



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ**

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN MANTENIMIENTO
AUTOMOTRIZ**

**TEMA: DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN TÚNEL
DEVIENTO PARA VEHÍCULOS A
ESCALA 1:18.**

AUTOR: UBIDIA GONZÁLEZ JURGEN RAFAEL

DIRECTOR: MSC. BENAVIDES CEVALLOS IGNACIO BAYARDO

OPOSITORES: MSC. MAFLA YÉPEZ CARLOS NOLASCO

MSC. ROSERO AÑAZCO RAMIRO ANDRES

Ibarra, 2023

CERTIFICADO

ACEPTACIÓN DEL DIRECTOR

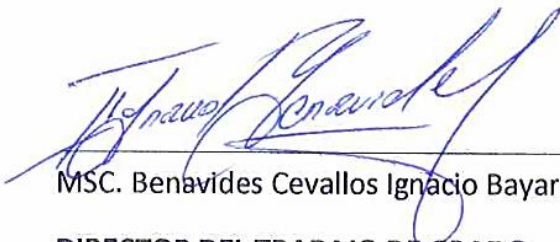
En mi calidad de director del plan de trabajo de grado, previo a la obtención del título de Ingeniería en Mantenimiento Automotriz, nombrado por el Honorable Consejo Directivo de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Aplicadas.

CERTIFICO:

Que una vez analizado el plan de grado cuyo título es " DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO PARA VEHÍCULOS A ESCALA 1:18 ". Presentado por el señor: Ubidia González Jurgen Rafael con número de cédula 0401863865 doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte de los señores integrantes del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Ibarra, a los 04 días del mes Abril del 2023.

Atentamente,



MSC. Benavides Cevallos Ignacio Bayardo Ing.

DIRECTOR DEL TRABAJO DE GRADO



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO	
CEDULA DE IDENTIDAD:	040186386-5
APELLIDOS Y NOMBRES:	Ubidia González Jurgén Rafael
DIRECCIÓN:	Calle Bolívar y Segunda transversal
EMAIL:	jrubidiag@utn.edu.ec
TÍTULO:	DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN TÚNEL DE VIENTO PARA VEHÍCULOS A ESCALA 1:18
AUTORES:	Ubidia González Jurgén Rafael
FECHA:	20/04/2023
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA	INGENIERÍA EN MANTENIMIENTO AUTOMOTRIZ
ASESOR/DIRECTOR	Ing. Benavides Cevallos Ignacio Bayardo MSc.

2. CONSTANCIAS

Los autores manifiestan que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar derechos del autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que son los titulares de los derechos patrimoniales, por lo que asumen la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrán en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de Abril de 2023

AUTOR



Jurgen Rafael Ubidia González

040186386-5

DEDICATORIA

El presente trabajo se lo dedico a mis padres, Nancy González y Raphael Ubidia, a mi mamá, por su constancia y apoyo incondicional en toda mi formación académica, por sus consejos, palabra de aliento y dedicación con las que supo llenarme de fuerza y empeño para poder cumplir la meta propuesta a la que me he dedicado día tras día, a mi padre que con empeño supo ayudarme a salir adelante con su ayuda y constancia, ellos son las personas que me ayudaron a entender que con sacrificio se logran cumplir las metas propuestas.

A mis hermanos que siempre estuvieron en todos los aspectos de mi vida apoyándome y dándome fuerza para continuar con la carrera en la que me enfoque y los cuales siempre me han brindado su apoyo en toda circunstancia, siendo una fuente de inspiración para poder superarme.

A mi novia que a pesar de las adversidades siempre me ha dado palabras de aliento y apoyo para poder superar los obstáculos que se han presentado a lo largo del tiempo y que por sus consejos y regaños he logrado cumplir con la meta que me he propuesto en este tiempo de aprendizaje académico.

Ubidia González Jurgen Rafael

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento primero es a Dios por ayudarme a salir adelante en todo momento que se me presento en mi carrera universitaria, en los buenos y malos aspectos que pase para poder alcanzar una nueva etapa más en mi vida.

Agradecer a mi mamá, Nancy González por siempre apoyarme y nunca darse por vencida en todo lo que ha hecho por mí, enseñándome que la perseverancia y el trabajo duro permite lograr las metas que me proponga en la vida, gracias a sus palabras y sus constantes consejos he podido culminar mi carrera de la mejor forma posible.

A la Universidad Técnica del Norte por permitirme aprender y formarme como profesional. A mis maestros, gracias por compartir sus conocimiento y anécdotas en donde aprendí mucho de sus diversas experiencias que fueron fundamentales para formar a un buen profesional con valores éticos y profesionales.

Ubidia González Jurgen Rafael

ÍNDICE DE CONTENIDOS.

RESUMEN	8
ABSTRACT	9
INTRODUCCIÓN	10
1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	11
1.1. OBJETIVOS.	11
1.1.1. Objetivo General.....	11
1.1.2. Objetivos Específicos.	11
1.2. JUSTIFICACIÓN	11
1.3. ANTECEDENTES.	12
1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	13
1.5. ALCANCE.....	13
1.6. HISTORIA DEL TÚNEL DE VIENTO.....	15
1.6.1. Tipos de túneles de viento.	16
1.6.2. Circulación de aire en el interior.	16
1.6.3. Velocidad de flujo en su interior.	17
1.7. Componentes del túnel de viento.....	19
1.7.1. Difusor de establecimiento	19
1.7.2. Cono de aceleración.....	20
1.7.3. Cámara de ensayo.....	20
1.7.4. Difusor.....	21
1.7.5. Ventilador.....	21
1.8. Flujo laminar y turbulento.	22
1.8.1. Flujo laminar.	22
1.8.2. Flujo turbulento.	23
1.9. Leyes de la aerodinámica.....	25
1.9.1. Efecto Venturi.....	26
1.9.2. Teorema de Bernoulli.	28
1.9.3. Número de Reynolds.	29
1.9.4. Número Mach.....	30
1.10. Elección de los automóviles comerciales.....	30
1.11. Elementos electrónicos.....	34

1.11.1.	Dispositivo MPX10.	35
1.11.2.	MCP606.	36
2.	MATERIALES Y MÉTODOS.	37
2.1.	Metodología de la investigación.	37
2.1.1.	Método documental.	37
2.1.2.	Método de investigación longitudinal.	37
2.1.3.	Método cualitativo.	37
2.1.4.	Método cuantitativo.	38
2.1.5.	Proyecto de desarrollo.	38
2.2.	Materiales y Equipos.	38
2.2.1.	Filamento PLA.	39
2.3.	Herramientas.	40
2.3.1.	Impresora 3D.	40
2.4.	Software.	41
2.4.1.	Solidworks.	41
2.4.2.	Solidworks FLUID SIMULATION.	42
2.4.3.	Software LabVIEW.	43
2.5.	Proceso metodológico.	45
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	57
3.1.	Dimensionamiento del Túnel de viento en el software CAD.	57
3.2.	Simulación del comportamiento aerodinámico en los Software CAD.	58
3.2.1.	Etapas de Simulación.	58
3.2.1.1.	Simulaciones en el Software SOLIDWORKS.	58
3.3.	Análisis de simulaciones.	62
3.3.1.	Diseño A.	63
3.3.2.	Diseño B.	65
3.3.3.	Diseño C.	67
3.3.4.	Diseño D.	70
3.4.	Incorporación de los datos dentro del software.	73
3.5.	Proceso de diseño en el software CAD.	75
3.6.	Simulación en el Software ANSYS.	79
3.7.	Realización de pruebas aerodinámicas de los vehículos a diferentes regímenes de velocidad.	88
3.7.1.	Simulación en SOLIDWORKS.	89
3.7.2.	Simulación en ANSYS.	95
3.8.	Análisis de datos correspondientes a las diversas pruebas.	102
3.8.1.	KIA Picanto en diferentes regímenes de velocidad.	102

3.8.2.	CHEVROLET Sail en diferentes regímenes de velocidad.....	115
3.8.3.	CHEVROLET Grand Vitara SZ en diferentes regímenes de velocidad.	128
3.9.	Procesamiento de la información obtenida en el software y obtención de datos para el coeficiente aerodinámico CX.....	143
3.10.	Fuerza aerodinámica	151
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	154
4.1.	Conclusiones.....	154
4.2.	Recomendaciones.	155
5.	REFERENCIAS.....	157

ÍNDICE FIGURAS.

Figura 1-1.	Despiece túnel de viento abierto.....	16
Figura 1-2.	Despiece túnel de viento cerrado.....	16
Figura 1-3.	Túnel de viento Subsónico.....	17
Figura 1-4.	Túnel de viento Transónico.....	18
Figura 1-5.	Túnel de viento Supersónico.....	18
Figura 1-6.	Túnel de viento Hipersónico.....	19
Figura 1-7.	Representación de los números Mach en los Túneles de viento.....	19
Figura 1-8.	Cámara de establecimiento.....	20
Figura 1-9.	Zona de contracción para la aceleración.....	20
Figura 1-10.	Zona de ensayos.....	21
Figura 1-11.	Elemento Difusor.....	21
Figura 1-12.	Elemento de potencia – Ventilador.....	22
Figura 1-13.	Distribución de velocidades de un flujo laminar en una tubería.....	23
Figura 1-14.	Trayectoria de partículas en el flujo Laminar.....	23
Figura 1-15.	Representación del flujo Turbulento.....	23
Figura 1-16.	Desarrollo de un flujo Turbulento en diferentes posiciones.....	24
Figura 1-17.	Efecto Venturi.....	26
Figura 1-18.	Demostración por medio de gráfico del Efecto Venturi.....	26
Figura 1-19.	Demostración del teorema de Bernoulli.....	28
Figura 1-20.	Vehículo de Prueba KIA PICANTO.....	31
Figura 1-21.	Vehículo de prueba CHEVROLET SAIL.....	32
Figura 1-22.	Vehículo de prueba CHEVROLET Grand Vitara SZ.....	33
Figura 1-23.	Programación realizada en Labview para el Túnel de viento.....	35
Figura 1-24.	Sensor de presión.....	35
Figura 1-25.	Sensor de temperatura y humedad.....	36
Figura 2-1.	Propiedades del material usado para las impresiones en 3D "PLA".....	39
Figura 2-2.	Especificaciones del filamento y color del material PLA.....	40
Figura 2-3.	Impresora 3D.....	41
Figura 2-4.	Modelado en 3D de vehículo de pruebas aerodinámicas.....	42
Figura 2-5.	Visualización prototipo de vehículo con su respectiva simulación.....	43
Figura 2-6.	Panel frontal y Diagrama de bloques del programa LabVIEW.....	44
Figura 2-7.	Configuración del sistema electrónico del túnel de viento en el programa LabVIEW.....	44

Figura 2-8. Interfaz de control del programa LabVIEW hacia el arduino de control en el túnel de viento.	45
Figura 2-9. Flujograma del proceso de investigación.....	46
Figura 2-10. Diseño y mediciones del túnel de viento.	51
Figura 2-11. Mediciones y proyectado 3D del Túnel de viento.	51
Figura 2-12. Dimensiones y diseño del Ventilador.	52
Figura 2-13. Secciones principales para la base del túnel de viento.	53
Figura 3-1. Selección de sistema de unidades.	60
Figura 3-2. Cuadro de selección de fluidos a intervenir.....	60
Figura 3-3. Parámetros de trabajo de la simulación.	61
Figura 3-4. Diseño del túnel de viento de ciclo abierto.....	62
Figura 3-5. Diseño A del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.	63
Figura 3-6. Velocidad en el diseño A.....	63
Figura 3-7. Presión del diseño A.	64
Figura 3-8. Intensidad de turbulencia en el diseño A.	65
Figura 3-9. Diseño B del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.	65
Figura 3-10. Velocidad diseño B.....	66
Figura 3-11. Presión diseño B.	66
Figura 3-12. Intensidad de turbulencia diseño B.	67
Figura 3-13. Diseño C del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.	68
Figura 3-14. Velocidad diseño C.....	68
Figura 3-15. Presión diseño C.	69
Figura 3-16. Intensidad de turbulencia diseño C.....	70
Figura 3-17. Diseño D del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.	70
Figura 3-18. Velocidad diseño D.....	71
Figura 3-19. Presión diseño D.	72
Figura 3-20. Intensidad de turbulencia diseño D.....	72
Figura 3-21. Modelado 2D del túnel de viento.....	74
Figura 3-22. Modelo 3D del túnel en el cual se realizarán las pruebas.	74
Figura 3-23. Plano 2D del Vehículo KIA Picanto.	75
Figura 3-24. Parte delantera y posterior del vehículo KIA Picanto.....	76
Figura 3-25. Plano 2D del Vehículo CHEVROLET Sail.	76
Figura 3-26. Parte delantera y posterior del vehículo CHEVROLET Sail.....	77
Figura 3-27. Plano 2D del Vehículo CHEVROLET Gran Vitara SZ.....	77
Figura 3-28. Parte delantera y posterior del vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ.	78
Figura 3-29. Borde lateral del cubo.	79
Figura 3-30. Borde superior del cubo.	79
Figura 3-31. Estructura para simulación dentro del cubo, KIA Picanto.....	80
Figura 3-32. Solido en área para las pruebas de simulación, KIA Picanto.	80
Figura 3-33. Interfaz de SpaceClaim.	81
Figura 3-34. Solido dentro de la interfaz SpaceClaim.....	81
Figura 3-35. Configuración de entrada y salida para la simulación, KIA Picanto.	82
Figura 3-36. Interfaz Workbench.	82
Figura 3-37. Pasos por realizar para programar la simulación de los vehículos.	83
Figura 3-38. Interfaz de trabajo del paso 3 de la simulación en ANSYS.....	83
Figura 3-39. Tabla de calidad para las diferentes mallas.....	84
Figura 3-40. Malla realizada en la interfaz con una calidad de 0.18 dentro de la escala.	84
Figura 3-41. Interfaz de Fluent, permite dar condiciones de trabajo.....	85

Figura 3-42. Condiciones para un análisis Laminar.	85
Figura 3-43. Condiciones de entrada y salida para el vehículo a prueba.	86
Figura 3-44. Señalización de resultados a obtener en la simulación.	86
Figura 3-45. Finalización de las etapas de simulación.	87
Figura 3-46. Curvas del flujo de aire con respecto a la superficie del vehículo.....	88
Figura 3-47. Resultados de la planificación para la simulación aerodinámica.....	88
Figura 3-48. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo KIA Picanto en base a la velocidad.....	89
Figura 3-49. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la densidad.	90
Figura 3-50. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la presión.	90
Figura 3-51. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la velocidad.....	91
Figura 3-52. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la densidad.	92
Figura 3-53. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la presión.	92
Figura 3-54. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la velocidad.	93
Figura 3-55. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la densidad.....	94
Figura 3-56. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la presión.	94
Figura 3-57. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo KIA Picanto en base a la velocidad.....	95
Figura 3-58. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la densidad.	96
Figura 3-59. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la presión.	96
Figura 3-60. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la velocidad.....	97
Figura 3-61. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la densidad.....	98
Figura 3-62. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la presión.	98
Figura 3-63. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la velocidad.	99
Figura 3-64. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la densidad.....	100
Figura 3-65. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la presión.	100
Figura 3-66. Número de Reynolds en el primer vehículo.	112
Figura 3-67. Gráfica presión vs velocidad del primer vehículo.	113
Figura 3-68. Número de Reynolds del segundo vehículo.....	125
Figura 3-69. Gráfica de presión vs velocidad del segundo vehículo.	126
Figura 3-70. Número de Reynolds en el tercer vehículo.	140
Figura 3-71. Gráfica de presión vs velocidad del tercer vehículo.	141
Figura 3-72. Formas traseras usuales de los vehículos.....	143

Figura 3-73. Influencia aerodinámica del Cx según su parte trasera.....	144
Figura 3-74. Área del vehículo KIA Picanto.	145
Figura 3-75. Área del vehículo CHEVROLET Sail.	147
Figura 3-76. Área del vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ.....	149
Figura 3-77. Gráfica de Fuerza aerodinámica vs velocidad ²	152

ÍNDICE TABLAS.

Tabla 1-1. Ficha Técnica KIA PICANTO.	31
Tabla 1-2. Ficha técnica Sail.	32
Tabla 1-3. Ficha técnica CHEVROLET Grand Vitara SZ.	34
Tabla 2-1. Formas aerodinámicas y el valor Cx.	47
Tabla 2-2. Modelos y Coeficiente Cx de los vehículos.	48
Tabla 3-1. Parámetros de simulación.....	59
Tabla 3-2. Tabla comparativa de datos de velocidad, presión e intensidad de turbulencia de los diferentes diseños propuestos.....	73
Tabla 3-3. Medidas reales y a escala 1:18 de los vehículos.	78
Tabla 3-4. Datos de los vehículos a las velocidades de pruebas para el cálculo del Cx.	101
Tabla 3-5. Visualización en dos planos del flujo de aire en los distintos cambios de velocidad.....	102
Tabla 3-6. Vista vertical y horizontal del KIA Picanto de la Energía cinética de turbulencia a las distintas velocidades de prueba.	104
Tabla 3-7. Comportamiento del fluido en 3D a las velocidades correspondientes de las pruebas.....	106
Tabla 3-8. Elementos del KIA Picanto sometidos a diferentes velocidades.	109
Tabla 3-9. Tipos de flujo en los elementos analizados del KIA Picanto.	114
Tabla 3-10. Visualización en dos planos del CHEVROLET Sail del flujo de aire en los distintos cambios de velocidad.	115
Tabla 3-11. Vista vertical y horizontal del CHEVROLET Sail de la Energía cinética de turbulencia a las distintas velocidades de prueba.	116
Tabla 3-12. Comportamiento del fluido en 3D a las velocidades correspondientes de las pruebas.....	119
Tabla 3-13. Elementos del CHEVROLET Sail sometidos a diferentes velocidades. ..	122
Tabla 3-14. Tipos de flujo en los elementos analizados del CHEVROLET Sail.	127
Tabla 3-15. Visualización en dos planos del CHEVROLET Grand Vitara SZ del flujo de aire en los distintos cambios de velocidad.	128
Tabla 3-16. Vista vertical y horizontal del CHEVROLET Grand Vitara SZ de la Energía cinética de turbulencia a las distintas velocidades de prueba.....	130
Tabla 3-17. Comportamiento del fluido en 3D a las velocidades correspondientes de las pruebas.....	133
Tabla 3-18. Tabla 3 22. Elementos del CHEVROLET Grand Vitara SZ sometidos a diferentes velocidades.....	137

Tabla 3-19. Tipos de flujo en los elementos analizados del CHEVROLET Grand Vitara SZ.	142
Tabla 3-20. Incidencia Cx según la forma trasera del vehículo.	144
Tabla 3-21. Datos para calcular el Cx del KIA Picanto.	145
Tabla 3-22. Datos para calcular el Cx del CHEVROLET Sail.....	147
Tabla 3-23. Datos para calcular el Cx del CHEVROLET Grand Vitara SZ.	149
Tabla 3-24. Coeficientes aerodinámicos.....	151
Tabla 3-25. Resultados de la Fuerza aerodinámica a diferentes velocidades.....	152
Tabla 3-26. Comparación de datos obtenidos con datos del fabricante.	153

ÍNDICE ECUACIONES.

Ecuación 1-1. Cálculo de la velocidad modelo.....	20
Ecuación 1-2. Carga Aerodinámica.	24
Ecuación 1-3. Cálculo pérdida de energía.	25
Ecuación 1-4. Flujo Turbulento.	25
Ecuación 1-5. Ecuación de Continuidad.....	27
Ecuación 1-6. Demostración ecuación de Bernoulli.....	27
Ecuación 1-7. Despeje de la velocidad en los tramos de la tubería.	27
Ecuación 1-8. Calculo de la ecuación de Bernoulli.	29
Ecuación 1-9. Ecuación de Reynolds.	29
Ecuación 1-10. Equivalencia ecuación de Reynolds.	29
Ecuación 1-11. Calculo de la viscosidad cinemática del fluido.	30
Ecuación 1-12. Cálculo del Número Match.....	30
Ecuación 3-1. Cálculo coeficiente aerodinámico del KIA Picanto.	146
Ecuación 3-2. Cálculo coeficiente aerodinámico del CHEVROLET Sail.....	148
Ecuación 3-3. Cálculo coeficiente aerodinámico del CHEVROLET Grand Vitara SZ.	150

RESUMEN

El estudio a continuación presenta el diseño y simulación de un túnel de viento para vehículos a escala 1:18 del tipo circuito abierto empleando la técnica de aspirado. El trabajo en el diseño se efectuó con la prospectiva de la elección del prototipo de túnel que cuente con un bajo costo para su posterior construcción. El objetivo principal de su diseño y simulación radicó en la necesidad de estudiar la aerodinámica de los automóviles, de conocer los principios físicos, el comportamiento del flujo del aire al circular sobre cuerpos sólidos, donde influye mucho la velocidad y la forma de cada uno de ellos. Por otra parte, se realizaron diversos planos que se obtuvieron por medio del método de fallos en el cual se variaron dimensiones así como también elementos que permitan un eficiente proceso en las diversas simulaciones realizadas en los programas asistidos por computadora SolidWorks y ANSYS. La programación electrónica se realizó mediante el Software computacional LabVIEW, el cual permite realizar el sistema electrónico para controlar los elementos desde una interfaz prevista por el sistema mediante un computador. Otro de los aspectos importantes en el presente estudio fue la selección del ventilador, pues cumple con la función de generar y hacer circular el fluido (aire) por el interior del túnel, pasando por la sección de la cámara de análisis velocidades de 1 a 5 m/s, siendo estas las velocidades mínimas y máximas que proporcionó el ventilador. Las pruebas que se realizaron luego de haber seleccionado los vehículos se basan principalmente en conocer los elementos que se someten a una mayor presión en su diseño para observar el trabajo aerodinámico que se genera en estos y de igual forma obtener resultados que faciliten conocer datos necesarios para realizar el cálculo del coeficiente aerodinámico (C_x) de cada uno de los modelos a escala, obteniendo simulaciones importantes para conocer los tipos de flujos que aparecen en los elemento del vehículo como pueden ser laminar, de transición y turbulento, dando así un análisis de cuál es el vehículo con un mejor diseño, con un menor consumo y un mejor coeficiente aerodinámico logrando comprender que la optimización en el diseño de los vehículos es uno de los puntos claves de la industria automotriz.

ABSTRACT

The study below presents the design and simulation of a wind tunnel for vehicles at 1:18 scale of the open circuit type using the vacuum technique. The work on the design was carried out with the prospect of choosing the tunnel prototype that has a low cost for its subsequent construction. The main objective of its design and simulation lay in the need to study the aerodynamics of automobiles, to know the physical principles, the behavior of the air flow when circulating over solid bodies, where the speed and shape of each one of them greatly influences. On the other hand, various plans were made that were obtained through the failure method in which dimensions were varied as well as elements that allow an efficient process in the various simulations carried out in the SolidWorks and ANSYS computer-assisted programs. The electronic programming was carried out using the LabVIEW computer software, which allows the electronic system to be carried out to control the elements from an interface provided by the system through a computer. Another important aspect in this study was the selection of the fan, since it fulfills the function of generating and circulating the fluid (air) inside the tunnel, passing through the section of the analysis chamber at speeds from 1 to 5 m/s, these being the minimum and maximum speeds provided by the fan. The tests that were carried out after having selected the vehicles are mainly based on knowing the elements that are subjected to greater pressure in their design to observe the aerodynamic work that is generated in them and in the same way to obtain results that facilitate knowing the necessary data for perform the calculation of the aerodynamic coefficient (C_x) of each of the scale models, obtaining important simulations to know the types of flows that appear in the vehicle elements such as laminar, transition and turbulent, thus giving an analysis of which It is the vehicle with a better design, with lower consumption and a better aerodynamic coefficient, making it possible to understand that optimization in vehicle design is one of the key points of the automotive industry.

INTRODUCCIÓN

A través de los estudios hechos en los diversos años en varias universidades se han llevado a cabo distintas pruebas e investigaciones en las cuales se han ido desarrollando varios tipos de diseños y simulaciones para la ejecución de pruebas aerodinámicas a distintos modelos de vehículos con el objetivo de conocer y obtener nuevos datos en las pruebas aerodinámicas que permitan mejorar el diseño de los automotores.

Para el caso en específico del Ecuador existen túneles de viento realizados a escala que se encuentran instalados en los laboratorios de estudios de fluidos tanto de la Escuela Politécnica Nacional y la Escuela Politécnica del Ejército, donde se puede visualizar de una mejor manera el comportamiento del aire sobre elementos aerodinámicos.

Se trabaja con un software de elementos finitos debido a que este tipo de sistema permite realizar simulaciones que arrojen datos eficientes y relevantes como son líneas de flujo, contornos de presión, densidad, velocidad y efecto de turbulencia. Además de que permite obtener datos matemáticos para el cálculo del coeficiente de arrastre y conocer la fuerza aerodinámica. Siendo así que mediante los datos obtenidos podemos analizar que un vehículo que tiene un C_x pequeño conserva un flujo laminar de aire que genera menor resistencia al avance y por ende genera menor consumo de combustible.

Los parámetros más relevantes en el diseño y simulación son la velocidad del viento y las dimensiones tanto del túnel de viento como de los vehículos a realizar las pruebas, siendo un túnel de viento de ciclo cerrado como la mejor opción a utilizar, de la misma forma al realizar simulaciones numéricas de las propiedades aerodinámicas de los vehículos debemos tomar en cuenta el dominio de simulación que es una caja grande con una relación de bloqueo y un plan de tierra totalmente móvil que ayuda a replicar las condiciones de la carretera abierta.

Los elementos que se tomaron en cuenta para el diseño y simulación del túnel de viento están divididos en diferentes secciones como son: sección de contracción (difusor de entrada), que permite direccionar el movimiento de aire, la sección de ensayos (cámara de pruebas) que permite observar cómo influye el flujo de aire que pasa sobre el elemento estacionario en este caso el vehículo por medio de sensores y por último una sección de filtración (difusor de salida) que permite el control de la velocidad del aire en la salida del túnel de viento.

1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1. OBJETIVOS.

1.1.1. Objetivo General.

- Diseño y simulación de un túnel de viento para vehículos a escala 1:18 para analizar el desempeño aerodinámico de automóviles comercializados en la ciudad de Ibarra.

1.1.2. Objetivos Específicos.

- Modelar un túnel de viento utilizando software CAD para realizar las pruebas aerodinámicas.
- Modelar los automóviles más comerciales en la ciudad de Ibarra para realizar estudios aerodinámicos.
- Simular el comportamiento aerodinámico de los vehículos dentro de un túnel de viento utilizando el método de elementos finitos mediante dinámica de fluidos computacional.
- Obtener los resultados computacionales y reales del túnel de viento para contrastar el vehículo con un mejor coeficiente aerodinámico.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Con el presente estudio se desea obtener resultados aerodinámicos para evaluar la seguridad y el rendimiento en vehículos comercializados en la ciudad de Ibarra implementando un banco de análisis mediante un túnel de viento.

Se aplicará conocimientos en ciencias como mecánica de fluidos, aerodinámica, termodinámica, dinámica vehicular, principio de elementos, dinámica de fluidos computacional y operaciones en volúmenes finitos, por mencionar algunas de las materias de estudio fundamentales en ingeniería, las mismas servirán como base y fundamentos teóricos para validar los datos recopilados con el ensayo físico ejecutado en el banco de túnel de viento.

Al comparar la validez de los resultados físicos del ensayo de túnel de viento y los obtenidos en computador, se tendrá un banco de túnel de viento verificado y validado, el mismo que entregará resultados confiables en el que se podrán desarrollar avances tecnológicos en futuras investigaciones en el área de aerodinámica automotriz, contribuyendo al desarrollo de prototipos o autopartes en el área de la industria de automoción en el país.

Con el presente proyecto se desea obtener los factores más importantes del diseño aerodinámico de la carrocería de los vehículos, como pueden ser dimensiones, radios de curvatura, área de contacto del fluido, grados de inclinación entre capó y parabrisas, curvatura del capó, dimensiones del techo del automóvil, ancho y altura del automóvil, entre otros utilizados para analizar el rendimiento y seguridad de los vehículos.

1.3. ANTECEDENTES.

El automóvil es considerado como uno de los mejores inventos desarrollados por el hombre, y la primera persona en plasmar esta gran innovación fue el ingeniero mecánico alemán Karl Benz, quien en 1886 solicitó la patente con el primer diseño de un auto con motor a gasolina compuesto únicamente por tres ruedas. (Ángel León Navarro et al., 2010).

El túnel de viento se desarrolló en 1871 por la Sociedad Aeronáutica de Gran Bretaña a manos de Francis Herbert Wenham, se usaron los primeros principios de la aerodinámica que se dirigían especialmente a los aviones. En cuanto al sector automotriz tuvo su comienzo en 1960 cuando se incluyó este tipo de pruebas para vehículos en túneles de viento. (Pascasio Chávez et al., 2013).

El propósito de implementar un prototipo a escala es estudiar y analizar la forma de mejorar el rendimiento del vehículo y reducir el consumo de combustible, se comenzó utilizando en autos de competencias, pero se vio en la necesidad de usarlo en autos comerciales, siendo Citroën el precursor de esta modalidad. Otro de los objetivos del túnel de viento es conocer el coeficiente de fricción o también llamado coeficiente aerodinámico del vehículo para crear un diseño que lo reduzca.

Los componentes que forman parte del vehículo son más detallados y elaborados con detalles como faldones, spoilers, alerones, bumpers, estos elementos permiten una mayor adherencia en carretera al vehículo, lo que se conoce como efecto suelo.

1.4. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Al no tener estudios técnicos publicados acerca de la aerodinámica de los vehículos comercializados en la ciudad de Ibarra-Imbabura, los factores como la seguridad, rendimiento y comportamiento aerodinámico en condiciones de funcionamiento de los automóviles son algunos de los aspectos que no se han estudiado, por esta razón es importante investigar y analizar esta área con el objetivo de tener diseños seguros y mejorar su rendimiento para vehículos comercializados.

Los vehículos al desplazarse por una carretera a altas velocidades se encuentran inmersos a enfrentarse a una resistencia aerodinámica como resultado de una fuerza que va contra el desplazamiento de los automotores cuando se desplazan a través del aire, la resistencia se denomina fuerza aerodinámica y es una de las principales condiciones a superar por los fabricantes de automóviles y uno de los factores que condicionan el diseño, forma y la estabilidad del automóvil.

Dentro de la resistencia del aire en contra del vehículo se llega a obtener una condición esencial que es el consumo de combustible este depende de un factor clave que es la aerodinámica del vehículo debido a que cuanto más aerodinámica sea la carrocería del vehículo o el diseño de este tendrá una resistencia al viento menor y, por lo tanto, el consumo del combustible disminuye.

Los vehículos presentan problemas de consumo al no optimizar la parte aerodinámica en donde se presentan dos condiciones que son importantes: el flujo de aire que pasa por la parte superior de la carrocería y el flujo que se introduce por las rejillas de ventilación, es decir que estos dos factores deben influir lo mínimo posible para poder reducir el consumo de gasolina.

1.5. ALCANCE.

El diseño y simulación del túnel de viento a escala 1:18 se realiza para estudios aerodinámicos en vehículos livianos a la misma escala generada, se compondrá de los diferentes elementos o partes con las que cuenta el diseño como son difusor de entrada y salida, cámara de pruebas, cámara de humo, ventilador, elementos electrónicos para medición, estructura base y sistema eléctrico del elemento, estas son las partes fundamentales para el sistema de trabajo.

Se utilizarán programas asistidos por computadoras para realizar el diseño y simulación tanto en 2D como en 3D, los softwares CAD SOLIDWORKS y ANSYS son las herramientas principales con las que se desarrollará el trabajo de simulación que se adquiere mediante licencias estudiantiles para el estudio y desarrollo eficiente de las pruebas aerodinámicas.

Los vehículos a pruebas se modelarán principalmente basados en la carrocería externa para poder simular las condiciones de trabajo desde el exterior y para que posteriormente puedan ser impresos en 3D, de esta forma se podrá utilizar la dinámica computacional de los software para las diversas simulaciones aerodinámicas, los modelos son únicamente para el trabajo dentro del túnel de viento estos no pueden ser utilizados para otro tipo de actividades o aplicaciones como visualización de componentes dentro del vehículo, estudio de estructuras, simulación de los diferentes sistemas automotrices, entre otros.

El desarrollo final del túnel de viento busca ser de bajo presupuesto, fácil adaptación y manejo, además de que se busca que sea eficiente tanto en las pruebas computacionales como en las pruebas reales. El diseño se la desarrollará mediante equipos con los que cuenta la Universidad en laboratorios y talleres que cuenten con licenciados estudiantiles.

Las pruebas y ensayos en el túnel de viento se validarán con los diversos resultados obtenidos con las simulaciones computacionales de los modelos de autos analizados. “Se contrastarán los resultados por medio de modelos estadísticos para verificar el porcentaje de error que existe, para que la investigación sea verídica el error deberá ser menor del 30%”(P. Enrique et al., 2016).

En el análisis de los resultados si el error es mayor al 30% se revisará los elementos que podrían alterar los resultados en base a la calibración e instalación y correcto funcionamiento de los equipos, correcto funcionamiento del programa de simulación, entre otros factores que aumenten el margen de error, y desarrollar un proceso de simulación eficiente que permita cumplir con los objetivos planteados.

1.6. HISTORIA DEL TÚNEL DE VIENTO.

“En 1871 se construyó el primer túnel de viento por parte de Sociedad Aeronáutica de Gran Bretaña por medio de Francis Herbert Wenham”(Segarra, 2016). El modelo se basa principalmente en el estudio aerodinámico, se empleó al principio para cálculos aéreos con referencia a los principios de vuelo de aviones, las bases de este estudio se centraban en la aerodinámica que tenía un elemento o una superficie que se encuentre sometido a un cierto flujo de aire, dando así análisis de fuerzas sobre el cuerpo que pasaba a cierta velocidad por una cantidad de aire programada para las pruebas, se lo realizó mediante un aparato mecánico denominado instrumento de brazos giratorio.

Al realizar continuas pruebas y observar que no era lo suficientemente efectivo Francis Wenham tiene la capacidad de crear un túnel de viento con una dimensión de 12 pies de largo y que llevaba por dentro un ventilador a vapor como base para crear el flujo de aire, este método tuvo mucho éxito en la recopilación de datos sobre la aerodinámica en un cuerpo.

“Así, a pesar del diseño relativamente crudo de estos primeros túneles de viento, se habían demostrado ser herramientas muy valiosas para obtener una comprensión más profunda de los principios de la aerodinámica”(Bermeo Vallejo et al., 2012). Luego de varios años en los cuales al tener mucho éxito en los resultados aerodinámicos, el campo automotriz se instruiría en la importancia del rozamiento del aire sobre una superficie o en este caso denominada carrocería y de igual forma el flujo de aire que pasaba bajo el vehículo, fueron bases primordiales para la construcción de vehículos que tengan mayor seguridad en las vías, estos estudios se dieron por los años 60.

Los fundamentos de estos estudios se los validaron primordialmente en las carreras de autos debido a que necesitaban que fuesen más eficientes en aspectos como mejorar el rendimiento y aminorar el consumo. Marcas muy importantes ya establecidas en los años 50 y 60 como: Citroen, Porsche, Lotus, vieron una importancia en la implementación de estos aspectos en vehículos que se comercializaban en altas gamas. Cuando el túnel de viento dio frutos en el campo automotriz todo se revolucionó en especial la forma de diseño en los vehículos y su potencia.

En la época actual uno de los principales desarrolladores de diseños eficientes y efectivos es la marca Ford que cuenta con pruebas que simulan condiciones climáticas extremas en los que encontramos factores como: lluvias, humedad, vientos, altitud, etc.

1.6.1. Tipos de túneles de viento.

El túnel de viento permite enfocarse en el estudio del movimiento del aire con respecto a un cuerpo sólido. “Con esta herramienta se simulan las condiciones que experimentará el objeto de la investigación en una situación real”(Fernando, 2014). Estos se dividen en función de varias condiciones las cuales permiten reconocer y seleccionar la mejor opción para recopilar datos importantes en el estudio aerodinámico.

1.6.2. Circulación de aire en el interior.

- Abierto: El fluido de aire ingresa de la atmósfera y luego del proceso en el cual pasa dentro de la cámara donde se encuentra el objeto, vuelve a salir hacia la misma atmósfera, realizando un trabajo de circulación directa.

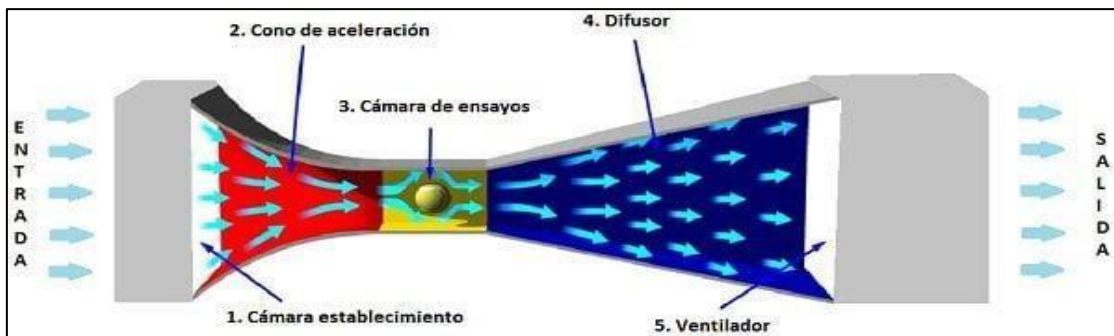


Figura 1-1. Despiece túnel de viento abierto.
(Cangrejo Guzmán Javier Fernando, 2020)

- Cerrado: El aire llega a circular numerosas veces dentro de la cámara. En este túnel la salida de aire se encuentra conectada con la entrada, lo cual es de mucha ayuda debido a que se controlan las variables termodinámicas con las que cuenta el aire como: densidad, temperatura y la presión.

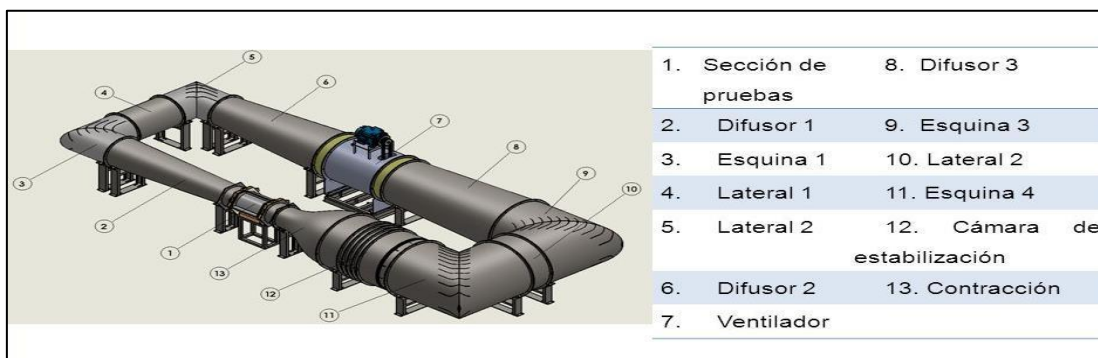


Figura 1-2. Despiece túnel de viento cerrado.
(Ingenier et al., 2015)

1.6.3. Velocidad de flujo en su interior.

- Subsónico.

Cuenta con un circuito abierto por aspiración, en efecto es un túnel compacto y a la vez práctico que contiene una variedad de montajes para observar datos importantes. Su sección es cuadrada, transparente y cuenta con laterales desmontables. “El aire se mueve mediante un sistema de propulsión que consta de ventiladores axiales de gran tamaño que ayudan principalmente a aumentar la presión dinámica”(Alejandro Arango Duque, 2014).



Figura 1-3. Túnel de viento Subsónico.
(Alejandro Arango Duque, 2014)

- Transónico.

“Un túnel de viento transónico es una tecnología que puede simular fenómenos aerodinámicos con velocidades de flujo que hacen importantes los efectos compresibles”(Verma, 2005). En este tipo de túneles las paredes deben ser perforadas o ranuradas ya que se presentan problemas por medio de las ondas de choque, debido a que llegan a presentarse interacciones denominadas viscosas o no viscosas se trabaja con instalaciones de gran magnitud o túneles de viento que estén correctamente presurizados o con un sistema criogénico.

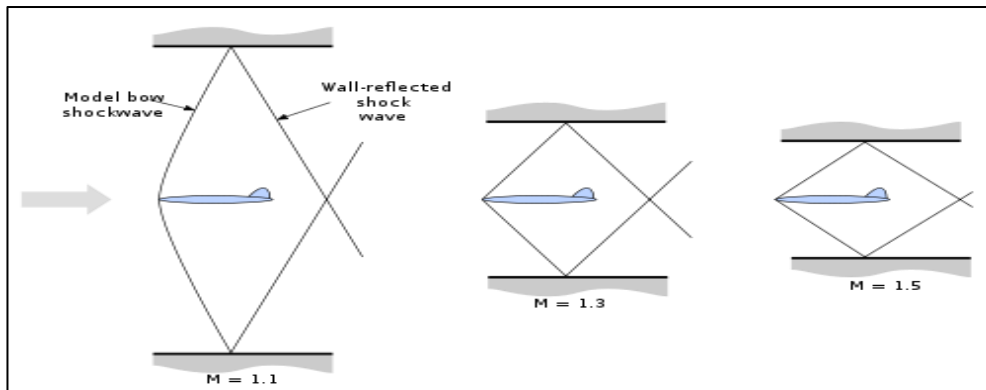


Figura 1-4. Túnel de viento Transónico.
(Martínez Coza, 2016)

- Supersónico.

