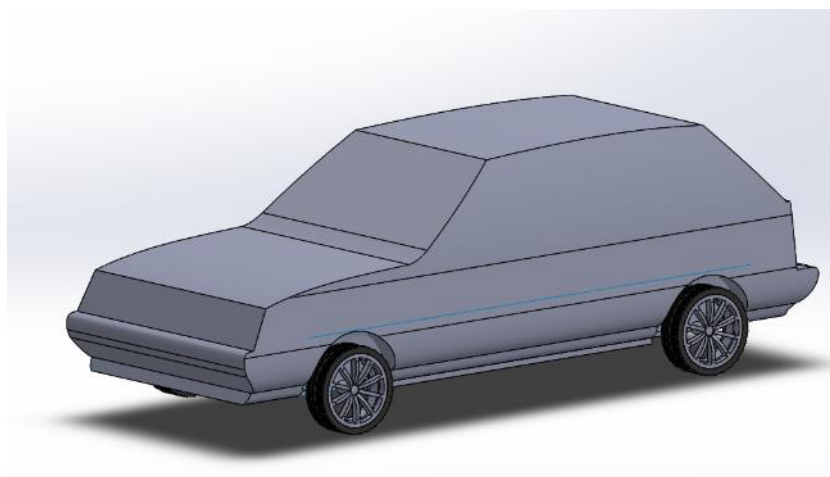


Nota. Fabricación de la carrocería del vehículo en un solo sólido.

Para finalizar con el modelado del vehículo Suzuki Forza 1 en el software SolidWorks, se agregan los neumáticos, los mismo que deben ser los mismo que posee el automóvil, en este caso son de rines 14.

Figura 30

Modelado del vehículo Suzuki Forza 1 finalizado.



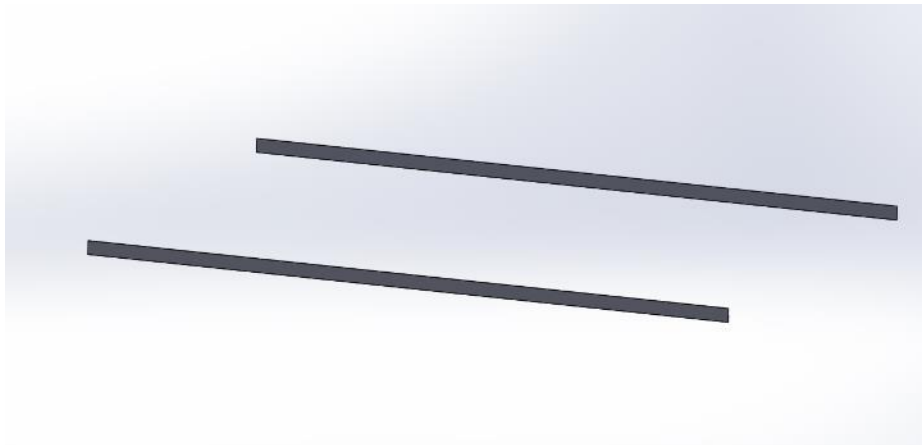
Nota. Ensamblaje de componentes del vehículo Suzuki Forza 1.

Modelado del Paquete Aerodinámico.

Para conseguir la disminución de las cargas aerodinámicas es necesario aplicar ciertos paquetes aerodinámicos que lleven dimensiones acordes la carrocería del automóvil. Todos estos componentes poseen dimensiones acordes al dimensionamiento de la carrocería del automóvil, cada uno se presentan a continuación desde la figura 31 hasta la figura 35.

Figura 31

Modelado de los faldones según la dimensión de los travesaños inferiores.



Nota. Faldones ensamblados en la carrocería del vehículo.

Figura 32

Modelado del splitter delantero acorde a la dimensión del automóvil.

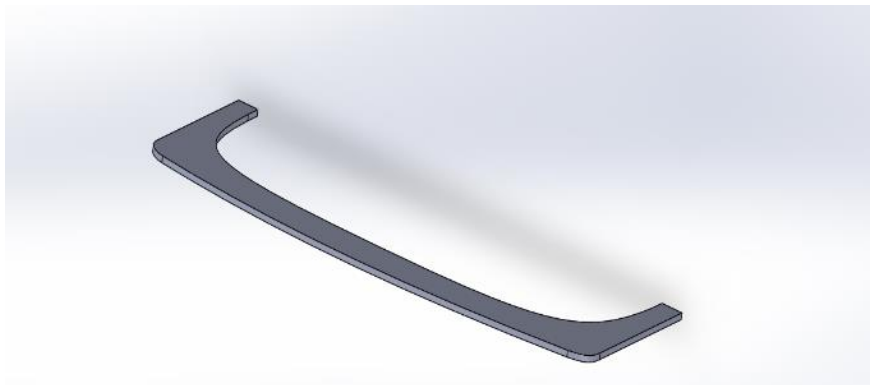
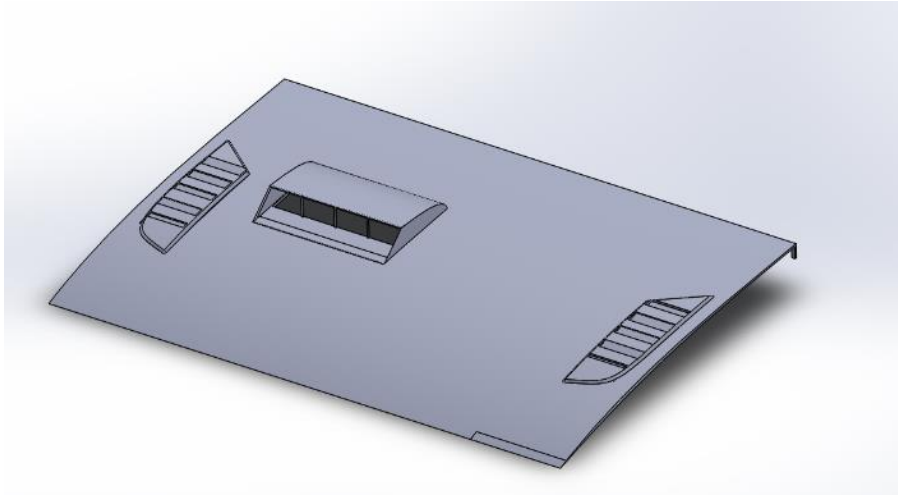


Figura 33

Modelado de difusores de calor y entrada de aire en el capo del automóvil

**Figura 34**

Modelado del spoiler posterior.

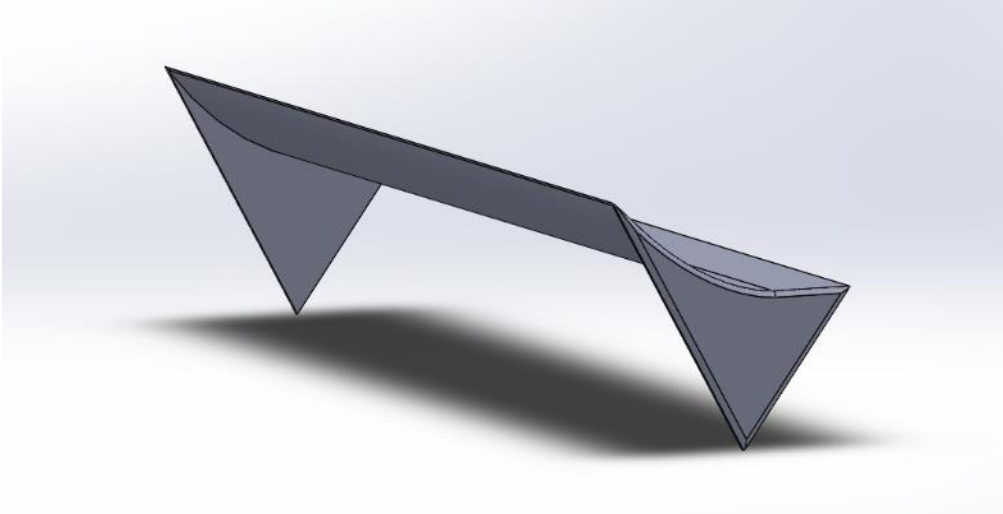
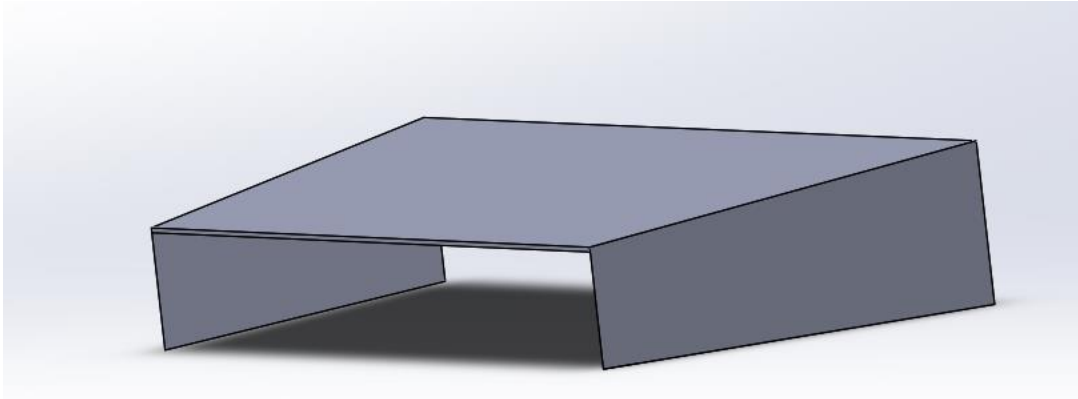


Figura 35

Modelado del difusor posterior – inferior del automóvil.



Nota. Difusor de aire para la implementación en la parte inferior trasera del vehículo.

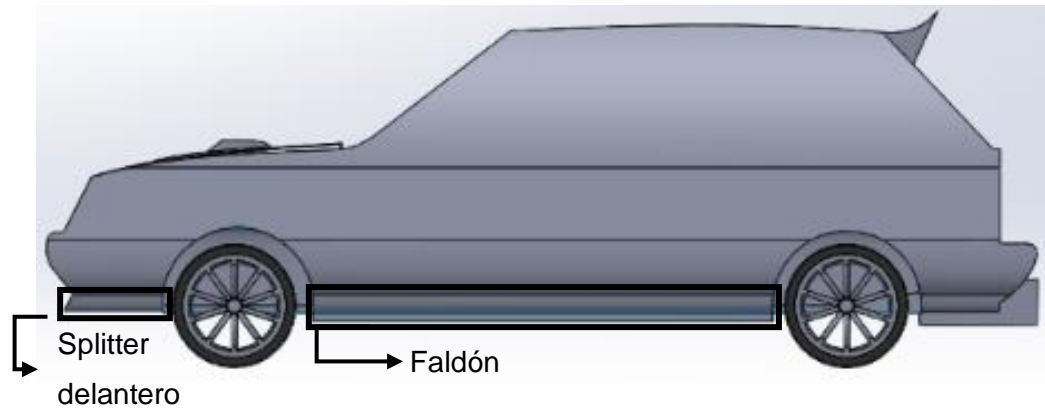
Paquete Aerodinámico aplicado al modelado del Suzuki Forza 1

La optimización de la aerodinámica en el vehículo requiere implementar un paquete aerodinámico que beneficiara al automóvil en su recorrido dentro de la pista, se busca disminuir los coeficientes aerodinámicos y aumentar otros coeficientes, de esta manera se consigue mejorar las condiciones iniciales del automóvil.

Con el modelado del Suzuki Forza 1 en el software de análisis, se implementa el paquete aerodinámico modelado al modelado original, empezando por aumentar el ancho del faldón con respecto al piso, por lo que se conseguirá una menor altura del faldón respecto al mismo en comparación con el diseño original, esto también está aplicado al Splitter delantero.

Figura 36

Paquete aerodinámico colocado en la parte delantera del modelado.

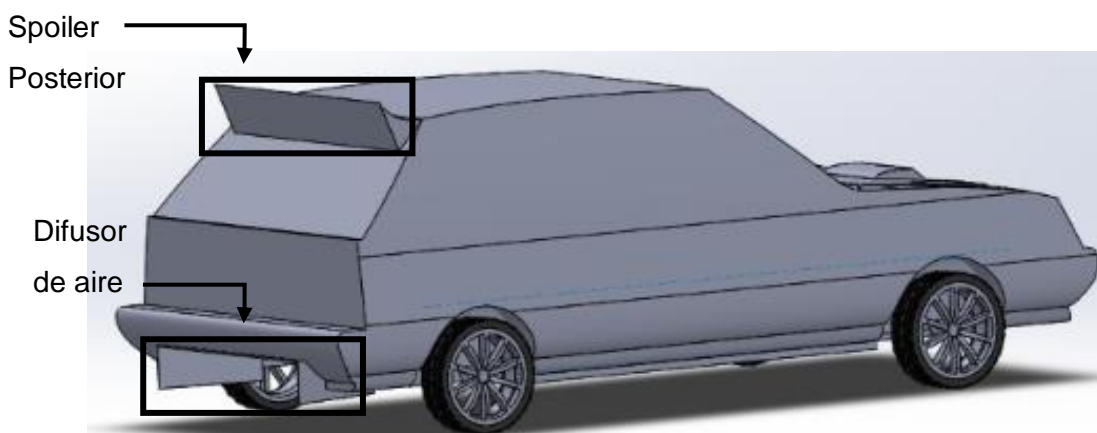


Nota. Ubicación de los componentes aerodinámicos en la parte delantera del vehículo.

Parte del paquete aerodinámico también corresponde a la implementación del Spoiler que está ubicado en la parte superior de la parte posterior del vehículo, con el cual se llegará a conseguir un mayor flujo laminar, con esto se tendrá una velocidad uniforme del automóvil, de la misma forma se implementa un difusor de aire, ubicado en la parte posterior inferior del automóvil, el cual aumentará la velocidad del flujo de aire por debajo del vehículo.

Figura 37

Paquete aerodinámico colocado en la parte posterior del modelado

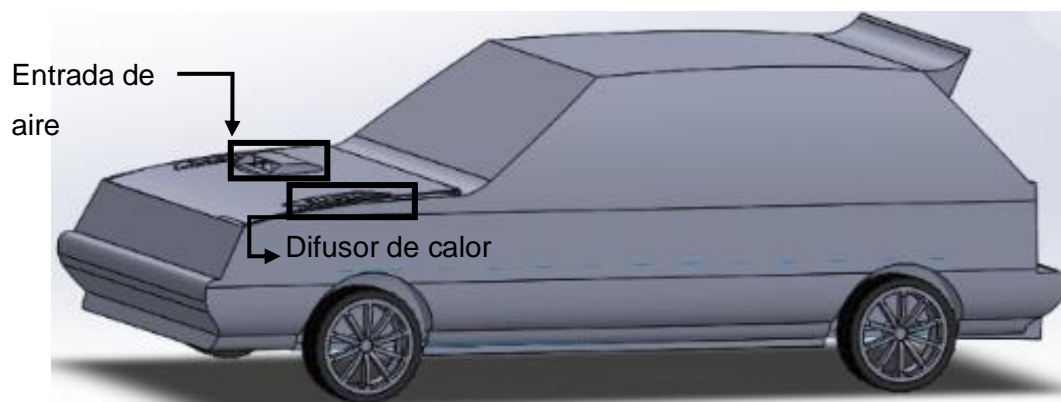


Nota. Ubicación de los componentes aerodinámicos en la parte posterior del vehículo.

Para conseguir aumentar la velocidad del automóvil y conseguir aumentar los factores correspondientes a la aerodinámica también se implementan difusores de calor que beneficia a la evacuación de la temperatura provocada por el funcionamiento del motor, se implementa también las entradas de aire, como su nombre lo indica, aumentara la entrada de aire hacia el motor, están ubicados en el capo de automóvil.

Figura 38

Difusores de calor y entrada de aire ubicado en el capo del automóvil



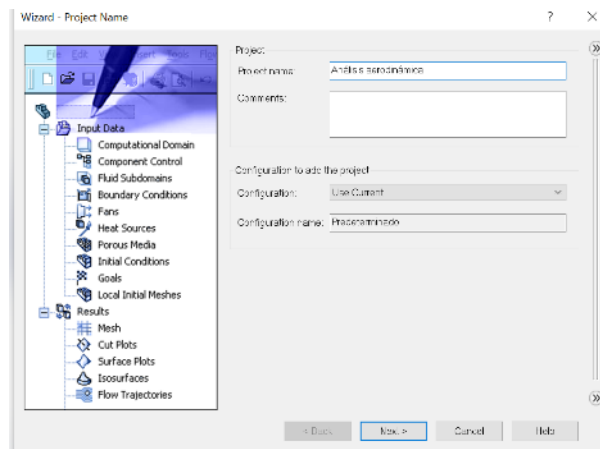
Nota. Ubicación de difusores y entrada de aire en el capó del vehículo.

Simulación

Para realizar el análisis aerodinámico del sólido seleccionado se procede a seleccionar la opción incluida en el paquete Solid Works 2021, Flow Simulator, el cual permite realizar análisis de flujos aerodinámicos en todo tipo de componentes. Posteriormente es seleccionada la opción Wizar la cual permite realizar los registros de los datos requeridos para realizar el análisis. Se selecciona el nombre del análisis a realizar.

Figura 39

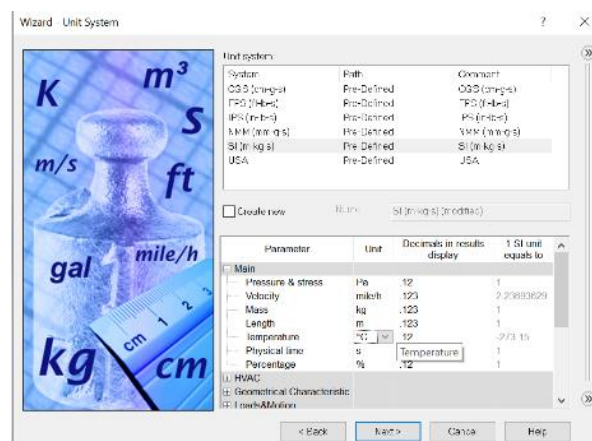
Wizar – registro de datos.



En el apartado de sistema de unidades seleccionar el sistema de unidades adecuado para su análisis en este caso se seleccionó la opción de unidades SI, seleccionar las unidades requeridas en cada uno de estos parámetros, en este caso se seleccionó unidades de velocidad km/h y de temperatura °C.

Figura 40

Selección de unidades

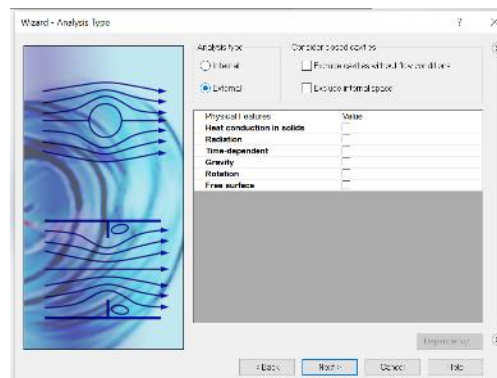


Nota. Las unidades establecidas por los parámetros pueden ser editados por unidades requeridas para la simulación que se requiera realizar.

Este es un análisis de flujo externo por lo que se selecciona análisis de tipo externo para la simulación no son consideradas las cavidades del sistema, ni condiciones físicas en el sistema.

Figura 41

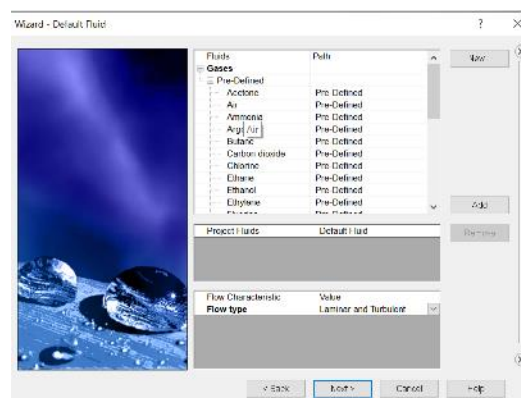
Selección de entorno de análisis.



Para el análisis de la aerodinámica del vehículo se procede a seleccionar el tipo de fluido requerido en este caso el aire, los fluidos pueden ser seleccionados por la necesidad de simulación, sus especificaciones vienen dadas por el programa CAD.

Figura 42

Selección de tipo de fluido a interactuar con el objeto de análisis.

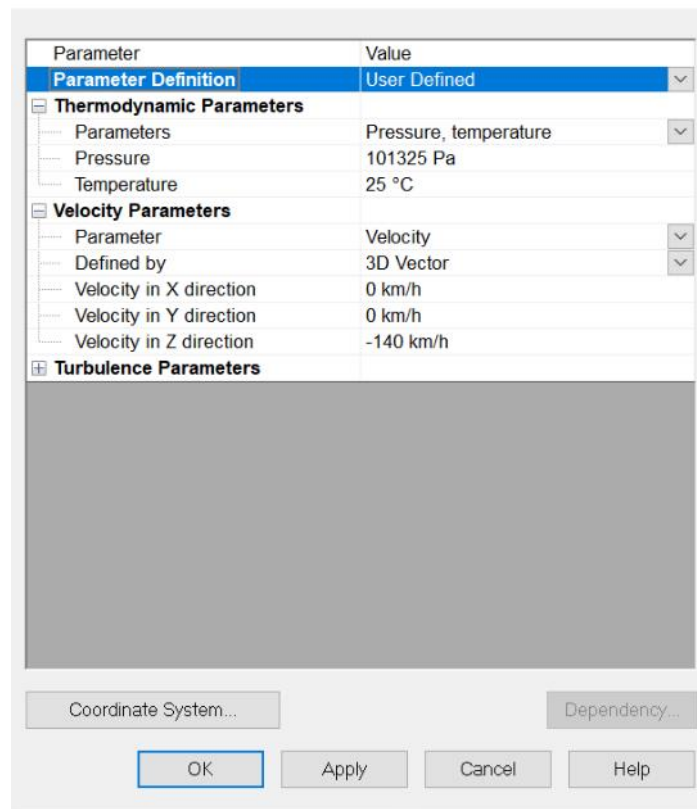


Nota. Los fluidos presentes en el programa se encuentran caracterizados con cada una de sus características para su simulación.

En este campo se determinan los diferentes valores requeridos para realizar la simulación por lo que se tomó un valor de temperatura de 25°C, una velocidad de 140 km/h que es la velocidad máxima que puede llegar el vehículo Suzuki Forza 1, una presión de 101325 Pa determinado por el programa.

Figura 43

Condiciones iniciales de análisis.