“El túnel de viento supersónico abierto trabaja de manera continua”(J. Enrique et al., 2012). En este tipo de túnel se trabaja con una relación de alta presión que es determinada por el número mach, por lo que este tipo de instalaciones trabajan con estaciones de secado y precalentamiento, además conllevan una demanda de energía considerable por lo que se diseñan para estar en funcionamiento intermitente mas no continuo.

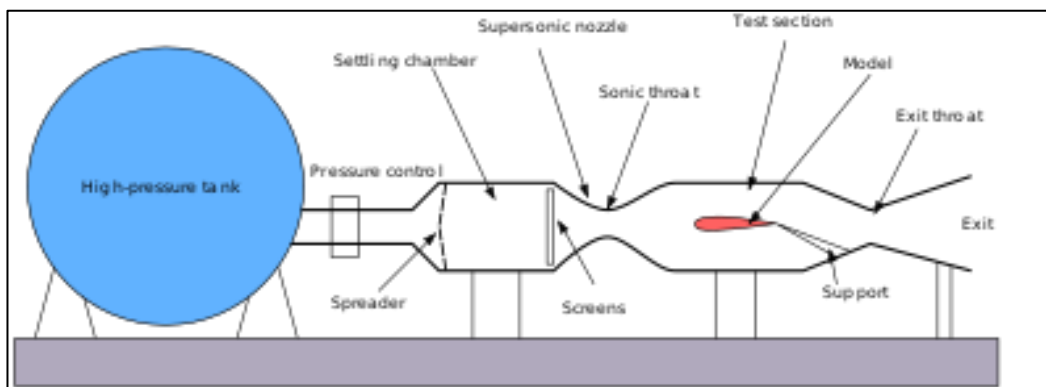


Figura 1-5. Túnel de viento Supersónico.
(Cangrejo Guzmán Javier Fernando, 2020)

- Hipersónico.

Este túnel de viento simula los choques de compresión y además los efectos que se dan en las diversas capas y zonas de interacción viscosas y como aspecto más relevante todas las altas temperaturas que se generan cuentan también con varios elementos que son de uso primordial como son: calentador, secador, boquillas, sección de prueba y difusor.



Figura 1-6. Túnel de viento Hipersónico.
(Bermeo Vallejo et al., 2012)

En la figura 1-7, podemos observar cómo trabajan los diferentes túneles de viento en base a su número Mach que significa medida de velocidad relativa, donde intervienen las variables de la velocidad del sonido y la del objeto.









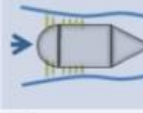

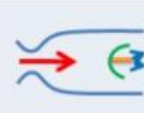
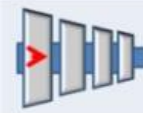
Régimen de Velocidad	Flujo Típico (Modelo)	Sección de Entrada	Radio de Compresión	Motor o sistemas de motor
Subsónico ($M = 0 - 0.7$)			1.0+	
Transónico ($M = 0.7 - 1.2$)			1.1	
Supersónico ($M = 1.2 - 5$)			2 ($M = 2$)	
Hipersónico ($M > 5$)			20 ($M = 5$)	

Figura 1-7. Representación de los números Mach en los Túneles de viento.
(J. Enrique et al., 2012)

1.7. Componentes del túnel de viento.

1.7.1. Difusor de establecimiento

Es el elemento de entrada donde se puede observar el ingreso del aire, su función principal se basa en hacer ingresar un flujo que sea adecuado para las pruebas a realizar es decir tiene q uniformizar el flujo para que se encuentre en forma laminar, otras de los aspectos dentro de este elemento es que se pierde la mayor parte de la velocidad ya que debe cumplir con el objetivo de controlar el flujo que ingrese.



Figura 1-8. Cámara de establecimiento.
(Valle, 2013)

1.7.2. Cono de aceleración.

En esta parte del túnel de viento es donde se genera la aceleración del fluido (aire) mediante la reducción del área de contacto, se encuentra entre el elemento generador de viento y la cámara de establecimiento, el trabajo principal es de mantener la uniformidad del flujo antes de entrar a la cámara de pruebas.

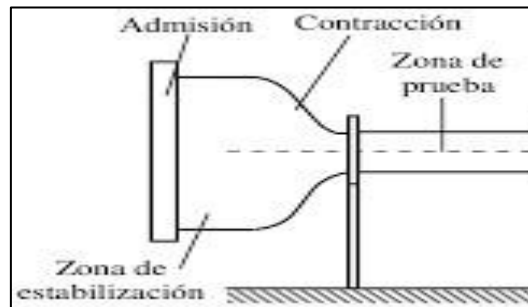


Figura 1-9. Zona de contracción para la aceleración.
(Valle, 2013)

1.7.3. Cámara de ensayo.

En la cámara de ensayos se debe realizar un dimensionamiento entre las áreas tanto de entrada como de salida. Es la parte más fundamental ya que en este sitio se coloca el objeto o el elemento a someterse a las pruebas de fricción, aquí también prevalece la uniformidad en el flujo además de que la escala tiene mucha importancia en la toma de datos ya que se debe jugar con las diferentes transformaciones en la cual se emplea la siguiente ecuación.

Ecuación 1-1. Operación de la velocidad modelo.

$$\text{Velocidad Modelo} = \frac{\text{Velocidad Original}}{\text{Raíz de la escala}}$$

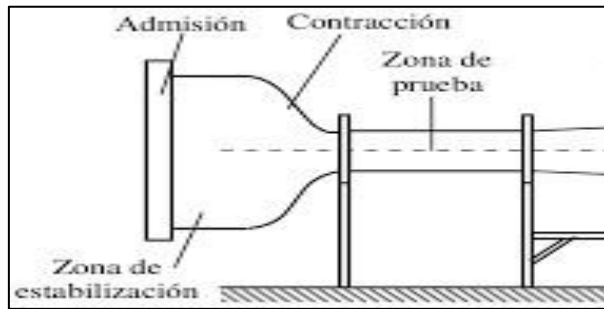


Figura 1-10. Zona de ensayos.
(Valle, 2013)

1.7.4. Difusor.

Se toma en cuenta la geometría a la que se realizó el túnel del viento y se llega a establecer las diversas condiciones a las que el objeto o elemento en este caso vehículo se va a someter. Es necesario el perfil divergente ya que el difusor realiza el proceso de frenado del fluido y sus principios van con la relación de la pérdida energética del túnel, es decir, que según su relación si el flujo de aire tiene menor velocidad de salida las pérdidas energéticas serán menores.

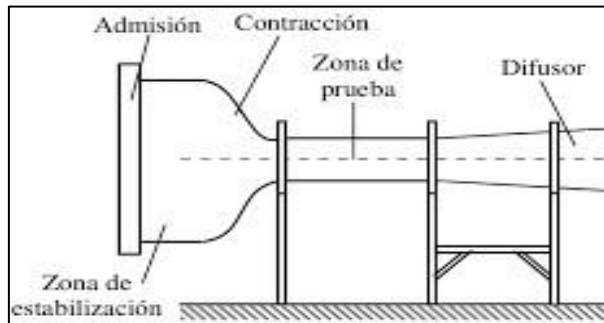


Figura 1-11. Elemento Difusor.
(Muños, 2014)

1.7.5. Ventilador.

Elemento que se encargar de proporcionar la energía o potencia adecuada para que el fluido se pueda transportar de un lugar hacia el otro, permitiendo el proceso de observación, por lo general se utiliza un ventilador capaz de dar el potencial necesario y se incluye también elementos electrónicos que permiten variar las velocidades, pueden ser de tipo soplador o de tipo absorción.

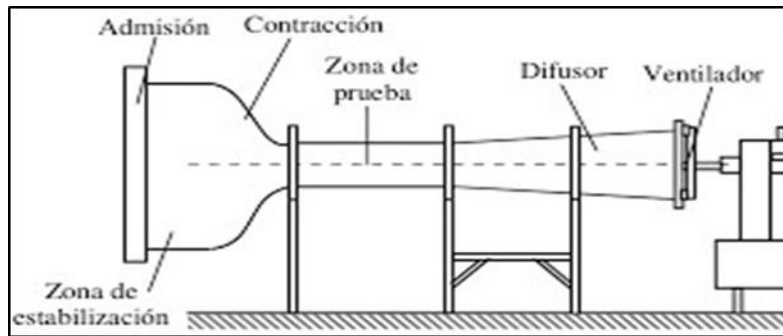


Figura 1-12. Elemento de potencia – Ventilador.
(Muños, 2014)

1.8. Flujo laminar y turbulento.

1.8.1. Flujo laminar.

“Se llama flujo o corriente laminares, al tipo de movimiento de un fluido cuando éste es perfectamente ordenado, suave, de manera que el fluido se mueve en láminas paralelas sin entremezclarse”(Muñoz-Mejías & Álvarez-Valenzuela, 2012). Es decir que el movimiento que se genera en las partículas cuenta con la misma dirección y sentido que el movimiento base o principal. Hay varias formas en la que se lo puede encontrar:

- En conductos cerrados, donde se trabaja bajo una presión dada, este puede ser en una tubería.
- En un conducto abierto, de igual forma se trabaja a una cierta presión, pero sin contar su retorno, puede ser un canal.
- En un conducto que es definido por un medio que se encuentra estudiado, puede ser: volúmenes de gases o hilos definidos, de igual forma en chorros de líquidos, etc.

Se puede observar en este flujo que su perfil de velocidad se llega a asemejar a la de una parábola, en donde el máximo de velocidad se lo identifica en el eje del tubo y la velocidad llega a ser cero en la pared del mismo elemento.

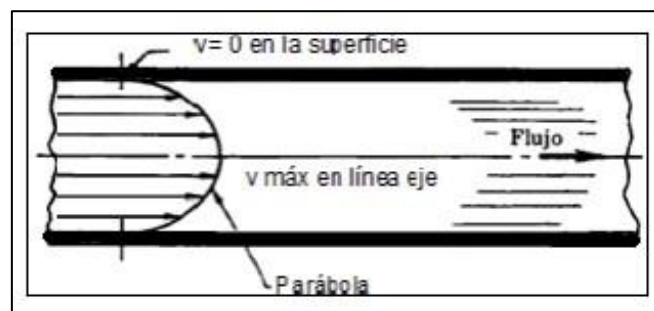


Figura 1-13. Distribución de velocidades de un flujo laminar en una tubería.
(LLUGUAY, 2016)

La ley de Reynolds explica que el flujo laminar existe siempre y cuando este sea inferior a 2300 en fluidos que sean de velocidades bajas o viscosidades altas, si este número llega a ser mayor al dicho en la ley el flujo cambia a turbulento.

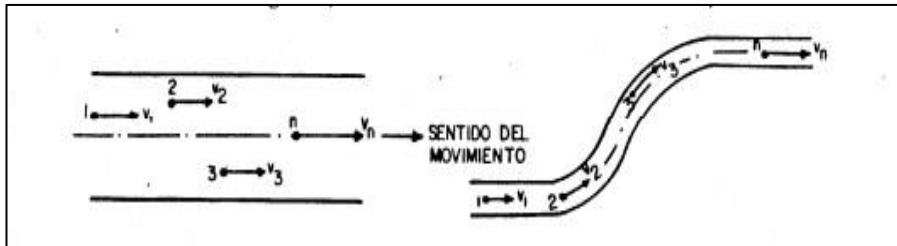


Figura 1-14. Trayectoria de partículas en el flujo Laminar.
(LLUGUAY, 2016)

1.8.2. Flujo turbulento.

“El flujo turbulento es más comúnmente desarrollado debido a que la naturaleza tiene tendencia hacia el desorden y esto en términos de flujos significa tendencia hacia la turbulencia”(Torres, 2014). Es decir que el movimiento de sus partículas tiende al desorden, a un desplazamiento diferente en los cuales de la misma forma que los mencionados en el laminar se presentan en varios conductos, pero con la diferencia de que su trayectoria siempre va a ser uniforme y con mucho más riesgo de pérdidas.

Las partículas al moverse por cualquier lugar tienden a conductas erráticas y choques entre ellas, generando pérdidas de energía por la cantidad de movimiento que presenta el flujo.

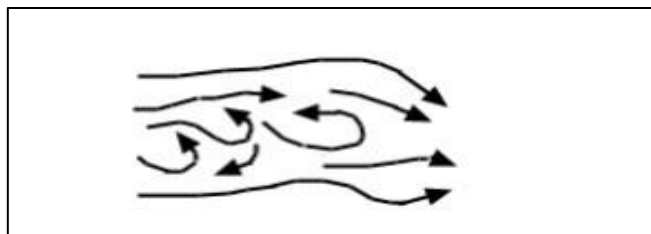


Figura 1-15. Representación del flujo Turbulento.
(Torres, 2014)

La turbulencia tiene varios aspectos para formarse u originarse:

- Puede ser por elementos como paredes que se encuentran en rozamiento con el flujo a trasladarse.
- Las diversas capas que lleguen a tener una velocidad diferente o se muevan en direcciones contrarias a la del fluido a transitar.

El flujo turbulento llega a formarse en conductos que bien pueden llegar a ser lisos o como pueden ser rugosos. La ley de Reynolds explica que un fluido llega a ser turbulento cuando excede de 4000, claro está que en este aspecto las velocidades van a ser elevadas y las viscosidades van a ser bajas.

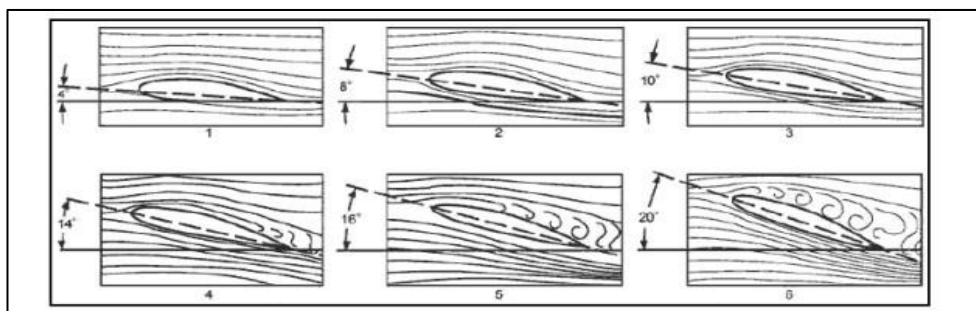


Figura 1-16. Desarrollo de un flujo Turbulento en diferentes posiciones.
(Torres, 2014)

Luego de observar cada flujo se da un análisis más claro de la formulación de resultados, es decir, las fórmulas que se utilizan para encontrar datos relevantes que permitan conocer a qué tipo de flujo se encuentran sometidos los elementos del vehículo, como:

1.8.2.1. Carga aerodinámica.

Ecuación 1-2. Carga Aerodinámica.

$$F = (0.5) \times (D) \times (C_d) \times (A) \times (V^2)$$

Se representa de la siguiente forma:

F = Carga aerodinámico.

C_d = es el coeficiente de resistencia

D = densidad del aire.

A = área frontal.

V = velocidad.

1.8.2.2. Cálculo de pérdida de energía.

En el flujo laminar suelen ser ocasionadas por las fricciones que se presentan en todo movimiento:

Ecuación 1-3. Cálculo pérdida de energía.

$$T = \mu \frac{dv}{dy}$$

En el flujo turbulento que se ocasionan por los diversos cambios en su cantidad de movimiento:

Ecuación 1-4. Flujo Turbulento.

$$= f \times \frac{LV^2}{D} \frac{h}{2g}$$

Se representa de la siguiente forma:

f = es el coeficiente de fricción

L = representa la Longitud del tubo

V = se denomina velocidad media

D = el diámetro de trabajo

g = la gravedad

1.9. Leyes de la aerodinámica.

(Zitnik, 2003) define al túnel de viento como “La herramienta adecuada para la verificación, estudio y desarrollo de técnicas y procedimientos, así como de teorías, con la finalidad de entender el comportamiento de cuerpos o masas de aire en movimiento”. La complejidad que existe en las ecuaciones matemáticas hace que sea aún imposible el estudio eficiente de la aerodinámica, pero para ello se observarán varias leyes que

ayudarán a entenderla mucho más y sacar la variedad de aspectos y factores claves para ir disminuyendo la peligrosidad que representa un mal diseño en un vehículo y de igual forma ir aumentando el confort, seguridad y eficiencia en los mismos. Podemos encontrar variables importantes como son:

1.9.1. Efecto Venturi.

“Este efecto demuestra que, al pasar por un estrechamiento, las partículas de un fluido aumentan su velocidad”(Suarez Barbusano, 2006). En varias condiciones cuando la velocidad aumenta en gran medida se llega a observar presiones que llegan a ser negativas en donde si en este punto se llega a introducir otro conducto se obtiene una fuerza dinámica que se denomina x.

En donde para medir de manera eficiente estos datos se deberá implementar un manómetro que muestra la cantidad de presión en las diversas ramas que existen.

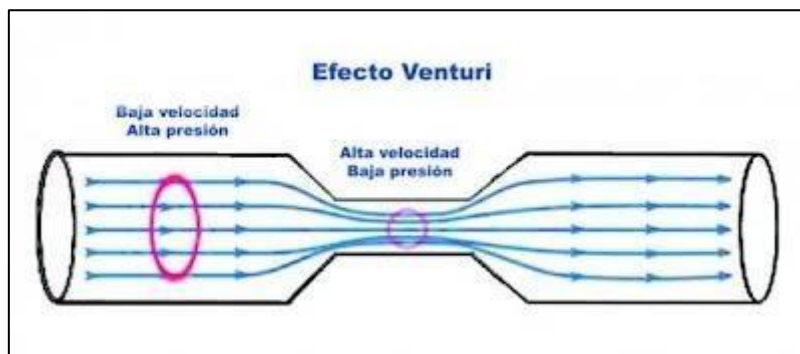


Figura 1-17. Efecto Venturi.
(Giles, 2015)

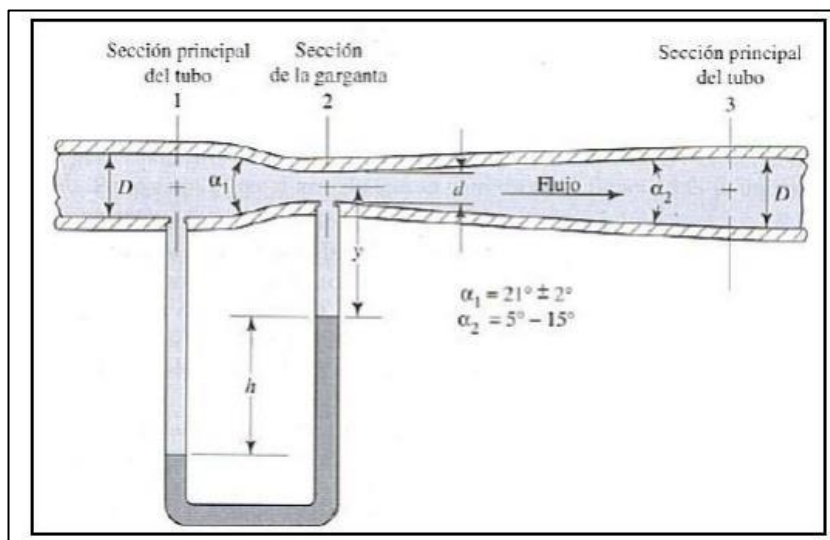


Figura 1-18. Demostración por medio de gráfico del Efecto Venturi.

(Giles, 2015)

Existen varias ecuaciones para las demostraciones respectivas, los datos que se emplean en el momento de utilizar este efecto, son:

- Ecuación de continuidad.

Ecuación 1-5. Ecuación de Continuidad.

$$V_1 S_1 = V_2 S_2$$

Donde:

V_1 : dato de la velocidad en el punto 1

V_2 : dato de la velocidad en el punto 2

S_1 : área 1 (Sección 1)

S_2 : área 2 (Sección 2)

En donde indica que la velocidad del fluido en una menor sección es mayor a la del tramo que tiene una mayor sección, entonces se representa: Si $S_1 > S_2$, se determina que $V_1 < V_2$.

Con lo investigado se deduce que según la ecuación de Bernoulli $Z_1 = Z_2$, por lo tanto:

Ecuación 1-6. Demostración ecuación de Bernoulli.

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Con esto se logra concluir que se obtendrán las velocidades v_1 y v_2 en los diferentes tramos de la tubería mediante la diferencia que existe en la presión $P_1 - P_2$ en el elemento de medición en este caso el manómetro.

Ecuación 1-7. Despeje de la velocidad en los tramos de la tubería.

$$V_2 = S_1 \sqrt{\frac{2(P_1 - P_2)}{\rho(S_1^2 - S_2^2)}}$$

1.9.2. Teorema de Bernoulli.

(Paredes Godoy, 2016) explica que “El teorema de Bernoulli menciona que la energía mecánica se conserva entre dos puntos y el fluido es incompresible y no viscoso (no se toma en cuenta el rozamiento)”. La teoría representa el total de energía de un sistema que contiene una cantidad de flujo uniforme llega a estar constante en toda su trayectoria a recorrer.

Se encuentran presentes tres formas de fluidos que son muy importantes dentro del desarrollo de la trayectoria del fluido son: energía potencial, cinética y de flujo, es decir que indica que la variable de la presión disminuye cuando la variable de la velocidad aumenta. Se lo aplica para definir la forma que se observa en las líneas de corriente. Un ejemplo claro de este teorema es en la utilización de una manguera para riego de agua, es decir que el flujo de agua fluye por una tubería que tiene una sección constante.

“La ecuación de Bernoulli se usa para determinar los valores de carga de presión, carga de elevación y cambio de la carga de velocidad, conforme el fluido circula a través del sistema”(Ruiz & Curicama, 2013). La ecuación se la aplica para conocer la igualdad que tiene el trabajo por unidad de volumen del fluido representado como (P_2-P_1) con la suma de las energías potencial y cinética que se encuentran en el flujo.

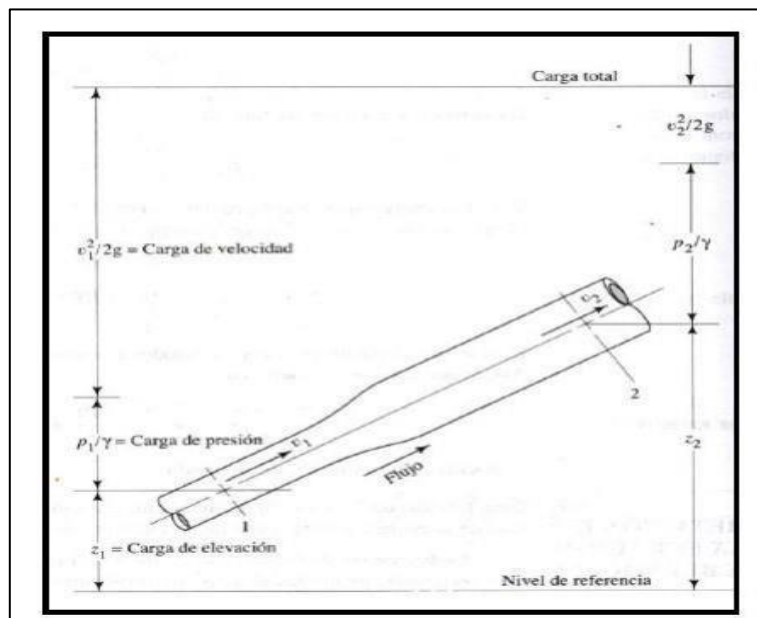


Figura 1-19. Demostración del teorema de Bernoulli.
(Ruiz & Curicama, 2013)

- Ecuación de Bernoulli.

Ecuación 1-8. Cálculo de la ecuación de Bernoulli.

$$\frac{P_1}{\gamma} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g}$$

Donde:

P_1 : punto 1 de la presión estática

P_2 : punto 2 de la presión estática

γ : Peso específico del fluido

V_1 : Velocidad en el punto 1

V_2 : Velocidad en el punto 2

Z_1 : Altura nivel del punto 1

Z_2 : Altura nivel del punto 2

g : Valor de la aceleración (cte: $9,81^{m/s^2}$), superficie de la tierra.

1.9.3. Número de Reynolds.

“El número de Reynolds establece la relación entre las fuerzas de inercia convectiva y las fuerzas viscosas del flujo”(Miranda, 2014). Este número tiene como principio el relacionar varios factores que afectan en los cálculos aerodinámicos como son: densidad, viscosidad, velocidad y dimensiones de un flujo. Este caso aparece cuando se trabaja con flujos como puede ser el flujo laminar es decir que es inferior a 2300 (Valor Reynolds pequeño) o flujo turbulento es decir que se encuentra por encima de los 4000 (Valor Reynolds alto).

Esta variable se la define con la ecuación:

Ecuación 1-9. Ecuación de Reynolds.

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu}$$

O que es también equivalente a:

Ecuación 1-10. Equivalencia ecuación de Reynolds.

$$Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Donde:

ρ : Densidad del fluido

v_s : Velocidad característica

D : Diámetro de la tubería

μ : Viscosidad dinámica del fluido

ν : Viscosidad cinemática del fluido.

Ecuación 1-11. Cálculo de la viscosidad cinemática del fluido.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

1.9.4. Número Mach.

“El número de Mach permite establecer la relación existente entre velocidad local del sonido y la velocidad relativa entre el cuerpo y el fluido”(Miranda, 2014). Es considerado de los parámetros más relevantes e importantes en lo que se refiere a flujos unidimensionales que están dentro del análisis del flujo. Este número se lo utiliza como forma de tratar el movimiento que presentan los fluidos sobre un objeto determinado.

En lo que respecta a la fuerza se determina que este número fuerzas inerciales y fuerzas compresibles del vehículo.

Se lo representa de la siguiente forma:

Ecuación 1-12. Cálculo del Número Match.

$$M = \frac{V}{c}$$

Donde:

V : Velocidad local

c : Velocidad del sonido (341m_s superficie terrestre)

1.10. Elección de los automóviles comerciales.

En lo que respecta a los automóviles comerciales, los estudios realizados se llevaron a cabo con tres tipos de vehículos que son adquiridos en la ciudad de Ibarra– Imbabura.

Según los datos recopilados en páginas y manuales se obtuvo los datos específicos de los tres vehículos sometidos al estudio en el túnel de viento, los cuales están impresos en material PLA que es específicamente para impresión y modelado en 3D.

- **KIA Picanto**

En la Figura 1-20, podemos observar el KIA PICANTO, el primer vehículo seleccionado para realizar el diseño en 3D y su simulación dentro de los parámetros aerodinámicos.

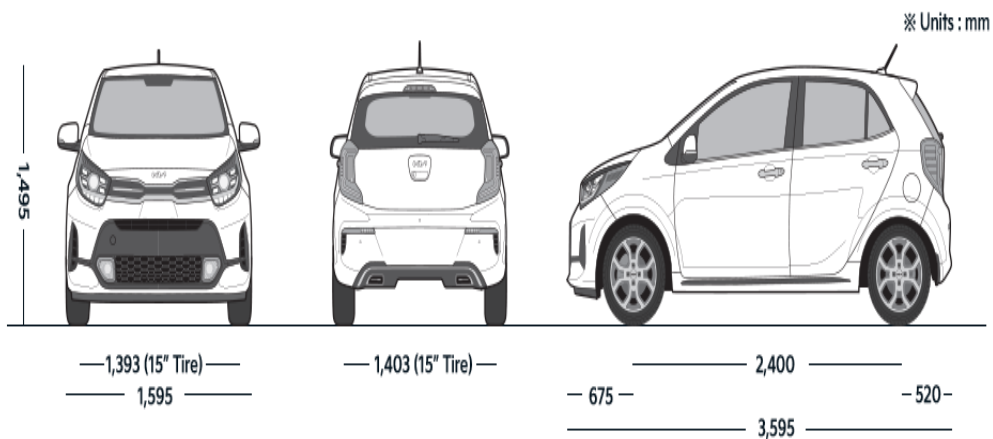


Figura 1-20. Vehículo de Prueba KIA PICANTO.
(Suparyanto dan Rosad, 2020)

La tabla 1-1, muestra los datos técnicos del primer vehículo el cual será tomado en cuenta para las pruebas aerodinámicas.

Tabla 1-1. Ficha Técnica KIA PICANTO.

Motor	1.0L DOHC VVT
Válvulas	16
Potencia (Hp@rpm)	66 @ 5500
Torque (kg.M@rpm)	9.7 @ 3750
Tracción	2WD
Transmisión	Manual – 5 velocidades
Largo/Ancho/alto (mm)	3595 / 1595 / 1495
Distancia entre ejes (mm)	

Suspensión delantera	McPherson
Suspensión posterior	Eje de torsión
Frenos delanteros	Discos ventilados
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	175/65R14

(Versiones 1.0, 2022)

- **CHEVROLET Sail.**

En la Figura 1-21, podemos observar el CHEVROLET SAIL, el segundo vehículo que ha seleccionado para realizar el diseño en 3D y las diferentes simulaciones dentro de los parámetros aerodinámicos.

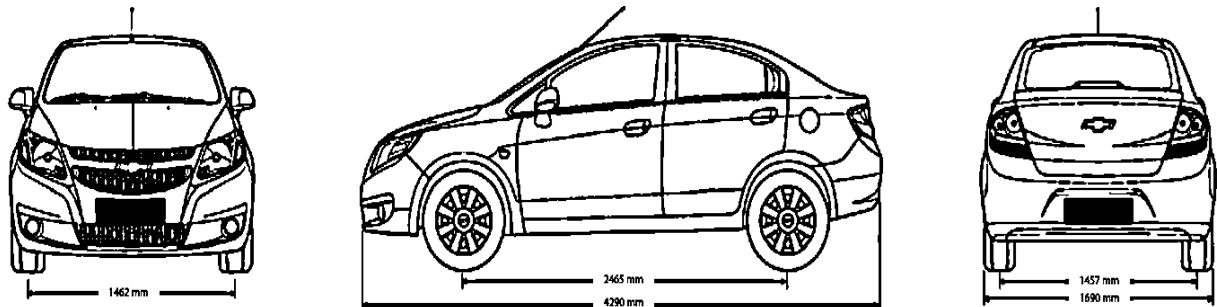


Figura 1-21. Vehículo de prueba CHEVROLET SAIL.
(Chevrolet, 2018)

La tabla 1-2, muestra los datos técnicos del segundo vehículo el cual será tomado en cuenta para las pruebas aerodinámicas.

Tabla 1-2. Ficha técnica Sail.

Motor	1.5L DOHC VVt
Válvulas	16
Potencia (Hp@rpm)	109 @ 6000
Torque (Nm@rpm)	141 @ 4000
Relación de compresión	10.2: 1
Relación Final	4.358
Transmisión	Manual – 5 velocidades
Suspensión delantera	McPherson

Suspensión posterior	Eje de torsión
Frenos delanteros	Discos ventilados
Frenos posteriores	Tambor
Llantas	195/55R15
Capacidad del tanque de combustible (lt/gal)	39/10
Capacidad de carga del baúl (lt)	366
Capacidad de carga (kg)	400

(Chevrolet, 2018)

- **CHEVROLET Grand Vitara SZ.**

En la Figura 1-22. Podemos observar el CHEVROLET GRAND VITARA SZ, el tercer vehículo tomado en cuenta para realizar el diseño en 3D y las simulaciones dentro de los parámetros aerodinámicos.

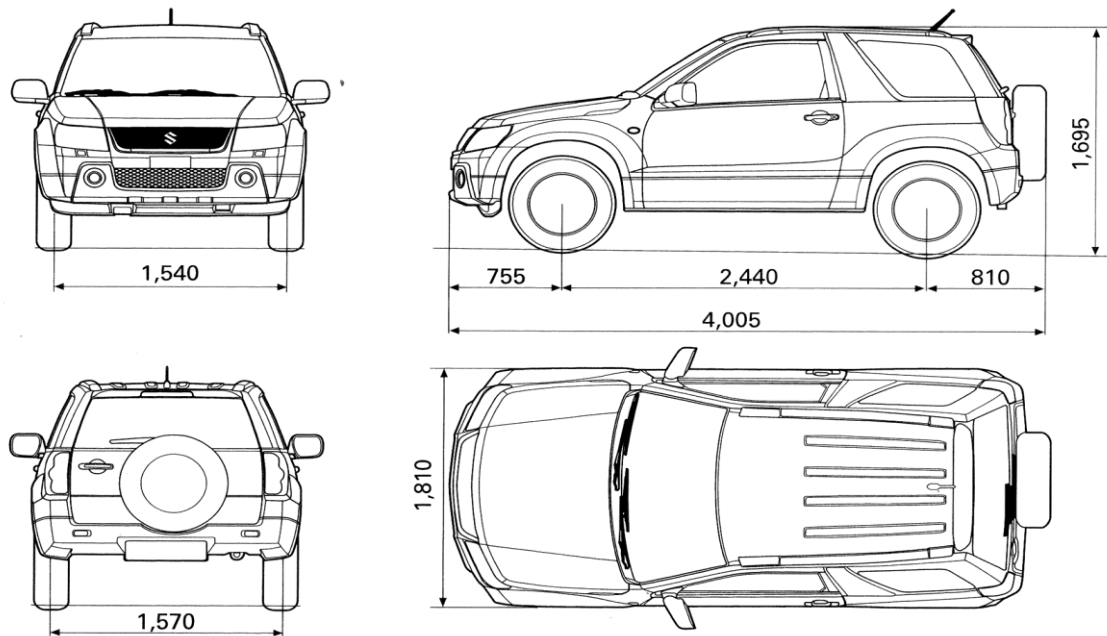


Figura 1-22. Vehículo de prueba CHEVROLET Grand Vitara SZ.
(Corporation et al., 2014)

La tabla 1-3, muestra los datos técnicos del tercer vehículo el cual será tomado en cuenta para las pruebas aerodinámicas.

Tabla 1-3. Ficha técnica CHEVROLET Grand Vitara SZ.

Motor (cc)	2400
Válvulas	16
Potencia (Hp@rpm)	163 @ 6000
Torque (Nm@rpm)	227 @ 4000
Alimentación	Inyección electrónica multipunto
Transmisión	Manual – 5 velocidades
Suspensión delantera	McPherson con barra estabilizadora
Suspensión posterior	Multi-Link
Frenos delanteros	Discos ventilados
Frenos posteriores	Discos ventilados
Llantas	224/70R16
Capacidad del tanque de combustible (lt)	66
Largo (mm)	4500
Ancho sin espejos (mm)	1810
Alto (mm)	1695
Distancia entre ejes (mm)	2440
Capacidad de carga (kg)	597

1.11. Elementos electrónicos.

Para la programación realizada en el túnel de viento se utilizó el Software Laviw, que se considera un entorno de programación el cual permite realizar gráficas para desarrollar sistemas que permitan investigar, validar y producir.

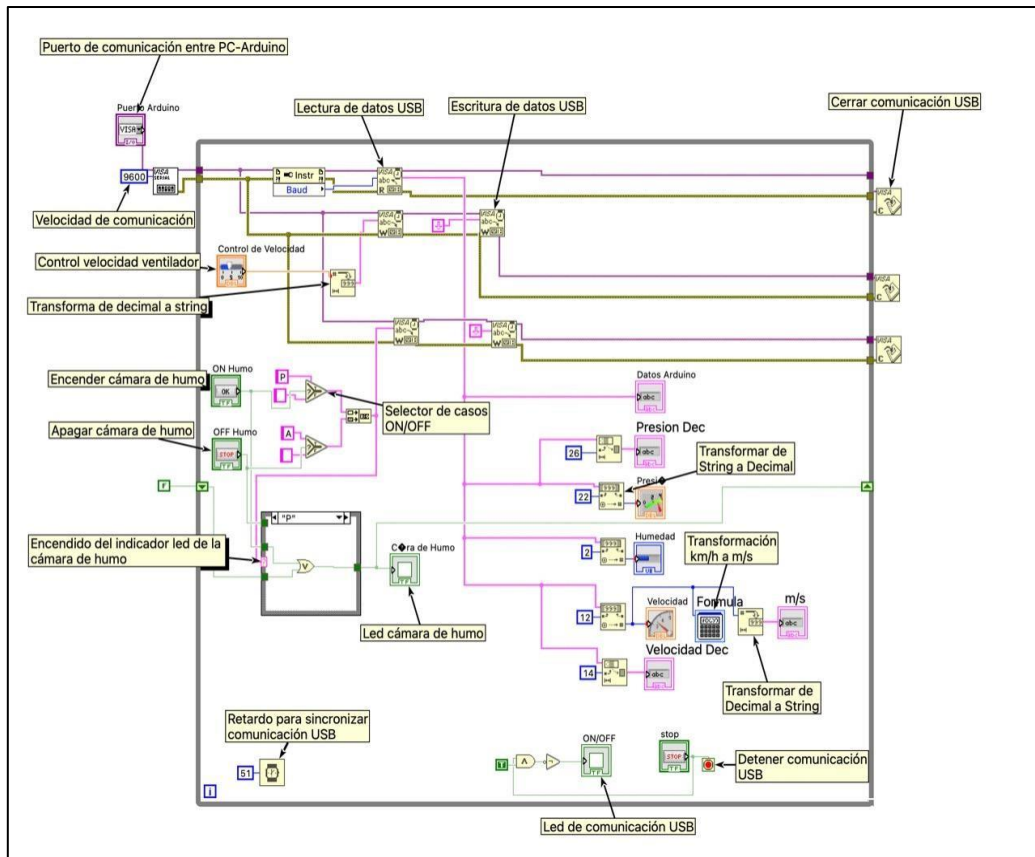


Figura 1-23. Programación realizada en Labview para el Túnel de viento.

1.11.1. Dispositivo MPX10.

Este elemento es una parte fundamental ya que permite verificar los datos de presión que existen dentro del túnel de viento, este elemento es piezo resistivo fabricado de silicio, su función es la de proporcionar una salida de voltaje que sea precisa y lineal en donde la presión aplicada siempre es proporcional.

Los sensores que se utiliza en la medición de la presión son de bajo costo por lo que permiten a los fabricantes agregar redes de acondicionamiento de señal de su propiedad en donde también entra la condición de la temperatura externa.



Figura 1-24. Sensor de presión.
(By ALLDATASHEETCOM, 2007)

1.11.2. MCP606.

“La familia de amplificadores operacionales MCP606/7/8/9 (opamperios) de Microchip Technology Inc. son de ganancia unitaria estable con bajo voltaje de compensación (250 μ V, máximo)”(Microchip, 2009). Estos elementos son principalmente para medir temperatura y humedad en el difusor de entra o cámara de ingreso de aire, sus características son:

- Salida de riel a riel
- Capacidad de oscilación
- Baja corriente de polarización de entrada

Estas características permiten que sean muy adecuados para operaciones de precisión y para un suministro único y son también aplicables en alta impedancia que se alimenta por batería.

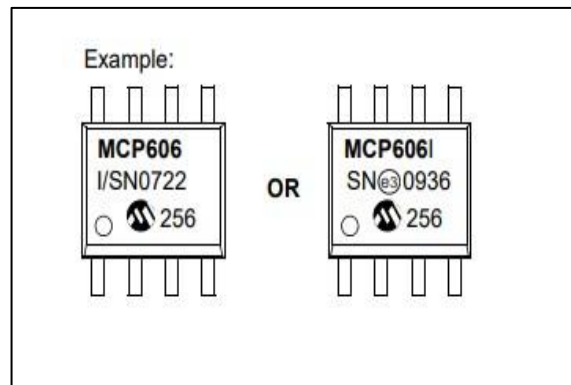


Figura 1-25. Sensor de temperatura y humedad.
(Microchip, 2009)

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Metodología de la investigación.

En el capítulo se enfatiza el proceso que se debe realizar para el trabajo de grado, y los métodos a llevar a cabo para la recopilación de información, cumpliendo con los diferentes objetivos y llevando de manera eficiente la distribución de todo lo recopilado. Para el desarrollo del trabajo se ha tomado principalmente los métodos documentales, investigación longitudinal, cualitativa, cuantitativa y proyecto de desarrollo.

2.1.1. Método documental.

“Los instrumentos para la investigación documental son las fichas bibliográficas o de identificación y de trabajo o investigación”(Baena Paz, 2017). Este método es uno de los más importantes debido a que la información recopilada para los temas a tratar se los realiza desde la investigación documental que son fuentes como: tesis, revistas técnicas, blogs apropiados, artículos científicos, etc. Esto permitirá recolectar datos relevantes e ideas esenciales de estudios previos a la finalización del trabajo de grado.

2.1.2. Método de investigación longitudinal.

“En ciertas ocasiones el interés del investigador es analizar cambios a través del tiempo en determinadas variables o en las relaciones entre éstas”(Ricardo Cárdenas González, 2005). Como especifica este método se lo desarrolla en consecuencia a una línea de tiempo la cual permite analizar las diferentes etapas de desarrollo del túnel de viento desde el inicio de su construcción hasta la actualidad en sus diferentes formas, es de gran ayuda ya que permite el análisis de los efectos y su correcto diseño en cuanto a la aplicación del túnel y a los niveles en los que se le enfatizará a los diferentes vehículos siempre tomando en cuenta que se lo ha realizado en base a una escala, la cual permita un correcto estudio.

2.1.3. Método cualitativo.

“La investigación cualitativa abarca el estudio, uso y recolección de una variedad de materiales empíricos, estudio de caso, experiencia personal, historia de vida, entrevista,

textos que describen los momentos habituales y problemáticos y los significados en la vida de los individuos”(Escudero & Cortez, 2018).