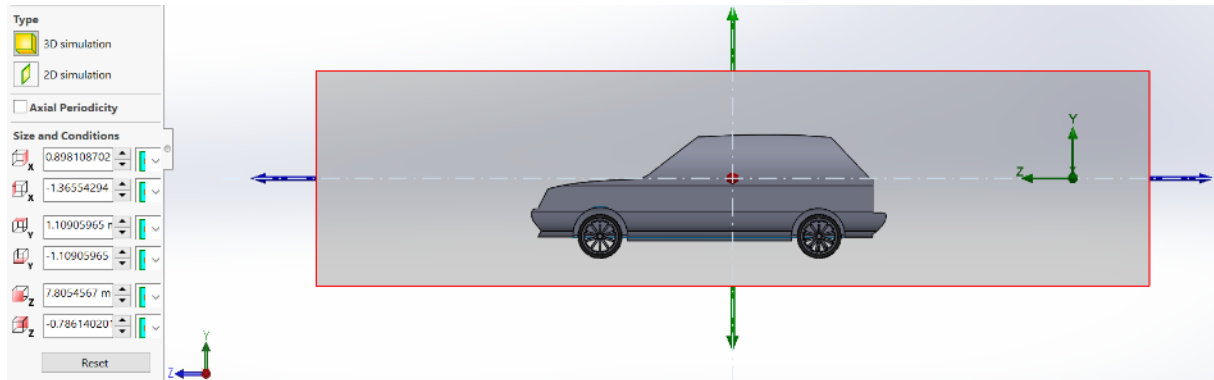


Nota. Se puede establecer valores de acuerdo al lugar geográfico que se esté realizando las pruebas.

El dominio del análisis o condiciones de frontera computacional es realizado para determinar la zona en el cual se va a realizar el análisis aerodinámico del vehículo estableciendo límites en el cual se observará el comportamiento del aire, este es determinado por las componentes x, y, z en el eje de coordenadas.

Figura 44

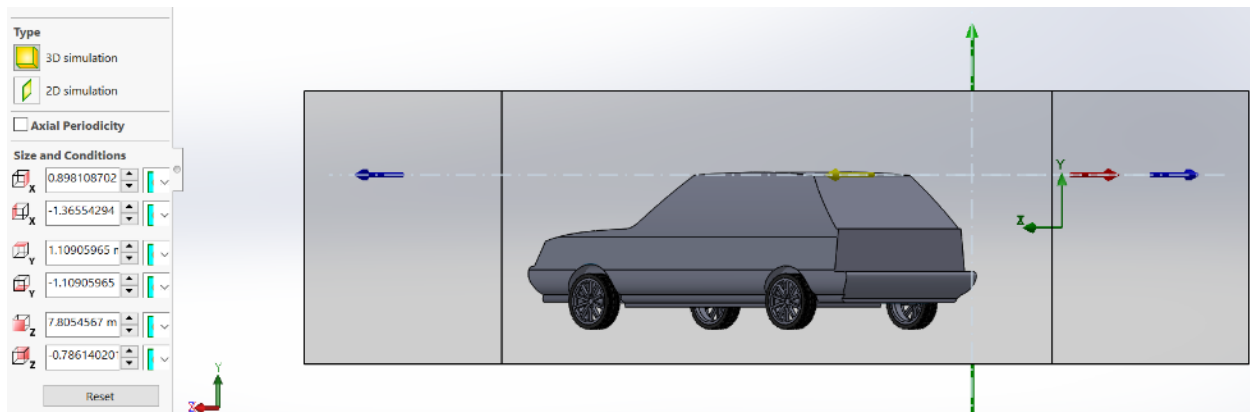
Condiciones de frontera.



Nota. Esta condición influye en el área en la cual será analizado el fluido por medio del programa.

Figura 45

Componentes X, Y, Z.

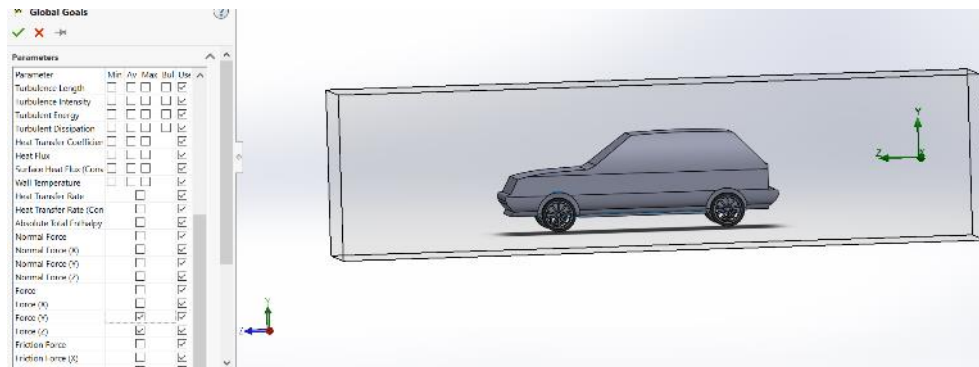


Metas globales

En este campo se logra determinar y seleccionar los apartados requeridos para el análisis aerodinámico de cada uno de los componentes del vehículo, aquí se puede seleccionar diferentes parámetros los cuales serán calculados por medio del programa para la obtención de los resultados.

Figura 46

Elección de tipo de datos a obtener.



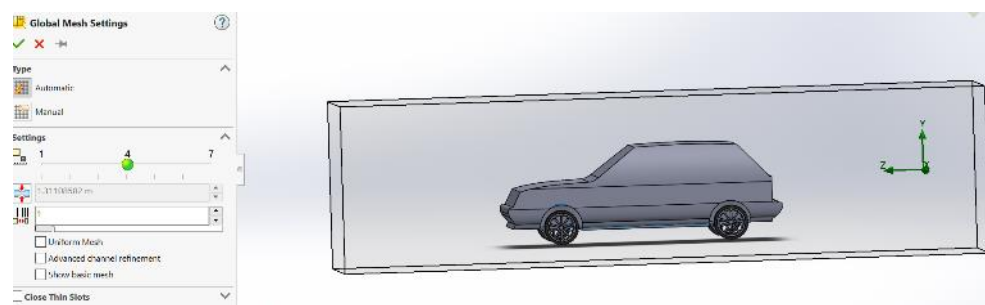
Nota. Serán seleccionados los datos requeridos después del análisis del sólido.

Mallado

La malla global del sólido se realizó con un mallado global de 4, el mallado global se realiza en todo el sólido que detecta el programa, entre mayor sea el mallado global aumentará la precisión en los resultados que arroje el programa al momento de la simulación.

Figura 47

Grado de mallado.

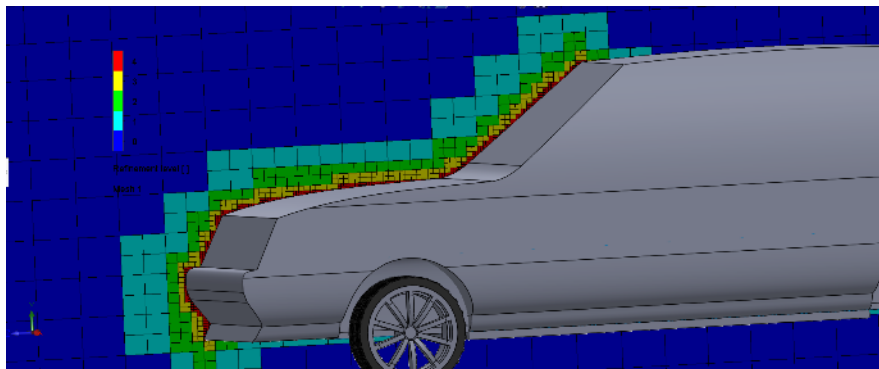


Se selecciona una malla local en las zonas en las que el aire se encuentran directamente en contacto con el vehículo, aquí se realiza un refinado o control de malla para visualizar de forma adecuada los lugares en los que se generan los mayores efectos de aerodinámica obteniendo una mayor precisión en estos puntos.

Se generan 4 niveles de refinamiento los cuales fueron seleccionados anteriormente, se puede visualizar los 4 niveles por 4 distintos colores en las zonas principales en las que se verá el efecto aerodinámico del vehículo.

Figura 50

Niveles de refinamiento del mallado.



Realizamos la solución al análisis de aerodinámica en el vehículo con pruebas iniciales, el tiempo de ejecución varía dependiendo el tipo de mallado a ejecutar el programa y la cantidad de parámetros que fueron seleccionados para su análisis.

Figura 51

Solución del mallado.

Solver: Análisis aerodinámico [Predeterminado] (Ensamblaje para analisis.SLDASM)

File Calculation View Insert Window Help

Parameter	Value
Status	Solver is finished.
Total cells	114,426
Fluid cells	114,426
Fluid cells contacting solids	57,515
Iterations	164
Last iteration finished	18:49:22
CPU time per last iteration	00:00:04
Travels	1.54418
Iterations per travel	107
Warning	Comment
No warnings	

Event	Iteration	Time
Mesh generation started	0	18:34:26 , Aug 05
Mesh generation normally finis...	0	18:34:42 , Aug 05
Preparing data for calculation	0	18:38:35 , Aug 05
Calculation started	0	18:39:07 , Aug 05
Calculation has converged sinc...	164	18:49:22 , Aug 05
Goals are converged	164	
Calculation finished	164	18:49:30 , Aug 05

Log Info

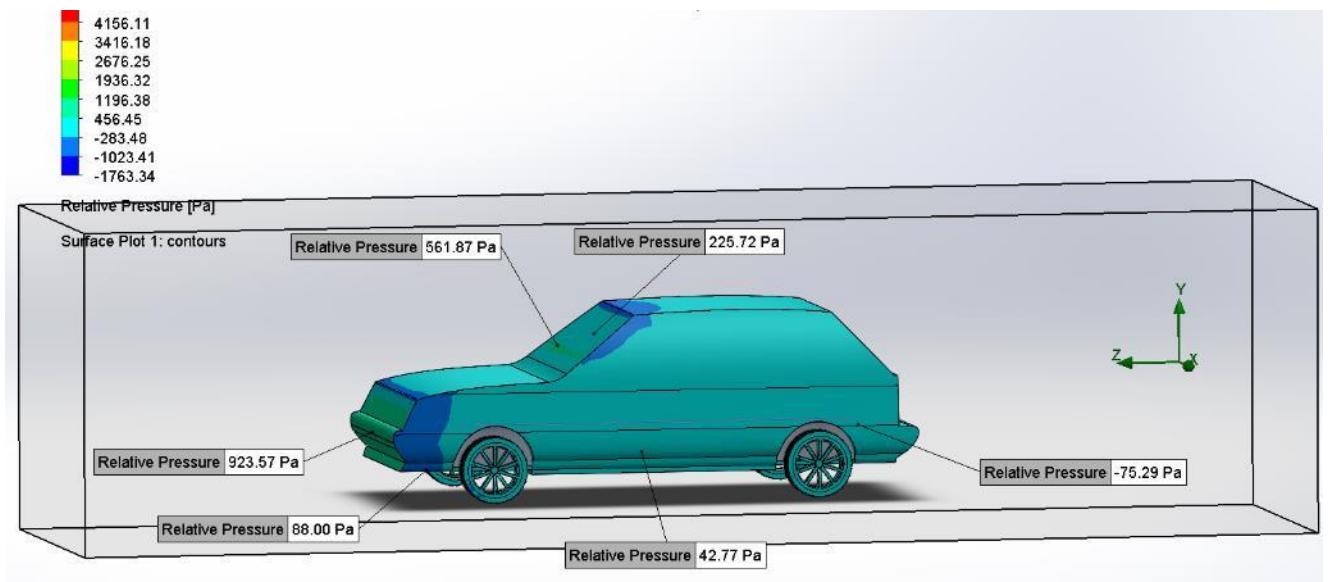
ready Solver is finished. Iterations : 164

Simulación antes de la implementación del paquete aerodinámico

Se realiza el análisis de presión de aire que se ejerce sobre el vehículo, específicamente en las zonas con mayor contacto directo con el viento, en la cual se puede presentar un mayor contacto en la parte delantera del vehículo, específicamente en el guardachoque delantero con 923,57 Pa y en la zona del parabrisas delantero con un valor de 561,87 Pa.

Figura 52

Análisis de presión.



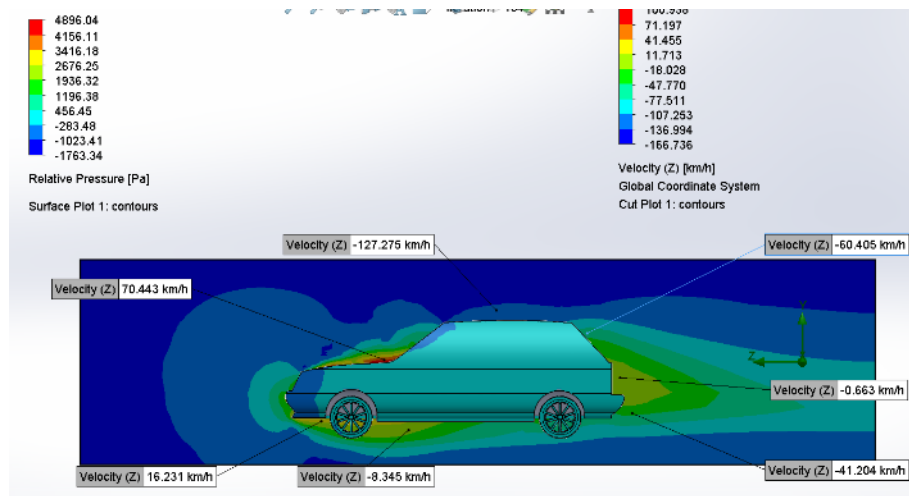
Nota. Los puntos analizados, son zonas en las que se requiere el análisis posterior a la implementación del kit aerodinámico.

Análisis del comportamiento de la velocidad en el componente z

Posteriormente se realiza el análisis de la velocidad del aire en dirección del componente en z, para determinar la velocidad que se presenta en el transcurso de todo el vehículo identificando las zonas en las que se presenta una disminución de la velocidad por el choque directo del fluido analizado.

Figura 53

Análisis de la velocidad del aire en Z.



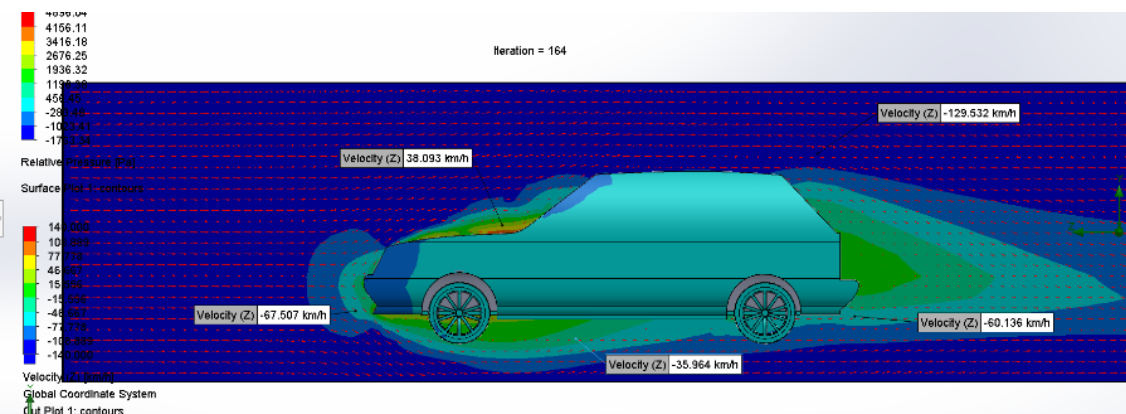
Nota. En la simulación se puede evidenciar la velocidad junto a la presión relativa presente.

Recorrido del viento alrededor del vehículo

Analizado el comportamiento y velocidad del viento se logra evidenciar el transcurso del aire en el vehículo. Los valores determinados presentan un valor de 38,093 km/h en la zona final del capo y al inicio del parabrisas delantero, en la parte trasera del vehículo presenta una velocidad de 129, 532 km evidenciando la mayor velocidad del viento en las zonas que se presentan menos contacto con la carrocería.

Figura 54

Transcurso del aire sobre el vehículo.

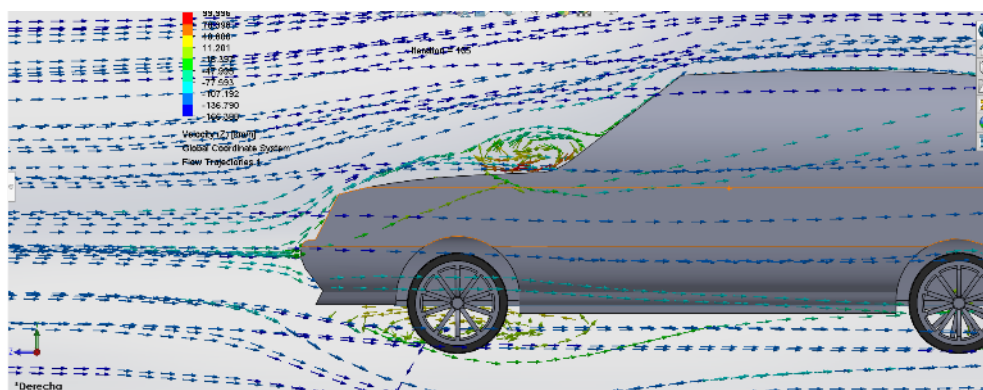


Flujo del viento alrededor del vehículo

Por medio del análisis computacional se logra evidenciar el flujo de aire que se presenta durante todo su trayecto alrededor del vehículo, evidenciando corrientes lineales y corriente turbulenta en las zonas en las que el aire presenta un choque directo y redirecciona su flujo.

Figura 55

Zonas de aire turbulentas durante el trayecto del vehículo.



Nota. Las zonas en las que existe turbulencia es debido al choque del viento y redirección del flujo.

Figura 56

Flujos y zonas lineales de aire durante el trayecto del vehículo.

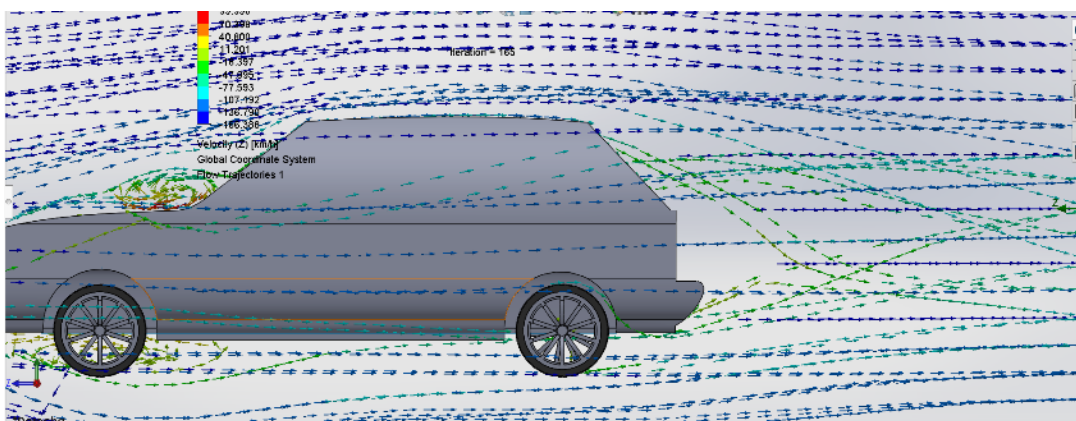


Figura 57

Flujo de aire.

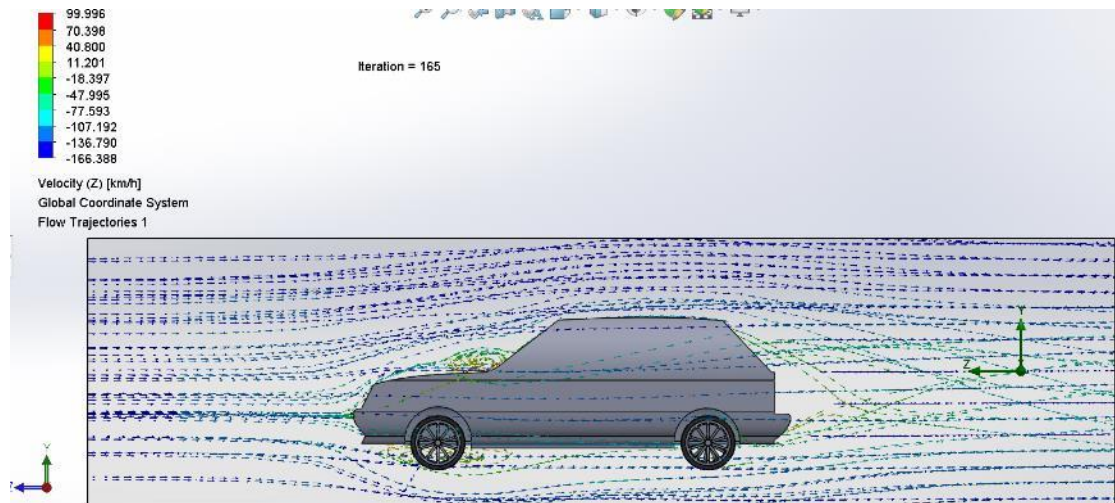
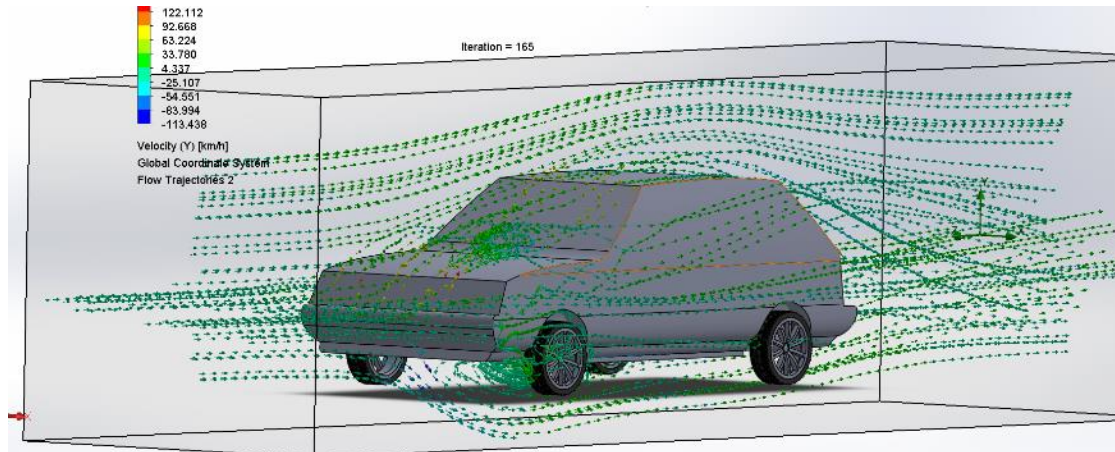


Figura 58

Flujo de aire en el eje Y.

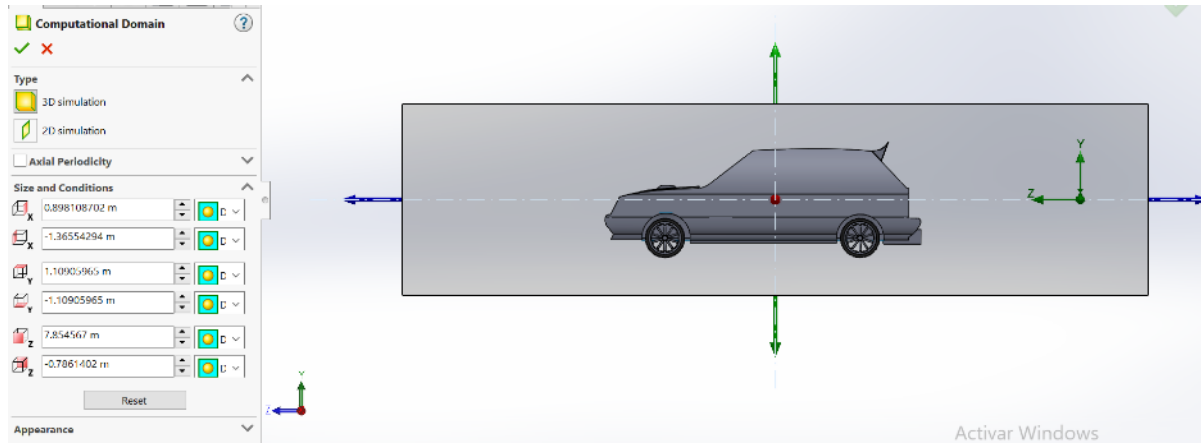


Simulación después de aplicar el paquete aerodinámico

El dominio del análisis computacional o condiciones de frontera para el vehículo con implementación del kit de aerodinámica es determinado con los mismos valores aplicados en la anterior simulación para obtener los resultados en un rango similar.