Mediante la recopilación de datos se llega a concluir un problema en específico que nos permita aportar en la hipótesis que tiene como principio la reconstrucción de un hecho en específico y de esta forma partir de un conocimiento previo direccionando hacia un diseño abierto en el túnel de viento.

2.1.4. Método cuantitativo.

“Es secuencial y probatorio; utiliza el procedimiento hipotético-deductivo, y parte del supuesto de la existencia de orden en la naturaleza y de las posibilidades de conocerlo”(Esther & Echenique, 2017). En cuanto al método cuantitativo se basa principalmente en el cálculo de parámetros mecánicos, relacionados a fluidos y datos termodinámicos de importancia en los cálculos aerodinámicos dentro del túnel de viento y así también para su correcto dimensionamiento, es decir, que se enfoca en la demostración de la hipótesis con datos matemáticos.

2.1.5. Proyecto de desarrollo.

Dentro de lo relacionado con la hipótesis se debe tener en cuenta el desarrollo de lo planificado, es decir, la propuesta de diseño, que se implementa mediante el prototipo a construir, a través de un proceso de dimensionamiento basado en varios modelos hasta encontrar el adecuado para el trabajo de investigación.

2.2. Materiales y Equipos.

En los materiales usados en el tema de trabajo de grado se prioriza el material de impresión de los vehículos que es de suma importancia debido a que se debe tener en cuenta las características y si el material es apto para las pruebas a realizar, las propiedades que tiene cada elemento son distintas por lo que según el estudio y la base de polímero a utilizar se llegó a la conclusión de que el material más apto es PLA (ácido poliláctico).

2.2.1. Filamento PLA.

“El filamento de PLA Ultimaker ofrece una experiencia de impresión 3D sencilla gracias a su fiabilidad y buena calidad superficial. El PLA está fabricado con materiales orgánicos y renovables”(Ultimaker, 2017). Es un filamento que se distingue por su fácil utilización en las impresiones además de que se llega a adecuar a cualquier factor de uso o gama de aplicaciones.

En la figura 2-1, se puede observar que el material cuenta con muchas propiedades las cuales se utilizan para medir la capacidad de las impresiones a lo que va a requerir el trabajo al que se va a someter el elemento impreso, consta de: Propiedades mecánicas, propiedades térmicas y propiedades referentes a gravedad y clasificación de llama.

<u>Propiedades mecánicas (*)</u>	<u>Moldeo por inyección</u>		<u>Impresión 3D</u>	
	Valor típico	Método de ensayo	Valor típico	Método de ensayo
Módulo de elasticidad a la tracción	-	-	2346,5 MPa	ISO 527 (1 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la deformación	-	-	49,5 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Esfuerzo de tracción a la rotura	-	-	45,6 MPa	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la deformación	-	-	3,3 %	ISO 527 (50 mm/min)
Alargamiento a la rotura	-	-	5,2 %	ISO 527 (50 mm/min)
Resistencia a la flexión	-	-	103,0 MPa	ISO 178
Módulo de flexión	-	-	3150,0 MPa	ISO 178
Resistencia a la prueba de impacto Izod, con mella (a 23 °C)	-	-	5,1 kJ/m ²	ISO 180
Resistencia a la prueba de impacto Charpy (a 23 °C)	-	-	-	-
Dureza	-	-	83 (Shore D)	Durómetro
<u>Propiedades térmicas</u>	<u>Valor típico</u>		<u>Método de ensayo</u>	
Índice de fluidez (MFR)	6,09 g/10 min		ISO 1133 (210 °C, 2,16 kg)	
Deformación térmica (HDT) a 0,455 MPa	-		-	
Deformación térmica (HDT) a 1,82 MPa	-		-	
Transición vítrea	-60 °C		ISO 11357	
Coefficiente de expansión térmica	-		-	
Temperatura de fusión	145-160 °C		ISO 11357	
Constracción térmica	-		-	
<u>Otras propiedades</u>	<u>Valor típico</u>		<u>Método de ensayo</u>	
Gravedad específica	1,24		ASTM D1505	
Clasificación de llama	-		-	
(*) Ver las notas.				

Figura 2-1. Propiedades del material usado para las impresiones en 3D "PLA". (Ultimaker, 2017)

En la figura 2-2, se puede encontrar en estas especificaciones principales del material el cual permite detallar el filamento y los colores con los cuales podemos trabajar.

De la misma forma conocer hasta qué punto es bueno realizar impresiones en este material ya que al haber una gran variedad se pueda analizar si existen más resistentes o que puedan realizar mayores pruebas como son de fuerza o demás.

<u>Especificaciones del filamento</u>	<u>Valor</u>	<u>Método</u>
Diámetro	2,85 ± 0,10 mm	-
Desviación de redondez máxima	0,10 mm	-
Peso neto del filamento	350 g / 750 g	-
Longitud del filamento	~44 m / ~95 m	-
<u>Información sobre el color</u>	<u>Color</u>	<u>Código de color</u>
	PLA verde	RAL 6018
	PLA negro	RAL 9005
	PLA plata metalizado	RAL 9006
	PLA blanco	RAL 9010
	PLA transparente	n.p.
	PLA naranja	RAL 2008
	PLA azul	RAL 5002
	PLA magenta	RAL 4010
	PLA rojo	RAL 3020
	PLA amarillo	RAL 1003
	PLA blanco nacarado	RAL 1013
 Ficha de datos técnicos – PLA Ultimaker	 Página 1	

Figura 2-2. Especificaciones del filamento y color del material PLA.
(Ultimaker, 2017)

2.3. Herramientas.

En los equipos a trabajar con el ámbito de la simulación se utilizó una Impresora 3D la cual permite realizar una fabricación digital para llevar un elemento desde un apartado tecnológico hacia uno en tiempo real.

2.3.1. Impresora 3D.

Según (Bordignon et al., 2018) “La fabricación digital consiste en materializar objetos a partir de archivos digitales, utilizando para esto una máquina controlada por una computadora”. Una vez que se dimensionan los vehículos y realizada las simulaciones correspondientes se verifica que todo este correcto en cuanto a los trabajos de velocidades, presiones y turbulencias, para luego proceder a imprimir los diseños en una impresora 3D que permite llevar del Sistema CAD a tiempo real.

Las impresoras 3D tienen varios materiales los cuales permiten trabajar de manera eficiente, para el tema de tesis se utilizó la microfibras PLA que es un elemento de bajo costo pero de buen diseño en la impresión, su resistencia permite realizar las pruebas sin presentarse dificultades.

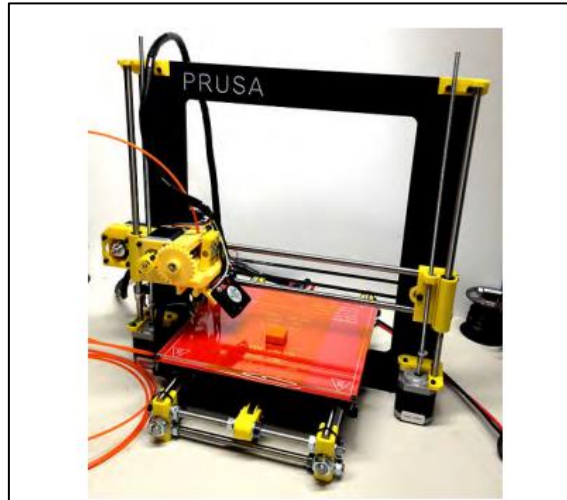


Figura 2-3. Impresora 3D.
(Bordignon et al., 2018)

2.4. Software.

En lo que respecta al diseño y Simulación del túnel de viento los materiales esenciales a tomar en cuenta son los Software donde se han desarrollado todas las dimensiones, diseños 2D y 3D, simulaciones, pruebas respectivas y además los controles que se han desarrollado para el manejo del túnel de viento en Escala 1:18 en real.

De esta forma se aporta al estudio del trabajo de tesis con las bases de datos y los diferentes factores para poder conocer el flujo aerodinámico con respecto a los vehículos.

2.4.1. Solidworks.

“El software CAD SOLIDWORKS® es una aplicación de automatización de diseño mecánico que les permite a los diseñadores croquizar ideas con rapidez, experimentar con operaciones y cotas, y producir modelos y dibujos detallados”(Diaz, 2011). Este software emplea un proceso para diseñar cualquier elemento en un plano 3D es decir en tres dimensiones a partir de los modelos que se puedan desarrollar se puede crear planos en 2D o de la misma forma se crean componentes de relación de posición que permiten realizar ensamblajes. Es una forma eficiente de realizar trabajos de diseño antes de construirlos en tiempo real ya que con los elementos que consta el sistema se pueden

desarrollar funciones como: diseños, planos, movimientos 3D, simulaciones estáticas o dinámicas, además de la oportunidad de ir modificando temas de dimensionamiento y posición del elemento a crear.

En la figura 2-4, se observa el ensamblaje de todas las partes antes diseñadas para el vehículo que servirá como base fundamental en el estudio de la aerodinámica.

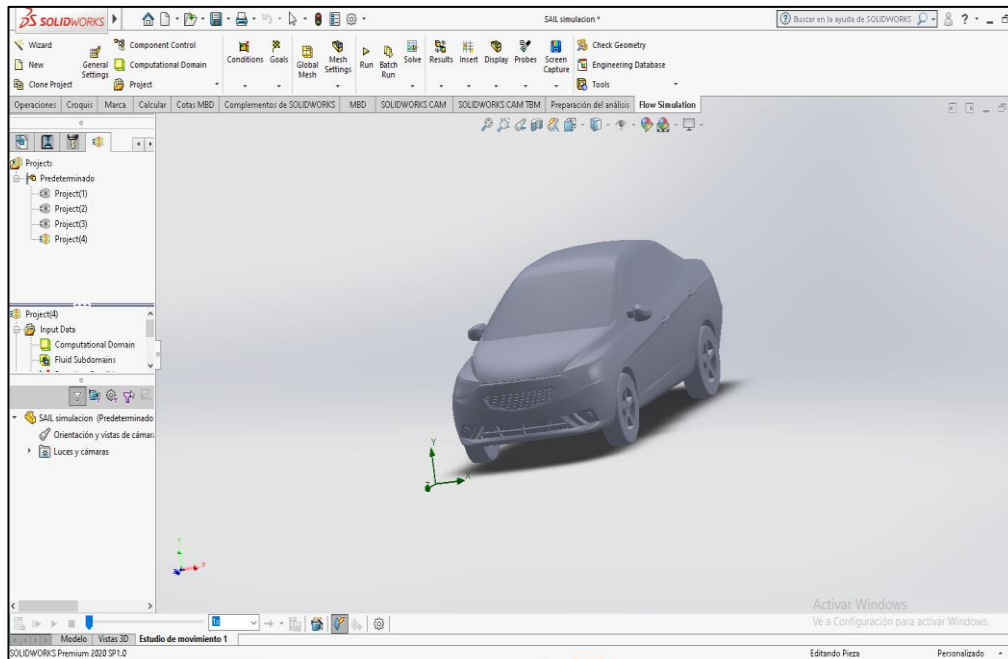


Figura 2-4. Modelado en 3D de vehículo de pruebas aerodinámicas.

2.4.2. Solidworks FLUID SIMULATION.

“SolidWorks Flow Simulation es el primer programa de análisis térmico y de simulación de flujo de fluidos fácil de utilizar que se encuentra completamente integrado a SolidWorks”(Arte et al., 2018). Este software ayuda a comprender y validar las ideas de diseño durante la elaboración de algún producto o elemento que se necesite para trabajar o realizar pruebas.

Se considera una herramienta que permite analizar el flujo paramétrico general que utiliza un volumen finito, sirve como principio para calcular el rendimiento que genera el elemento o producto mediante estudios hipotéticos optimizando y analizando los resultados obtenidos.

Se utiliza para simular mediante la interfaz de movimiento libre que además permite incluir regiones giratorias y resolver las simulaciones de mezclado de fluidos de forma más eficiente. Lo que se utiliza en el trabajo de grado es una simulación de un flujo de

aire el cual pasa por los vehículos seleccionados analizando las fricciones y los elementos que presentan más riesgo a velocidades altas o también a velocidades regulares según sea el diseño del vehículo.

En cuanto a actividades de procesamiento se llega a ver mejoras relacionadas con los gráficos que presentan las pruebas, se reduce el tiempo de creación y modificación de estos para que se observe y se comparta los resultados significativos con las demás personas.

La figura 2-5, muestra los puntos críticos y los de menos peligro con los cuales se llega a dar un resultado base de cómo serán las simulaciones en escala real.

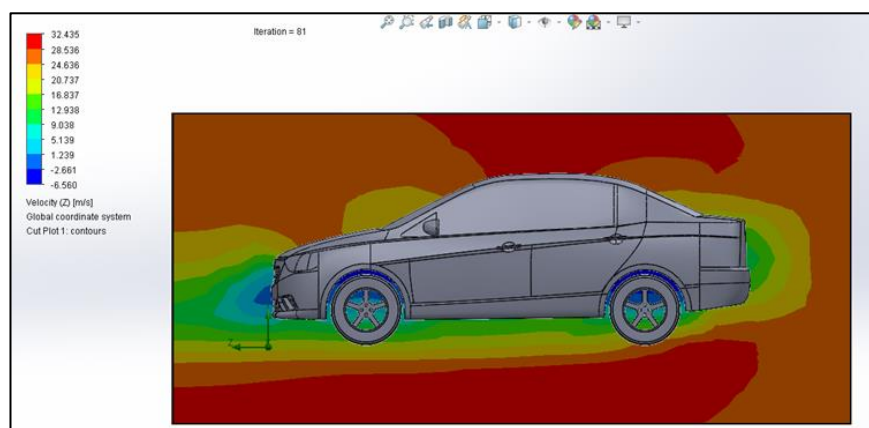


Figura 2-5. Visualización prototipo de vehículo con su respectiva simulación.

2.4.3. Software LabVIEW.

LabVIEW es un programa interactivo donde se desarrolla variedad de conjuntos que permiten controlar el sistema electrónico de diversos elementos mediante programación que sirven principalmente a personas que trabajan en campos científicos o campos de ingeniería que necesitan programar como parte fundamental de su trabajo. El ambiente de desarrollo de Labview trabaja sobre computadoras Windows, Mac OS X, o Linux, además se pueden crear programas que corren en una variedad de plataformas embebidas(Electrónica, 2016).

El software fue utilizado para desarrollar el sistema electrónico del túnel de viento el cual permite el control desde el ordenador hacia los mandos que están instalados dentro de la cámara de pruebas en la cual se desarrollan las diversas pruebas de velocidad, presión y la densidad que podemos encontrar en los vehículos.

Existen los llamados ficheros en LabVIEW que se llaman instrumentos virtuales que se llegan a componer en dos partes fundamentales: panel frontal o interfaz que nos sirve para colocar los diversos controles como pueden ser botones, interruptores, perillas, leds, etc. Y la parte del diagrama que se conoce como el código fuente donde realizan las programaciones adecuadas para el correcto uso de la aplicación y del elemento electrónico a trabajar.

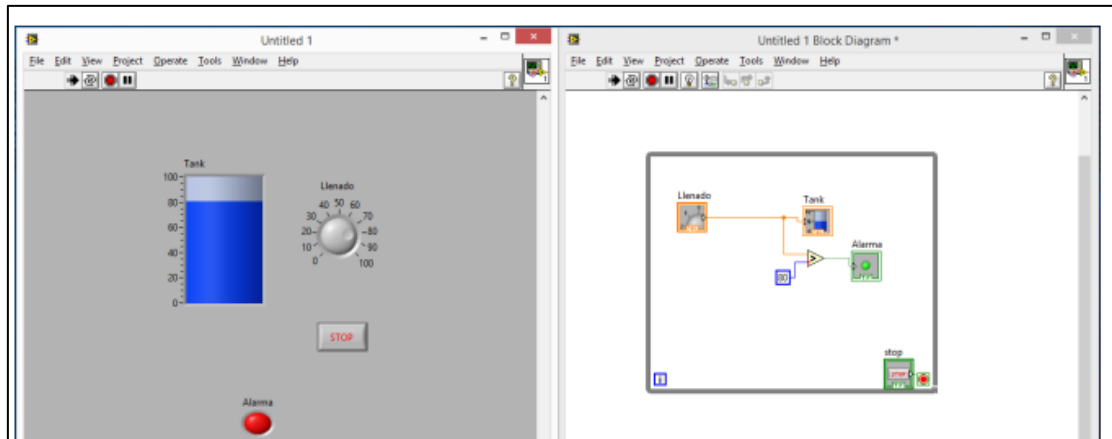


Figura 2-6. Panel frontal y Diagrama de bloques del programa LabVIEW.

La figura 2-7, muestra el diagrama realizado para el desarrollo electrónico del túnel de viento.

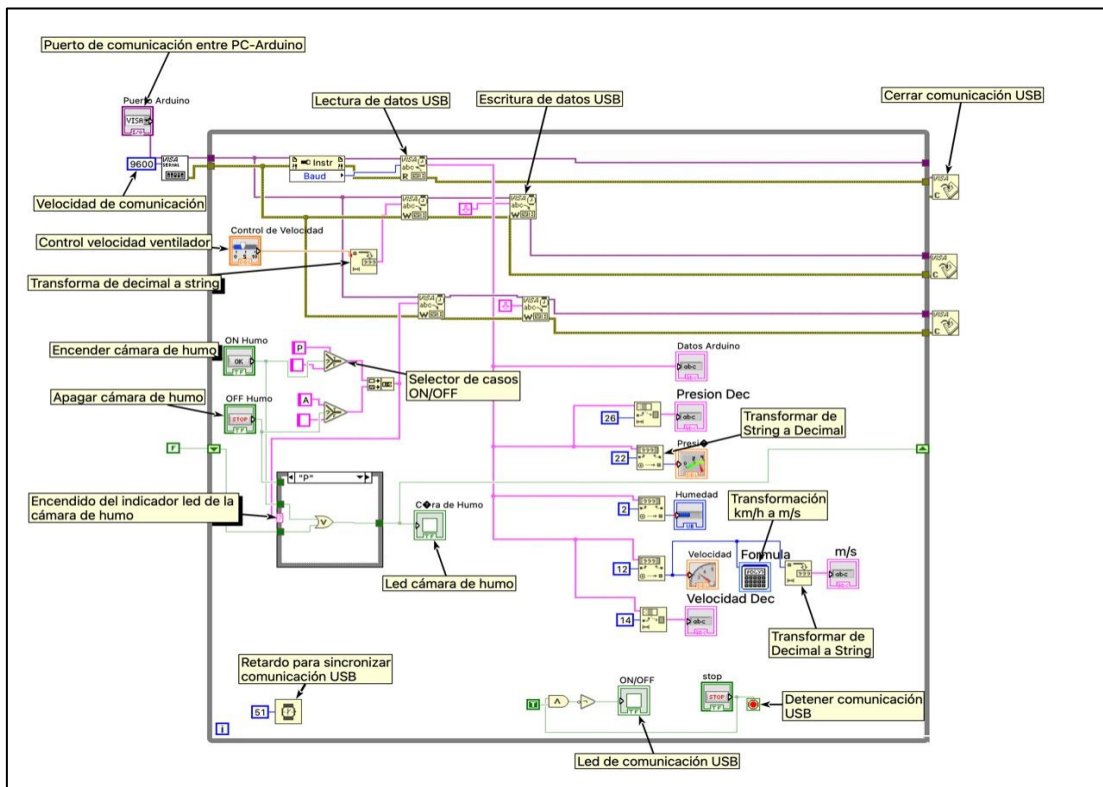


Figura 2-7. Configuración del sistema electrónico del túnel de viento en el programa LabVIEW.

Además permite desarrollar una interfaz de control que va adapta por medio de una entrada y salía del programa desde la computadora hasta un arduino el cual da la función de desarrollo en tiempo real del túnel de viento.

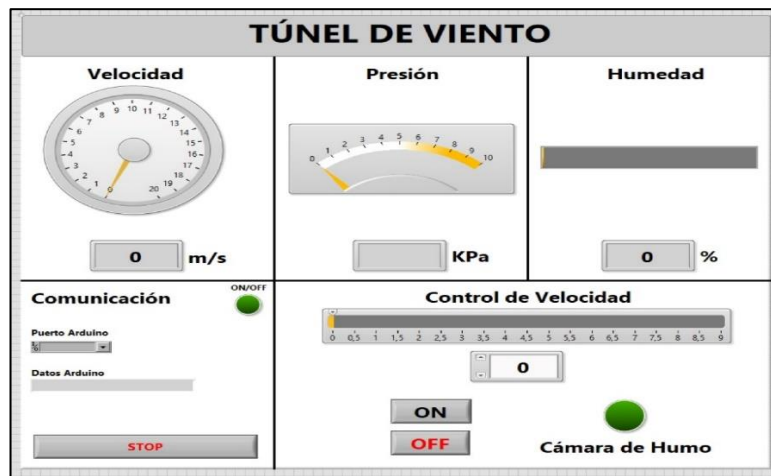


Figura 2-8. Interfaz de control del programa LabVIEW hacia el arduino de control en el túnel de viento.

2.5. Proceso metodológico.

La figura 2-9, detalla los pasos para realizar el trabajo de titulación con tema de Diseño y Simulación de un túnel de viento a escala 1:18.

Se inicia recopilando información importante como son los modelos comercializados de vehículos con mayor demanda en la ciudad de Ibarra para realizar el dimensionamiento mediante las fichas técnicas las cuales permitieron detallar los vehículos y sobre todo conocer su carrocería. Consecuentemente de realizar esta investigación se procedió a dimensionar de igual forma el túnel de viento y los vehículos para ser diseñados en el software CAD SolidWorks. Después de tener el respectivo diseño de todos los elementos se dio inicio a las simulaciones aerodinámicas las cuales dieron a conocer los puntos de inflexión que tienen los vehículos con respecto a la fricción del viento.

Ya realizada la simulación se comparó los datos que se obtuvo tanto en el simulador CAD como en el túnel de viento construido para los prototipos de vehículos a escala 1:18.

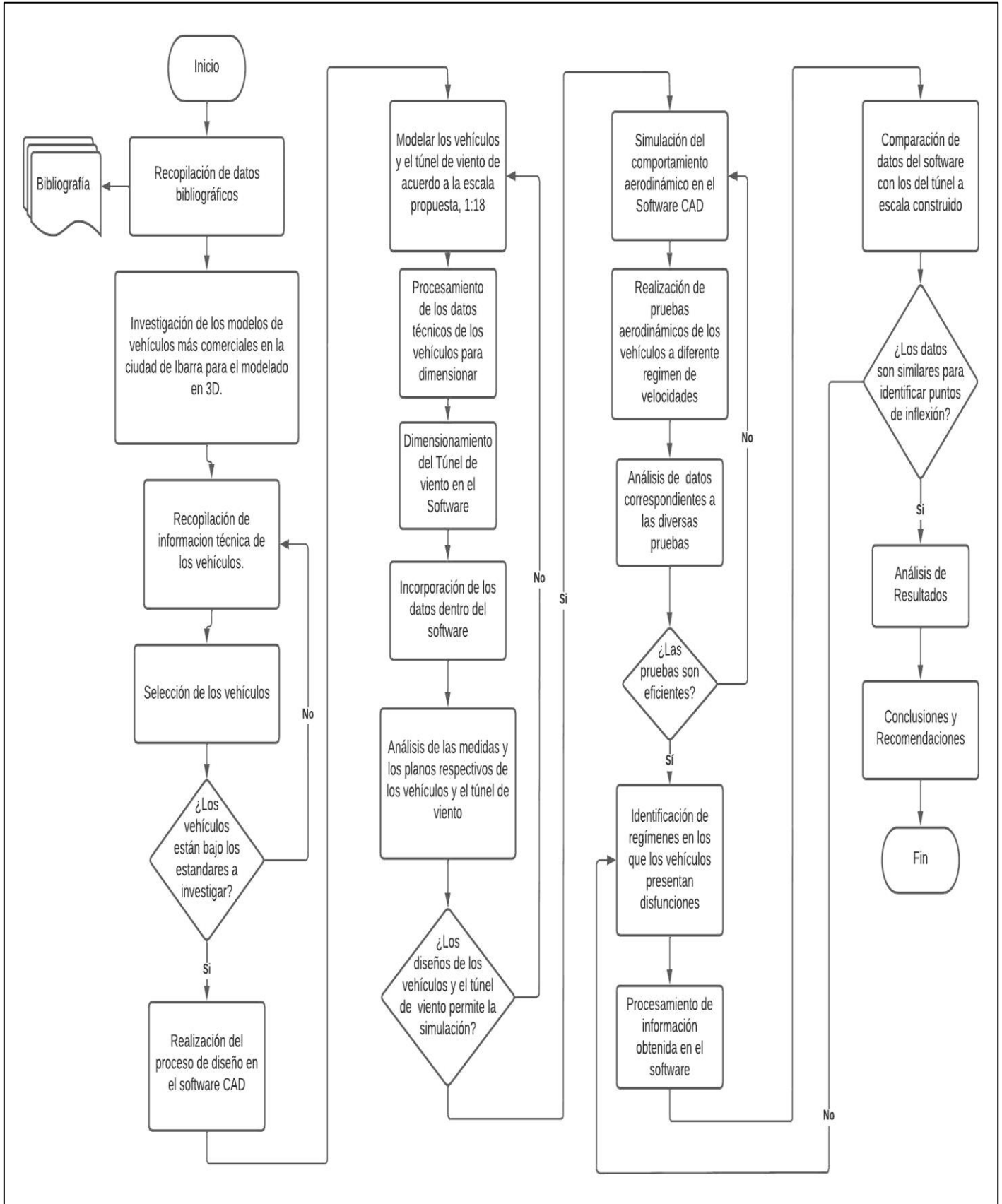


Figura 2-9. Flujograma del proceso de investigación.


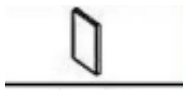

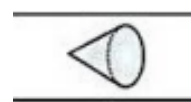
2.5.1. Investigación de los modelos de vehículos más comerciales en la ciudad de Ibarra para el modelado en 3D.


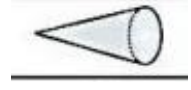

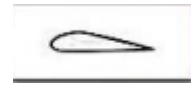

En este proceso se desea obtener el análisis de los vehículos más comercializados en los cuales se debe realizar todo lo referente al modelado y dimensionamiento de los elementos seleccionados, esto se realiza mediante la recopilación de información dada en sitios web y ventas de las concesionarias.

2.5.2. Recopilación de información técnica de los vehículos.

Los datos técnicos de los vehículos se investigaron en los manuales técnicos vehiculares, los cuales informan todo lo relacionado a dimensionamiento entre largo, ancho, separaciones y demás. Con la información se conoce el diseño que es uno de los puntos más importantes ya que de este depende el estudio aerodinámico que se realizará en los diversos vehículos, en lo que respecta a la elección las bases fueron la demanda y su diseño aerodinámico debido a que se llegan a presentar varios puntos de inflexión. Permite relacionar el coeficiente de penetración C_x y sus distintas formas aerodinámicas, en donde lo ideal de una correcta forma aerodinámica sería el asemejarse a un perfil de una gota de agua debido a que esta se moldea en el aire para obtener la menor resistencia posible. El rango que presentan la mayoría de los vehículos en su C_x es de 0.25 a 0.40 en donde lo óptimo es mantener este rango o tratar de reducirlo.

Tabla 2-1. Formas aerodinámicas y el valor C_x .

Formas básicas y su valor C_x		
Dirección de la corriente de aire		C_x
Paracaídas		1.36
Placa plana y cuadrada		1.17
Cubo		1.0
Cono (90°)		0.51

Semiesfera		0.41
Cono (60°)		0.34
Esfera		0.3
Perfil de ala de avión		0.05 – 0.1
Automóviles modernos		0.29– 0.33

2.5.3. Selección de los vehículos.

Las marcas comerciales que circulan en el Ecuador y principalmente en la ciudad de Ibarra, son de gran mayoría KIA y CHEVROLET. En este aspecto KIA representa el 40% de la marca que circula en Ibarra y CHEVROLET el 44% del mercado, siendo la marca con más demanda, por tal motivo se utilizó estos vehículos para la investigación. Luego de la recopilación de datos realizada se logró obtener que los vehículos más aptos para el desarrollo del tema son los siguientes:

La tabla 2-2, da a conocer el dato de los Cx de cada vehículo a realizar las pruebas aerodinámicas, estos datos son relevantes ya que son reales y obtenidos del manual del fabricante, al realizar las pruebas aerodinámicas se debe llegar al alcance de los datos reales.

Tabla 2-2. Modelos y Coeficiente Cx de los vehículos.

Vehículo	Coeficiente aerodinámico Cx
KIA Picanto	0.31
CHEVROLET Grand Vitara SZ	0.45
CHEVROLET Sail	0.35

2.5.4. Realización del proceso de diseño en el software CAD.

En la realización del diseño se trabajará con el Software SOLIDWORKS el cual permite realizar piezas tanto en 2D como en 3D que son necesarias para el diseño e implementación de una figura la cual mediante el mismo se pueda llegar a dimensionar y realizar varias pruebas con el objetivo de obtener datos importantes que permitan saber en qué condiciones los vehículos tienden a tener riesgos en cuanto a velocidad se refiere.

2.5.5. Modelar los vehículos y el túnel de viento de acuerdo con la escala propuesta, 1:18.

Para el estudio se realiza el diseño a una escala de 1:18 ya que como se menciona es un prototipo el cual mediante el diseño y simulación antes obtenida del software se toma en cuenta las dimensiones que van a ser las correctas para poder realizar pruebas sin problema alguno. Las bases para la escala son el tamaño del túnel de viento a construir en tiempo real, así como también la posibilidad de la impresión de los vehículos diseñados en 3D. Basándose en estos puntos se especifica la escala y se realiza el estudio pertinente para su construcción y simulación en tiempo real.

2.5.6. Procesamiento de los datos técnicos de los vehículos para dimensionar.

En este punto se tomará en cuenta la referencia de las dimensiones de los vehículos en tiempo real ya que es muy relevante debido a que se especifica los aspectos más importantes para el diseño que son: ancho, largo, alto y distancias de ejes. Los aspectos señalados ayudarán en el proceso de transformación de escalas de tiempo real a escala 1:18, esta transformación debe constar con las medidas adecuadas para no tener problemas al reducir las dimensiones de los vehículos para realizar pruebas y también en la simulación que se realizará en el Software.

2.5.7. Dimensionamiento del Túnel de viento en el Software.

El ancho, largo, y alto de este elemento deberá ser el adecuado para que mediante el diseño de los vehículos encaje perfectamente tanto en la simulación del software como en la construcción en tiempo real. Mediante sus diferentes partes se adaptará una cámara de pruebas la cual conste de un vidrio en el cual se observe el flujo de aire sobre los vehículos y que también será de gran importancia para los datos de las pruebas.

El diseño se realizará en tres partes: La entrada que consta de un ventilador que da acceso al flujo de gas o aire permitiendo controlar la velocidad en el ingreso, la cámara de pruebas que es en donde se observa y se realiza los trabajos correspondientes para obtener información relevante y la implementación de una cámara de humo que permita analizar como el flujo se desliza sobre los vehículos verificando la resistencia aerodinámica a ciertas velocidades.

Se realizará varias pruebas con distintas dimensiones con las cuales se obtienen diversos datos debido a que lo necesario es encontrar el punto clave para trasladar el fluido por el túnel en condiciones propuestas. Se realizará una tabla de comparación para elegir la opción adecuada que garantice datos eficientes en las pruebas a realizar. Los términos relevantes para seleccionar el diseño adecuado serán: Velocidad, Presión e Intensidad de turbulencia.

2.5.8. Diseño del Túnel de viento.

El diseño del Túnel de viento se basa en un sistema de forma abierta, va a existir una entrada de aire la cual realiza el trabajo de estabilizar el fluido que posteriormente ingresa por un área reducida permitiendo una mayor aceleración del flujo que al entrar a la cámara de pruebas va a continuar estable de forma que al pasar por estas estaciones darán como resultado los datos requeridos, se enviará desde una cámara de humo una cantidad adecuada de flujo para que en el proceso se forme la silueta respectiva y permita observar y analizar cómo trabaja la aerodinámica del vehículo en base a las velocidades dadas que enviará el ventilador.

El túnel de viento está adaptado con ciertos medidores o elementos electrónicos que permitirán observar datos de presión, humedad, control de cámara de humo y velocidad del ventilador.

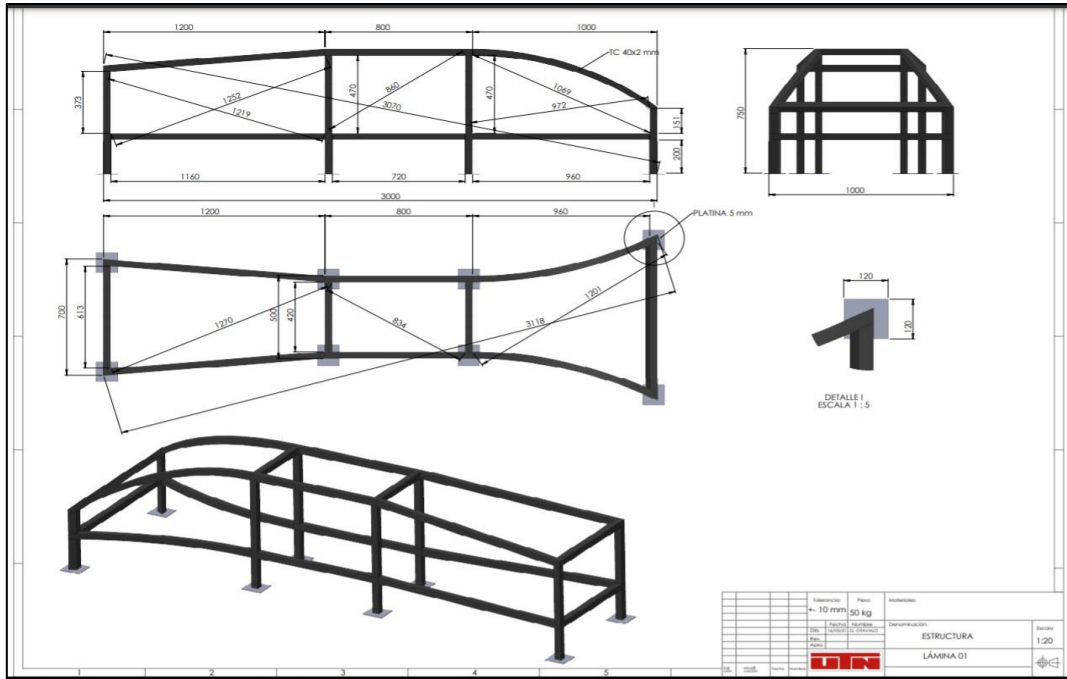


Figura 2-10. Diseño y mediciones del túnel de viento.

En primera instancia se procedió a realizar el plano en 2D con las dimensiones de área establecida para el Túnel de viento como se muestra en la figura 2-11, estos se realizará basado en especificaciones de pruebas que son específicas para el uso de modelos de vehículos en escala 1:18.

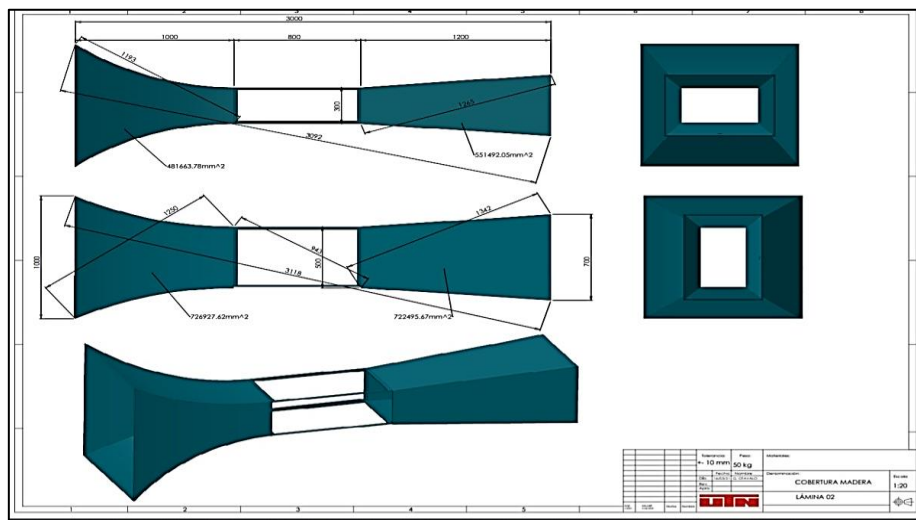


Figura 2-11. Mediciones y proyectado 3D del Túnel de viento.

El diseño del plano en 2D a un plano en 3D se realiza mediante las medidas específicas incluyendo las partes ya visualizadas y desarrolladas en el Software SOLID WORKS, lo cual permite el modelado en 3D de manera eficiente para su posterior construcción,

también se puede modificar las variables de medición a conveniencia hasta hallar el punto exacto que permita obtener información relevante y precisa.

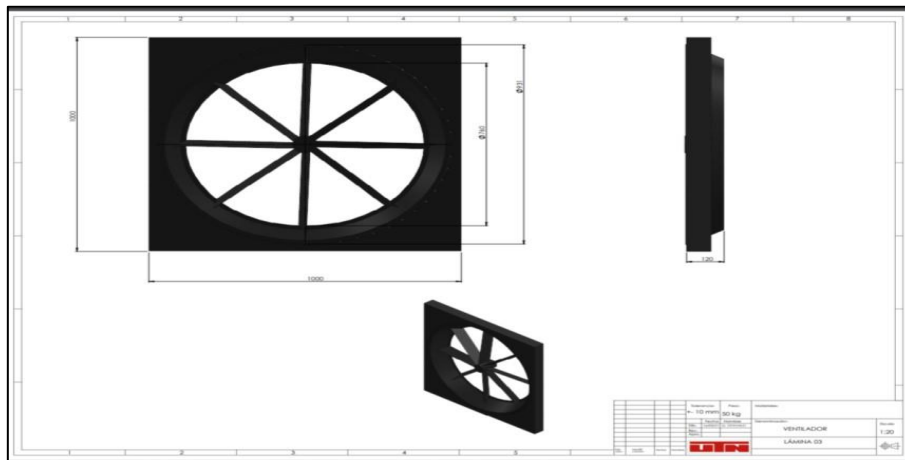


Figura 2-12. Dimensiones y diseño del Ventilador.

El diseño del ventilador también es una parte importante ya que con este se va a brindar la potencia adecuada para trasladar el fluido por la zona del túnel, permitirá observar cómo circula el fluido en la parte interior y de igual forma el lugar más efectivo donde debe ir para que no exista complicaciones a la hora de pruebas

En la figura 2-13 se observa los planos en 2D y 3D con medidas adecuadas para el túnel de viento luego de realizar las respectivas correcciones y diagnósticos en los cuales se priorizaron dimensiones y ubicaciones de sus diversas partes o elementos, además, el modelado que permita ejecutar las diferentes análisis a los vehículos a escala 1:18. Los elementos son los siguientes

- Difusor de establecimiento.
- Cámara de aceleración.
- Cámara de pruebas.
- Difusor.
- Ventilador.

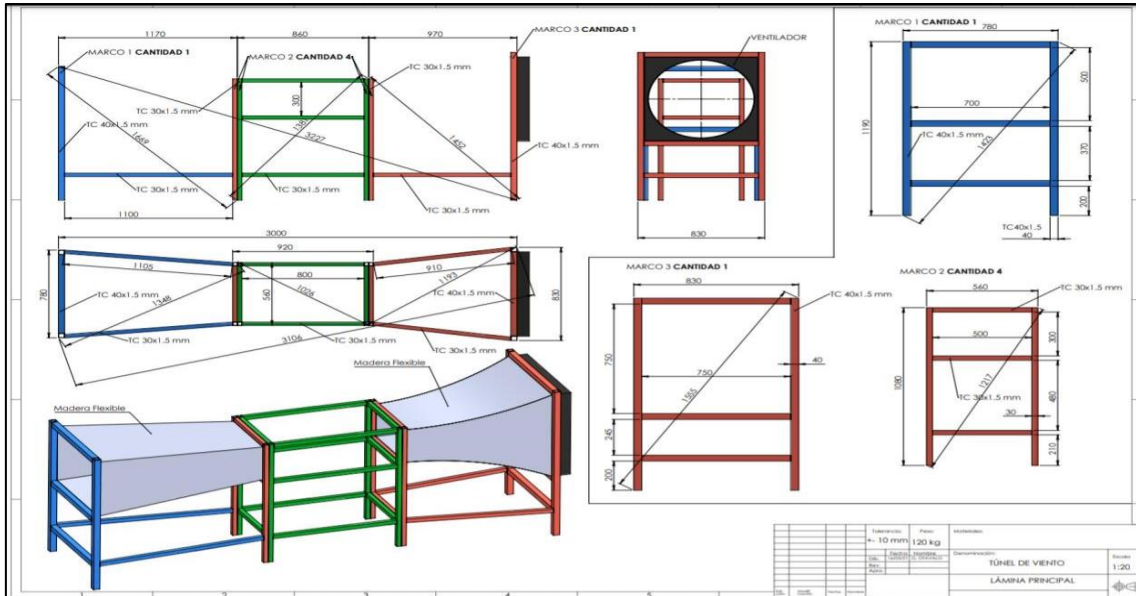


Figura 2-13. Secciones principales para la base del túnel de viento.