Figura 59

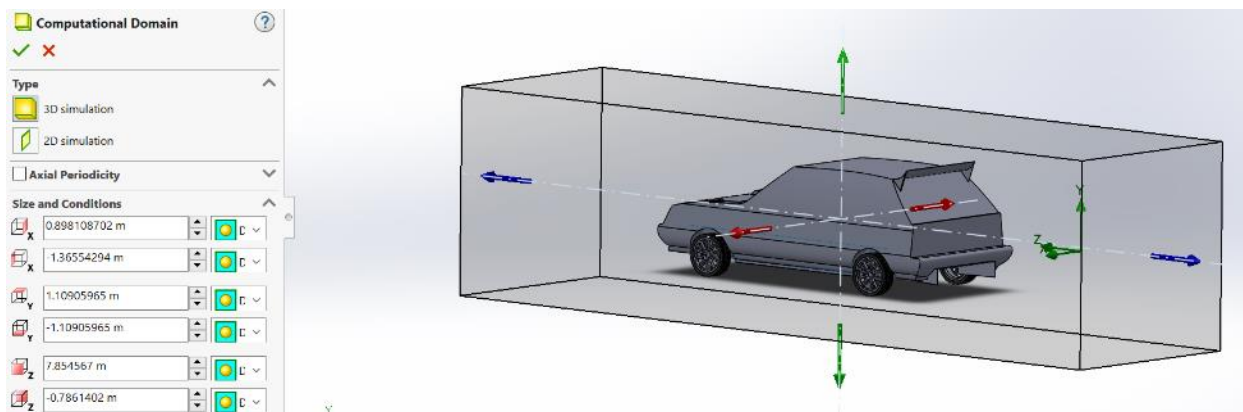
Dominio de análisis computacional aplicado el paquete aerodinámico.



Nota. Los valores tomados son semejantes a la simulación del vehículo sin la aplicación del kit de aerodinámica.

Figura 60

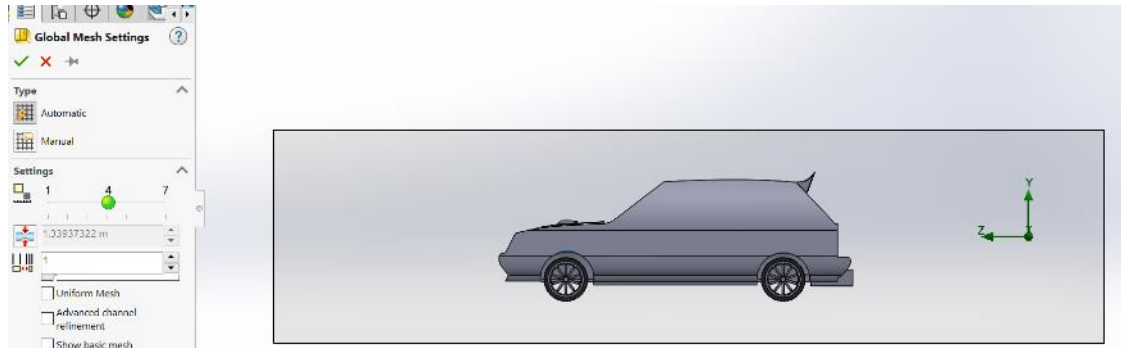
Ejes coordenados del dominio computacional.



Se implementa un mallado global de ajuste cuatro para obtener unos resultados semejantes a la simulación del vehículo sin el kit de aerodinámica, por el cual se obtienen mejores resultados al aumentar el mallado del sólido.

Figura 61

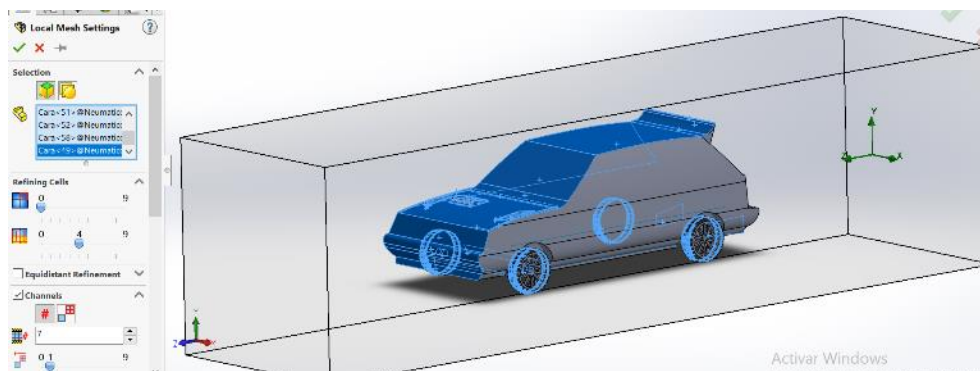
Mallado global de tipo 4.



En este caso se aplica la malla local en los componentes que se presenta contacto directo con el aire para obtener un mejor rango de análisis mejor en estos puntos, en este caso el rango en el que el aire aumenta su contacto es mayor ya que se presenta el spoiler como componente directo de contacto.

Figura 62

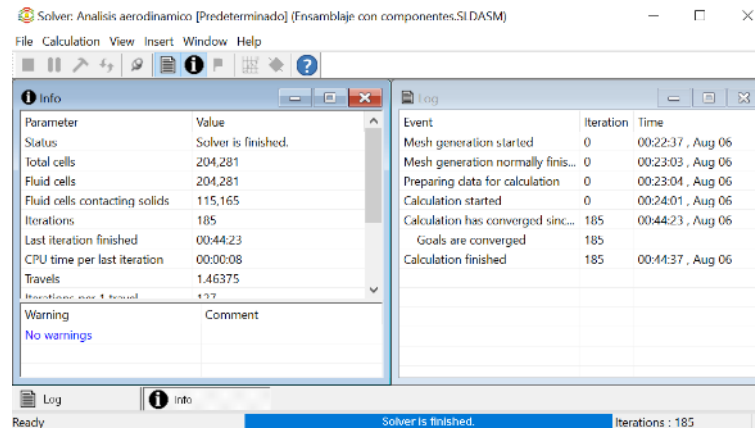
Mallado local en zonas de contacto directo con el aire.



Seleccionada las zonas principales para el análisis, se procede a realizar la solución de la simulación para su posterior obtención de resultados, en este caso el tiempo de ejecución aumenta debido al análisis a más componentes ya que fue implementado el kit de aerodinámica en el vehículo.

Figura 63

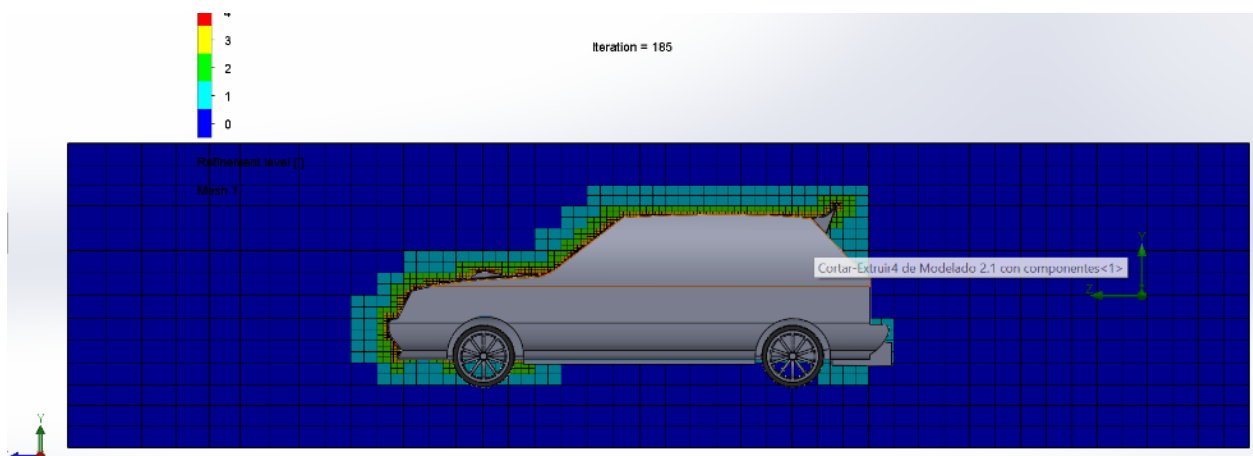
Ejecución de solución en el programa SolidWorks.



Se puede observar los cuatro rangos seleccionados en la malla local del sólido, evidenciando que en la parte delantera y superior se presentará mayor contacto con el viento.

Figura 64

Rangos seleccionados del mallado local.

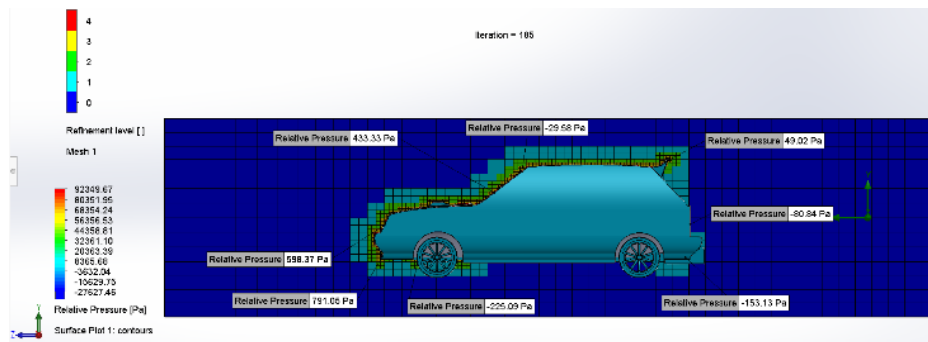


Al ser aplicado el análisis de la presión relativa del vehículo se puede evidenciar las zonas en las que se presenta mayor y menor contacto del aire con el vehículo, se puede observar un valor de 791,05 Pa en la parte delantera, inferior del vehículo y un valor de 49,02 Pa en el spoiler implementado. Logrando determinar que las zonas en las que se

presenta mayor presión son las zonas que se presenta mayor coeficiente de arrastre en el vehículo.

Figura 65

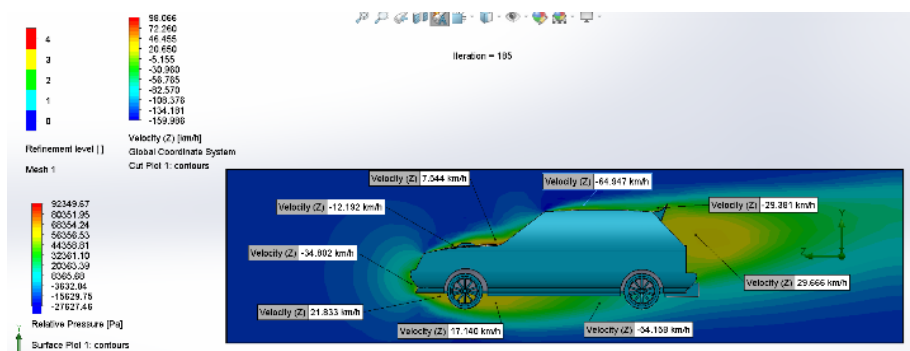
Análisis de presión relativa del vehículo.