2.5.9. Incorporación de los datos dentro del software.

El estudio y dimensionamiento de los vehículos y del túnel de viento se procesa dentro del Software SOLIDWORKS realizando planos en 2D de estos elementos los cuales estarán dimensionados a la escala propuesta, los elementos de los materiales de trabajo se diseñarán en varias etapas. Con esta implementación se selecciona las mejores opciones a tomar en el diseño dentro del software ya que una ventaja de trabajar con materiales computacionales es que el modelado y dimensionamiento pueden variar y reemplazar valores hasta quedar en el punto adecuado que permita obtener lo planificado.

2.5.10. Análisis de las medidas y los planos respectivos de los vehículos y el túnel de viento.

Una vez que se haya procesado los diseños y seleccionado el que mejor ayudará en las pruebas aerodinámicas se procede a seleccionar los planos definitivos y pasarlo al modelado 3D en el que se podrá observar el elemento finalizado y listo para ser construido en tiempo real. Los vehículos de igual forma deberán ser modelados y pasados al Software SOLIDWORKS. Una vez seleccionado y analizado el paso siguiente será comenzar con las pruebas aerodinámicas.

2.5.11. Simulación del comportamiento aerodinámico en el Software CAD.

En esta fase de simulación se procesarán los vehículos para obtener los datos que son necesarios en el estudio del coeficiente aerodinámico y permita conocer en qué regímenes y en qué lugares se presentan las disfunciones.

Lo esencial a conocer con estas simulaciones tanto en el Software SOLIDWORKS como en tiempo real son las velocidades en las que el coeficiente aerodinámico presenta mayor problema en los vehículos y de igual forma los elementos en donde la fricción con el flujo de aire es más peligroso, es decir las partes del vehículo donde existe rozamientos, para obtener conocimiento y aclarar en donde se podría trabajar de manera más eficiente y cuidadosa para evitar cualquier tipo de accidente o problema de riesgo.

2.5.12. Realización de pruebas aerodinámicas de los vehículos a diferente régimen de velocidades.

Lo que se buscará en este punto es someter a los vehículos a pruebas de diferentes velocidades en donde según las gráficas que serán arrojadas por el software se conocerán puntos de inflexión y de menor problema que existen en las tres marcas de automóviles. De esta forma con datos arrojados por el software se podrá llegar a conocer tanto los elementos diseñados que presentan mayor problema como también los datos necesarios para encontrar el coeficiente aerodinámico del vehículo que ayuda a lo antes mencionado sobre el riesgo en velocidades altas. Conociendo el diseño de cada uno se llegará a dar una conclusión del lugar o sitio de los vehículos en donde se vuelven más inseguros y esto servirá para estudios futuros en el mejoramiento de las partes diseñadas y en que velocidades se presentan más riesgos.

2.5.13. Análisis de datos correspondientes a las diversas pruebas.

Con el análisis de los datos se llegará a observar mediante tablas de pruebas a diferentes regímenes de velocidad los datos más relevantes que se presentan cuando el vehículo adquiere velocidad y aumenta las rpm. Además, por medio de las simulaciones se logrará constatar las partes más volátiles en la influencia del flujo de aire, las pruebas se realizarán a los elementos con mayor fricción que afectan al vehículo, según estudios se podrá observar los siguientes elementos:

- Parachoques
- Capot

- Parabrisas
- Techo

Los cuales después de someterse a las pruebas de velocidades permita observar los flujos que se llegan a obtener en estas partes de los vehículos, siendo que los flujos más relevantes son: Laminar – Transitorio – Turbulento, según corresponda.

2.5.14. Identificación de regímenes en los que los vehículos presentan problemas aerodinámicos.

En la identificación se tendrá como base a los vehículos y los elementos donde llegarán a presentarse problemas aerodinámicos como antes se ha mencionado en rangos altos de rpm o velocidades altas. Se podrá observar en las simulaciones que existen varias partes del vehículo que llegarán a tener más presión a velocidades altas por ende la fuerza de fricción que se va a producir igual va a ser más alta lo cual hace que el flujo de aire varíe. Una parte importante será la escala a la que se ha dimensionado todos los elementos ya que se debe realizar la transformación a 1:18 para que los datos sean los adecuados.

Debido a que las pruebas se las realizará en el prototipo construido a tiempo real se debe adecuar también las velocidades en el software para que los datos sean similares tanto en el aspecto físico como en el digital.

2.5.15. Procesamiento de información obtenida en el software.

El análisis se lo realizará según los puntos anteriores de acuerdo con las pruebas gráficas y pruebas numéricas que se desarrollarán, en donde se podrán observar varios aspectos importantes en el desarrollo de la simulación como serán:

- Puntos críticos
- Velocidades
- Densidades
- Turbulencia
- Partes comprometidas en el flujo de aire
- Sistemas de escala

2.5.16. Comparación de datos del software con los del túnel a escala construido.

El desarrollo en tiempo real permitirá el análisis de los aspectos más importantes en los vehículos que han sido impresos en tres dimensiones y sometidos a las pruebas que también se realizarán en el Software SOLIDWORKS Flow Simulatio.

De esta forma se irá desarrollando el trabajo de titulación el cual se ha dimensionado de acuerdo con las condiciones que se requieren.

Luego de la parte computacional se podrá observar los diferentes vehículos en tiempo real a escala 1:18 los cuales permitirán observar de manera más eficaz y eficiente las pruebas a desarrollarse constatando que las simulaciones van a ser similares a las hechas en tiempo real es decir los rangos principales en donde presentan mayores afecciones y problemas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

El capítulo se desarrolla en base a la información recopilada, diseños y las simulaciones respectivas del túnel de viento que son las idóneas, el estudio se desarrolló por medio de los Software SOLIDWORKS y ANSYS los cuales nos permite tanto modelar como realizar pruebas aerodinámicas de los vehículos que se sometieron a las diferentes pruebas. El diseño se realizó mediante las diversas funciones que contienen los softwares dando así resultados de prueba y error que beneficiaron a la elección del mejor diseño del túnel de viento para luego ser dimensionado a la escala propuesta en el trabajo de grado.

El análisis en las pruebas correspondientes se lo ejecutó mediante un proceso el cual permitió analizar el comportamiento del flujo de aire sobre la base de un vehículo. Con el análisis procesado mediante las simulaciones CFD se consiguió llegar hasta el prototipo de túnel de viento adecuado para luego ser elaborado.

En todo el trabajo se detalla las diferentes pruebas y obtenciones de resultados favorables para el cálculo de coeficiente de resistencia aerodinámica conocido como C_x .

3.1. Dimensionamiento del Túnel de viento en el software CAD.

Los datos ya previstos se colocan dentro del software para obtener los resultados en 3D. Luego de realizar el plano en 2D se dimensiona los vehículos para obtener las medidas adecuadas, cuando se coloque el elemento a prueba dentro del túnel de viento de tal forma que se observe de manera eficiente el flujo de aire pasando sobre el elemento estático.

En el túnel de viento se pudo implementar un ventilador industrial que generaba una velocidad del viento máxima de 10 m/s, este valor muy inferior al necesario para replicar el estudio real. Para la simulación se tiene las siguientes condiciones, el modelo del automóvil, el tipo de fluido implementado (aire), velocidad del fluido y la presión de salida.

Al realizar la incorporación de los datos tanto de los vehículos como del túnel de viento se verificó con varias pruebas en distintas dimensiones para obtener un diseño eficiente. Las pruebas obtenían datos diferentes ya que lo necesario era encontrar el punto clave para que el fluido se traslade por el elemento en condiciones propuestas y dé como bases datos que se corroboren en el túnel de viento ya construido real a escala por lo cual se

realizó una tabla de comparaciones para elegir la opción adecuada que garantice datos eficientes.

3.2. Simulación del comportamiento aerodinámico en los Software CAD.

Las pruebas que se realizaron en la interfaz de SOLIDWORKS permitieron observar los datos necesarios para obtener el diseño óptimo del túnel de viento, esto mediante simulaciones de aire dentro del elemento dando así resultados positivos y de igual forma negativos hasta llegar a escoger cuál de las diferentes propuestas era la adecuada en este caso fue el diseño C.

3.2.1. Etapas de Simulación.

3.2.1.1. Simulaciones en el Software SOLIDWORKS.

En las simulaciones que se realizó en el software CAD SOLIDWORKS se planteó tres condiciones de pruebas o etapas las cuales son:

- Pre-proceso
- Cálculo
- Post-proceso

La primera etapa consta de ingresar los datos con los cuales se va a realizar las simulaciones en este proceso utilizando el sistema de elementos finitos para cuerpos sólidos, este permite dividir los elementos en pequeñas partes que se analizarán de forma individual para lograr un resultado óptimo al final, las condiciones de pruebas son la presión, el flujo con el que se trabajará, la temperatura a la que se encuentra el elemento, entre otros.

El método de elementos finitos permite realizar cálculos y encontrar datos relevantes por medio del ingreso de datos al programa debido a que puede llegar a ser muy complicado el encontrar los datos mediante fórmulas difíciles de analizar y resolver.

Al finalizar se llega a la etapa de post proceso, aquí se observa los resultados del análisis en donde se encuentra gráficas de las condiciones ingresadas como velocidad, presión, intensidad de turbulencia, entre otros datos que se pueden ingresar y analizar según corresponda el estudio al que se quiere llegar.

La Tabla 3-4, muestra las condiciones iniciales con las que se quiere trabajar para poder calcular los datos de cuál de los diseños es el mejor para las diferentes pruebas aerodinámicas.

Tabla 3-1. Parámetros de simulación.

Parámetros de simulación	Valor	Unidad
Fluido de análisis	Aire	-
Presión (lugar de pruebas)	78500	Pa
Velocidad	27.78	m/s

El aire es el principal elemento para trabajar en pruebas de simulación debido a que es flujo que se presenta constante en la aerodinámica de los vehículos, la presión de trabajo se toma de acuerdo al lugar donde se proyecta realizar las pruebas en este caso en la ciudad de Ibarra-Imbabura y la velocidad de pruebas es la que ingresará dentro del túnel de viento para obtener datos específicos cabe recalcar que esta velocidad puede variar según sea necesario para las pruebas aerodinámicas.

- Inicio de simulación

En la primera fase de la simulación se introducen los parámetros necesarios para realizar el trabajo, estos se activan en el software SOLIDWORKS, de esta forma los análisis serán los correctos para ello se muestra a continuación todo el proceso a seguir en el programa.

Los completos son activados desde el programa para luego proceder a seleccionar la pestaña denominada Wizard que es la que permite realizar las simulaciones con los valores deseados. La figura 3-1 muestra las diferentes opciones con las que se puede trabajar y de igual forma el sistema de unidades con el que se desea obtener resultados, en este caso se tomará referencia del sistema internacional de unidades debido a que es con el que trabajan los fabricantes en Ecuador.

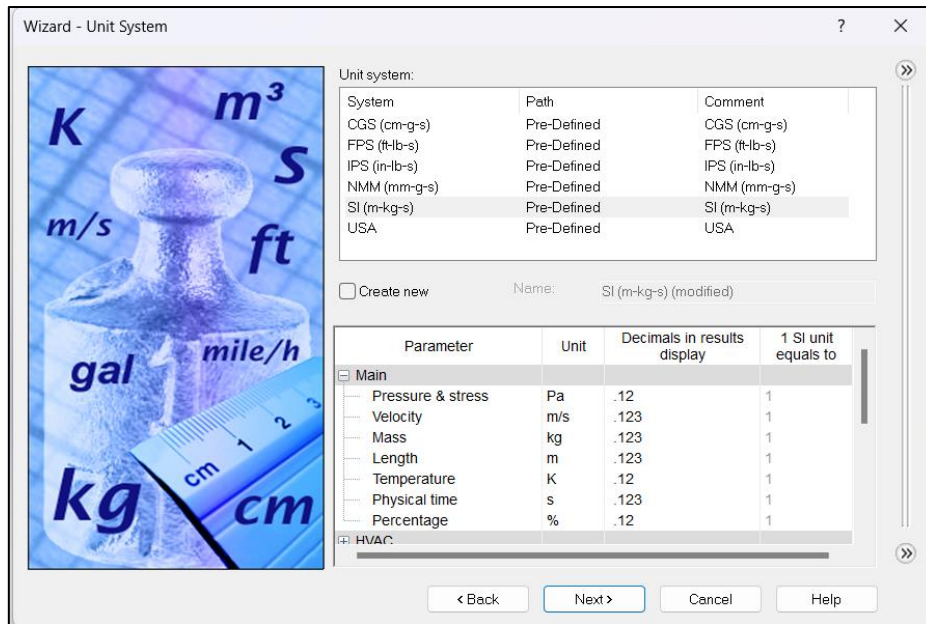


Figura 3-1. Selección de sistema de unidades.

La Figura 3-2, muestra el parámetro donde se selecciona que tipo de pruebas se realizará si es externa o interna, en donde lo óptimo es el trabajo en la parte exterior debido a que el sólido no presenta ningún orificio para que se puede realizar un trabajo interno, de forma continua se introduce el tipo de fluido en este caso el aire para los diversos análisis.

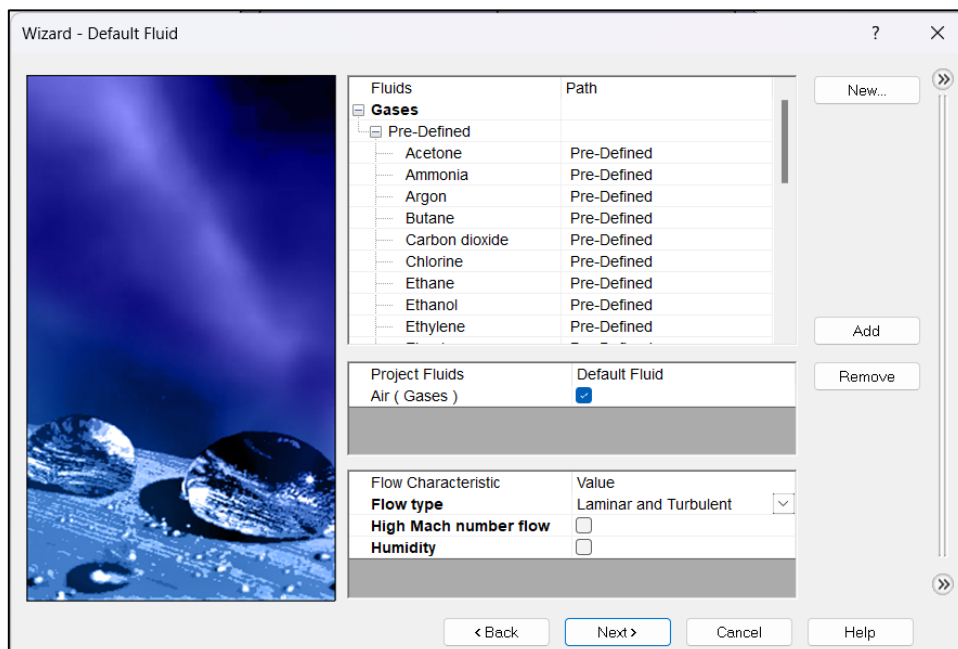


Figura 3-2. Cuadro de selección de fluidos a intervenir.

La figura 3-3, muestra el cuadro donde se ingresan los parámetros para los análisis aerodinámicos de los diversos elementos con los que se va a trabajar, donde se ingresa comenzando por la condición de presión de 78500 Pa que es la presión en la ciudad de Ibarra, luego se ingresa la temperatura la cual es de 25 °C que es más o menos la constante en la ciudad y por último la velocidad de pruebas que es de 27.78 m/s (100 km/h) este parámetro se lo ingresa en la dirección del eje Z que es donde se realiza en análisis.

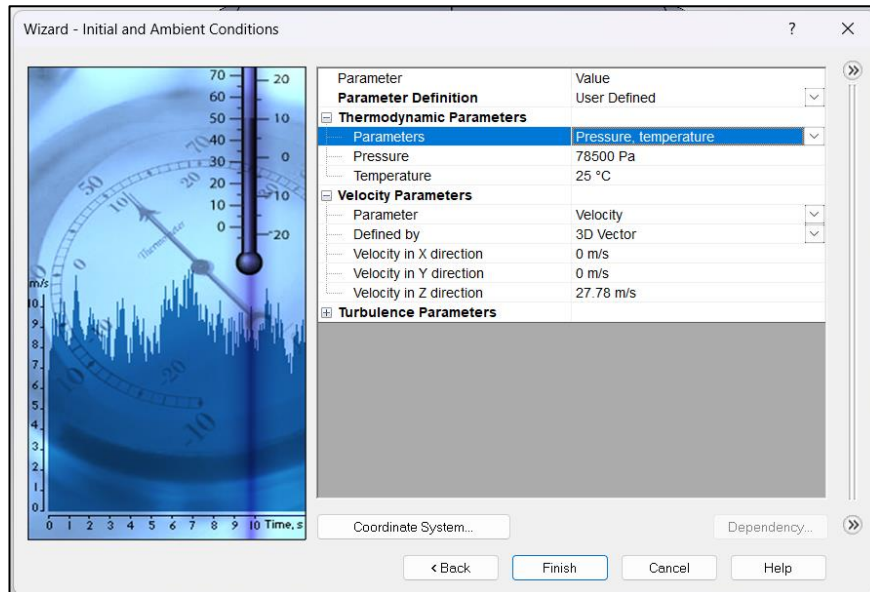


Figura 3-3. Parámetros de trabajo de la simulación.

- Entrada y salida del fluido de aire.

El análisis para obtener un diseño óptimo se da mediante los parámetros con los que se trabajará, al terminar con este proceso se continua con la adaptación de los datos obtenidos mediante el software SOLIDWORKS para llegar a escoger el prototipo que mejor se adapte a las pruebas.

En el diseño seleccionado se toma en cuenta el traslado del flujo de aire que se lo realiza mediante un proceso de succión o aspirado por medio del ventilador que permite mantener el flujo estable del aire en condiciones de prueba que se dan desde el programa de simulación, esto ayuda a que las secciones con las cuales trabaja el túnel no pierdan energía y se mantenga estable para observar datos relevantes.

La figura 3-4, muestra la trayectoria del flujo de aire en las partes del túnel de viento, partiendo desde las flechas azules que indican la presión y por donde ingresa hacia la cámara de pruebas, pasa por el vehículo generando la estela o el rozamiento necesario para obtener datos según correspondan hasta llegar a la cámara de salida o difusor de salida en donde se pueden observar las flechas rojas que indica la velocidad a la que finaliza el proceso, para las pruebas se utilizó el software SOLIDWORKS en el que se encuentra el complemento de simulación FLOW SIMULATION.

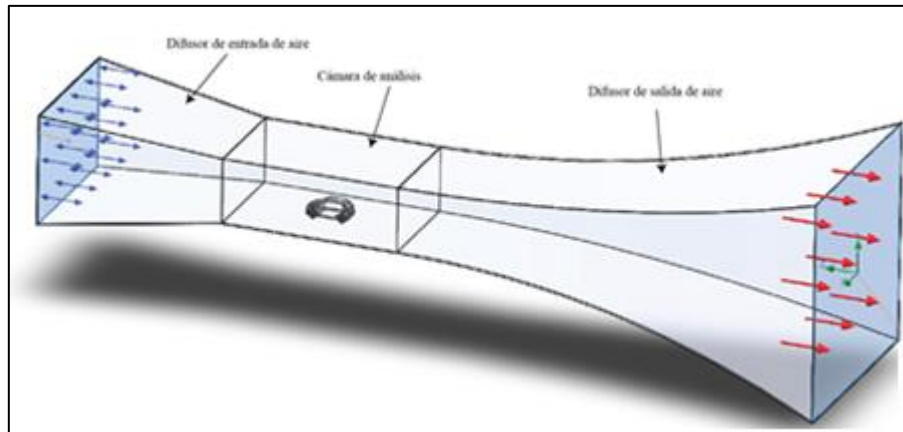


Figura 3-4. Diseño del túnel de viento de ciclo abierto.

3.3. Análisis de simulaciones.

En los diseños que se realizaron se toma en cuenta tres aspectos importantes los cuales son velocidad, presión e intensidad de turbulencia. Dentro del estudio y verificación de estos términos en el diseño se procederá a elegir el más adecuado.

- **Velocidad:** la velocidad es un aspecto importante ya que en esta fase es donde se observa los puntos más críticos en donde el flujo de aire tiene una fricción más fuerte sobre el vehículo. Es decir, es la resistencia del vehículo hacia el aire.
- **Presión:** es la condición que resulta por dos fuerzas que llega a desempeñar un papel importante, se basa en la sustentación y la resistencia que tiene el vehículo cuando la corriente fluye sobre y por debajo del elemento.
- **Intensidad de Turbulencia:** es la relación entre la media cuadrática de las fluctuaciones en la velocidad y la velocidad media del flujo, así como también la tasa de la viscosidad turbulenta.

3.3.1. Diseño A.

La figura 3-5, muestra el diseño A del túnel de viento realizado en el software SOLIDWORKS que muestra las dimensiones de cada sección y el cual va a constar de 3 etapas para las pruebas de selección.

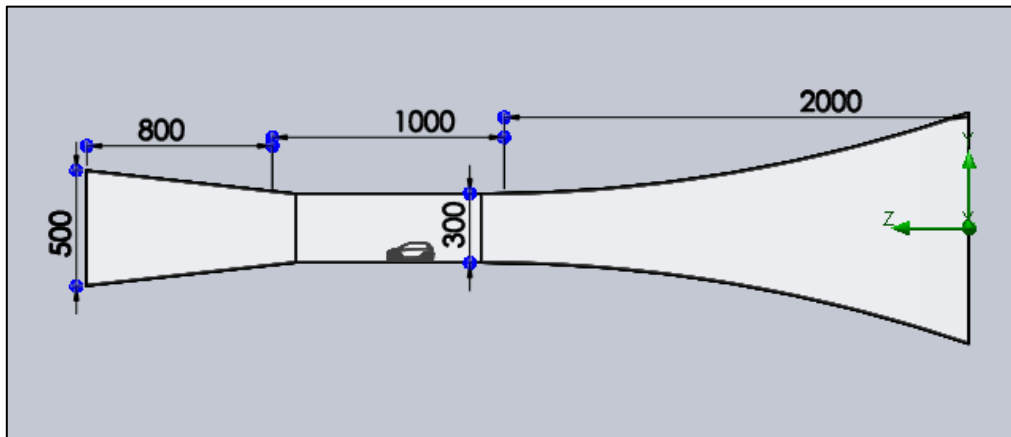


Figura 3-5. Diseño A del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.

- Velocidad.

En la figura 3-6, se aprecia que al ingresar el flujo de aire por el túnel de viento su velocidad alcanza un valor de 72.25 m/s, lo que indica que el vehículo al estar cerca de la entrada de aire (difusor) no se llega a observar la estela del flujo al irse reduciendo al área de pruebas, los datos de la simulación serían erróneos debido al aumento de velocidad en una corta distancia.

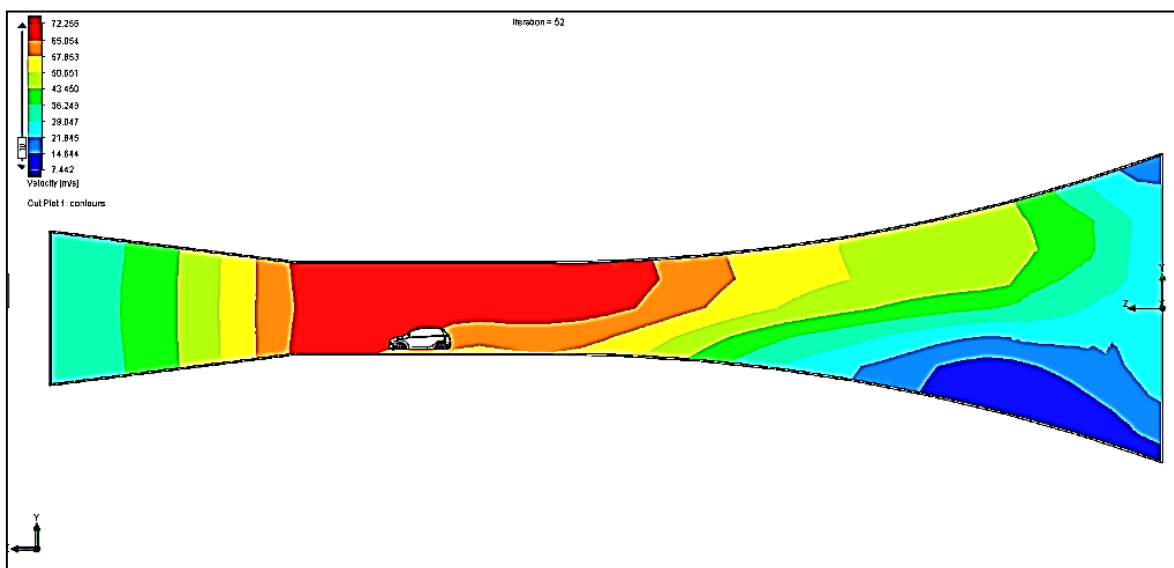


Figura 3-6. Velocidad en el diseño A

- Presión.

La figura 3-7, muestra la presión del diseño A, el difusor presenta un aumento de presión de 100829 Pa, en el diseño se obtiene que mediante la cámara de pruebas se va reduciendo la presión va disminuyendo hasta llegar al vehículo con un valor de 97832 Pa, pasa por la cámara de pruebas y se dirige hacia el difusor de salida disminuyendo la presión, en este caso para que los datos sean eficientes la presión debe mantenerse estable tanto en el ingreso como en la salida.

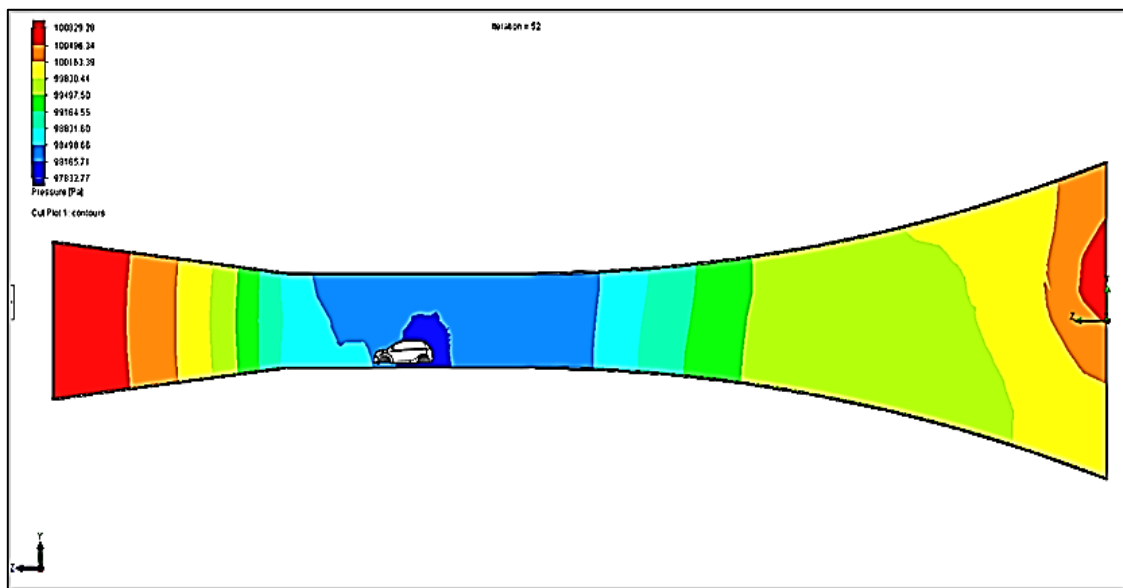


Figura 3-7. Presión del diseño A.

- Intensidad de turbulencia.

La figura 3-8, muestra la intensidad de turbulencia, en donde se observa que el vehículo no presenta defectos ni precipitaciones en el ingreso y tampoco en la cámara de pruebas, es decir que el flujo de aire circula con un valor de 5% de turbulencia sin problemas, sin embargo al llegar al difusor de salida aumenta su turbulencia a un 171%, el problema en el diseño es que el dato existe en el final de la simulación mas no en el vehículo a prueba.

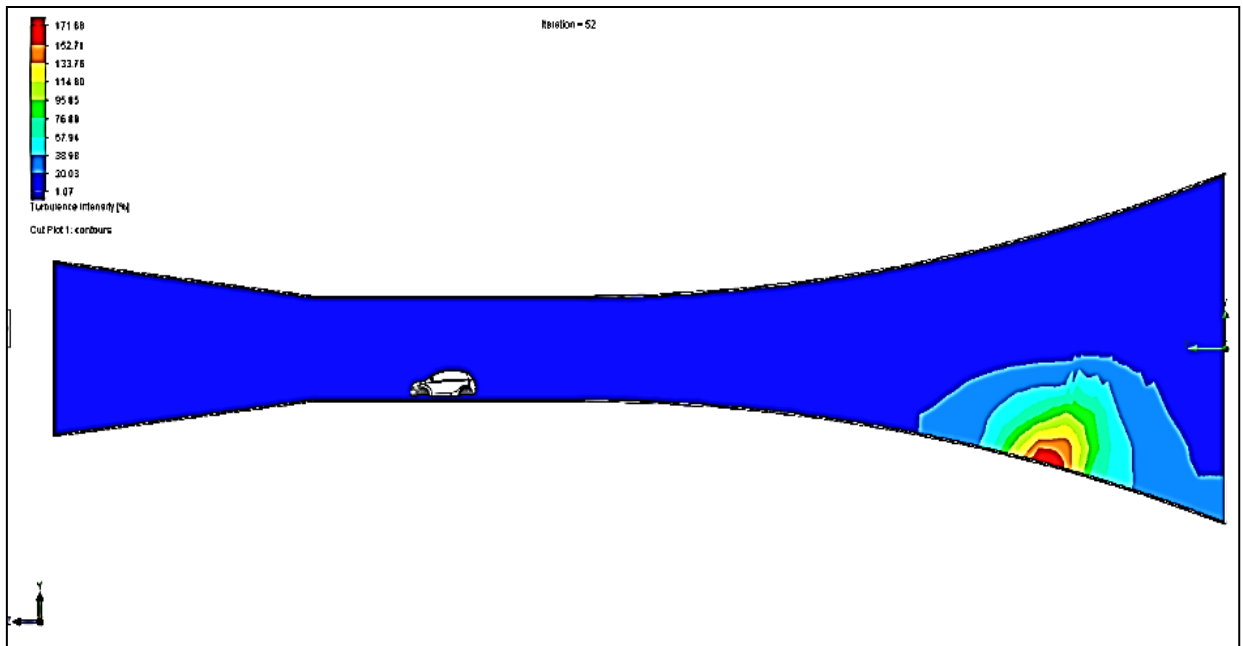


Figura 3-8. Intensidad de turbulencia en el diseño A.

3.3.2. Diseño B.

La figura 3-9, muestra el diseño B del túnel de viento realizado en el software SOLIDWORKS con el dimensionamiento de los elementos, y el cual va a constar de 3 etapas para las pruebas de selección.

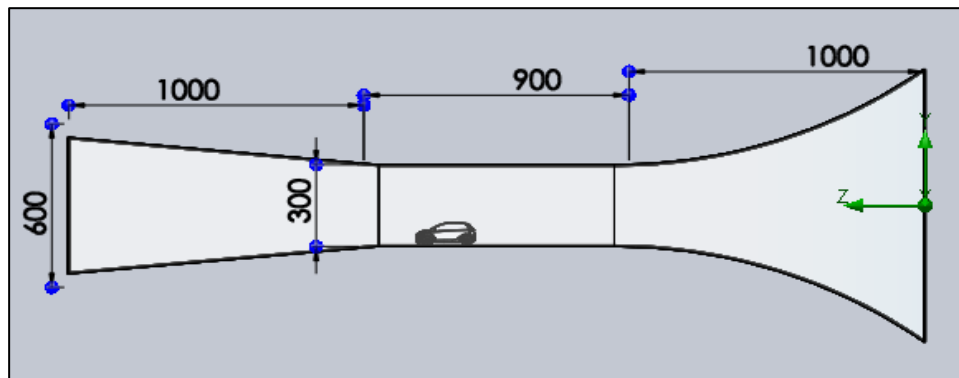


Figura 3-9. Diseño B del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.

- Velocidad.

La figura 3-10, se observa que al ingresar el aire hacia la cámara de pruebas el vehículo a prueba se encuentra a mayor distancia del difusor de entrada por lo que su trayectoria ya refleja la estela del flujo de aire con un valor más accesible de 73.71 m/s con respecto al diseño A, luego de pasar por la cámara de pruebas la velocidad se va reduciendo por efecto del área del difusor de salida.



Figura 3-10. Velocidad diseño B.

- Presión.

La figura 3-11, permite observar como la presión aumenta en difusor de entrada con un valor de 100842.12 Pa hasta llegar a la cámara de pruebas donde se encuentra el vehículo aquí disminuye a 97670 Pa, es una presión estable pero el problema al igual que en el diseño A es que este valor disminuye en el difusor de salida lo que no permite obtener datos eficientes debido a que tendría zonas de baja presión que ayuda mucho debido a que el vehículo se encuentra más pegado a la superficie baja para realizar las pruebas.

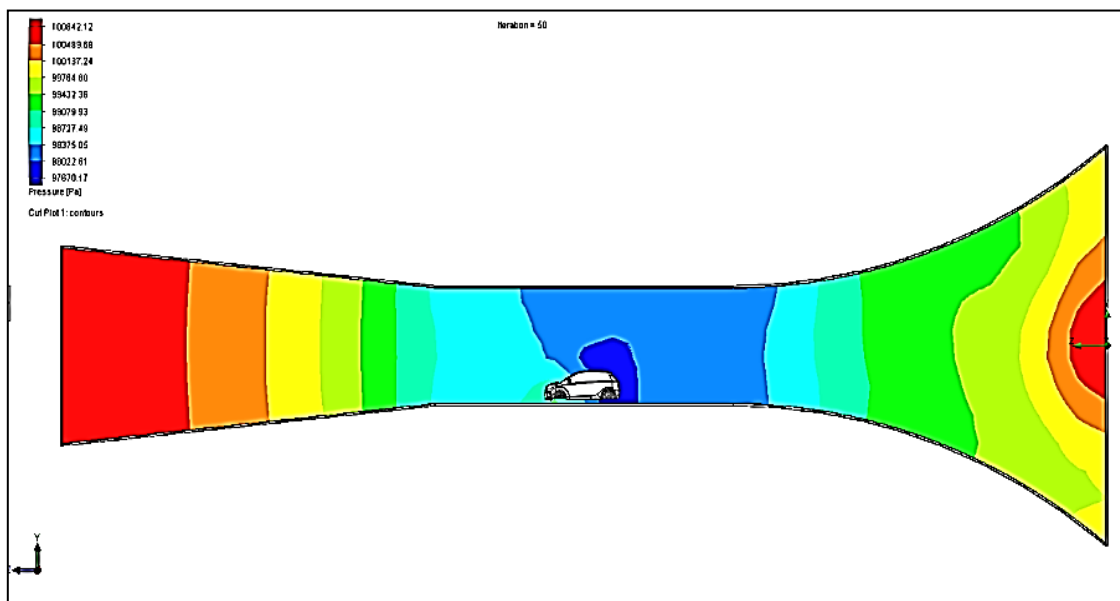


Figura 3-11. Presión diseño B.

- Intensidad de turbulencia.

La figura 3-12, permite observar la intensidad de las zonas de turbulencia bajas cuando ingresa el flujo de aire por el difusor de entrada hasta llegar a la cámara de pruebas, de igual forma se observa que al chocar el fluido con el vehículo se forman zonas de turbulencia cambiando las franjas de color de la simulación en el cual el valor es de 7% en la parte posterior del vehículo hasta llegar al difusor de salida con un valor de 24%.

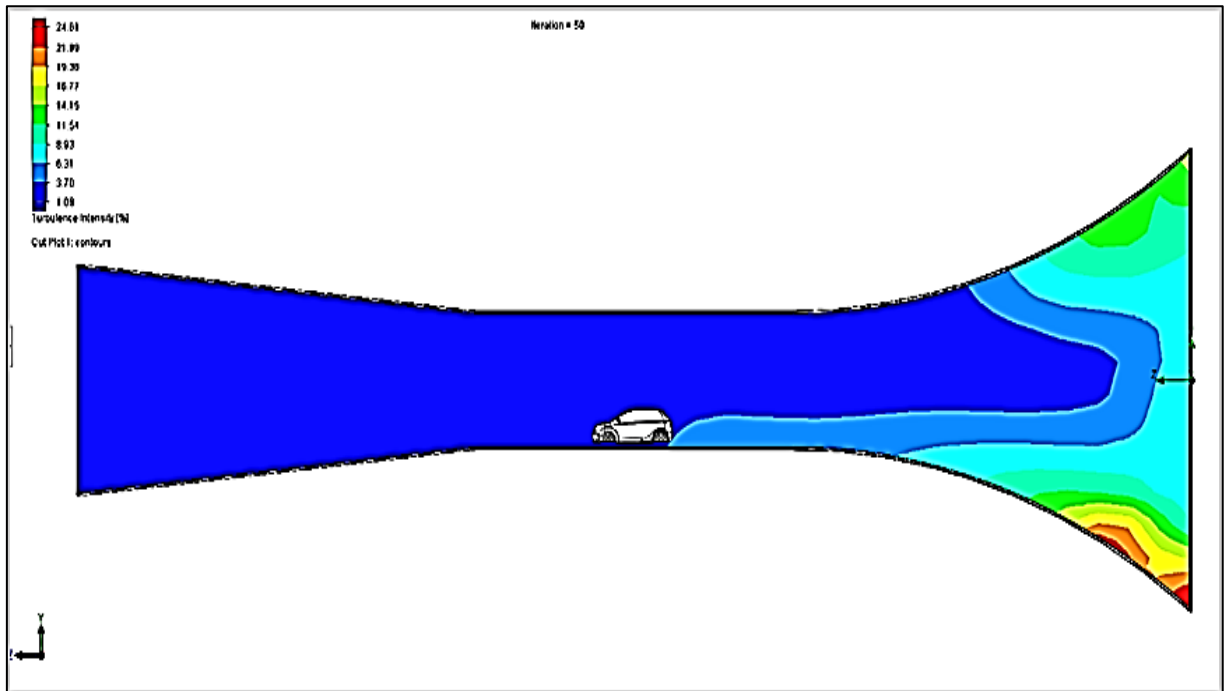


Figura 3-12. Intensidad de turbulencia diseño B.

3.3.3. Diseño C.

La figura 3-13, muestra el diseño C del túnel de viento realizado en el software SOLIDWORKS con el dimensionamiento de los elementos, y va a constar de 3 etapas para las pruebas de selección.

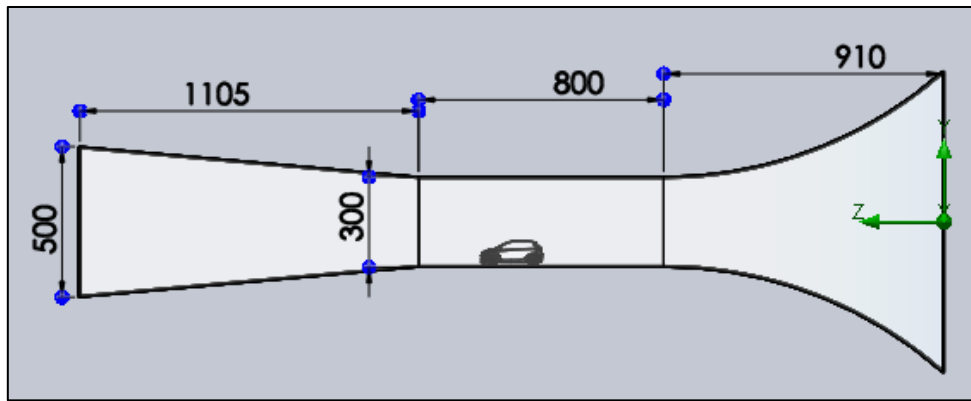


Figura 3-13. Diseño C del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.

- Velocidad.

La figura 3-14, permite observar la velocidad del túnel de viento del diseño C, el cual indica que al ingresar el flujo de aire por el difusor de entrada va aumentando la velocidad de circulación hasta llegar al vehículo con un valor de 73.4 m/s, este valor es más óptimo que el del diseño A y se encuentra por debajo del diseño B, de esta forma la estela que pasa en la cámara de pruebas es mucho más visible y presenta datos más eficientes.

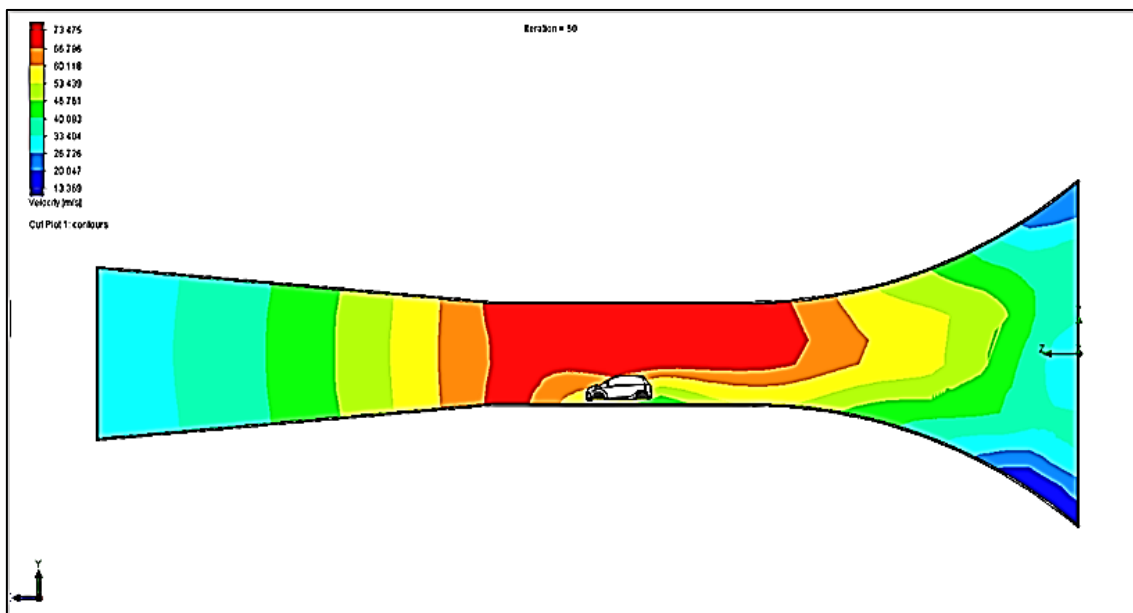


Figura 3-14. Velocidad diseño C.