La velocidad que se evidencia en el vehículo presenta zonas en las cuales la velocidad del aire disminuye debido a choques entre el aire y la carrocería y por este motivo se presentan turbulencias en el vehículo, presentando en la parte trasera la mayor zona con disminución de velocidad del aire con una velocidad de 29,66 km/h y en la parte delantera del vehículo una pequeña zona de disminución de 7,544 km/h.

Figura 66

Velocidad en z presentes en cada zona del automóvil.

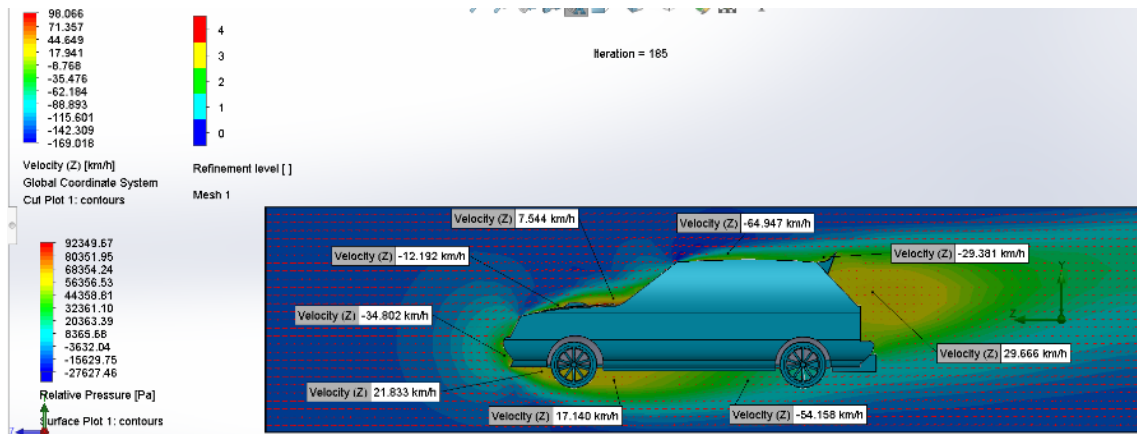


Por medio del análisis del flujo de aire se puede determinar que en el vehículo se presentan flujos laminares tanto en la parte superior como en la inferior del vehículo, en las

zonas que se presenta una disminución de velocidad se puede evidenciar que se forman flujos turbulentos, los cuales no son en una gran cantidad evidenciando en mayor cantidad el flujo laminar.

Figura 67

Análisis de flujo de aire.



El análisis del flujo de aire en el vehículo presenta que el aire tiene un flujo laminar en gran parte de la carrocería y se presenta un flujo turbulento en pequeñas zonas como es en la parte inferior del vehículo y en la parte trasera del mismo, esto se muestra desde la figura 68 y 69.

Figura 68

Flujo laminar en la carrocería del automóvil.

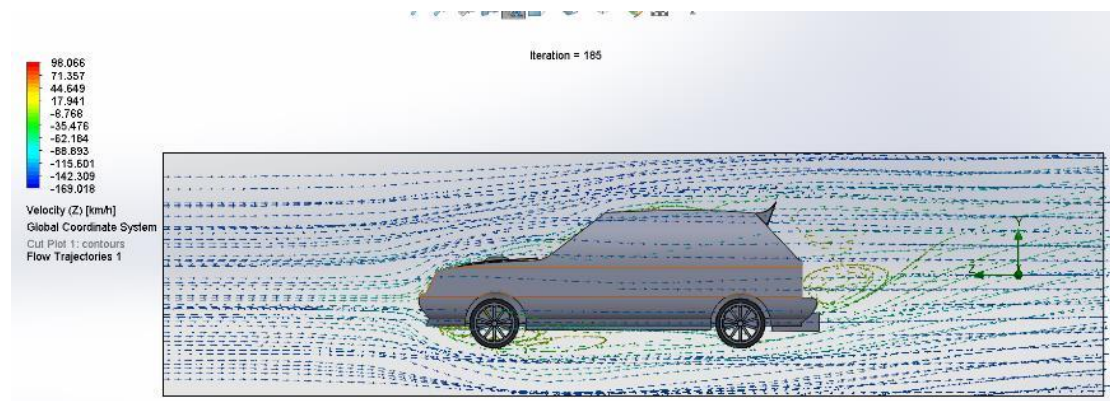
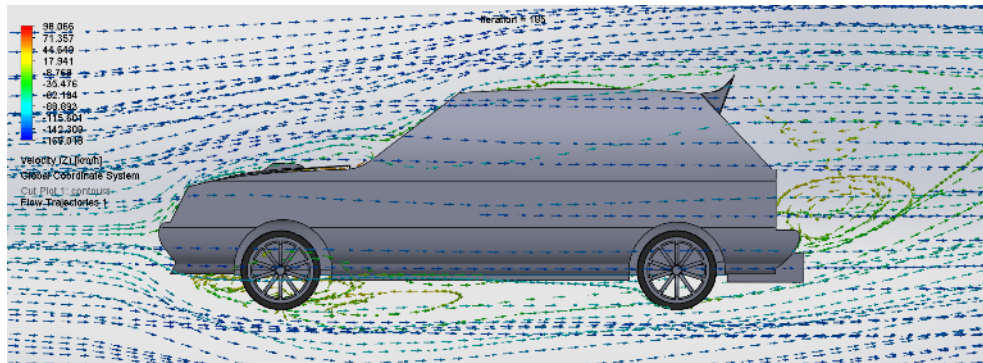


Figura 69

Aparición de flujos turbulentos en la carrocería del automóvil.



Capítulo IV

Resultados obtenidos

Posterior a la finalización de las simulaciones efectuadas en el software CAD, se obtienen los resultados donde se evidencian distintos parámetros que involucran velocidad, fuerza y presión sobre el automóvil cuando este realiza su recorrido habitual, por lo tanto, se presentan los mismos.

Resultados obtenidos sin el kit aerodinámico

Tabla 3

Datos obtenidos antes de aplicar el paquete aerodinámico

Análisis	Unidad	Valor	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
GG Presión					
estática	[Pa]	101332,6183	101332,6861	101332,1906	101333,2406
promedio					
GG Presión					
total	[Pa]	102078,4785	102081,219	102078,4785	102083,217
promedio					
GG Velocidad					
media	[km/h]	123,7433623	124,0301408	123,7433623	124,2257867
GG Fuerza (Y)					
	[N]	177,1005164	182,6456551	136,7629574	205,2300254
GG Fuerza (Z)					
	[N]	658,446792	655,3175753	670,4925885	636,9790135

Nota: Los valores obtenidos son proporcionados por medio del programa CAD Solidworks, por medio de la simulación realizada.

En la tabla 3 que la que se presentan los datos obtenidos sin la implementación del kit aerodinámico, se puede observar que la presión total promedio que se presenta directamente en el vehículo tiene un valor de 102078,4785 Pa lo que representa la presión que ejerce el viento en las zonas de contacto directo con el mismo.

La velocidad media que se presenta en la simulación da como resultado un valor de 124,0301408 km/h presentando un valor de fuerza de arrastre de 655,3175753 N y carga aerodinámica de 182,6456551 N.

Resultados obtenidos con el kit aerodinámico

Tabla 4

Resultados obtenidos después de aplicar el paquete aerodinámico

Análisis	Unidad	Valor	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
GG Presión					
estática promedio	[Pa]	101328,9241	101329,1992	101328,7865	101329,5761
GG Presión					
total promedio	[Pa]	102060,8215	102060,3149	102059,6431	102061,1332
GG Velocidad					
media	[km/h]	121,8186743	121,7164602	121,6074921	121,8433918
GG Fuerza (Y)					
	[N]	216,8192299	207,1777838	221,0155925	185,8317509

Análisis	Unidad	Valor	Valor promedio	Valor mínimo	Valor máximo
GG Fuerza (Z) 6	[N]	714,05111114	706,9799315	715,0094635	696,4734022

Nota. Los datos obtenidos mediante tabla son valores determinados por medio de datos establecidos en el programa.

En la tabla 4 en la que se presentan los valores obtenidos con la implementación del kit de aerodinámica se puede observar la presión total promedio que se presenta en el vehículo da como resultado un valor de 102060,1546 Pa lo que indica que con la implementación del kit se presenta un menor valor debido a la disminución de altura del vehículo y a la correcta implementación de los componentes aerodinámicos.

La velocidad media que se presenta en la simulación da como resultado un valor de 121,6772251km/h presentando un valor de fuerza de arrastre de 710,0984665N y carga aerodinámica de 198,0633911 N, lo que representa una pequeña disminución en la velocidad del vehículo y un aumento en las fuerzas aplicadas en el mismo.

Capítulo V

Análisis de resultados

Análisis antes de la implementación del paquete aerodinámico

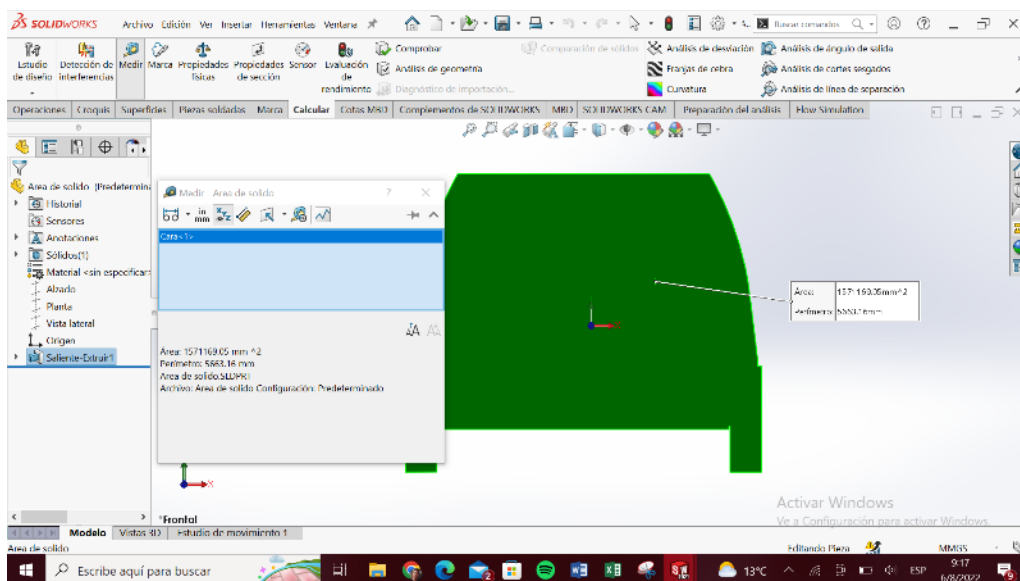
Para el cálculo de los coeficientes aerodinámicos C_x y C_L se tomaron en consideración los siguientes valores a una temperatura de 25 °C.

Según (CENGEL, 2007) la densidad del aire a presión de 1 atm y a una temperatura de 25°C tiene un valor de $1,184 \text{ kg/m}^3$.

Las áreas de las zonas en las que el viento se presenta en contacto directamente con el vehículo se obtuvo por medio del programa de análisis CAD SolidWorks, representando los contornos del vehículo para obtener su área a ser analizada, con un valor de $1,5711 \text{ m}^2$ sin el kit aerodinámico presentado en la figura 70 y con un valor de $1,621 \text{ m}^2$ con la implementación del kit aerodinámico presentado en la figura 71.

Figura 70

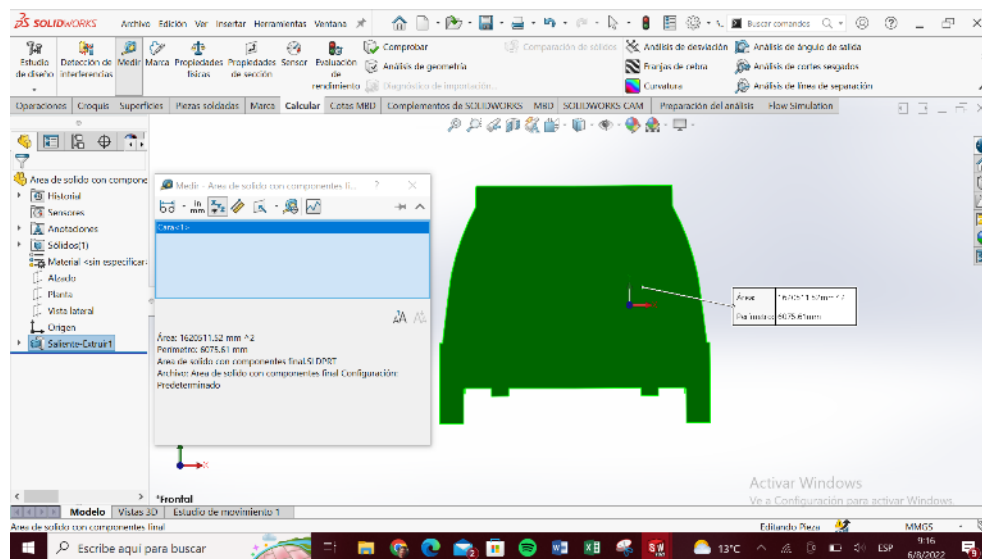
Área sin kit aerodinámico.



Nota. Especificación del área del vehículo por el contorno de la zona de contacto con el aire.

Figura 71

Área con kit aerodinámico.



Nota. Área establecida por el programa después de la implementación del kit de aerodinámica en el vehículo.

El Suzuki Forza de fábrica presenta una velocidad de 145 km/h como velocidad máxima en una recta, por lo que se tomó este valor como referencia para seleccionar la velocidad de 140 km/h aplicados en el análisis computación, el cual nos da un valor de 38,889 m/s.

Una vez obtenidos los datos requeridos para la implementación de los cálculos se procede a calcular los coeficientes aerodinámicos presentes en el vehículo.

En este caso se realiza el análisis de los coeficientes aerodinámicos presentados en el vehículo sin la implementación del kit de aerodinámica.

Con el dato obtenido de resistencia de avance en la simulación, se procede al cálculo del coeficiente aerodinámico de resistencia al avance, por medio de la siguiente fórmula.

$$C_x = \frac{2 \cdot F_x}{\rho \cdot v^2 \cdot A}$$

$$C_x = \frac{2 \cdot (655,3176 \frac{kg \cdot m}{s^2})}{1,184 \frac{kg}{m^3} \cdot (38,889 \frac{m}{s})^2 \cdot 1,5711 m^2}$$

$$C_x = 0,466$$

Con el dato obtenido de fuerza de sustentación en la simulación, se procede al cálculo del coeficiente de sustentación, por medio de la siguiente fórmula.

$$C_L = \frac{2 \cdot F_x}{\rho \cdot v^2 \cdot A}$$

$$C_L = \frac{2 \cdot (182,6457 \frac{kg \cdot m}{s^2})}{1,184 \frac{kg}{m^3} \cdot (38,889 \frac{m}{s})^2 \cdot 1,5711 m^2}$$

$$C_L = 0,129$$

Por medio de estos datos obtenidos específicamente por el coeficiente de arrastre que se presenta en el vehículo a 140 km/h la potencia requerida por el vehículo para vencer la fuerza de arrastre que ejerce el flujo de aire sobre él es el siguiente:

$$potencia = \frac{C_x \cdot A \cdot v^3}{1225}$$

$$potencia = \frac{0,466 \cdot 1,5711 m^2 \cdot (38,889 \frac{m}{s})^3}{1225}$$

$$potencia = 35,151$$

$$v = 68,842 km/h$$

Una vez obtenidos los cálculos de los coeficientes presentados en el vehículo sin la implementación del kit de aerodinámica procedemos al cálculo de los coeficientes aplicados el kit de aerodinámica.

Análisis después de la implementación del paquete aerodinámico

Con el dato obtenido de resistencia de avance en la simulación con la implementación del kit, se procede al cálculo del coeficiente aerodinámico de resistencia al avance, por medio de la siguiente fórmula.

$$C_x = \frac{2 \cdot F_x}{\rho \cdot v^2 \cdot A}$$

$$C_x = \frac{2 \cdot (706,979 \frac{kg \cdot m}{s^2})}{1,184 \frac{kg}{m^3} \cdot (38,889 \frac{m}{s})^2 \cdot 1,621 m^2}$$

$$C_x = 0,4871$$

Con el dato obtenido de fuerza de sustentación en la simulación aplicado el kit de aerodinámica, se procede al cálculo del coeficiente de sustentación, por medio de la siguiente fórmula.

$$C_L = \frac{2 \cdot F_x}{\rho \cdot v^2 \cdot A}$$

$$C_L = \frac{2 \cdot (207,178 \frac{kg \cdot m}{s^2})}{1,184 \frac{kg}{m^3} \cdot (38,889 \frac{m}{s})^2 \cdot 1,621 m^2}$$

$$C_L = 0,1427$$

Por medio del coeficiente de arrastre obtenido con la implementación del kit aerodinámico se puede calcular la potencia que requiere el motor para superar la fuerza de arrastre que ejerce el flujo de aire sobre él esto se presenta a continuación:

$$potencia = \frac{C_x \cdot A \cdot v^3}{1225}$$

$$potencia = \frac{0,4871 \cdot 1,621 m^2 \cdot (38,889 \frac{m}{s})^3}{1225}$$

$$potencia = 37,91$$

Comparación de parámetros obtenidos

Una vez analizados los coeficientes de arrastre y sustentación calculados anteriormente se determinaron los siguientes parámetros obtenidos por el vehículo al momento que se presentaba sin el kit de aerodinámica y posterior implementado el kit de aerodinámica.

Tabla 5

Diagrama de comparación de coeficientes aerodinámicos.

	Modelo sin kit de aerodinámica	Modelo con kit de aerodinámica
Coefficiente de arrastre	0,466	0,4871
Coefficiente de sustentación	0,129	0,1417
Fuerza de arrastre	655,3175753	706,979
Fuerza de sustentación	182,645	207,178
Velocidad	124,030	121,72
Potencia	35,151	37,91

Nota. Se presentan los resultados obtenidos por medio de la simulación realizada en el vehículo Suzuki Forza 1 en el aspecto de su aerodinámica.

(Lozano, 2006) establece que, al momento del diseño de los vehículos de competición, es denominado Fuerza descendente (Down Force) a la sustentación que se presenta en sentido vertical y hacia abajo, la cual es la encargada de aumentar la adherencia que presentan los neumáticos con el asfalto y por esto existe una disminución del tiempo de paso por curva.

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% mantenimiento el vehículo estable (Aramburo & Grandas, 2016).

En conclusión, se puede observar que el coeficiente de arrastre ha aumentado en comparación a cuando el vehículo no presentaba este kit dando un valor de coeficiente de arrastre de 0,4871 en comparación al valor anterior de 0,466. En la sustentación se puede evidenciar un aumento de este coeficiente lo que se expresa como una mejoría en la aerodinámica del vehículo debido a que este coeficiente ayuda al vehículo a mantenerse estable y aumentar la velocidad y tiempo en las curvas del circuito presentando un valor de 0,1417 en comparación del valor sin kit de 0,129.

Representado esto de igual forma se puede evidenciar que al momento que aumenta el coeficiente de arrastre en el vehículo la velocidad del mismo disminuye por presentar mayores zonas de contacto directas con el aire lo que disminuye la velocidad del vehículo, esta velocidad no se encuentra reducida en gran cantidad, por lo que el kit nos ayudará a mejorar los tiempos en circuitos que no se presentan muchas rectas y conste de una gran cantidad de curvas en la misma.

Capítulo VI

Aplicación de los resultados obtenidos

Implementación del paquete aerodinámico en el vehículo Suzuki Forza 1

A continuación, se detallará el proceso de construcción e instalación de los diferentes paquetes aerodinámicos, enfocándose en los parámetros anteriormente vistos los cuales deben cumplir con todas las especificaciones, dimensiones y geometrías según las modificaciones pertinentes. Este proceso abarcara procesos de mediciones, corte, soldadura, mecanizado y pintura.

Instalación de difusores de calor y entradas de aire en el capo

Para la instalación de los difusores y entradas de aire, se necesita modificar el capo, efectuando cortes sobre el mismo haciendo uso de tijeras de acción compuesta, esto de acuerdo a las dimensiones especificadas durante el diseño.

Figura 72

Cortes en el capo para la instalación posterior de los difusores y tomas de aire.



Nota. Cortes del capo por medio de mediciones y aplicación de los componentes.

Figura 73

Difusores y tomas de aire instalados sobre el capo.



Nota. Colocación de los componentes para su pintado.

Posterior a su modificación e instalación de los componentes sobre el capo, continuamos con el proceso de pintura de estos elementos conjuntamente con el capo para su posterior instalación en el automóvil y se procede a comprobar que los mismos cumplan con las debidas especificaciones de diseño para que su aplicación tenga la adecuada optimización para la que fue propuesta.

Figura 74

Barnizado de los componentes a ser implementados para su posterior pintado.



Nota. Aplicación de fondo para realizar el pintado.

Figura 75

Comprobación de la instalación sobre la superficie del capo.



Instalación del difusor de aire en la parte posterior-inferior

Para esta instalación es necesario modificar la parte posterior del maletero del vehículo, el cual debe ser realizado acorde a los parámetros de diseño que debe estar a un ángulo de 46° el cual esto beneficiara para obtener mayor evacuación del aire que pasa por debajo del auto, haciendo uso del proceso de corte el cual se realiza por arco de plasma, obteniendo un buen acabado de modo y evitando que se formen ranuras o biseles fuera de medidas. Posterior a su corte, el mismo debe ser cubierto por una placa de acero, esto con un proceso de corte y soldadura por arco eléctrico.

Figura 76

Comprobación del corte e instalación la placa de acero.



Nota. Aplicación de placa plana para acople de difusor en la parte inferior del vehículo.

Seguido de esto para construir el difusor de aire es necesario una placa de acero inoxidable de modo que al mismo tiempo que facilita la evacuación de aire que pasa por debajo del vehículo también se evita que esta llegue a oxidarse debido a las diferentes partículas presentes el aire y efectos de la humedad.

Figura 77

Corte y doblado de la placa de acero inoxidable.



Nota. Corte del difusor, medidas referente a las medidas tomadas en el vehículo.

Figura 78

Uso de cizalla para el corte de los restos de la placa de acero.



Continuando se pasa a instalar el difusor de aire en la parte posterior inferior del automóvil, teniendo las debidas precauciones de seguridad en caso de aplastamiento.

Figura 79

Instalación y fijación del difusor de aire posterior.



Instalación del Spoiler en la parte posterior-superior del automóvil

Posterior al análisis y simulación efectuada en el software y haber comprobado su efectividad para la aplicación en el automóvil, se procede a instalar el Spoiler, el cual cumplirá con la función de evitar una anti-sustentación al vehículo de forma que se disminuya la resistencia del aire al mismo tiempo que mejore la estabilidad del mismo.

Estos elementos vienen prediseñados y los cuales no deben sobrepasar las dimensiones del vehículo por lo que el realizar el dimensionamiento del mismo antes de su instalación es importante para evitar que la optimización no sea la adecuada, el cual está hecho de un material ligera que es la fibra de vidrio para disminuir el peso extra del componente.