- Presión.

La figura 3-15, muestra la presión de túnel de viento en el diseño C, que indica el comportamiento de esta magnitud desde el difusor de entrada hasta el difusor de salida pasando por la cámara de pruebas donde se observa que la presión es estable de igual

forma que en el diseño B, la entra consta con un valor de 100841 Pa y que decae mediante se acerca al vehículo debido al diseño con un valor de 977 Pa, cabe mencionar que todo se referencia a la presión de Ibarra, se puede decir que el resultado es óptimo debido a que la presión no debe ser elevada en esta sección, la gradiente de presión suele fluctuar respecto a la velocidad, es decir que mientras mayor velocidad tenga la cámara de pruebas la presión aumentará.

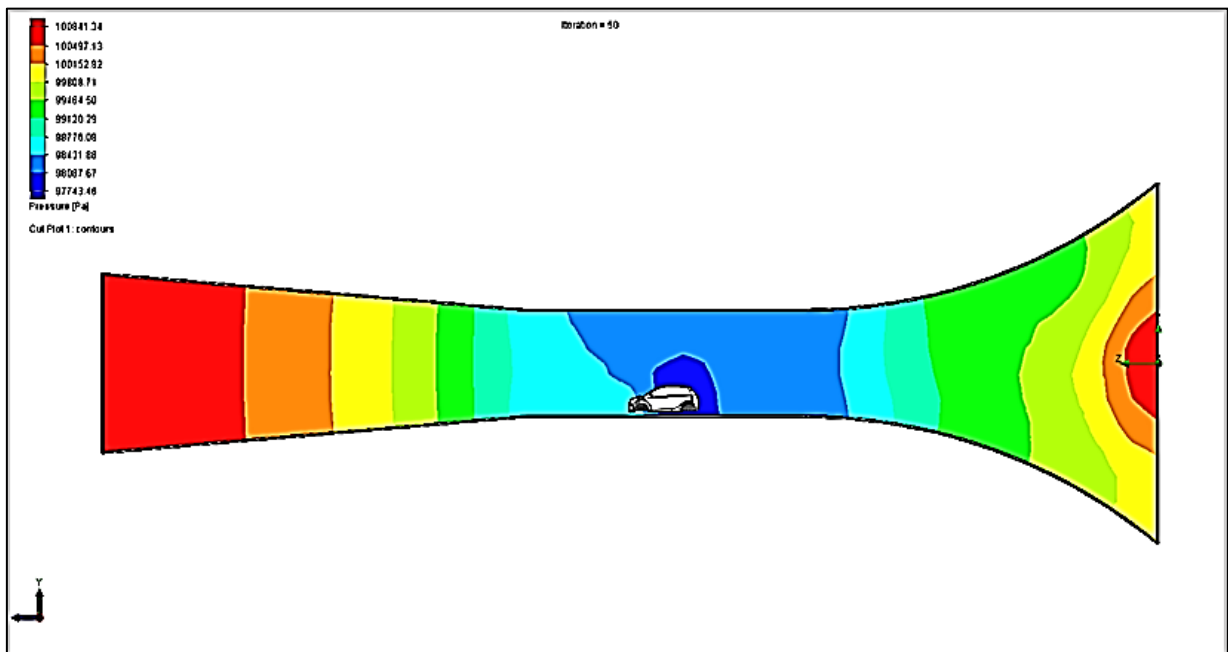


Figura 3-15. Presión diseño C.

- **Intensidad de turbulencia.**

En la figura 3-16, se muestra la intensidad de turbulencia en el diseño C, esta nos indica que desde el difusor de entrada hasta la cámara de pruebas existe una estabilidad de aire con un valor de 1% hasta llegar al difusor de salida con 19% de turbulencia, e decir presenta una inestabilidad mínima para realizar las pruebas aerodinámicas con un porcentaje menor al 2% en donde los datos serían eficientes.

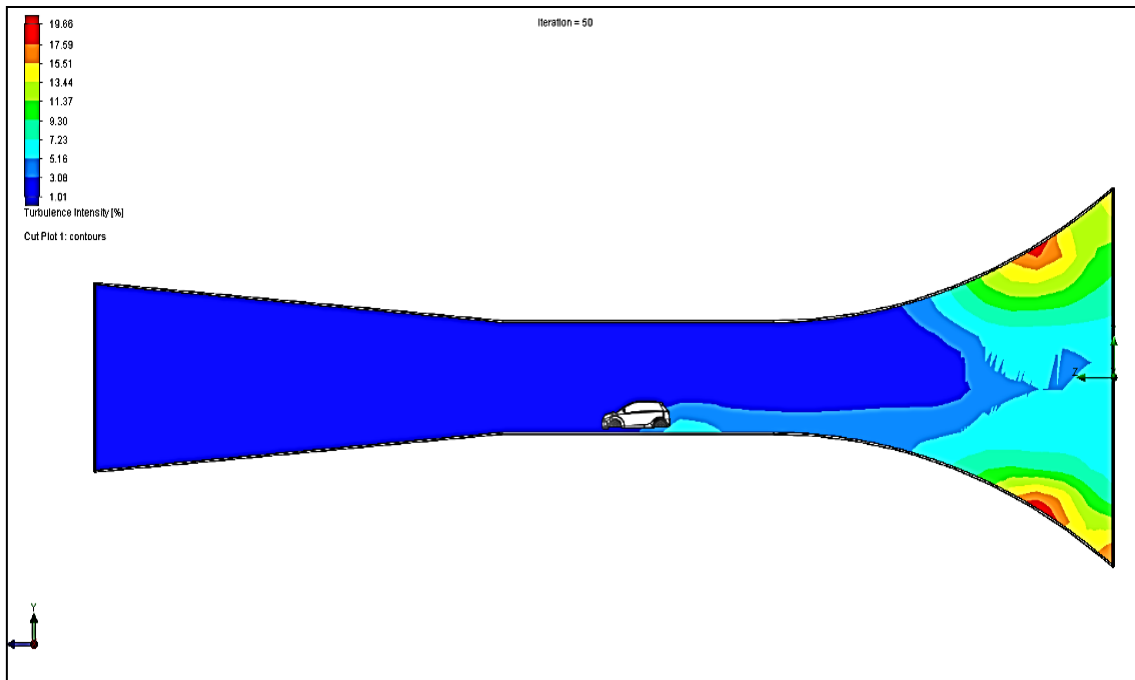


Figura 3-16. Intensidad de turbulencia diseño C.

3.3.4. Diseño D.

La figura 3-17, muestra el diseño D del túnel de viento realizado en el software SOLIDWORKS el cual consta del dimensionamiento de los elementos, y va a constar de 3 etapas para las pruebas de selección.

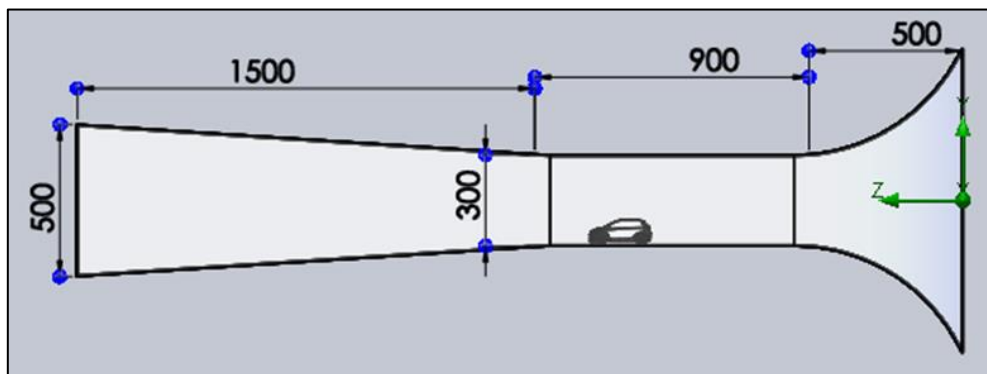


Figura 3-17. Diseño D del túnel de viento para pruebas aerodinámicas.

- Velocidad

La figura 3-18, da a conocer que al distanciar el vehículo del difusor de entrada la velocidad del flujo de aire empieza con un mínimo de fuerza, es decir que el flujo al entrar en contacto con el vehículo no presenta la estela adecuada ni tampoco la velocidad adecuada al ser demasiado largo dando el valor de 24,19 m/s que es menor a los demás

diseños debido a que el diseño del difusor de salida es corto la velocidad disminuye lentamente y los datos son ineficientes.

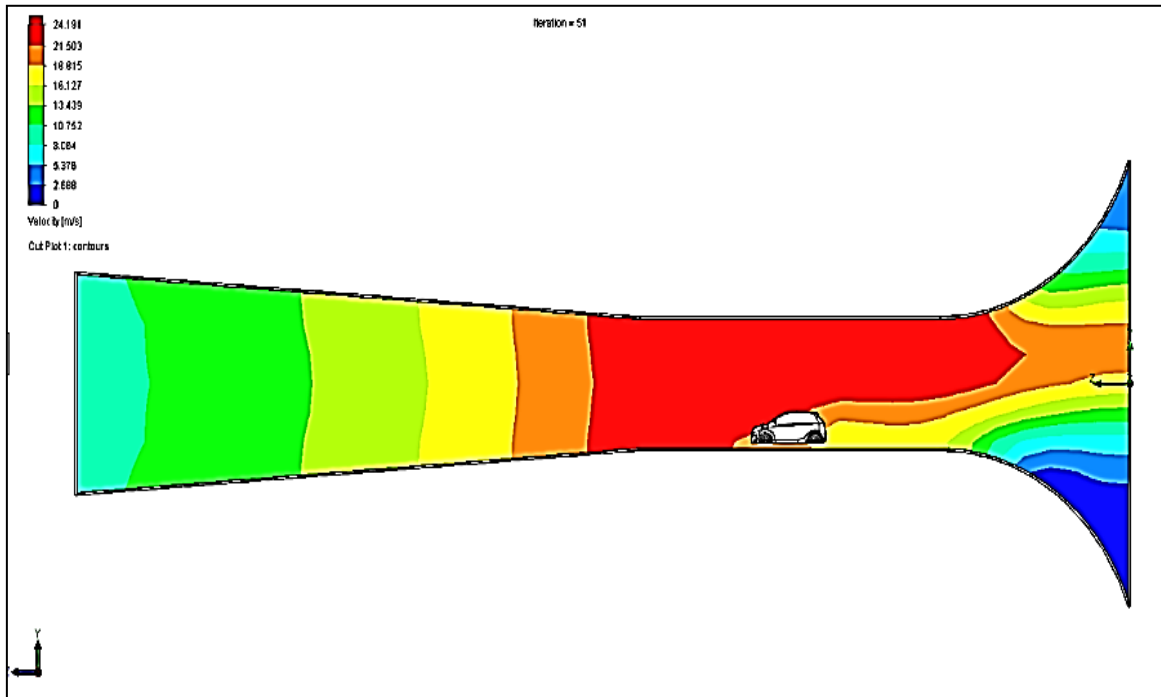


Figura 3-18. Velocidad diseño D.

- Presión.

La figura 3-19, permite observar la presión en el diseño D que por las dimensiones realizadas para el prototipo se obtiene que la presión es muy elevada en casi todo el túnel de viento, el difusor de entrada tiene un valor de 101466 Pa mientras que la velocidad es menor, es decir que este diseño es ineficiente en todos sus elementos.

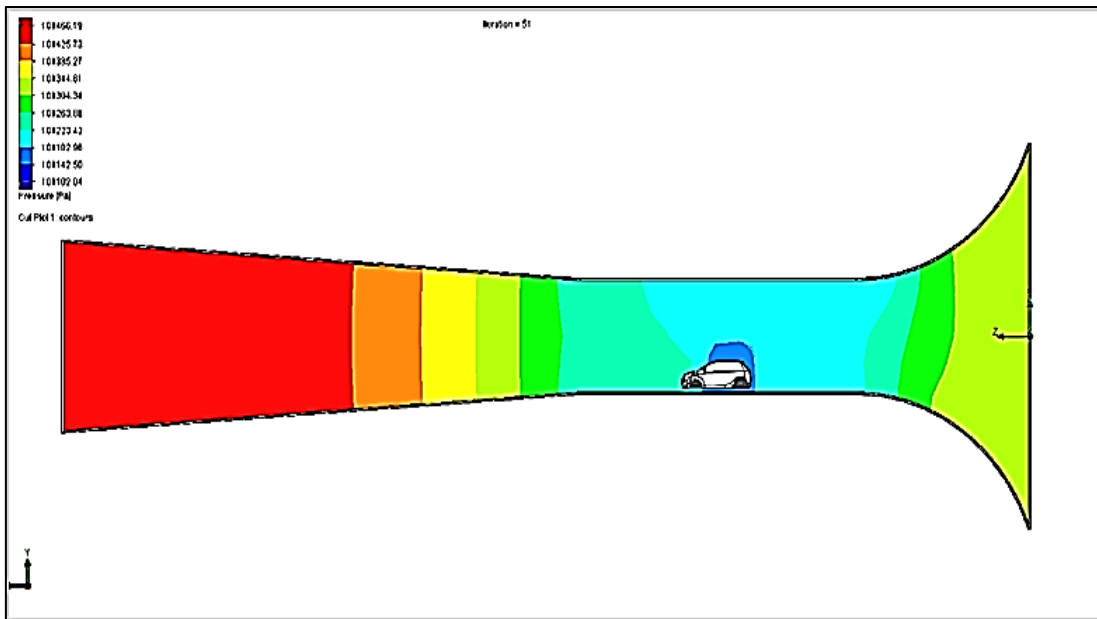


Figura 3-19. Presión diseño D.

- Intensidad de turbulencia.

En la figura 3-20, se analiza la intensidad de turbulencia la cual no es eficiente debido a que no presenta ninguna estela en el vehículo y además el valor que presenta en la cámara de pruebas es de 8% mientras en el elemento de salida llega a un máximo de 132%, es decir que las pruebas a realizar serían ineficientes con datos que no son relevantes.

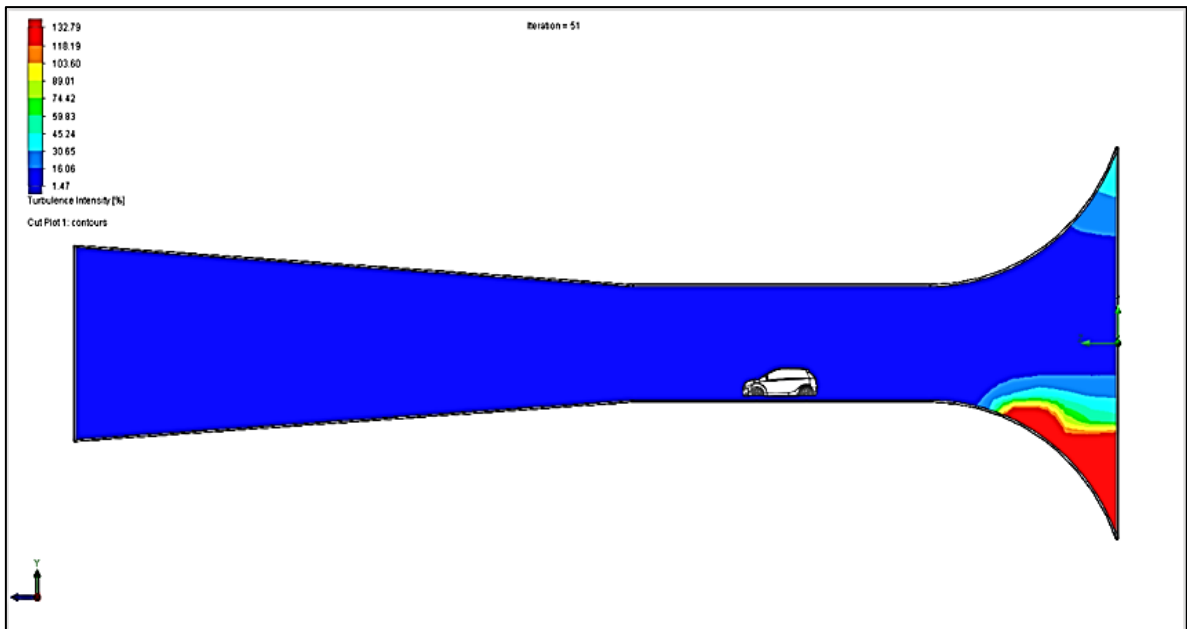


Figura 3-20. Intensidad de turbulencia diseño D.

Luego de realizar pruebas en todos los diseños posibles se logra obtener un cuadro de datos como en el que se compara velocidades, presiones e intensidad de turbulencia para elegir el diseño más adecuado que permita obtener mejor resultados en las pruebas propuestas como se observa en la tabla 3-3.

Tabla 3-2. Tabla comparativa de datos de velocidad, presión e intensidad de turbulencia de los diferentes diseños propuestos.

Condición	Unidad	Diseño			
		A	B	C	D
Velocidad	m/s	72.2	73.7	73.4	24.1
		5	1	7	91
Presión	Pa	1008	1008	1008	1014
		29	42	41	66
Intensidad de turbulencia	%	171.	24.6	19.6	132.
		66	1	6	79

En donde se puede observar que la mejor opción de diseño es C esto se debe a que analizando los datos obtenidos se concluye que en este diseño la velocidad tiende a estabilizarse de mejor manera al pasar el flujo de aire por el vehículo. Además, se puede observar que los datos de presión se encuentran en rangos similares por lo que la elección se basa en la intensidad de turbulencia ya que es un aspecto muy importante en la seguridad del vehículo como también en su estabilidad, entre menor sea el rango de turbulencia mejores datos se obtienen al realizar las pruebas a los diferentes vehículos.

3.4. Incorporación de los datos dentro del software.

Después de realizar el dimensionamiento de los vehículos se prosigue con el túnel de viento con los datos recopilados y el diseño progresivo de todos sus elementos y partes principales. El diseño más eficiente para realizar las pruebas de los vehículos es el “C”, también la elección de la escala propuesta en el trabajo favoreció para un correcto funcionamiento y una buena fase de adaptación en la realización de pruebas.

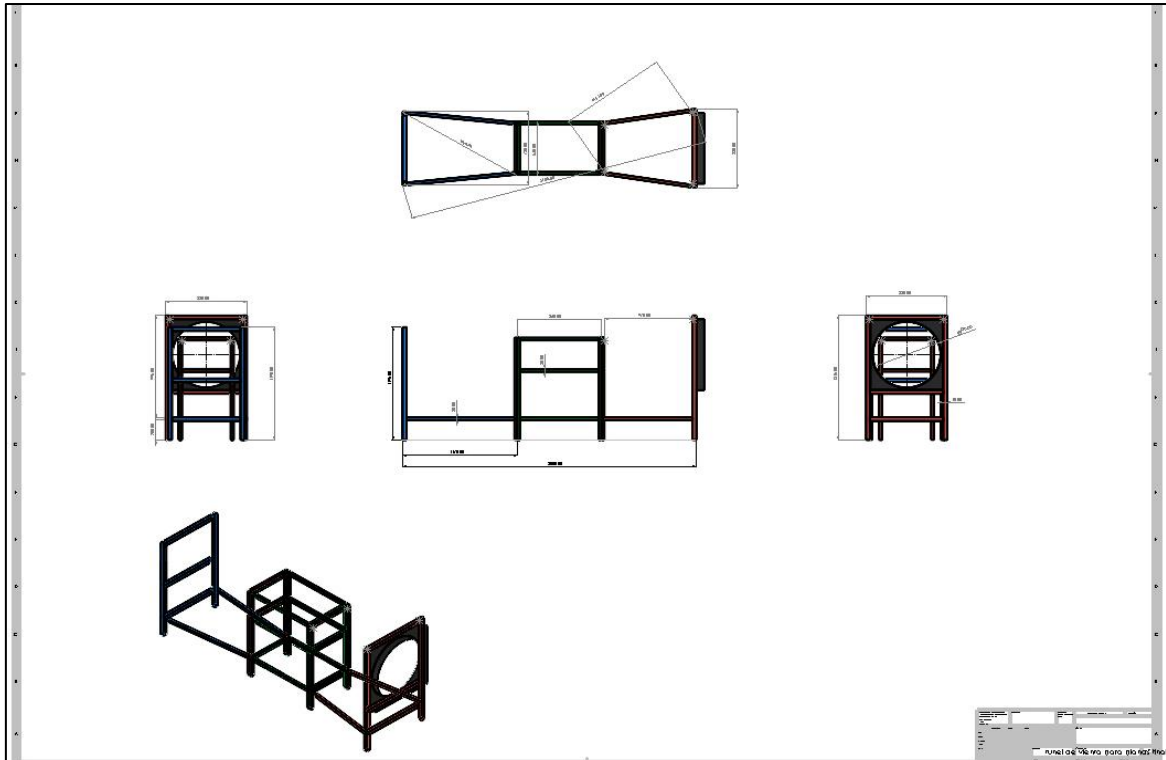


Figura 3-21. Modelado 2D del túnel de viento.

Una vez procesado los diseños y seleccionado el que mejor ayudará en las pruebas aerodinámicas se procede a seleccionar los planos definitivos y pasarlo al modelado 3D en el que se podrá observar el elemento finalizado y listo para ser construido en tiempo real. Los vehículos modelados en el Software SOLIDWORKS pasan a la siguiente etapa que comienza con las pruebas aerodinámicas.

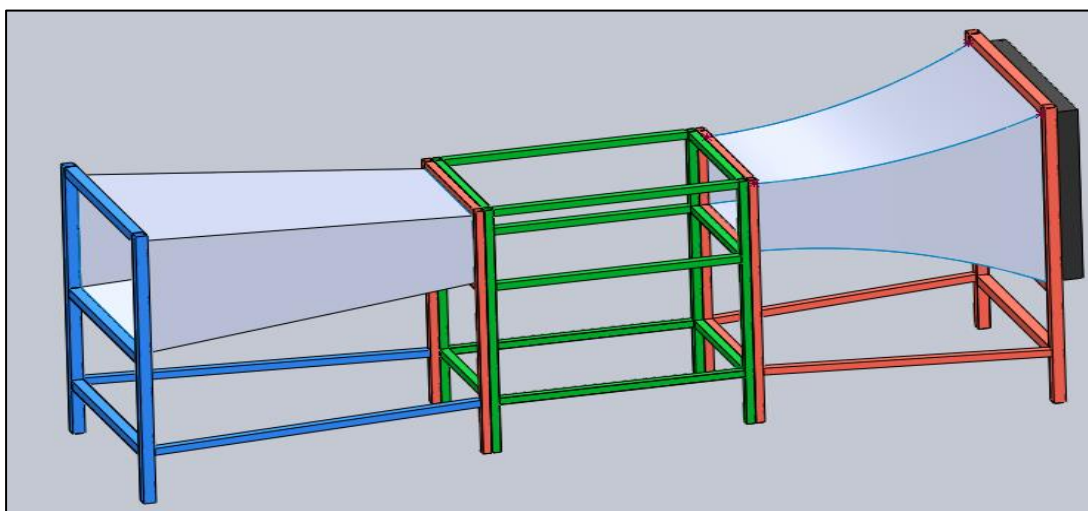


Figura 3-22. Modelo 3D del túnel en el cual se realizarán las pruebas.

3.5. Proceso de diseño en el software CAD.

En este proceso se utilizó el software SOLIDWORKS que es una herramienta que permite realizar modelados en 2D y 3D. Una vez especificado los vehículos a realizar pruebas, se procede a diseñar y construir una matriz desde los planos. Los diseños de los vehículos pasan desde el dimensionamiento hacia el modelado en 3D para poder obtener los datos reales de los vehículos en cuanto a medidas. Todo lo referente a estos datos se encuentra en los manuales técnicos de los vehículos tomando en cuenta las medidas se procede a ingresar al programa CAD SOLIDWORKS.

En el modelado se debe realizar un análisis de las escalas con las cuales se va a trabajar, en el caso del estudio a realizar se procede con la escala 1:18 esto debido a que las pruebas se harán en base a un prototipo de túnel de viento. Todo el material dimensionado permitirá realizar las pruebas de manera eficiente, los planos a escala real de los vehículos y del túnel de viento son transformados mediante un proceso matemático.

- **KIA Picanto.**

La figura 3-23, permite observar las cotas correspondientes al primer vehículo KIA Picanto, las cuales permitieron el diseño y elaboración de forma adecuada del vehículo dentro del software.

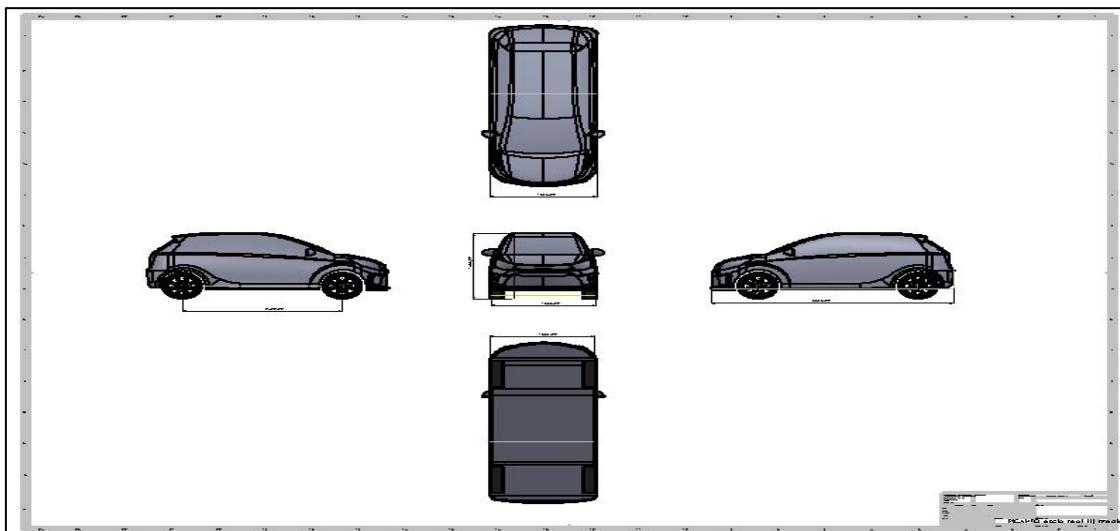


Figura 3-23. Plano 2D del Vehículo KIA Picanto.

La figura 3-24, muestra el primer vehículo de pruebas diseñado en 3D en el software SOLIDWORKS.

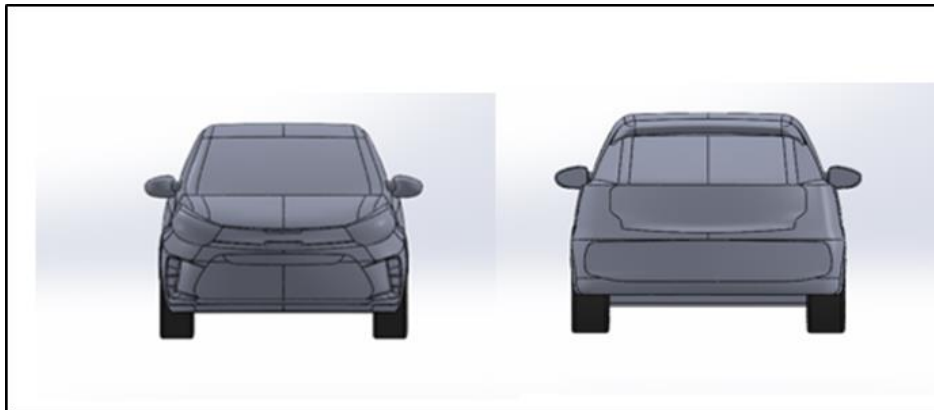


Figura 3-24. Parte delantera y posterior del vehículo KIA Picanto.

- **CHEVROLET Sail.**

La figura 3-25, permite observar las cotas correspondientes al segundo vehículo CHEVROLET Sail de la misma forma en sus respectivos ángulos, las cuales permitieron el diseño y elaboración de forma adecuada del vehículo dentro del software.

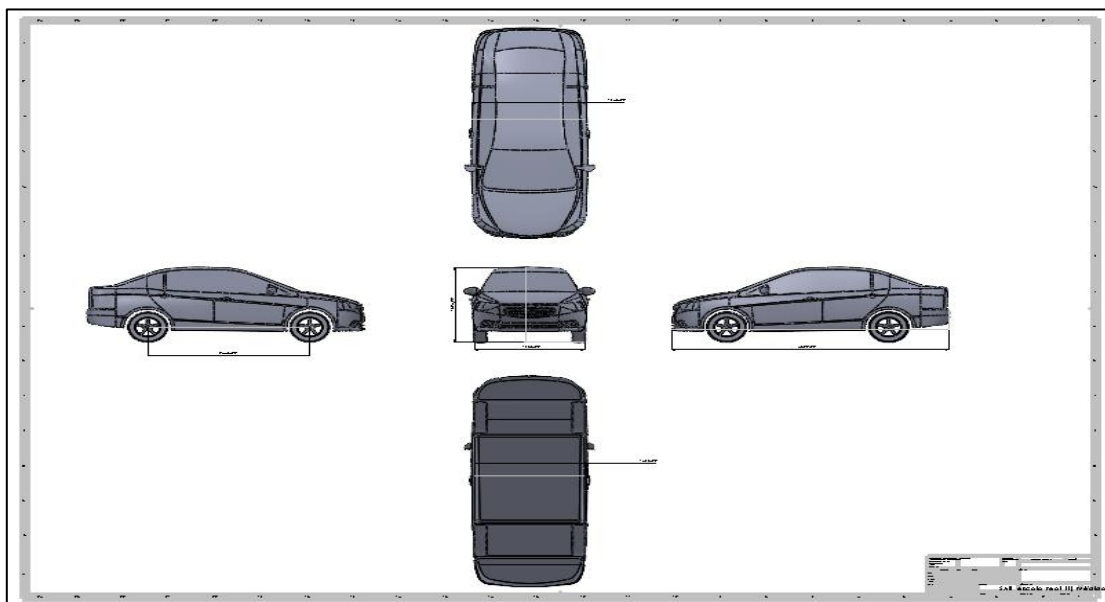


Figura 3-25. Plano 2D del Vehículo CHEVROLET Sail.

La figura 3-26, muestra de igual forma la parte frontal y posterior diseñada en el software de SOLIDWORKS. De la misma manera como con la anterior se someterá a diversas pruebas aerodinámicas.

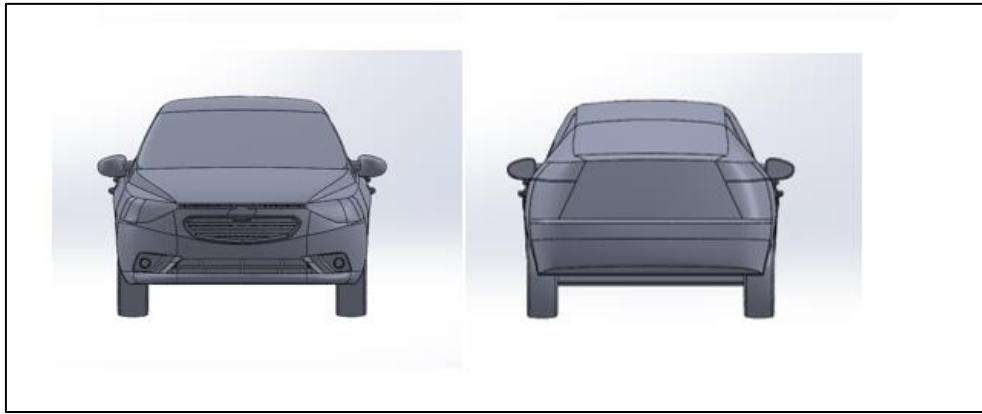


Figura 3-26. Parte delantera y posterior del vehículo CHEVROLET Sail.

- **CHEVROLET Grand Vitara SZ.**

La figura 3-27, permite observar las cotas correspondientes al tercer vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ, que se realizaron para el diseño y elaboración adecuada del vehículo dentro del software.

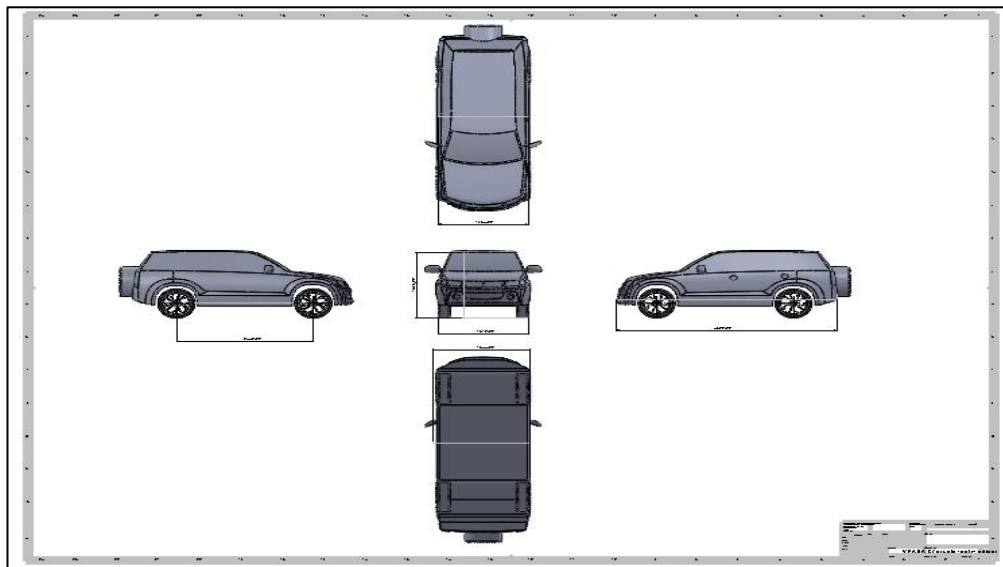


Figura 3-27. Plano 2D del Vehículo CHEVROLET Gran Vitara SZ.

La figura 3-28, muestra el diseño del vehículo en su parte frontal y posterior de la misma manera diseñada en SOLIDWORKS. Se procede luego de diseñar a realizar las diversas pruebas aerodinámicas.

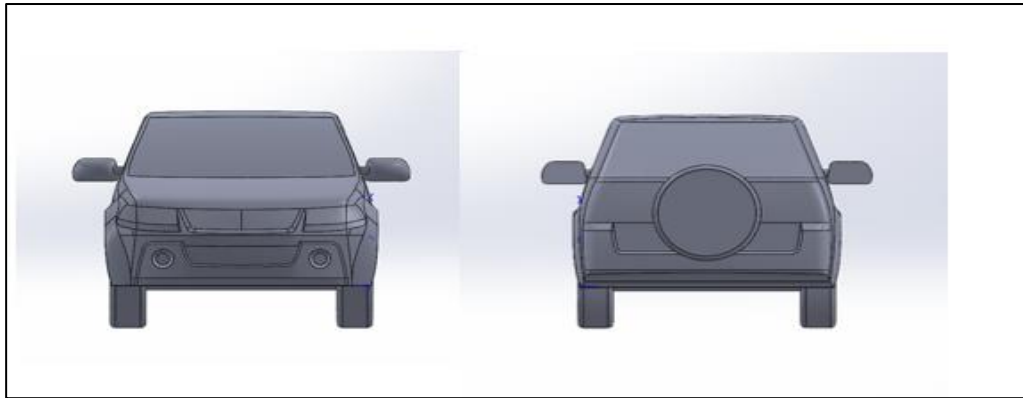


Figura 3-28. Parte delantera y posterior del vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ.

Luego de realizar las mediciones correspondientes y los planos en 2D con las medidas reales de los vehículos se realiza el dimensionamiento a escala 1:18 en el cual las cotas de los planos cumplen una función importante para el diseño e impresión de los vehículos que pasarán por diversas pruebas en el túnel a escala real.

En la tabla 3-3, se observa los cambios de medidas reales a medidas a escala 1:18.

La división de 1/18 es igual a 0.056.

Tabla 3-3. Medidas reales y a escala 1:18 de los vehículos.

Modelo	Medida	Altura (mm)	Longitud (mm)	Ancho (mm)
KIA Picanto	Real	1485	3595	1595
	Escala 1:18	83.16	201.32	89.32
CHEVROLET Sail	Real	1504	4300	1735
	Escala 1:18	84.22	240.8	97.16
CHEVROLET Grand Vitara SZ	Real	1695	4500	1810
	Escala 1:18	94.92	252	101.36

3.6. Simulación en el Software ANSYS.

Para realizar las simulaciones de CFD con Ansys se debe modelar en tres dimensiones un cubo por donde pasará el volumen del aire como se observa en la figura 3-29 y 3-30, se debe especificar los bordes o límites en donde terminará el flujo de aire.

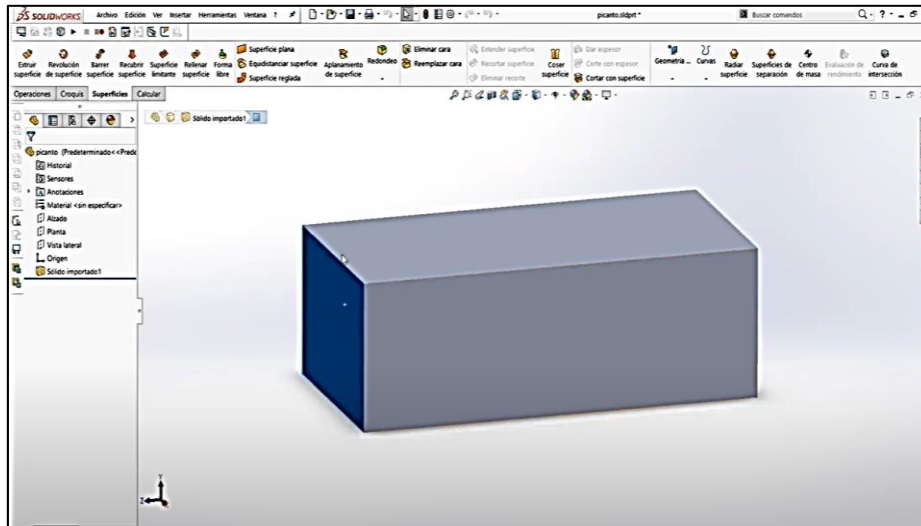


Figura 3-29. Borde lateral del cubo.

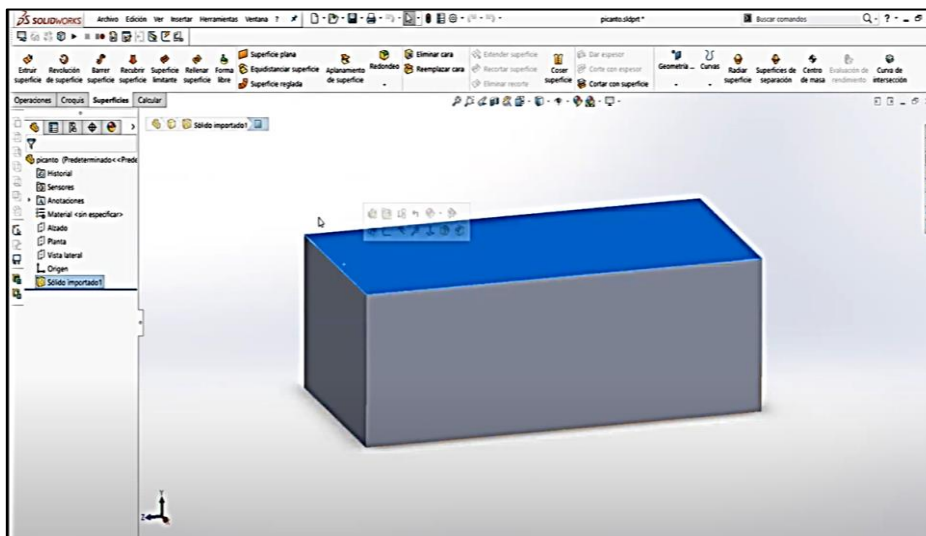


Figura 3-30. Borde superior del cubo.

En la figura 3-31, se observa que dentro de estos cubos los cuales se realizan para cada vehículo están los modelos que mediante la herramienta de vaciado se puede visualizar la estructura la cual se someterá a las pruebas.