Figura 80

Comprobación de las dimensiones del Spoiler posterior.



Nota. Centrado de spoiler para su colocación en la parte superior del vehículo.

Figura 81

Instalación del spoiler posterior.



Finalización de la implementación del paquete aerodinámico

Se obtiene ya el paquete aerodinámico instalado en el Vehículo Suzuki Forza 1 para competición de tipo Supercrosscar, se presenta la evidencia de forma visual que están mostradas desde la figura 82 a la 84.

Figura 82

Difusor de aire y spoiler posterior instalados en el vehículo.



Figura 83

Vista lateral del vehículo Suzuki Forza 1.



Nota. Acabado final del vehículo Suzuki Forza 1 con la implementación de los componentes de kit aerodinámicos.

Figura 84

Vista isométrica del vehículo Suzuki Forza 1.

**Presupuesto de diseño e implementación del paquete aerodinámico**

En este ítem se muestra el presupuesto de la inversión del paquete aerodinámico desde su diseño en el Software CAD hasta su construcción e instalación en el automóvil.

Tabla 6

Gastos realizados durante el desarrollo de la tesis.

Ítem	Descripción	Valor
1	Fabricación de difusores de calor y tomas de aire	50 \$
2	Instalación de difusores de calor y tomas de aire en el capo	50 \$
3	Construcción de difusor de aire posterior	80 \$
4	Instalación de difusor de aire posterior	150 \$
5	Diseño, construcción del spoiler posterior	150 \$
6	Pintura aplicada a los distintos elementos instalados	100 \$

Ítem	Descripción	Valor
7	Cortes y Soldadura en el difusor de aire posterior	150 \$
8	Prueba de líquidos penetrantes	100 \$
9	Mano de obra	300 \$
	TOTAL	1130 \$

Nota. Gastos requeridos para el desarrollo de la implementación de los componentes aerodinámicos, después de su análisis en el programa CAD Solidworks 2021.

Capítulo VII

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

Tras la implementación del paquete aerodinámico en el vehículo Suzuki Forza 1, existe mayor resistencia aerodinámica, su velocidad empieza a disminuir en vías rectas debido al arrastre que genera estos kits, aun sin variar su potencia, sin embargo, en curvas esta velocidad aumenta al igual que la estabilidad, al tener mayor coeficiente de sustentación negativa lo que permite que el vehículo en la curva vaya con velocidad de lo habitual por el agarre que tiene con el asfalto.

Por medio de los análisis realizados se obtuvo un aumento en las fuerzas aerodinámicas, por lo que se presentan valores superiores en los coeficientes de arrastre y sustentación con valores iniciales de 0,466 y 0,129 respectivamente antes de la implementación del kit y valores de 0,4871 y 0,1417 respectivamente posterior a la aplicación del kit aerodinámico, esto representa una diferencia de 2.1% para el coeficiente de arrastre y 1.27% para el coeficiente de sustentación, de esta manera se mejora el tiempo realizado por el vehículo en curva del circuito.

Lugares donde se presentan presiones bajas se encuentran las velocidades altas y por ende mayores valores de la fuerza de sustentación, con un valor de 182,646 N antes de implementar el paquete aerodinámico y un valor de 207,178 N después de la implementación del kit, por lo que mejora en un 11.85% de esta manera se obtiene mayor adherencia del vehículo hacia el piso.

Con el análisis efectuado al modelado del automóvil Suzuki Forza 1 antes de la implementación del paquete aerodinámico dio como resultado que la mayor resistencia se presenta en la parte frontal del automóvil, al obtener una presión de 923,5737 Pa, otra de las zonas en las que se presenta mayor resistencia aerodinámica es en el spoiler del

vehículo presentando una presión de 49,02 Pa, dominando así el coeficiente de sustentación negativa para obtener mayor agarre del vehículo.

Para conseguir disminuir aún más la resistencia al avance, la inclinación del capot no debe ser superior a los 30° respecto a la horizontal, la misma que de sobrepasarse de esta es necesario modificar el tipo de suspensión para reducir la altura del vehículo, sin embargo, esta inclinación no debe sobrepasar los 45° puesto que llega a afectar la visibilidad del conductor provocada por los rayos solares.

Con el ángulo de inclinación obtenida por la suspensión autoajutable, se consigue aumentar el coeficiente de sustentación (0.1365) al tener menor altura entre el faldón con respecto al piso, por lo que se produce un efecto Venturi en la parte interna del vehículo, debido a la variación de presión.

Se investigó en fuentes bibliográficas aplicadas a cada uno de los ítems que se necesitaban para realizar los diseños respectivos, teniendo en cuenta la normativa vigente en la FEDAK 2022 para el tipo de aplicación que tendrá el automóvil.

Recomendaciones

Es necesario utilizar el análisis por túnel de viento o una prueba de pista del modelado una vez ya implementado el paquete aerodinámico, de modo que se pueda obtener mejores resultados que sean cercanos a la realidad, esto posterior a efectuar cualquier cambio al automóvil para el ámbito de competición.

Para mejorar el análisis y el rendimiento aerodinámico antes, durante y después de aplicar el paquete se recomienda realizar un estudio más extenso y puntual en los demás coeficientes de resistencia vertical (C_z) y resistencia lateral (C_y), resultados que permite mejorar el estudio y aprovechar el comportamiento y eficiencia de los flujos aerodinámicos, así como también de las presiones generadas alrededor de la superficie de la geometría propuesta.

Para futuros proyectos sobre la optimización de la Aerodinámica del Vehículo Suzuki Forza 1, es necesario que tengan en cuenta el estudio del comportamiento dentro del automóvil cuando las ventanas estén abiertas de modo que se optimice el efecto paracaídas, que provocara la disminución de la velocidad.

Cualquier modificación que se lleve a futuro es necesario que se realicen nuevas simulaciones y estudios del comportamiento del vehículo a velocidades distintas, esto con la finalidad de obtener resultados beneficiosos que garanticen que los distintos coeficientes y el efecto suelo no se vean afectados.

Bibliografía

- Algaba, D. (23 de Septiembre de 2011). *Ventilacion y Calefaccion*. Obtenido de slideshare.net: <https://es.slideshare.net/dialmi/ventilacin-y-calefaccin-9396543>
- Aliexpress. (2022). *Ventilación del capó delantero*. Obtenido de es.aliexpress.com: <https://es.aliexpress.com/item/1005001464358801.html>
- Alonso, J. (2006). *Diseno y Analisis para un Prototipo de formula FAE*. Madrid: Escuela Tecnica Superior de Inegnieria. Obtenido de Escuela Tecnica Superior de Ingenieria.
- Aramburo, J. F., & Grandas, J. C. (2016). *DISEÑO DE UN PAQUETE AERODINAMICO PARA UN VEHICULO DE CARRERAS MRT1*. Obtenido de repository.uamerica.edu.co: <http://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/585/1/4092192-2016-2-IM.pdf>
- Autos, F. (2021). *Suzuki Forsa un icono en la historia del automovilismo*. Obtenido de <https://www.fayals.com/2021/04/Suzuki-Forsa-Ecuador-2021-historia.html>
- CENGEL, Y. A. (2007). *Transferencia de calor y masa*. Mexico: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinamica*. Espana: McGraw-Hill. Obtenido de <http://joinville.ifsc.edu.br/~evandro.dario/Termodin%C3%A2mica/Material%20Did%C3%A1tico/Livro%20-%20Cengel/Termodinamica%20-%20Cengel%207th%20-%20espanhol.pdf>
- Courses, T. (04 de Agosto de 2014). *ESTUDIO DE LA AERODINAMICA DE UN VEHICULO*. Obtenido de technicalCourses.net: http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_entrada.php?entrada_id=89
- Encarta, M. (2009). *Numero de Mach*.
- FEDAK. (2022). *FEDAK*. Obtenido de fedak.com: <https://fedak.com.ec/>
- FIA. (2022). *Federation Internationale de l'Automobile*. Obtenido de fia.com: <https://www.fia.com/>
- Fraija B., I. (2006). *Estudio de la aerodinamica en los vehiculos*. Colombia: redalyc.org.
- Gallardo, R. A. (2017). *Diseno de la carroceria de un vehiculo tipo formula* . Obtenido de repositorio.uvg.edu.gt: <https://repositorio.uvg.edu.gt/xmlui/static/flowpaper/template.html?path=/bitstream/ha>

ndle/123456789/3709/TESIS%20-%20AERODINAMICA%20-%20RENE%20ARAUJO%20%20GALLARDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Gomez, F. A. (2009). *ANALISIS AERODINAMICO DEL VEHICULO PARA LA COMPETENCIA ECO-SHEL*. Obtenido de UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA: <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/58846/TFM%20-%20Aguirre%20G%C3%B3mez%2C%20F.A..pdf?sequence=1>

Lopez, J. (13 de Septiembre de 2020). *¿QUÉ ES REALMENTE UN DIFUSOR AERODINÁMICO?* Obtenido de espirituracer.com: <https://espirituracer.com/reportajes/que-es-realmente-un-difusor-aerodinamico/>

Lozano, W. A. (02 de Diciembre de 2006). *Diseño y simulación de las fuerzas de arrastre y sustentación en los autos*. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4962/496251108005.pdf>

Mejía, P. C. (2012). *¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LA AERODINÁMICA EN LA APLICACIÓN AUTOMOTRIZ?* Medellín: COLEGIO MARYMOUNT MEDELLIN.

Mena, M. Q. (11 de Junio de 2011). *Autódromo Yahuarcocha*. Obtenido de Flickr: https://www.urbipedia.org/hoja/Circuito_de_carreras

Onofre, M. A. (2016). *DESARROLLO DE UN FACELIFT DEL VEHICULO BMW X5 F15 Y ANALISIS DE AERODINAMICA A TRAVES DE LA PLATAFORMA AUTODESK. TRABAJO DE TITULACION PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ*. UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR, GUAYAQUIL.

Osma, M. F. (12 de Octubre de 2020). *¿Qué es el número de Reynolds?* Obtenido de [aerodinamicaf1.com](https://www.aerodinamicaf1.com): <https://www.aerodinamicaf1.com/2020/10/que-es-el-numero-de-reynolds/>

Osorio, S. A. (19 de Marzo de 2019). *Modelos computacionales en ingeniería automotriz*. Obtenido de [excelenciasdelmotor.com](https://www.excelenciasdelmotor.com): <https://www.excelenciasdelmotor.com/automotriz/tecnica-y-tecnologia/modelos-computacionales-en-ingenieria-automotriz>

Samaniego, G. F., Antamba, J. F., & Guerrero, B. (Abril de 2021). *Análisis del diseño aerodinámico de un alerón preparado para competencia utilizando simulaciones numéricas de dinámica de fluidos computacional (DFC)*. Obtenido de Scielo: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642021000200019

Tacuri, P. A., & Zambrano, M. J. (2019). Analisis Y Optimizacion Del Comportamiento Aerodinamico De La Carroceria De Un Bus Categoria M3 (Interprovincial). *Trabajo de titulacion previo a la obtencion del titulo de Ingeniero Mecanico Automotriz*. Universidad Politecnica Salesiana Sede Cuenca, Cuenca. Obtenido de <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/18381/1/UPS-CT008691.pdf>

TenicaF1. (10 de Enero de 2016). *TÉCNICA F1: ¿QUÉ ES Y CÓMO FUNCIONA EL EFECTO SUELO?* Obtenido de planetadelmotor.com: <http://planetadelmotor.com/efecto-suelo-f1-que-es/>

TurningBlog. (27 de Mayo de 2021). *Aún más profundo: ¡el ala de copa para el spoiler / splitter delantero!* Obtenido de turningblog.eu: <https://www.tuningblog.eu/es/kategorien/tuning-wiki/frontsplitter-ansatz-349795/>

Anexos