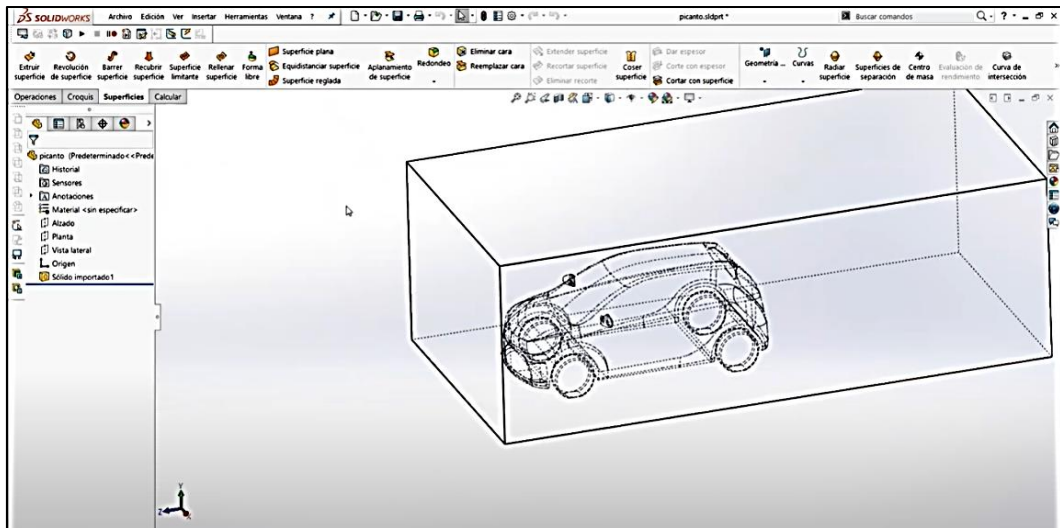


Figura 3-31. Estructura para simulación dentro del cubo, KIA Picanto

En los vehículos se realizó el descarte de algunas partes o elementos, por ejemplo, del KIA Picanto se descartó las manijas de apertura de las puertas debido a que presentaba problemas con el mallado. Este proceso se realizó para todos los modelos, permitiendo crear una buena base de mallado para las pruebas cómo se observa en la figura 3-32.

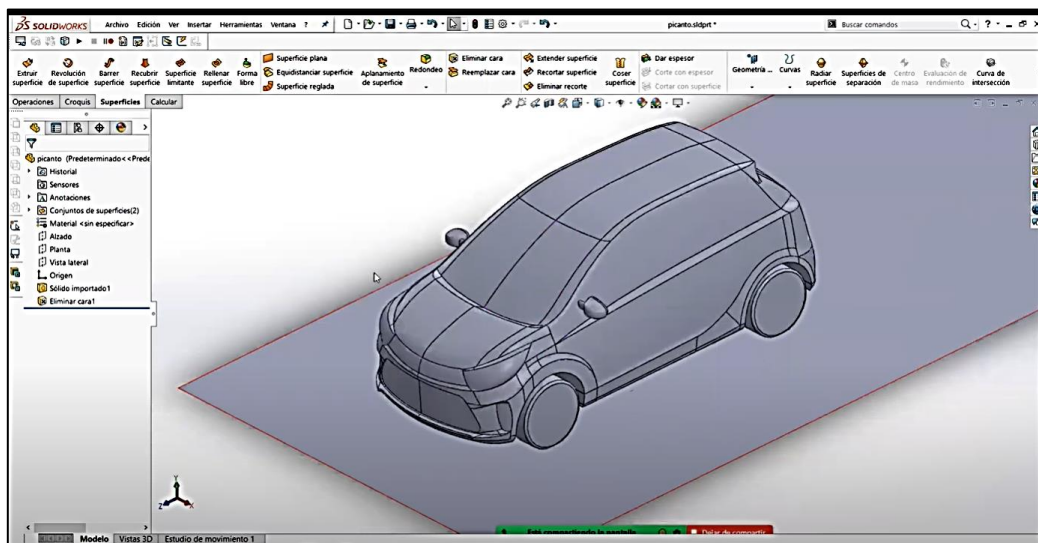


Figura 3-32. Solido en área para las pruebas de simulación, KIA Picanto.

Luego de realizar este proceso se trabaja con el CAD de ANSYS en este caso llamado SpaceClaim, su interfaz se puede visualizar en la figura 3-33.

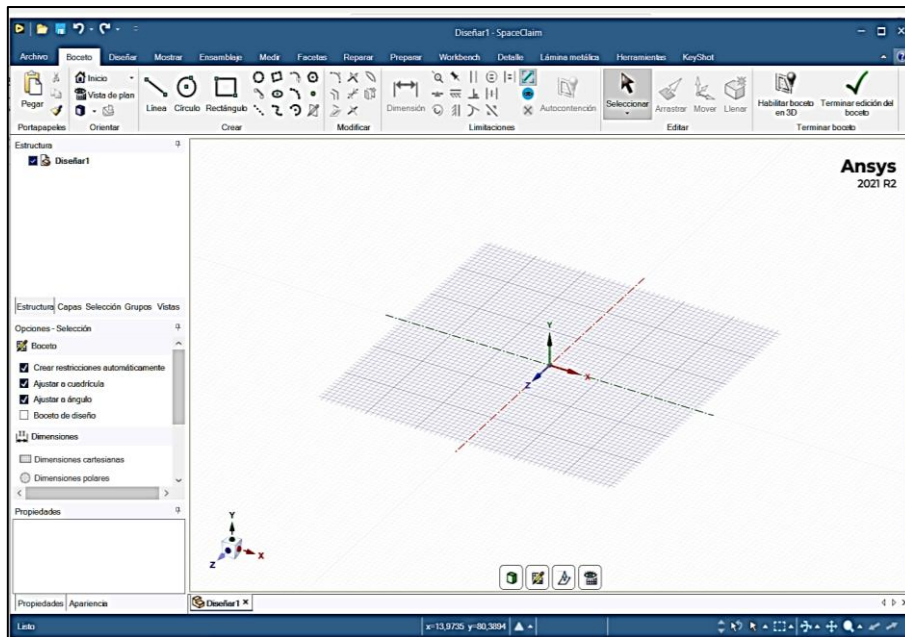


Figura 3-33. Interfaz de SpaceClaim.

Donde luego de cargar el sólido dentro de esta se podrá observar de forma transparente donde se encuentra ubicado el vehículo para poder realizar los respectivos ajustes necesarios para fijar por donde pasará el flujo de aire como se visualiza en la figura 3-34.

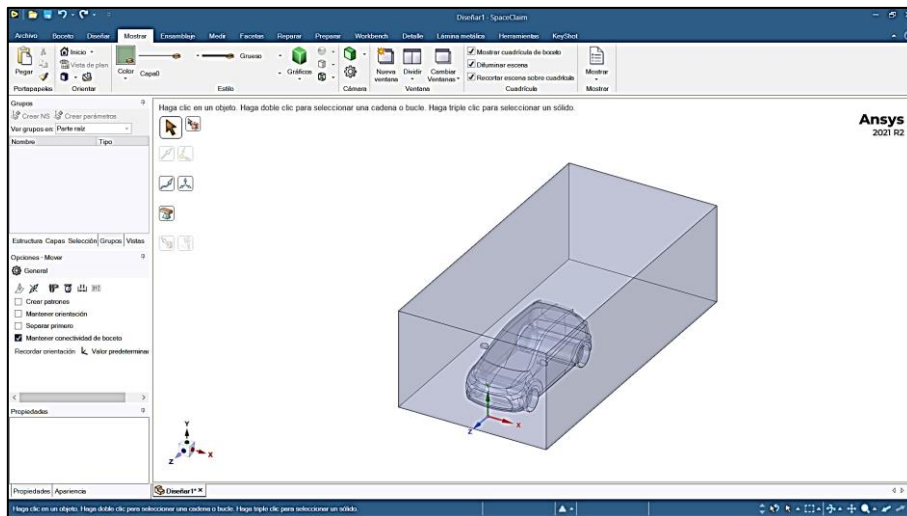


Figura 3-34. Sólido dentro de la interfaz SpaceClaim.

La figura 3-35, permite visualizar los “names selection”, el programa SpaceClaim es principalmente para crear nombre o grupos que se conocen como (NS) permite realizar una correcta entrada y salida del flujo de aire al momento de pasarlo a la simulación.

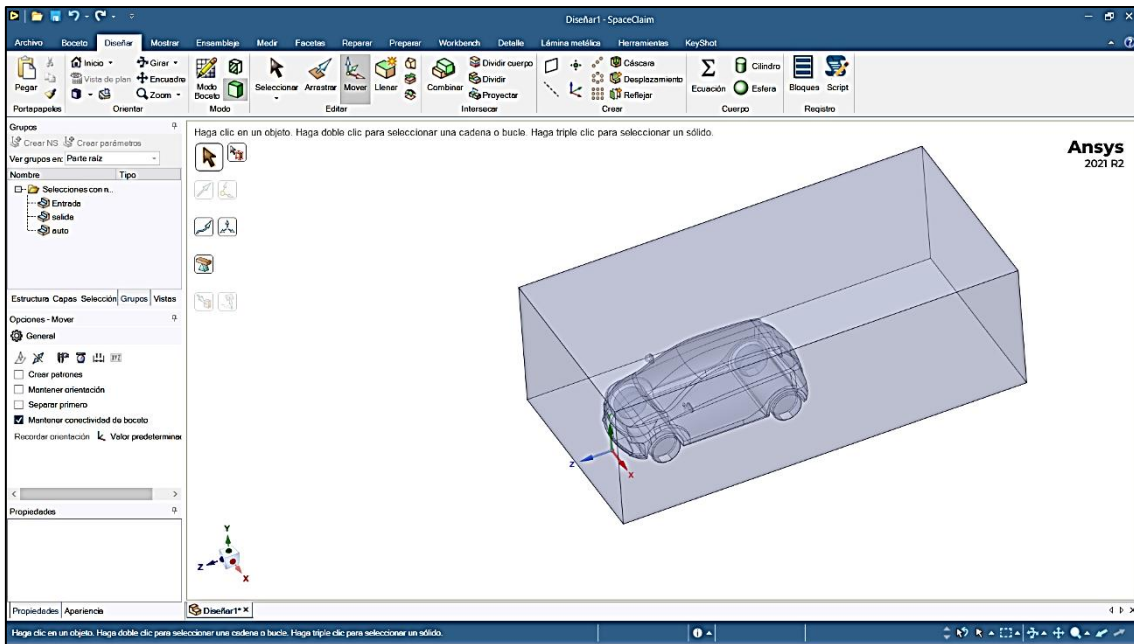


Figura 3-35. Configuración de entrada y salida para la simulación, KIA Picanto.

La figura 3-36, permite visualizar la interfaz Workbench de ANSYS la cual permite el uso de diversas herramientas que son de fácil acceso para los trabajos de simulaciones y que y también permite guardar los diversos análisis con los que se trabaja en los vehículos.

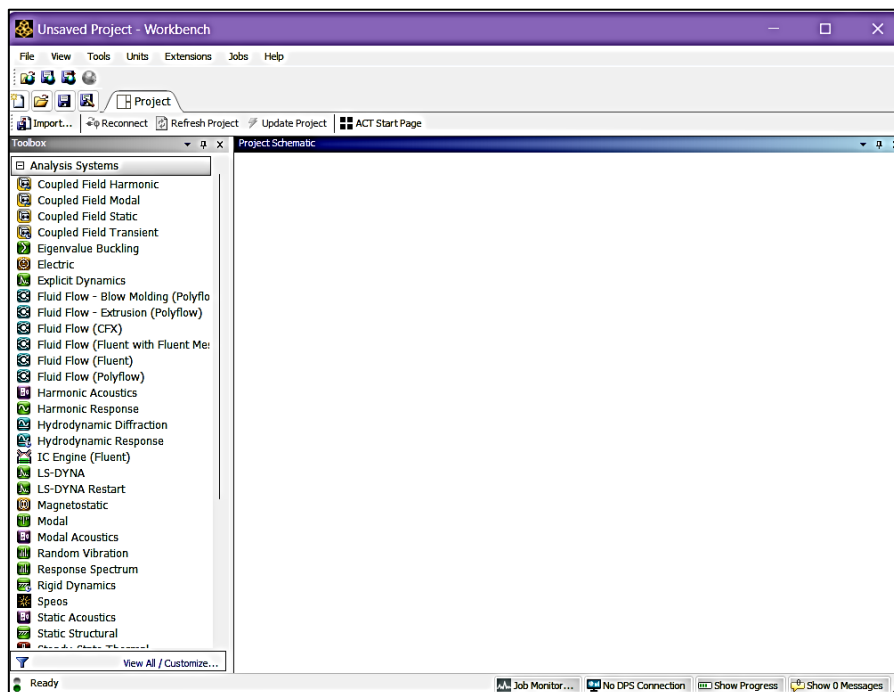


Figura 3-36. Interfaz Workbench.

La Figura 3-37, permite visualizar la interfaz en la que se realizó para cada vehículo un proceso en donde se escogió la opción de Fluid Flow (Fluent with Fluent Meshing) la cual despliega una serie de pasos que se completaron para poder procesar una simulación en el software de ANSYS correcta que permitió una excelente visualización de las diversas pruebas.

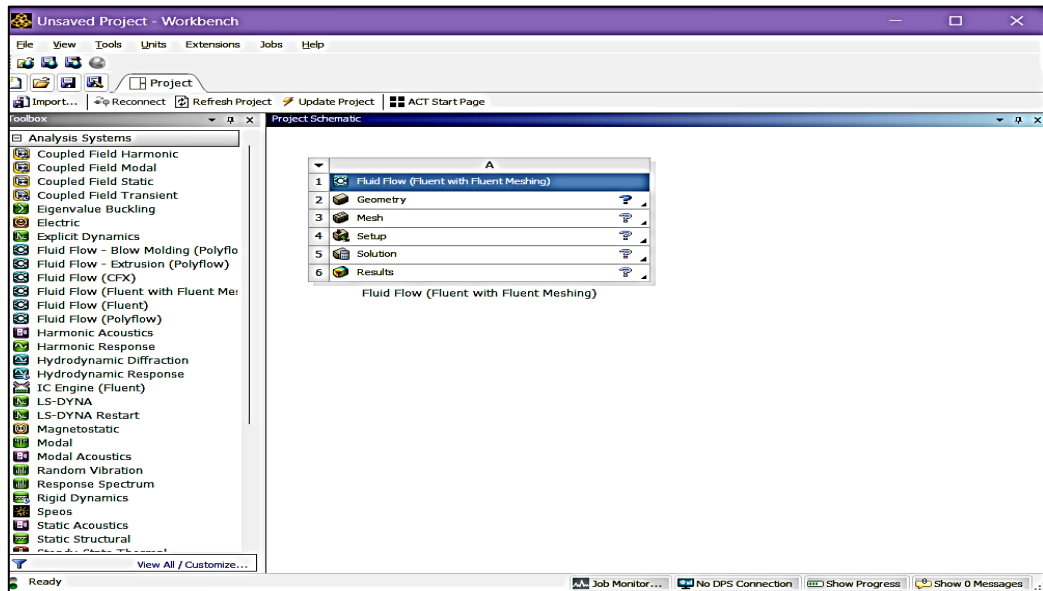


Figura 3-37. Pasos por realizar para programar la simulación de los vehículos.

En el tercer paso se despliega una nueva interfaz de trabajo que se muestra en la figura 3-38 se debe realizar otro proceso el cual de la misma forma consta con varios pasos los cuales son de suma importancia para el procedimiento de simulación.

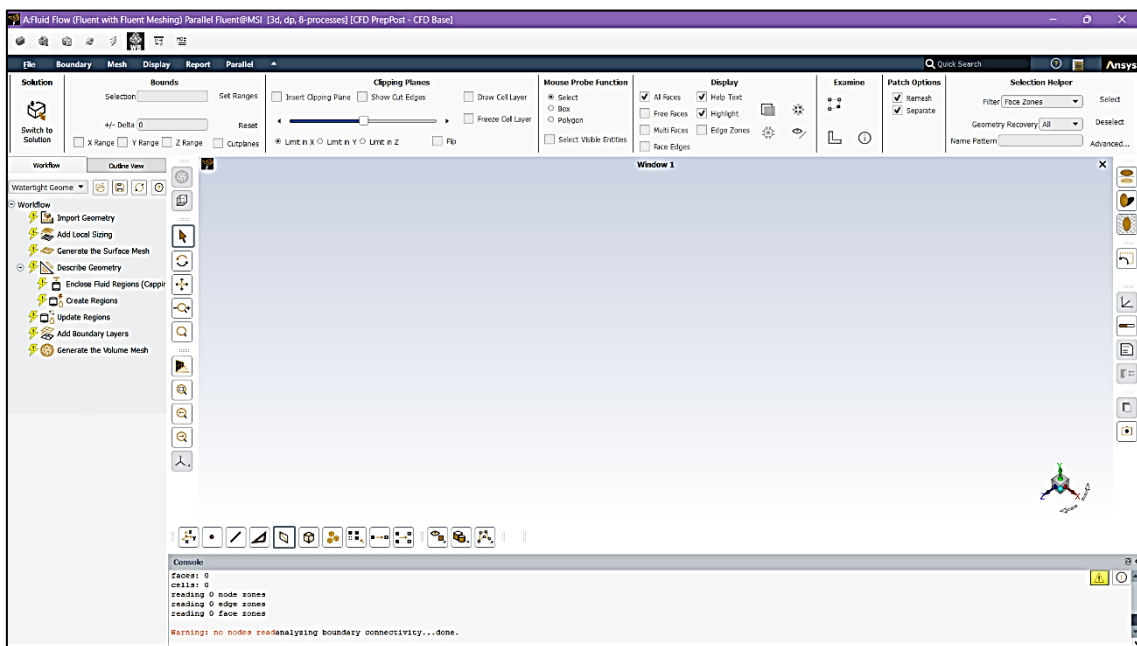


Figura 3-38. Interfaz de trabajo del paso 3 de la simulación en ANSYS.

En la figura 3-40 luego de completar todos los pasos requeridos se creó una malla la cual nos permite verificar que porcentaje de factibilidad tiene realizar la simulación según una tabla ya verificada de calidades de mallas, donde la calidad es de un 0.18 dentro de la escala se constata que es una malla aceptable la cual se visualiza en la figura 3-39.

Skewness mesh metrics spectrum					
Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

Orthogonal Quality mesh metrics spectrum					
Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00

Figura 3-39. Tabla de calidad para las diferentes mallas.

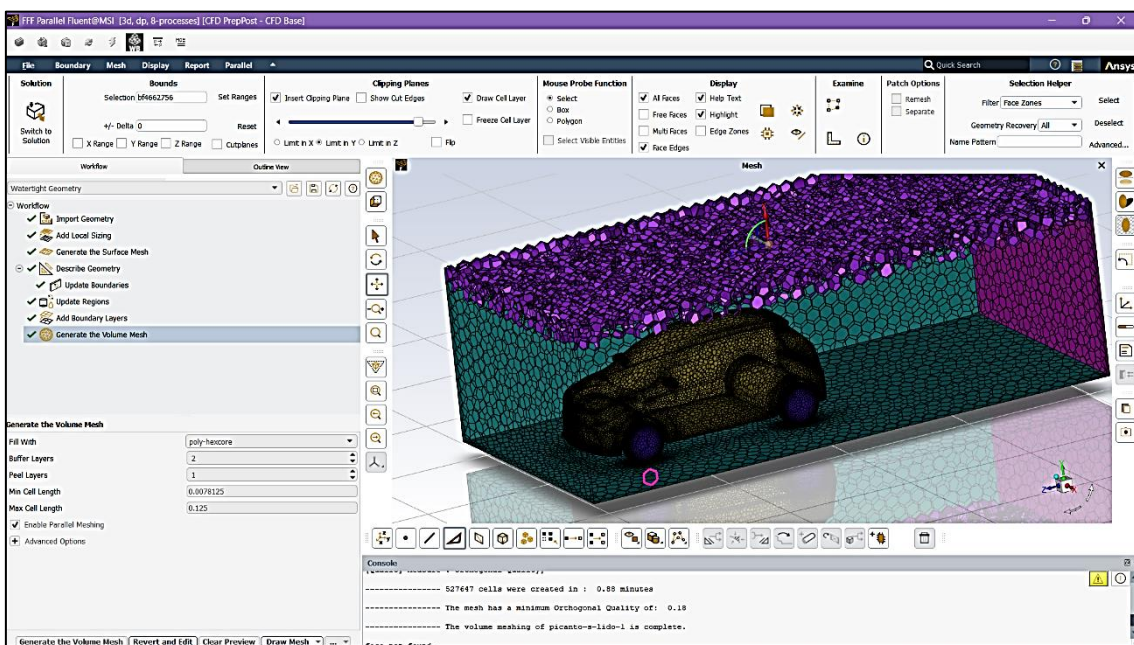


Figura 3-40. Malla realizada en la interfaz con una calidad de 0.18 dentro de la escala.

Luego de verificar que la malla es adecuada se procede al paso número 4 que es el (Fluent) el cual se visualiza en la figura 3-41. Permite agregar condiciones de simulación, velocidad de fluido, presión de salida, el tipo de análisis de trabajo, resultados a observar y los lapsos de tiempo de forma transitoria.

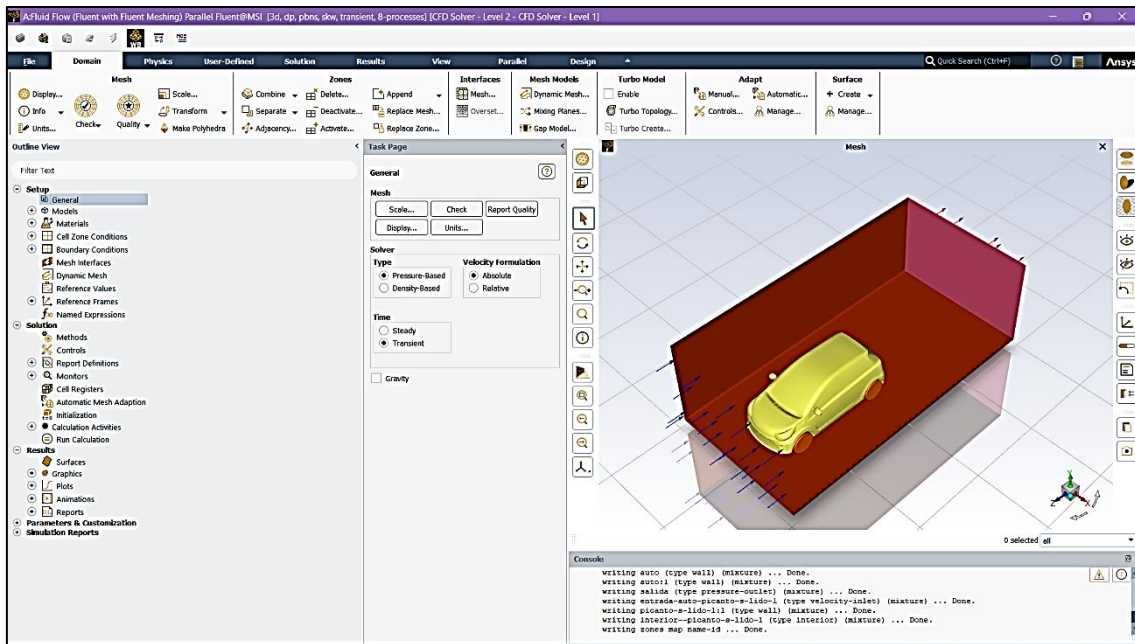


Figura 3-41. Interfaz de Fluent, permite dar condiciones de trabajo.

El siguiente paso fue colocar las opciones correspondientes para realizar un análisis CFD laminar que no presente ningún inconveniente como se visualiza en la figura 3-42.

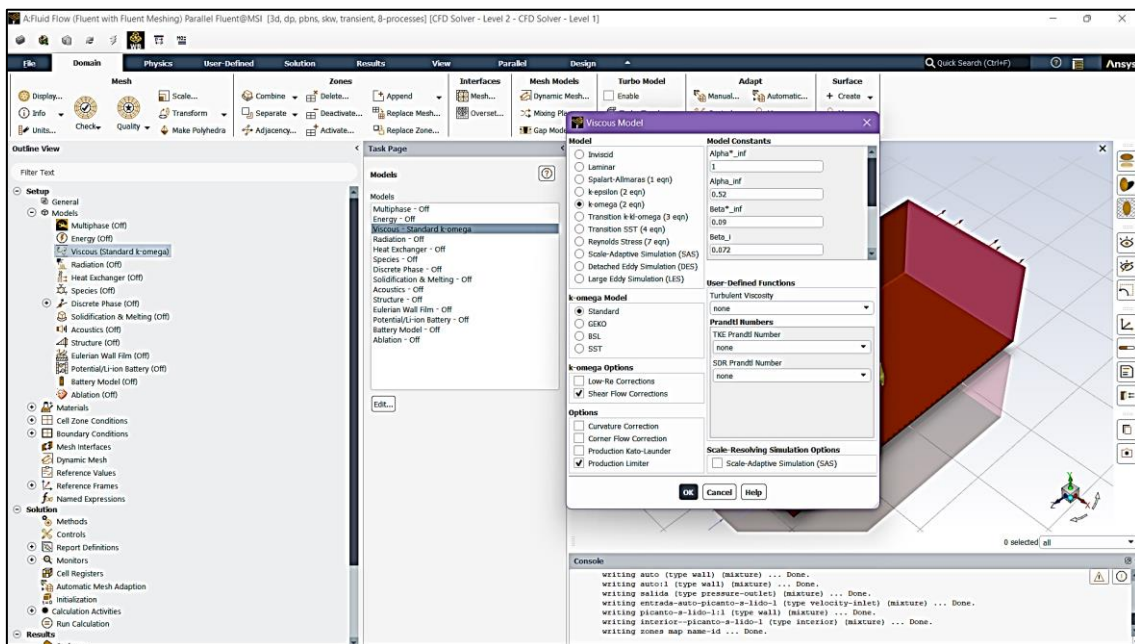


Figura 3-42. Condiciones para un análisis Laminar.

La Figura 3-43, muestra las condiciones de simulación en donde se colocó la velocidad a la que el fluido va a ingresar, así como también las condiciones de salida en las que el fluido va a finalizar, todo de acuerdo a la demanda de las pruebas o las condiciones que se requieran para los correspondientes estudios del trabajo de titulación.

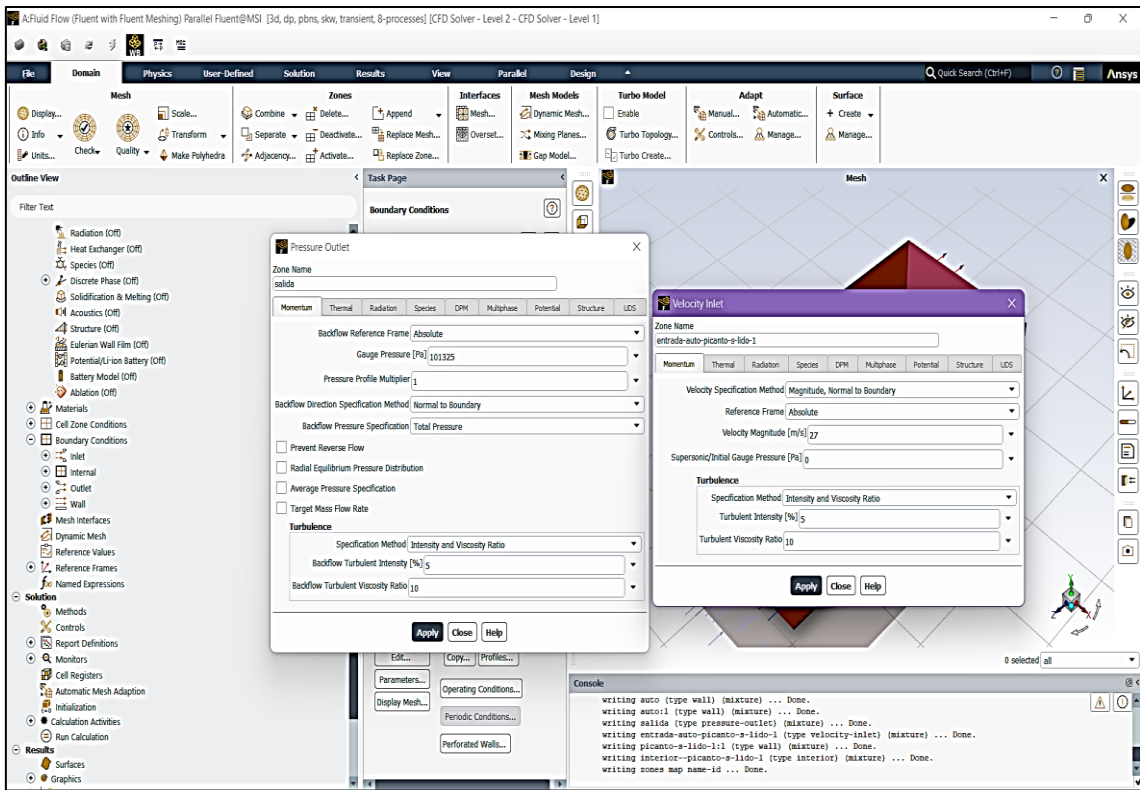


Figura 3-43. Condiciones de entrada y salida para el vehículo a prueba.

Las condiciones de entrada son variables en este caso está a una velocidad de 27m/s, es decir a 100km/h, y la salida es a una presión normal de 101325 Pa. En la figura 3-44 se observa todo lo que se requirió calcular en la simulación es decir los resultados necesarios para obtener dentro de los objetivos planteados.

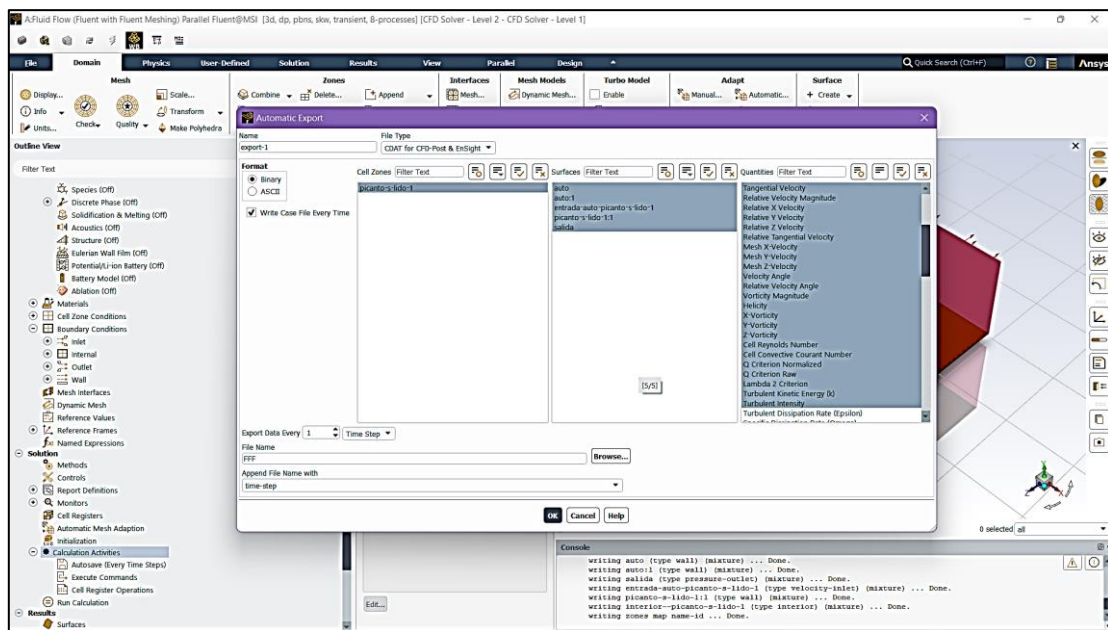


Figura 3-44. Señalización de resultados a obtener en la simulación.

Cuando se haya completado todo lo requerido se empezó a correr el programa para verificar todos los elementos que se han fijado procesar, es la finalización de todas las etapas que permite observar los cálculos correspondientes y verificar todo tipo de resultados que se planteó analizar en las simulaciones.

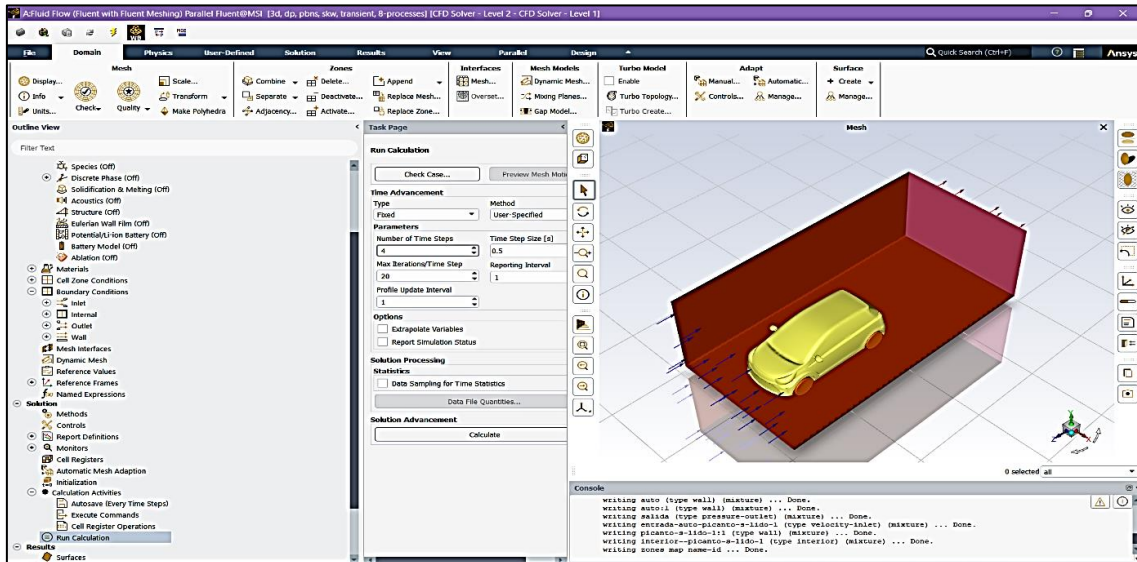


Figura 3-45. Finalización de las etapas de simulación.

Cabe recalcar que este proceso se lo hizo con todos los vehículos incorporados a las pruebas aerodinámicas propuestas en el trabajo de titulación, es decir a los tres vehículos a someterse a pruebas para verificar cuál de ellos es el mejor aerodinámicamente y de la misma forma observar los elementos que se encuentran bajo un punto de turbulencia que es la parte más importante a la hora de verificar el diseño de un automóvil.

En la figura 3-46, se analizó varios aspectos como son las curvas que comienzan de manera laminar con una trayectoria lineal que va cambiando según el flujo de aire va pasando por los diversos elementos del vehículo que presentan una mayor índice de riesgo en las velocidades de prueba por la trayectoria y cambio de flujo.

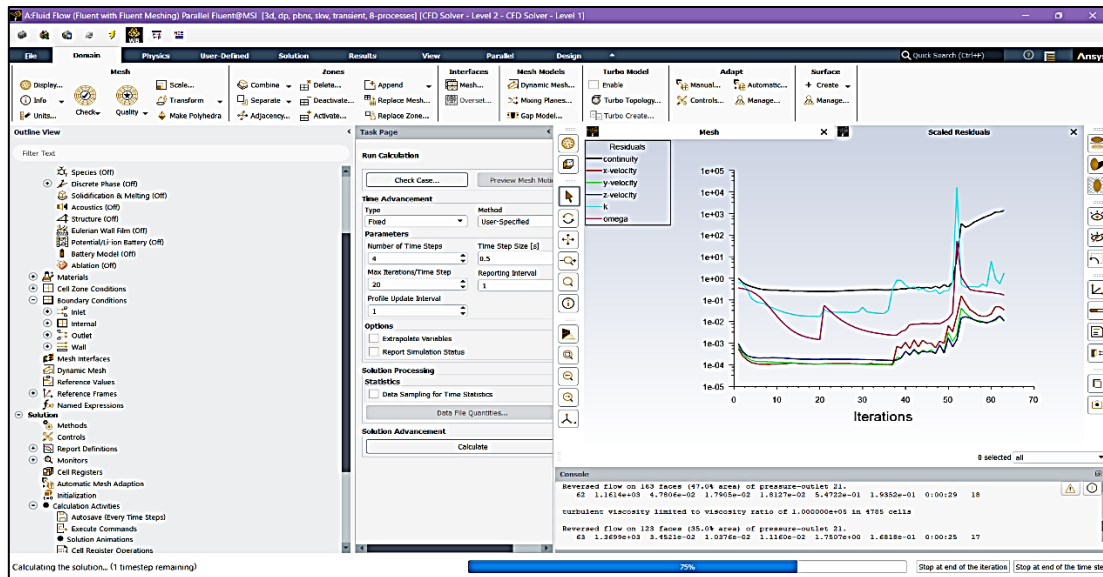


Figura 3-46. Curvas del flujo de aire con respecto a la superficie del vehículo.

Al finalizar se dio paso a la interfaz de workbench arrastrando los resultados hacia el elemento de “solutions” la cual contiene todo el proceso de simulación como se visualiza en la figura 3-47.

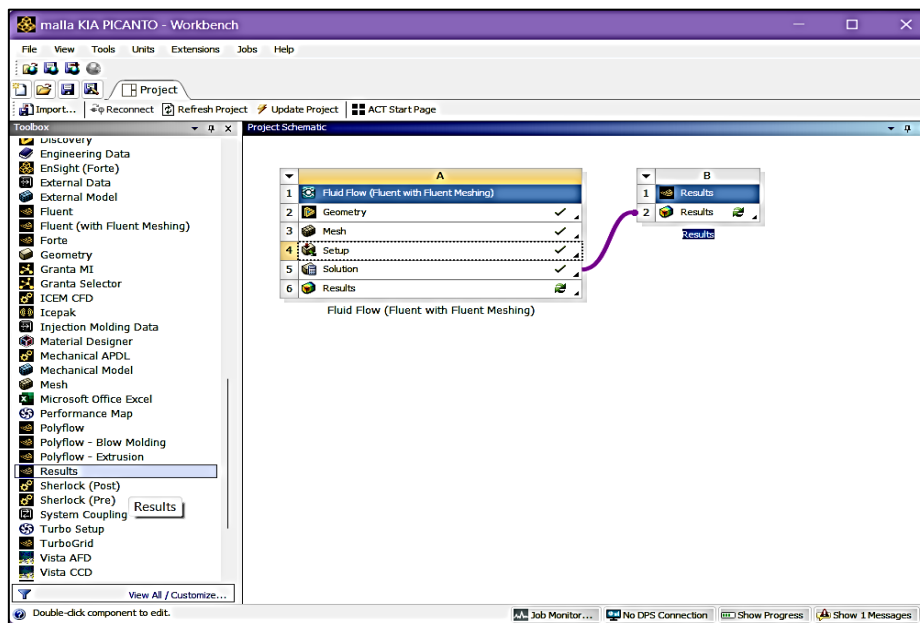


Figura 3-47. Resultados de la planificación para la simulación aerodinámica.

3.7. Realización de pruebas aerodinámicas de los vehículos a diferentes regímenes de velocidad.

Se realizó pruebas en el software CAD para constatar el comportamiento del flujo de aire, el análisis fue verificado en los vehículos a un régimen de velocidad específica el

cual es en este caso de 10m/s o 36km/h en donde se obtienen resultados de velocidad, presión, densidad y fuerza según corresponde.

3.7.1. Simulación en SOLIDWORKS.

- **KIA Picanto.**

La figura 3-48, muestra el primer vehículo, el cual es sometido a diversas pruebas aerodinámicas en este caso las simulaciones son de la velocidad, densidad y presión.

El vehículo se encuentra a una velocidad referencial de 27.78 m/s donde se observa que no presenta mayor problema en la parte delantera y posterior, sin embargo, existen posibles riesgos en la parte del techo, pero no resulta relevante debido a la distancia a la que se encuentra el color rojo que representa peligro del vehículo.

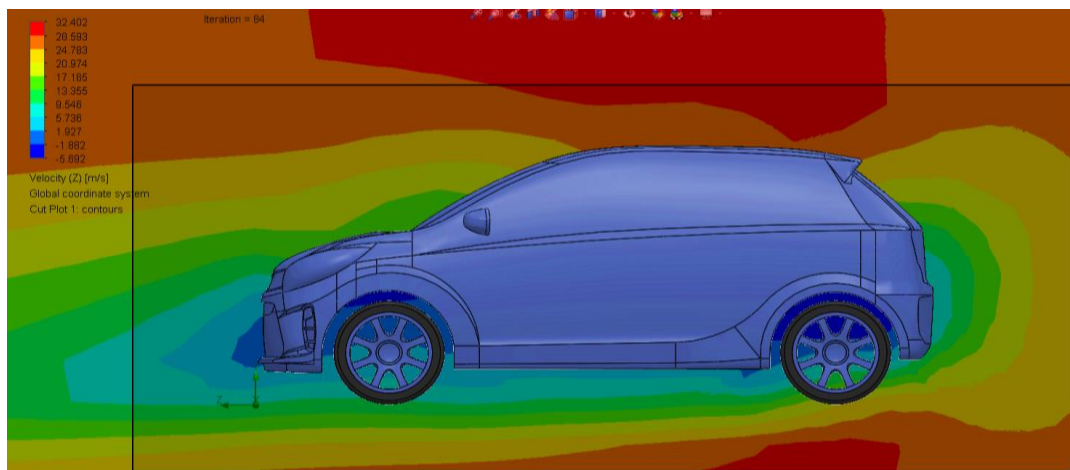


Figura 3-48. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo KIA Picanto en base a la velocidad.

La figura 3-49, permite observar la densidad en el vehículo, no es de gran relevancia a una velocidad de 27.78 m/s por lo que la resistencia aerodinámica no es tan grande como para afectar la trayectoria del vehículo y su valor es de 0.93 kg/m³.

Pero cabe recalcar que la condición de densidad no suele variar en los vehículos debido a que esta es prácticamente constante.

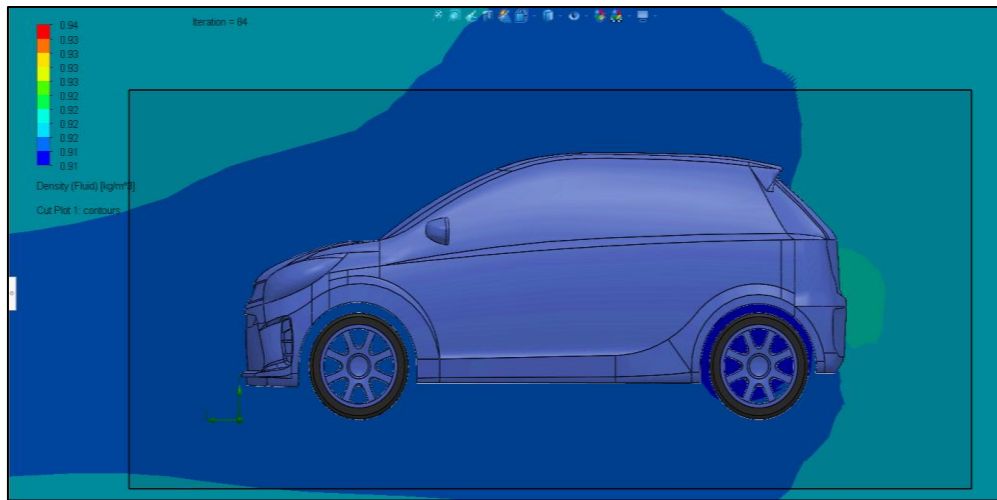


Figura 3-49. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la densidad.

La figura 3-50, muestra cómo influye la presión del vehículo conforme la velocidad referencial vaya aumentando o disminuyendo, el valor de la presión del KIA Picanto es de 79238.72 Pa, quiere decir que se encuentra dentro del rango óptimo para que el vehículo no presente falencias en ninguno de sus elementos.

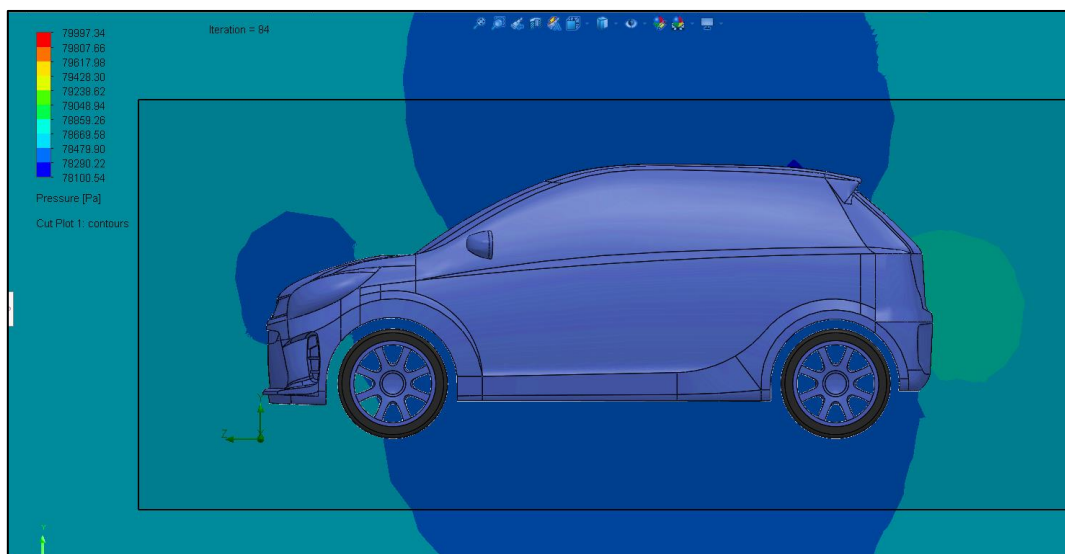


Figura 3-50. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la presión.

- **CHEVROLET Sail.**

Se analiza el segundo vehículo, de la misma forma es sometido a diversas pruebas aerodinámicas en este caso las simulaciones son de la velocidad, densidad y presión.

En la figura 3-51, observamos cambios potenciales en cuanto a comparación del primer vehículo, encontramos que a la velocidad referencial de 27.78 m/s el diseño del vehículo es mucho más ineficiente debido a que tenemos mayor número de franjas rojas que significa un mayor índice de peligrosidad conforme va aumentando la velocidad.

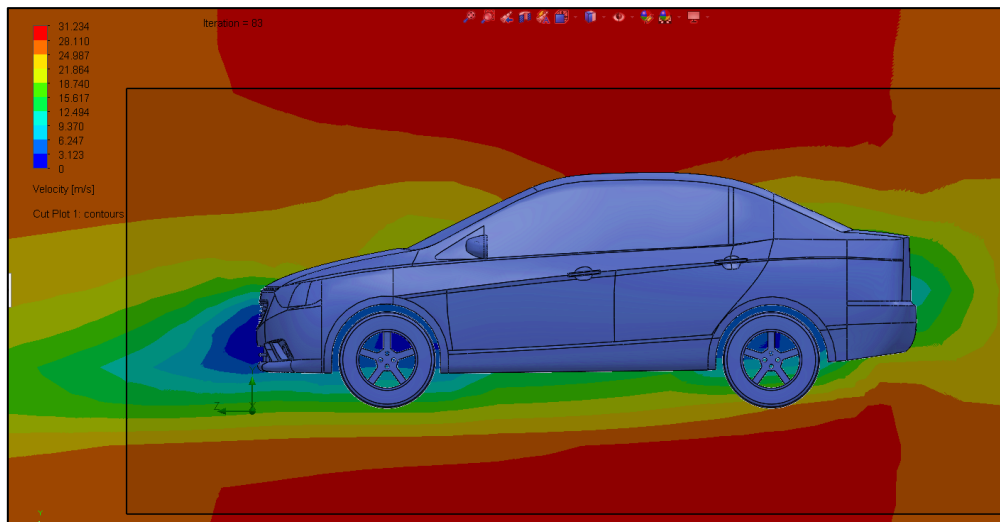


Figura 3-51. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la velocidad.

En la figura 3-52, observamos que la densidad prácticamente no varía demasiado, con un valor de 0.92 Kg/m³ por lo que tomamos la referencia anterior de que es aproximadamente constante.

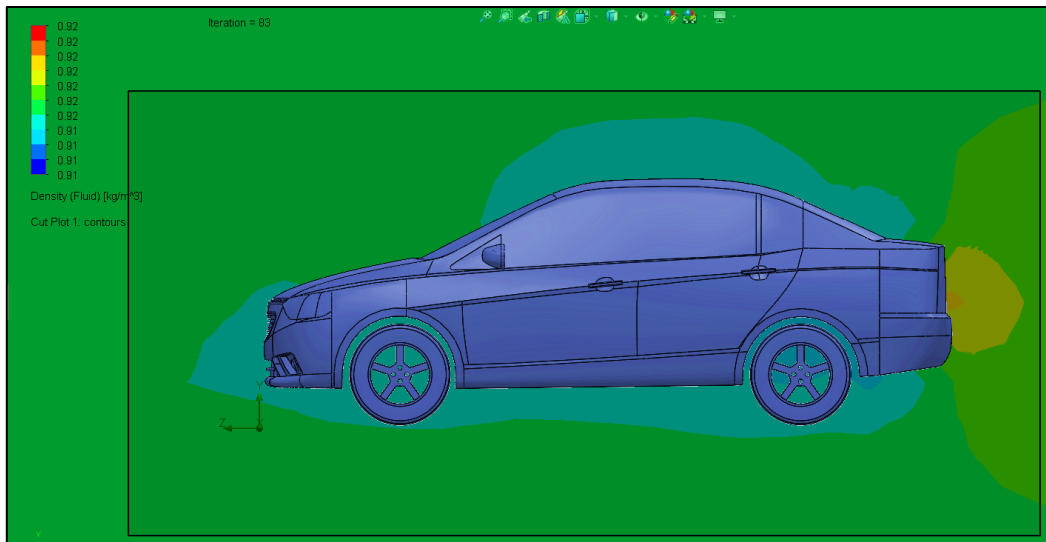


Figura 3-52. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la densidad.

La figura 3-53, permite observar que la presión comienza a variar en la parte posterior del vehículo con un valor de 78760.45 Pa, es decir, que conforme aumenta la velocidad del vehículo se somete a mayor presión, pero no sale completamente del rango óptimo.

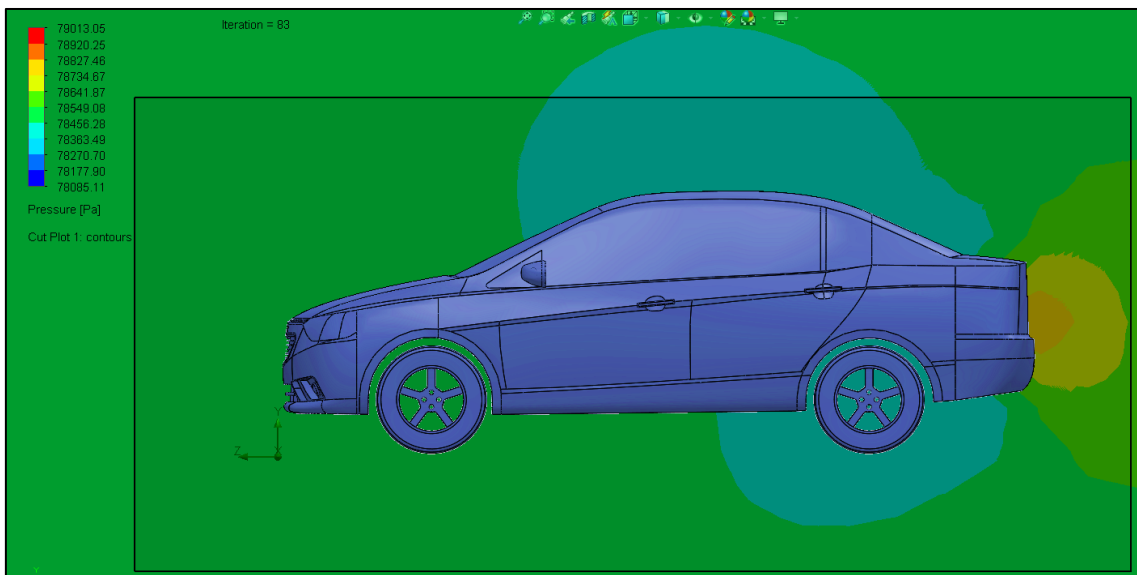


Figura 3-53. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la presión.

- **CHEVROLET Grand Vitara SZ.**

Se analiza el tercer vehículo, se somete como los anteriores a diversas pruebas aerodinámicas con simulaciones de la velocidad, densidad y presión.

La figura 3-54, muestra que a la velocidad referencial de 27.78 m/s el tercer vehículo cuenta con franjas rojas, tomates y amarillas en donde indica que existen varios elementos del vehículo que se encuentran en estado de peligrosidad como por ejemplo el techo y el capot, de igual forma según vaya aumentando la velocidad los elementos se someten a mayor riesgo.

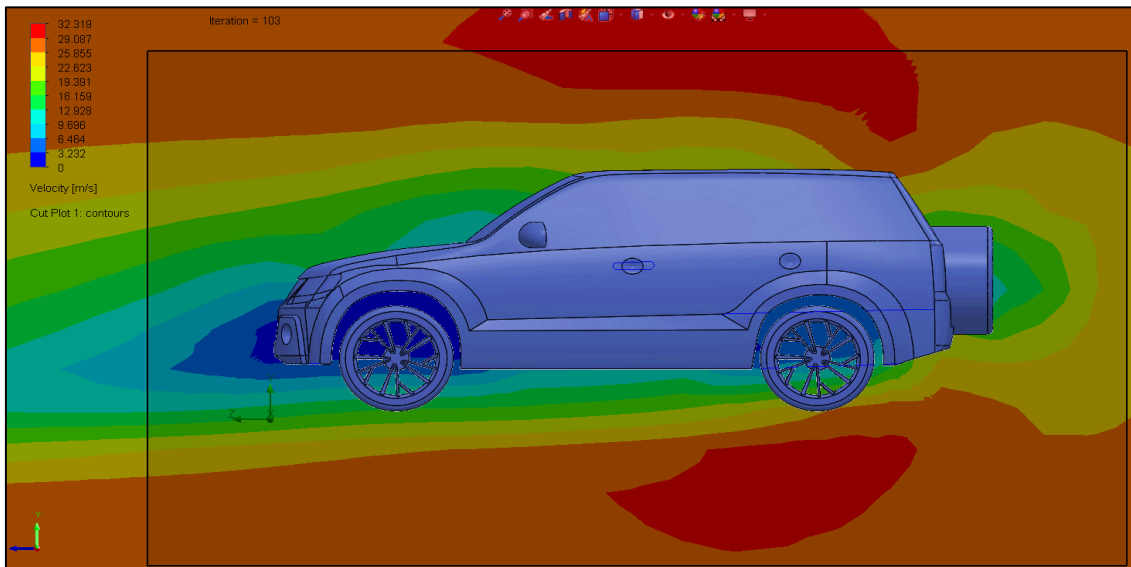


Figura 3-54. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la velocidad.

La figura 3-55, muestra que como en los anteriores vehículos el valor de la densidad no varía en grandes rangos es decir se mantiene constante con un valor de 0.97 a 0.98

Kg/m³.

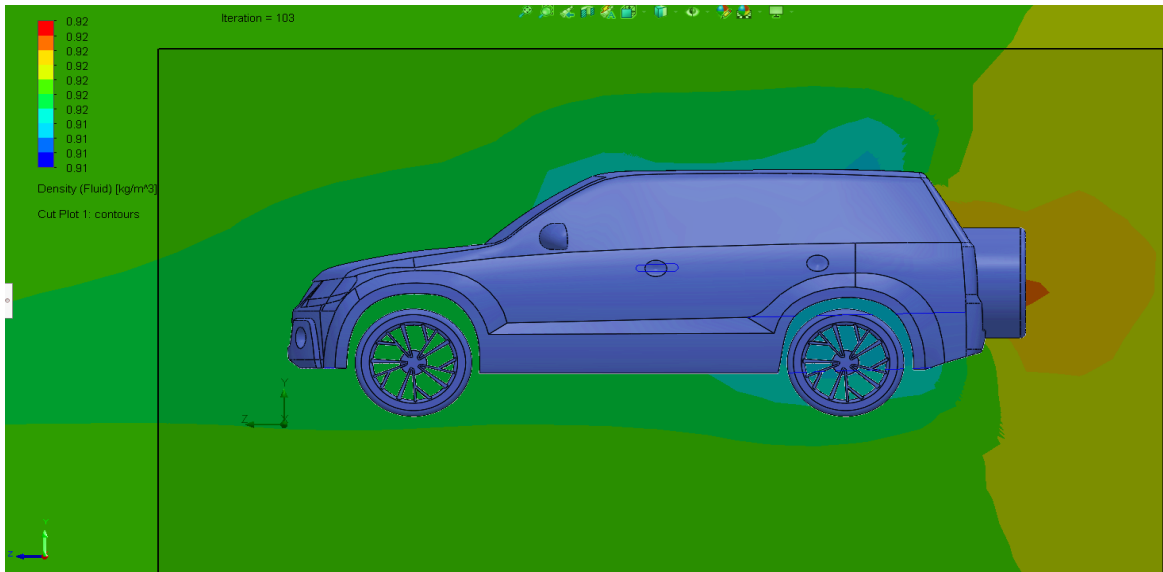


Figura 3-55. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la densidad.

La figura 3-56, permite observa que la presión se encuentra con un valor óptimo de 78522.84 Pa, el vehículo no presenta falencias a la velocidad referencial a la que se somete para las pruebas aerodinámicas.

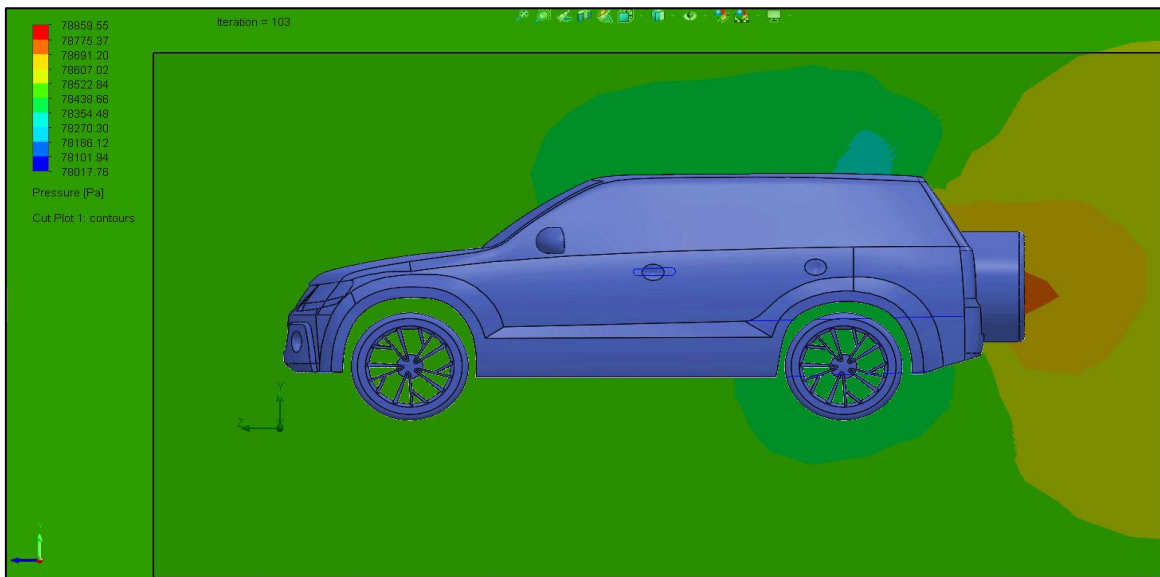


Figura 3-56. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la presión.

3.7.2. Simulación en ANSYS.

Ansyes a diferencia de Solidworks permite un mejor control de mallado, detección automática de geometría y en la refinación de malla que permite entregar un buen resultado en las simulaciones, además de los cálculos computacionales mediante fórmulas que ya tiene implementado en su programación, de esta forma las pruebas a los vehículos son más prácticas y proporcionan datos mucho más relevantes.

Para el presente estudio se aplicaron criterios de simplificación de geometrías limpiando ciertos detalles menores, eliminando redondeos, detalles de elementos de sujeción como pernos, ejes, tuercas, cauchos de protección, también se eliminaron autopartes como los limpia parabrisas, marcas y sellos, antenas, ductor, rejillas entre otros. Estos detalles fueron eliminados con el objetivo de mejorar la calidad de malla, ya que los volúmenes finitos son complejos de generar debido a su naturaleza ya que son elementos 3D, eliminado estos detalles se reduce la dificultad en la generación de malla de volúmenes finitos.

- **KIA Picanto.**

Se analiza el primer vehículo, las pruebas realizadas de velocidad, densidad y presión tienen mayor relevancia en el análisis de las cargas aplicadas al prototipo.

La figura 3-57, muestra que a la velocidad de 27.78 m/s el vehículo no tiene mayor problema en su trayectoria por lo que sus elementos no presentan problemas aerodinámicos.

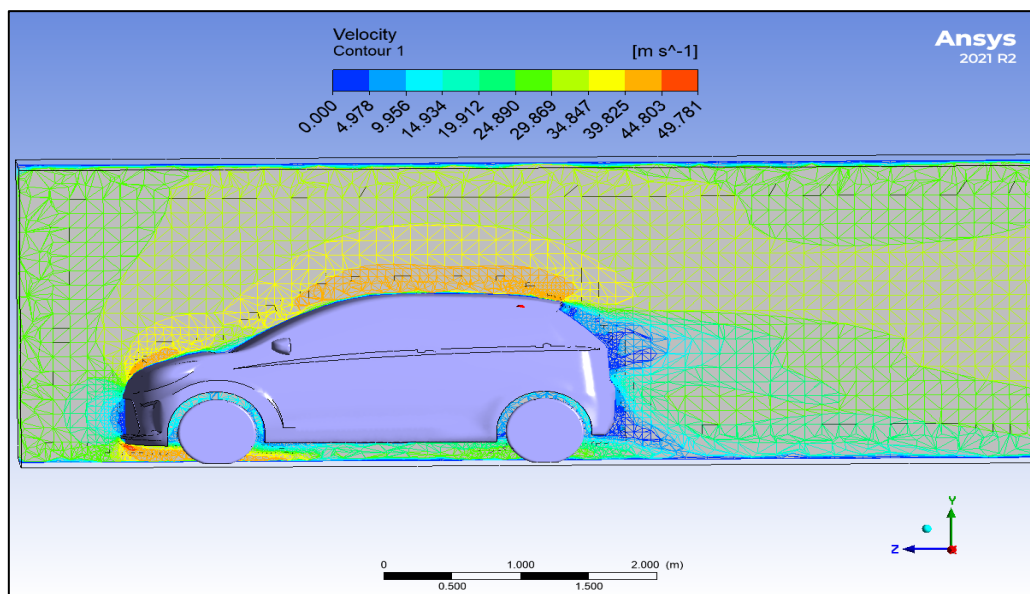


Figura 3-57. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo KIA Picanto en base a la velocidad.

La figura 3-58, muestra que la densidad del vehículo es de 1.225 kg/m³, lo cual está dentro del rango óptimo debido a la densidad ya que es constante en las diversas simulaciones.

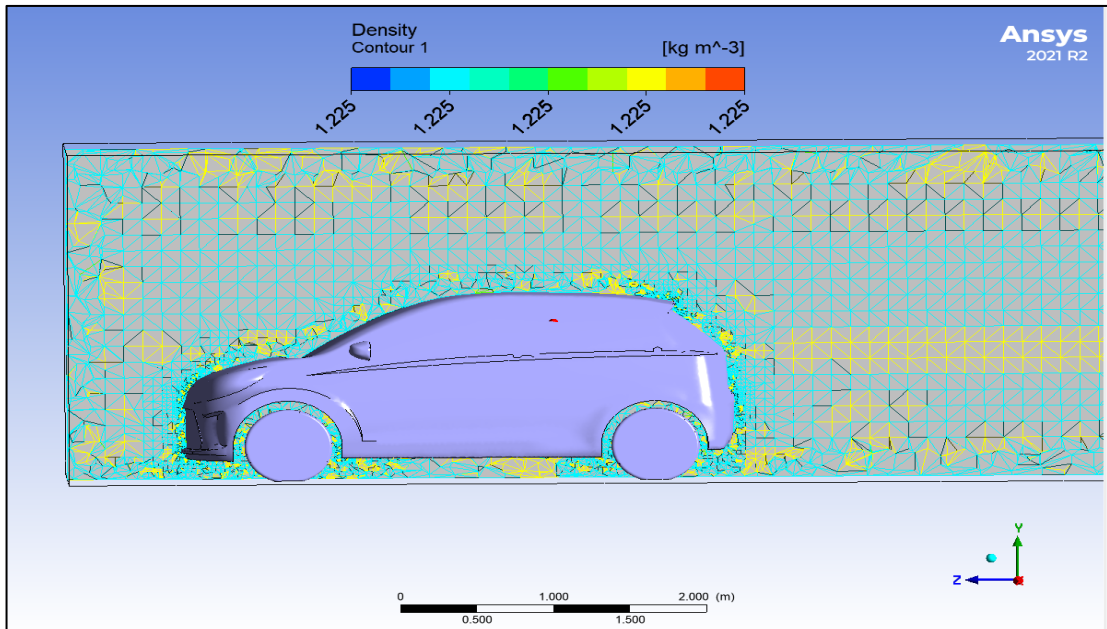


Figura 3-58. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la densidad.

la figura 3-59, muestra que un punto crítico del KIA Picanto se encuentra en el parachoques delantero con un valor de 79595.367 Pa, lo que significa que a la velocidad de 27.79 m/s el vehículo tiende a ser peligroso en el elemento delantero.

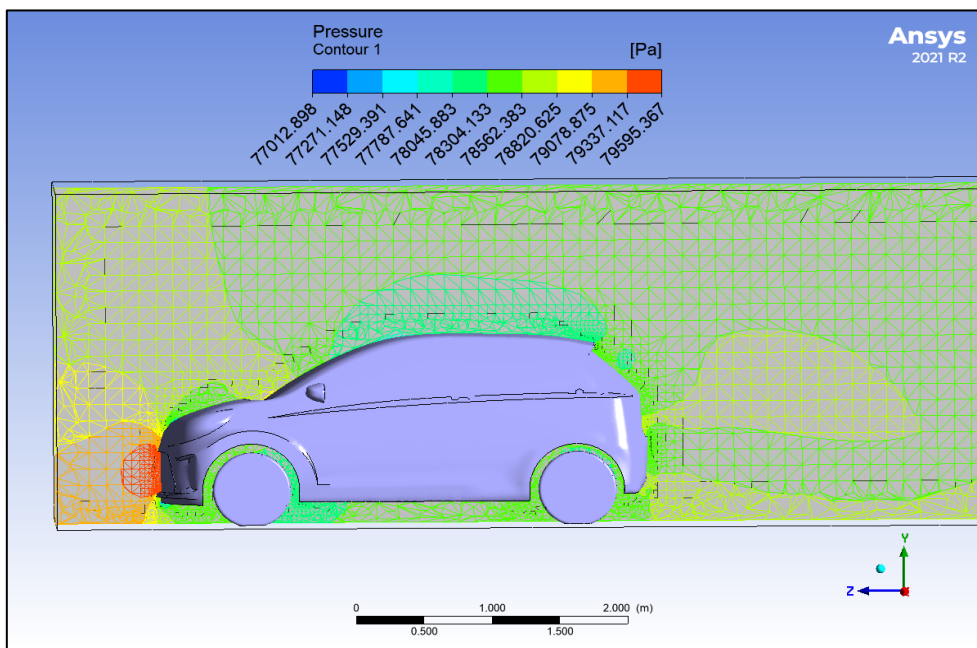


Figura 3-59. Simulación del flujo de aire en el vehículo KIA Picanto en base a la presión.

- CHEVROLET Sail.

Se analiza el segundo vehículo, de igual forma con el software Ansys donde los datos de velocidad, densidad y presión tienen mayor relevancia en el análisis de las cargas aplicadas al prototipo.

La figura 3-60, permite observar que el vehículo a la velocidad de 27.78 m/s no presenta mayor problema en su recorrido, la gráfica muestra que tanto el flujo en la parte superior e inferior se encuentra dentro de los rangos estables.

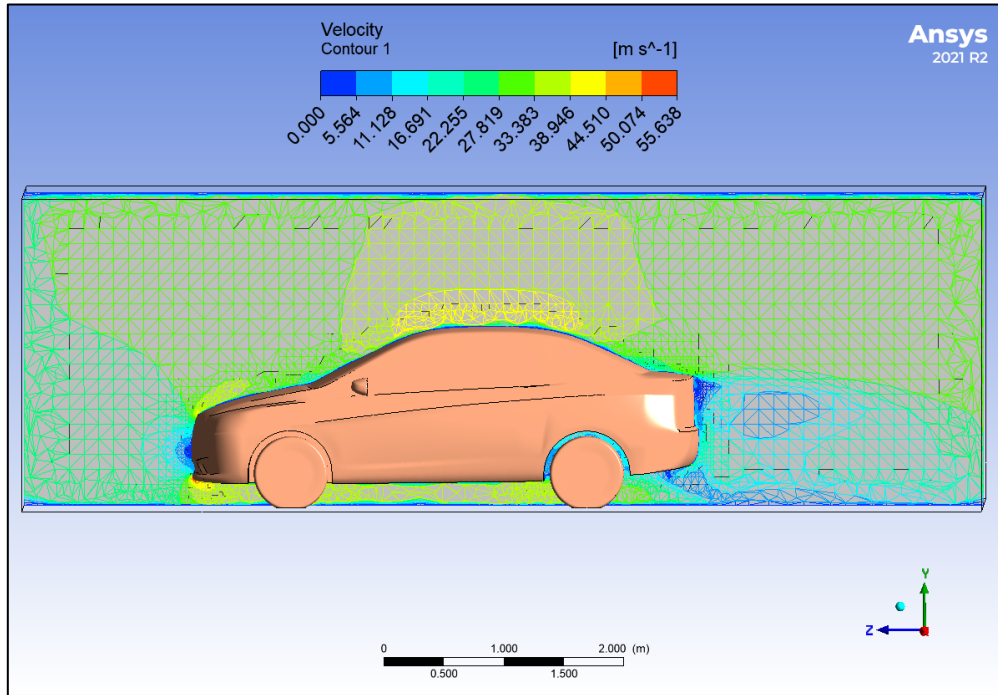


Figura 3-60. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la velocidad.

La figura 3-61, se observa que el vehículo tiene un cambio no significativo en su valor que es de 1.225 Kg/m³ como antes se menciona la densidad es una magnitud que no varía.

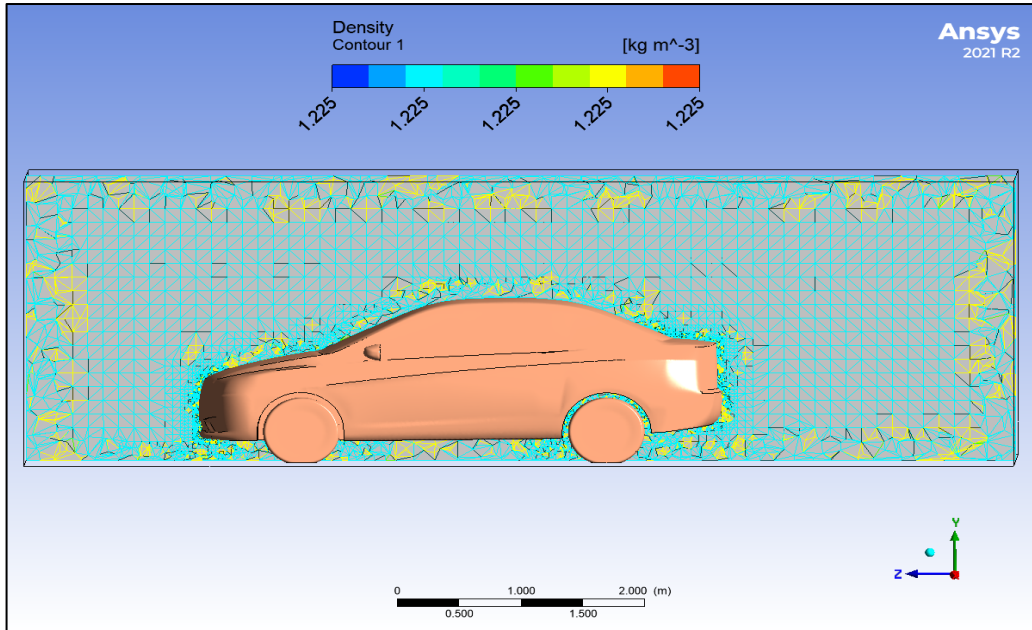


Figura 3-61. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la densidad.

La figura 3-62, permite observar que el vehículo tiene un punto crítico en la parte inferior en el parachoques delantero con un valor de 16630.406 Pa, lo cual indica que existen riesgos a la velocidad de 27.78 m/s en la parte delantera del vehículo y también que existe un pequeño punto de fluctuación del flujo de aire en la unión del capot y parabrisas con un valor de 76390.164 Pa.

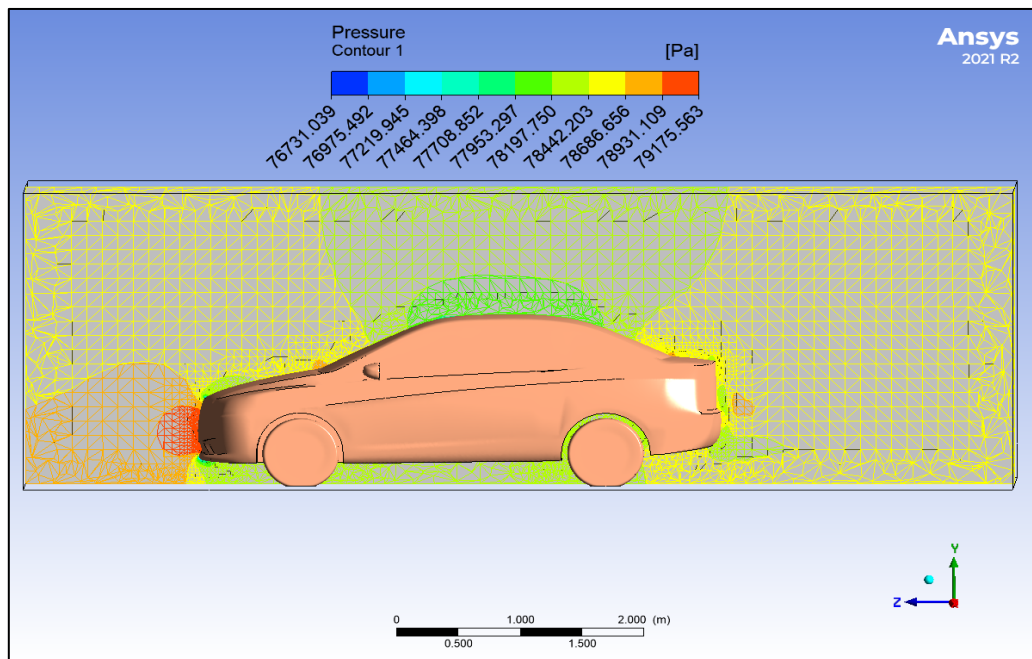


Figura 3-62. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Sail en base a la presión.

- **CHEVROLET Grand Vitara SZ.**

Se analiza el tercer vehículo, donde los datos de velocidad, densidad y presión tienen mayor relevancia en el análisis de las cargas aplicadas al prototipo.

La figura 3-63, muestra que el vehículo a la velocidad de 27.78 m/s, se presenta inconveniente en la parte superior del vehículo, se puede observar pequeños puntos de presión alta en el techo, pero sin tendencia a peligrosidad.

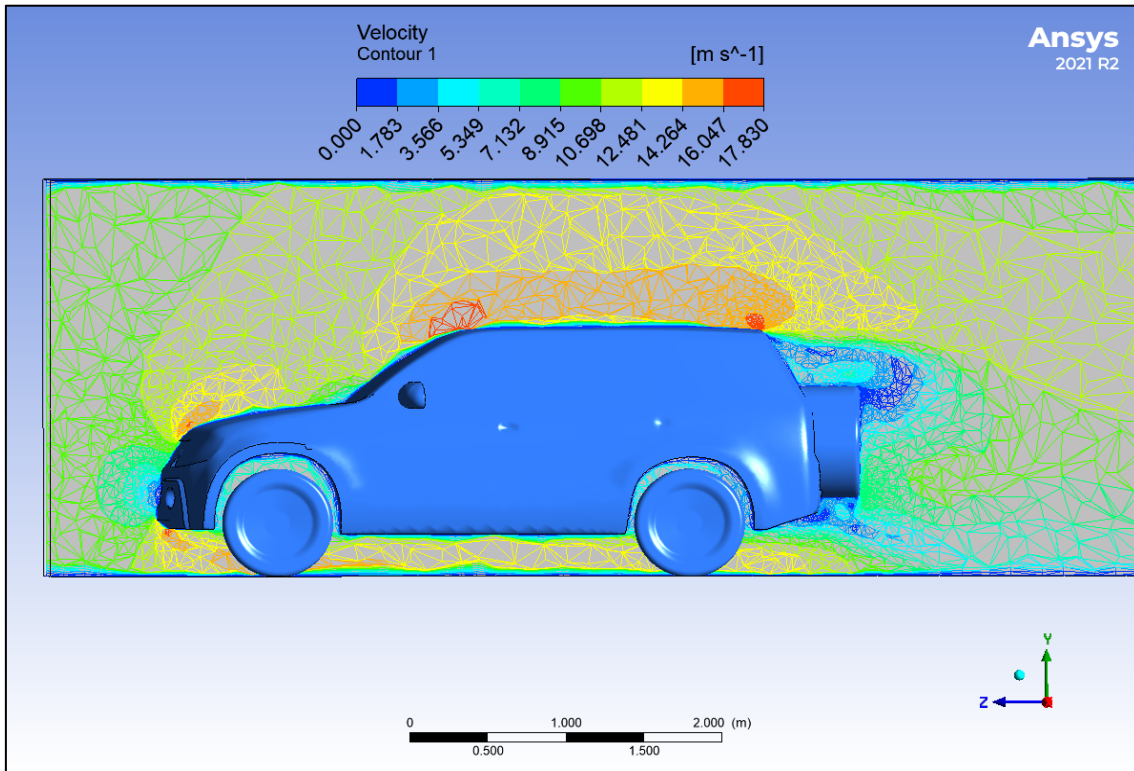


Figura 3-63. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la velocidad.

La figura 3-64, muestra que el vehículo no tiene cambios en la densidad su valor de 1.225 Kg/m³ sigue constante como en los demás vehículos.

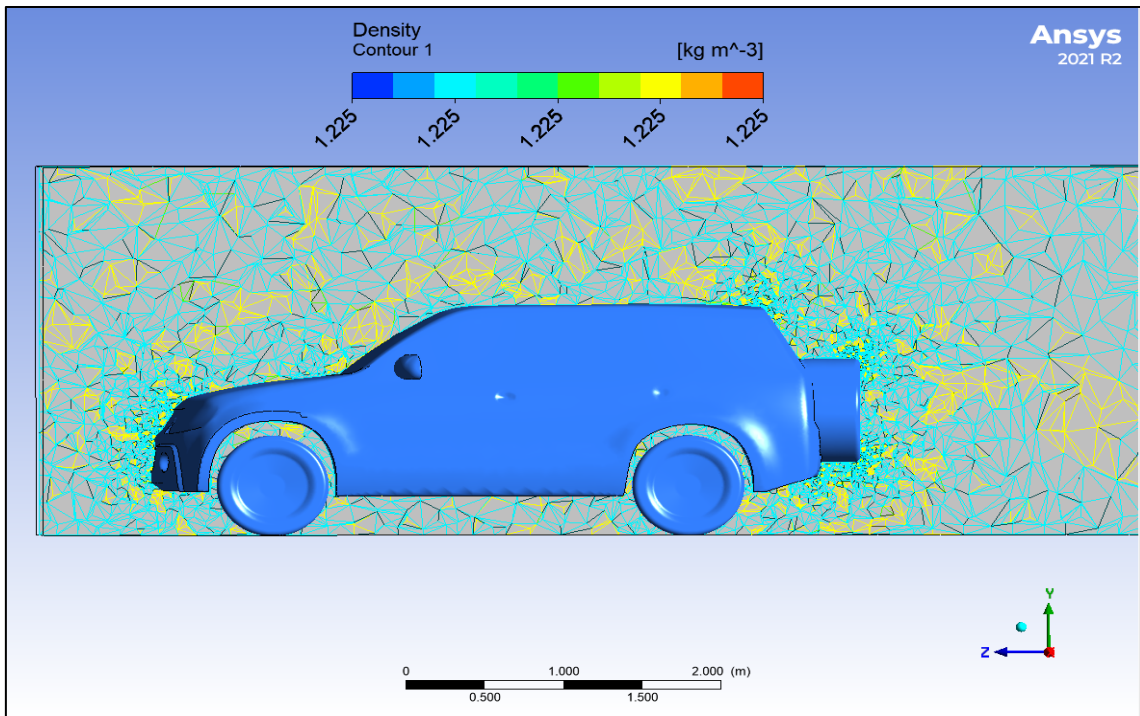


Figura 3-64. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la densidad.

En la figura 3-65, se puede observar que al igual que en los demás vehículos el elemento que se encuentra más afectado con el rozamiento del flujo de aire es el guardachoque delantero con un valor en la presión de 78618.43 Pa, que está en el límite de los resultados.

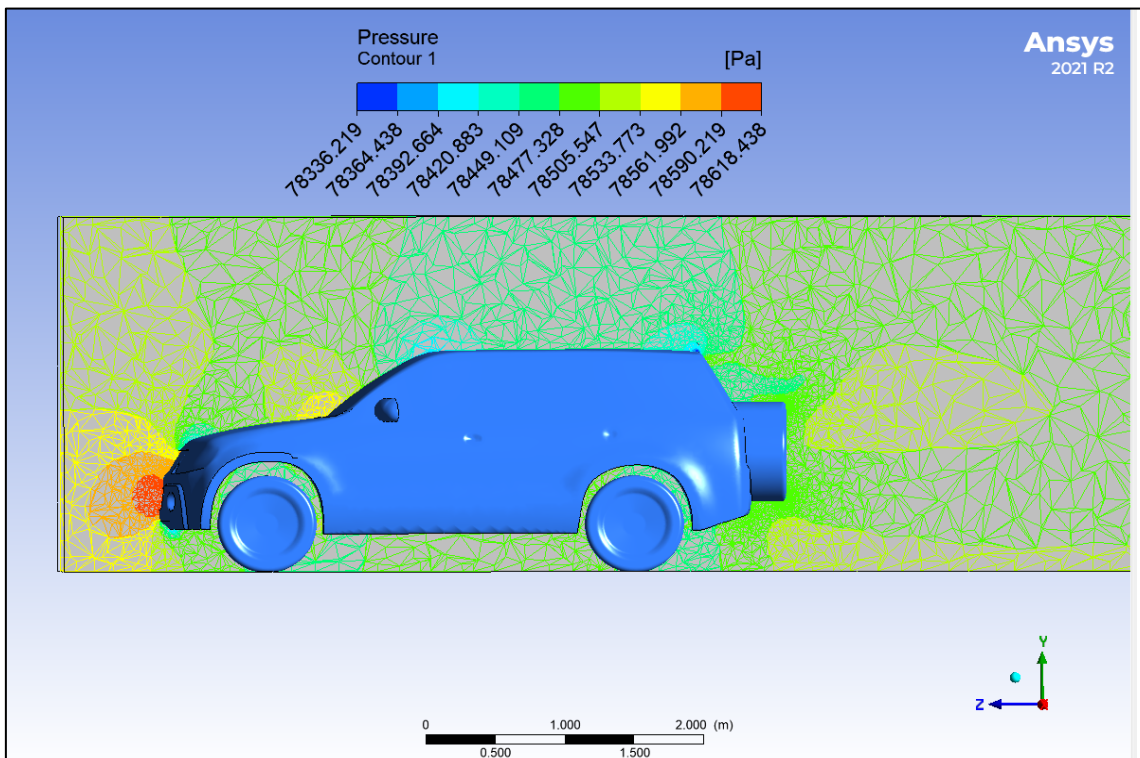


Figura 3-65. Simulación del flujo de aire sobre el vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ en base a la presión.

La tabla 3-4, muestra la influencia aerodinámica del viento en los vehículos a las velocidades referenciales de 10 m/s, 27.78 m/s, 34.7 m/s y 41.67 m/s, donde se puede analizar que la intensidad de turbulencia varía en cada régimen de prueba respecto a la velocidad, estos datos sirvieron para poder calcular el coeficiente de resistencia al viento (C_x).

Tabla 3-4. Datos de los vehículos a las velocidades de pruebas para el cálculo del C_x .

Modelo	Velocidad (Km/h)	Velocidad (m/s)	Presión (Pa)	Intensidad de turbulencia (%)
KIA Picanto	36	10	75993.7	5
	100	27.78	78562.38	5.5
	125	34.7	78794.07	7.5
	150	41.67	78165.71	10.1
CHEVROLET Sail	36	10	75993.7	6
	100	27.78	78442.2	6.4
	125	34.7	78411.35	9
	150	41.67	78371.29	11
CHEVROLET Grand Vitara SZ	36	10	75993.7	5
	100	27.78	78483.19	9
	125	34.7	78451.33	13
	150	41.67	78401.79	15

3.8. Análisis de datos correspondientes a las diversas pruebas.

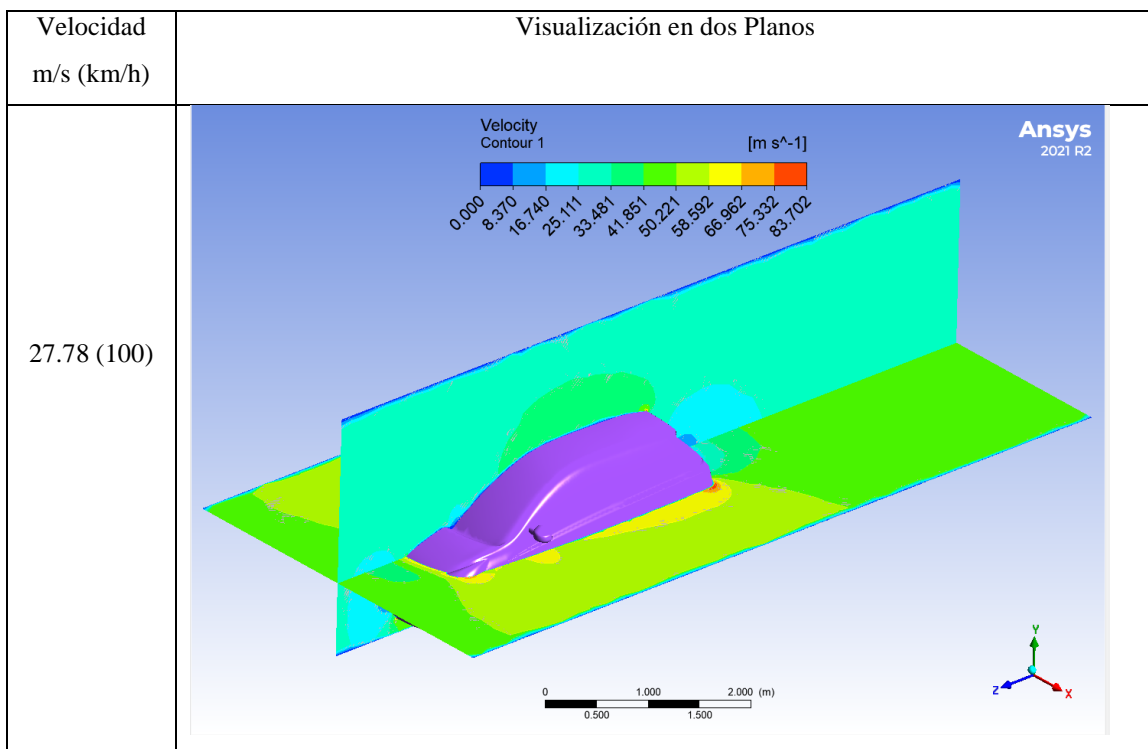
Los datos más relevantes se presentaron cuando el vehículo adquiere velocidad es decir a rango altos de rpm. Además, en las simulaciones se puede constatar que las partes más volátiles en la influencia del flujo de aire son:

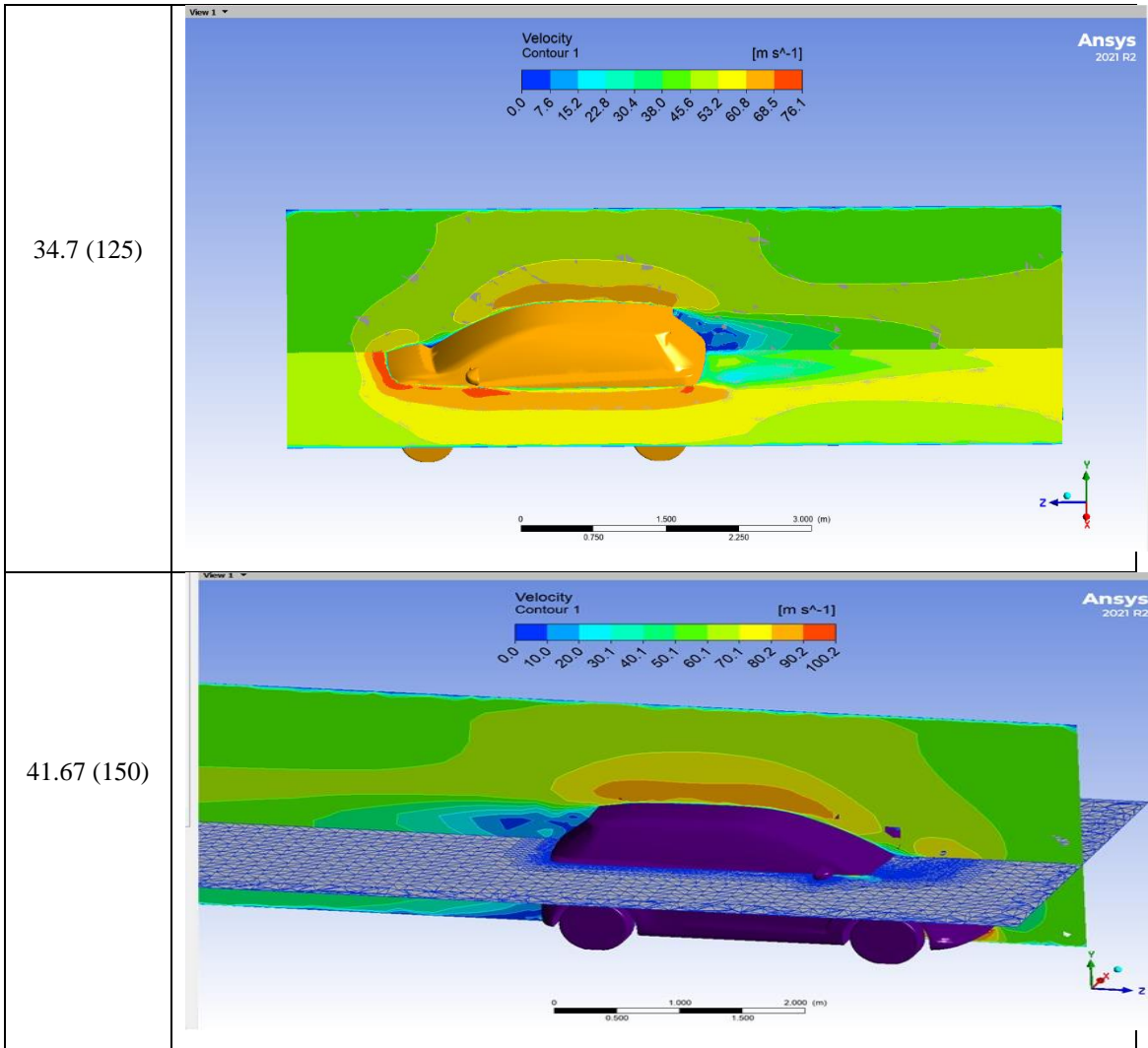
- Parachoques
- Capot
- Parabrisas
- Techo

3.8.1. KIA Picanto en diferentes regímenes de velocidad.

En la tabla 3-5, se analiza la visualización en dos planos del flujo de aire del primer vehículo a distintas velocidades con las cuales se verifico que existen cambios según vaya incrementado las rpm o la velocidad del vehículo y permite verificar en donde el fluido cambia o choca con mayor efecto de turbulencia, los datos bases correspondientes a cada velocidad se analizan por la franja de color en donde se observa que los elementos con problemas aerodinámicos son los antes mencionadas y en los cuales se realizarán las correspondientes simulaciones para obtener datos eficientes.

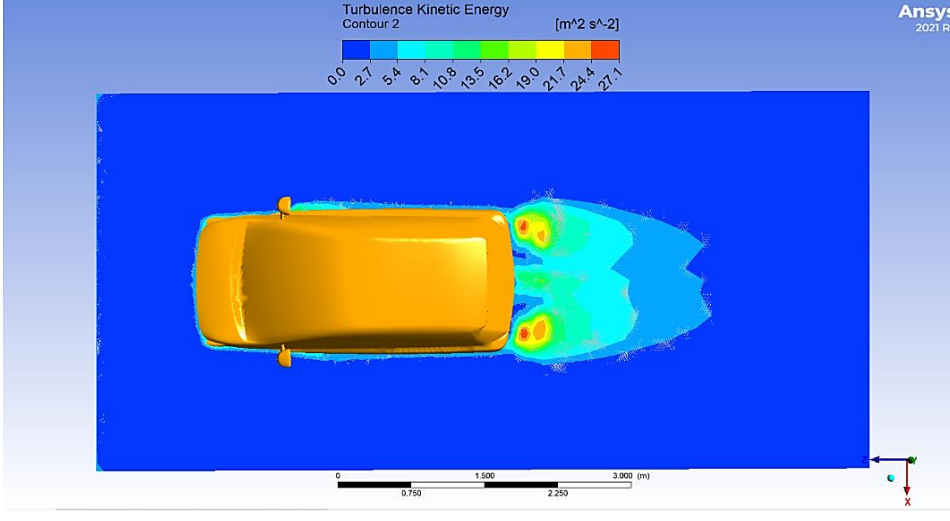
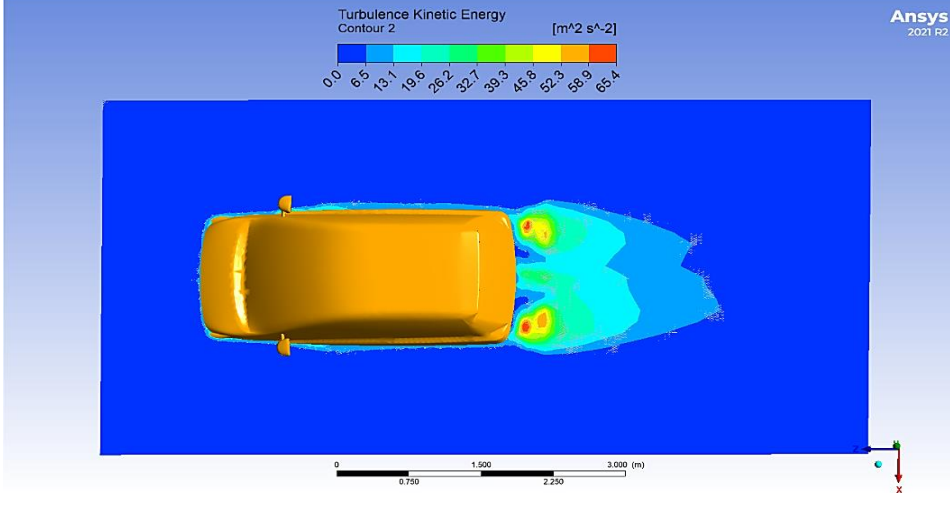
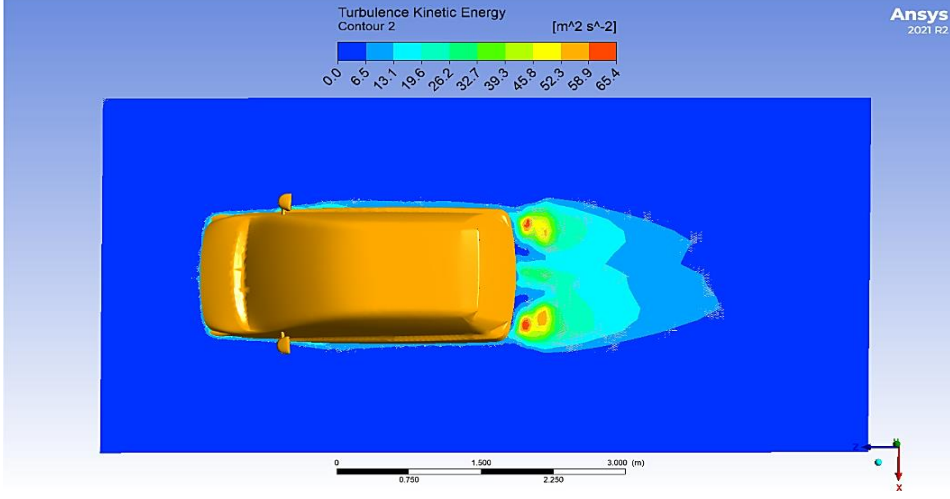
Tabla 3-5. Visualización en dos planos del flujo de aire en los distintos cambios de velocidad.





La tabla 3-6, muestra los gráficos de forma horizontal y vertical del vehículo en pruebas de Energía Cinética de Turbulencia que permitió analizar los puntos donde existe la asociación con los remolinos en el flujo turbulento, e este caso podemos observar que tanto en la velocidad de 27.78 m/s, 34.7 m/s y 41.67 m/s se presentan fluctuaciones en la parte posterior del vehículo con un valor de 10.5 J, 26.2 J y 32.7 J respectivamente con sus velocidades correspondientes, los datos arrojan que mientras mayor sean las rpm del vehículo las corrientes o flujo de aire tienden a generar remolinos en la parte posterior del vehículo.

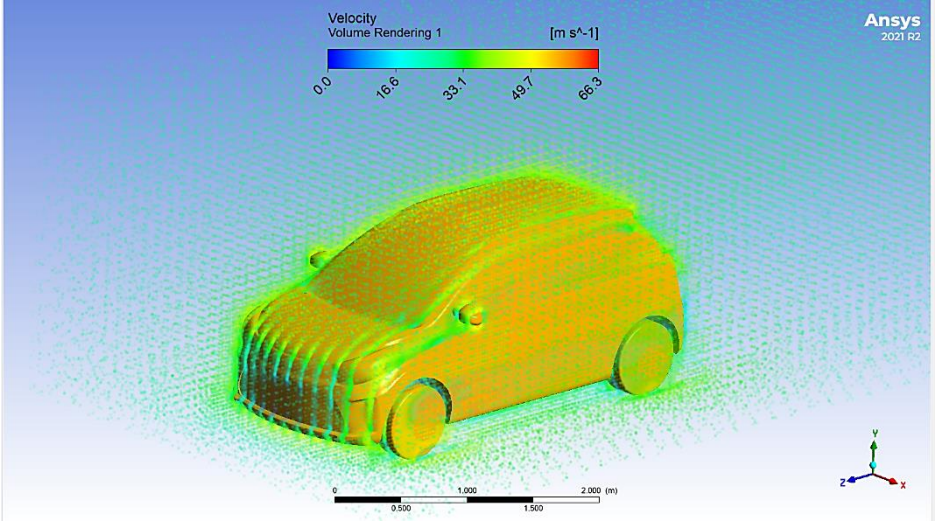
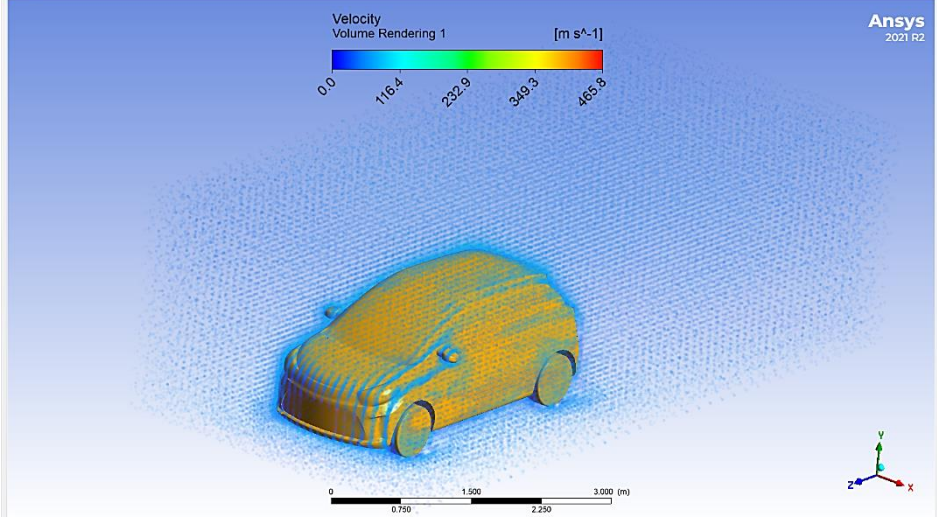
Tabla 3-6. Vista vertical y horizontal del KIA Picanto de la Energía cinética de turbulencia a las distintas velocidades de prueba.

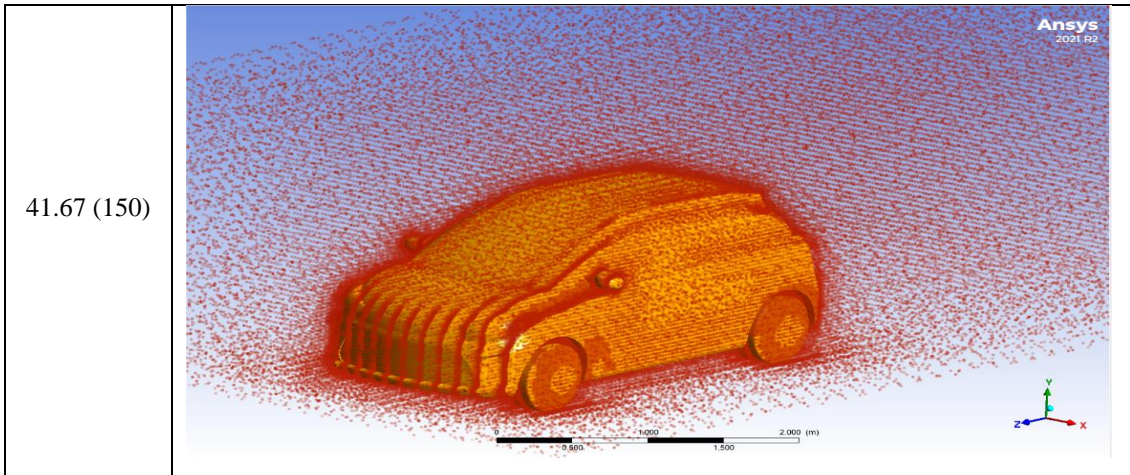
Velocidad m/s (km/h)	Vista Vertical
27.78 (100)	
34.7 (125)	
41.67 (150)	

Velocidad m/s (km/h)	Vista Horizontal
27.78 (100)	<p>Turbulence Kinetic Energy Contour 1 [m² s⁻²]</p> <p>0.002 5.519 11.035 16.551 22.068 27.584 33.101 38.617 44.133 49.650 55.166</p> <p>0 0.500 1.000 1.500 2.000 (m)</p> <p>ANSYS 2021 R2</p>
34.7 (125)	<p>Turbulence Kinetic Energy Contour 1 [m² s⁻²]</p> <p>0.0 15.5 31.0 46.4 61.9 77.4 92.9 108.4 123.9 139.3 154.8</p> <p>0 0.500 1.000 1.500 2.000 (m)</p> <p>ANSYS 2021 R2</p>
41.67 (150)	<p>Turbulence Kinetic Energy Contour 1 [m² s⁻²]</p> <p>0.0 15.5 31.0 46.4 61.9 77.4 92.9 108.4 123.9 139.3 154.8</p> <p>0 0.500 1.000 1.500 2.000 (m)</p> <p>ANSYS 2021 R2</p>

La tabla 3-7, muestra una vista en 3D de cómo se comporta el flujo de aire en la simulación con el vehículo. Se pudo observar las zonas donde posiblemente se produjeron cambios de la continuidad de la curva, es decir son las zonas donde el fluido impacta. En las simulaciones se puede analizar que mediante la velocidad va aumentando la estela del flujo de aire se hace más intensa en ciertos lugares donde este choca con una mayor fuerza haciendo que el vehículo se desestabilice y genera un retroceso.

Tabla 3-7. Comportamiento del fluido en 3D a las velocidades correspondientes de las pruebas.

Velocidad m/s (km/h)	Vista 3D del Fluido
27.78 (100)	
34.7 (125)	



La tabla 3-8, muestra las pruebas realizadas al primer vehículo la cual permite analizar la influencia tanto de la velocidad al aumentar como de la presión en los diferentes puntos críticos dando así una idea clara de los elementos a tener en cuenta al momento de diseñar las distintas partes del vehículo.

Como primer elemento se analiza el parachoques, en donde se observa que a una velocidad de 27.78 m/s (100Km/h), la presión es de 79795.36 Pa que está en el punto crítico según la franja de color que se presenta en la simulación de igual forma al aumentar la velocidad a 34.7 m/s (125Km/h) la presión sigue en aumento con un valor de 80104.43 Pa y por último se analiza la velocidad de 41.67 m/s (150Km/h) en donde se obtiene un valor en la presión de 80590.75 Pa, estos nos indica que a velocidades altas el guardachoques tiene mayor contacto con el flujo de aire que puede producir desbalance y fuertes rozamientos con el fluido que llegan a presentar riesgos aerodinámicos.

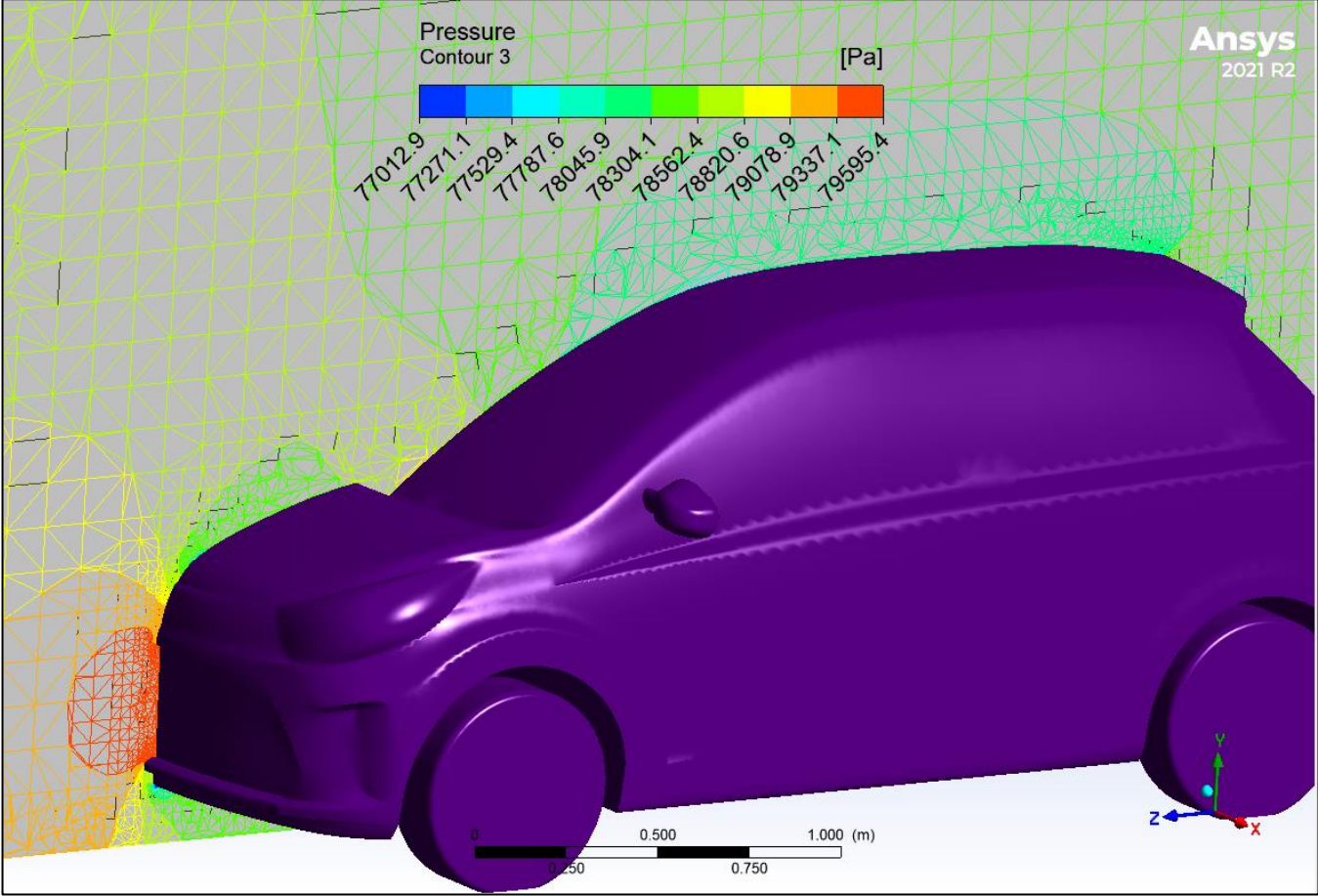
Como segundo elemento se analiza el capot, en donde se observa que a la velocidad de 27.78 m/s (100Km/h), la presión no afecta al elemento y tiene un valor de 78304.13 Pa que se encuentra dentro del rango óptimo según las franjas de color del análisis aerodinámico de igual forma a la velocidad de 34.7 m/s (125 Km/h) no presenta ningún inconveniente con un valor de 78357.28 Pa y a la velocidad de 41.67 m/s (150 Km/h) de igual forma que en los resultados anteriores no presenta problemas aerodinámicos con un valor de 77896.27 Pa, es decir que el capot en las pruebas aerodinámicas del KIA Picanto no presenta índices de inseguridad al circular a velocidades relativamente altas.

Como tercer elemento se analiza el parabrisas, en donde se observa que a la velocidad de 27.78 m/s (100Km/h), el elemento presenta un pequeño incremento de presión de 78562.38 Pa que se encuentra casi dentro del rango óptimo del análisis, se puede verificar

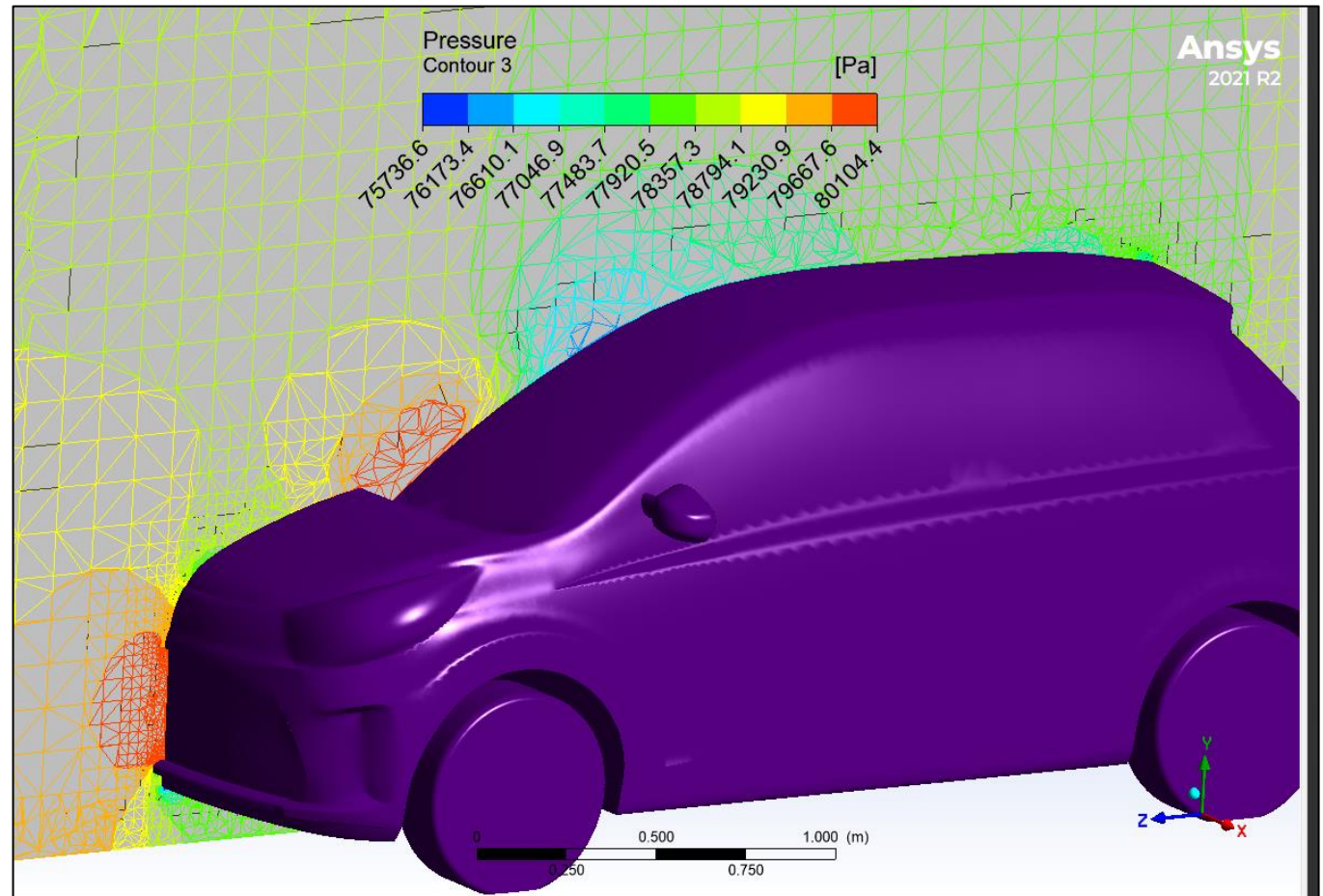
que al aumenta la velocidad la presión en el parabrisas aumenta y empieza a generarse pequeñas acumulaciones de aire ya que a la velocidad de 34.7 m/s (125Km/h) la presión tiene un valor de 79230.85 Pa y al aumentar a 41.67 m/s (150Km/h) la presión disminuye a 78569.89 Pa, es decir que el elemento analizado tiene en general un buen desempeño aerodinámico a velocidades altas pero existe un rango en donde comienza a tener problemas aerodinámicos.

Como cuarto elemento se analiza el techo, en donde se observa que a la velocidad de 27.79 m/s (100 Km/h), la presión en el elemento analizado es de 70304.13 Pa y se puede verificar mediante las franjas de las simulaciones que a medida que aumenta la velocidad la presión disminuye como en el caso del parabrisas debido a que en 34.7 m/s (125 Km/h) su valor es de 77920.50 Pa y al llegar a la velocidad de 41.67 m/s (150 Km/h) su valor es de 77896.77 Pa, por lo que se obtiene que al realizar todos los análisis de pruebas en el KIA Picanto se contrasta que su diseño es aproximadamente estable y seguro para las personas que conduzcan el vehículo, de igual forma el diseño es eficiente con bajos riesgos de problemas aerodinámica.

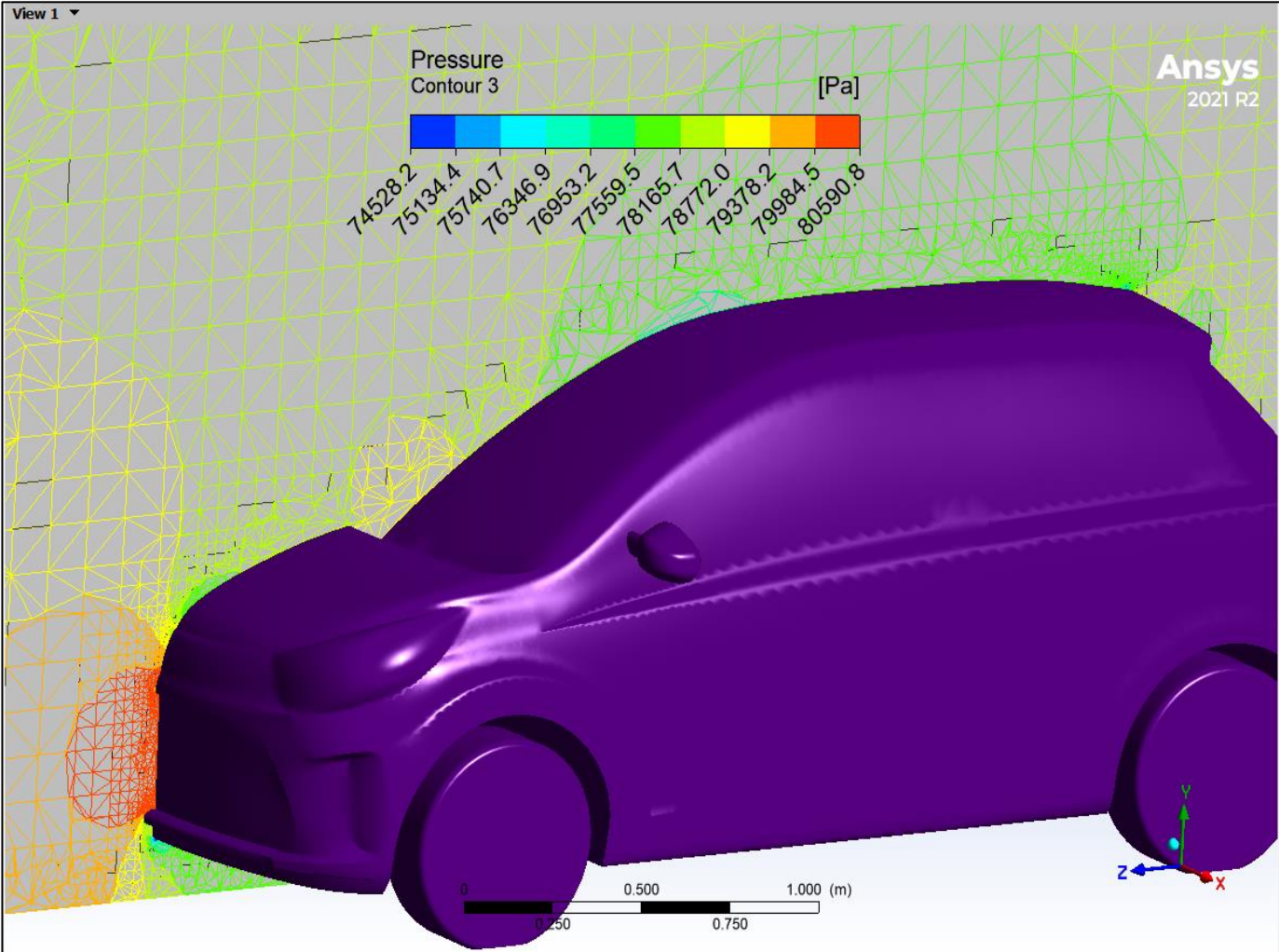
Tabla 3-8. Elementos del KIA Picanto sometidos a diferentes velocidades.

VELOCIDAD m/s (km/h)	SIMULACIÓN (Presión)
<p style="text-align: center;">27.78 (100)</p>	 <p>The image shows a 3D simulation of a KIA Picanto car model in purple, positioned within a computational domain. The domain is discretized with a mesh of yellow and green elements. A pressure contour plot is overlaid on the mesh, with a color scale legend at the top center labeled 'Pressure Contour 3 [Pa]'. The scale ranges from 77012.9 Pa (dark blue) to 79595.4 Pa (dark red), with intermediate values: 77271.1, 77529.4, 77787.6, 78045.9, 78304.1, 78562.4, 78820.6, and 79078.9. The car is oriented horizontally, and a coordinate system (x, y, z) is visible at the bottom right. A scale bar at the bottom indicates distances of 0, 0.250, 0.500, 0.750, and 1.000 meters. The ANSYS 2021 R2 logo is located in the top right corner of the simulation area.</p>

34.7 (125)



41.67 (150)



- **Kía Picanto y el número de Reynolds.**

En la figura 3-66., se muestra la gráfica de Reynolds del primer vehículo en el eje z, la simulación demuestra los puntos donde el flujo de aire está en estado laminar – de transición – turbulento, este gráfico permite observar el paso del fluido sobre los elementos respectivos en donde se podrá obtener datos eficientes para el estudio de los elementos del vehículo que se condicione a las diferentes pruebas, de esta forma se conoce en donde el flujo de aire es mejor aerodinámicamente con la condición fija de que reynolds es laminar cuando es menor a 2000 ($Re < 2000$), flujo de transición cuando se encuentra dentro del rango de 2000 a 4000 ($2000 < Re < 4000$) y turbulento cuando es mayor a 4000 ($Re > 4000$).

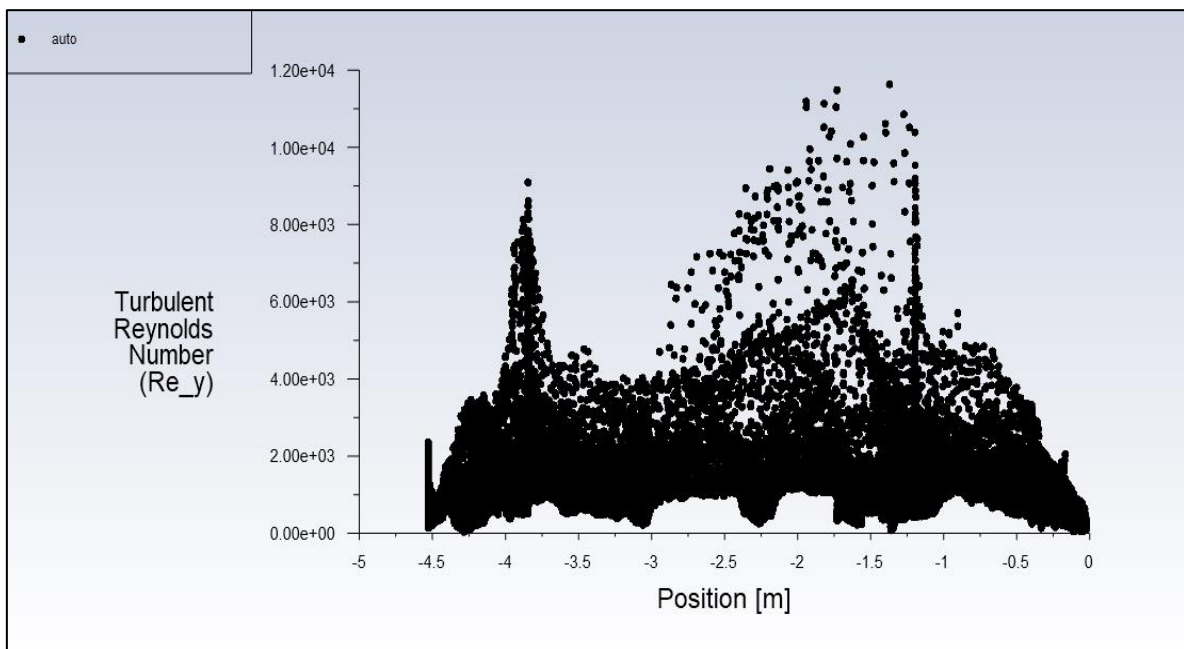


Figura 3-66. Número de Reynolds en el primer vehículo.

- **Gráfica de presión vs velocidad.**

En la figura 3-67, se puede observar que la presión tiende a disminuir cuando la velocidad aumenta, este concepto se da debido a que a mayor velocidad la carga del flujo en el vehículo se disipa y es menor por lo que la mayoría de los elementos se ausenta de problemas aerodinámicos pero no todos, en la velocidad de 27.78m/s la presión llega a 78900 Pa, en 34.7m/s la presión es de 78625 Pa, mientras que en 41.67 m/s llega a tener un valor de 78250 Pa. Los datos son relevantes debido a que como se puede observar existe un punto donde vuelve a subir la presión esto se da debido a el ángulo de la parte

posterior del vehículo en este caso existen tres tipos, pero de acuerdo con la gráfica el que tiene el KIA Picanto es el denominado inclinado que según la teoría es menor a 30° ($\theta < 30^\circ$), lo que indica que en el aspecto aerodinámico es mejor que los demás vehículos de prueba según su ángulo posterior.

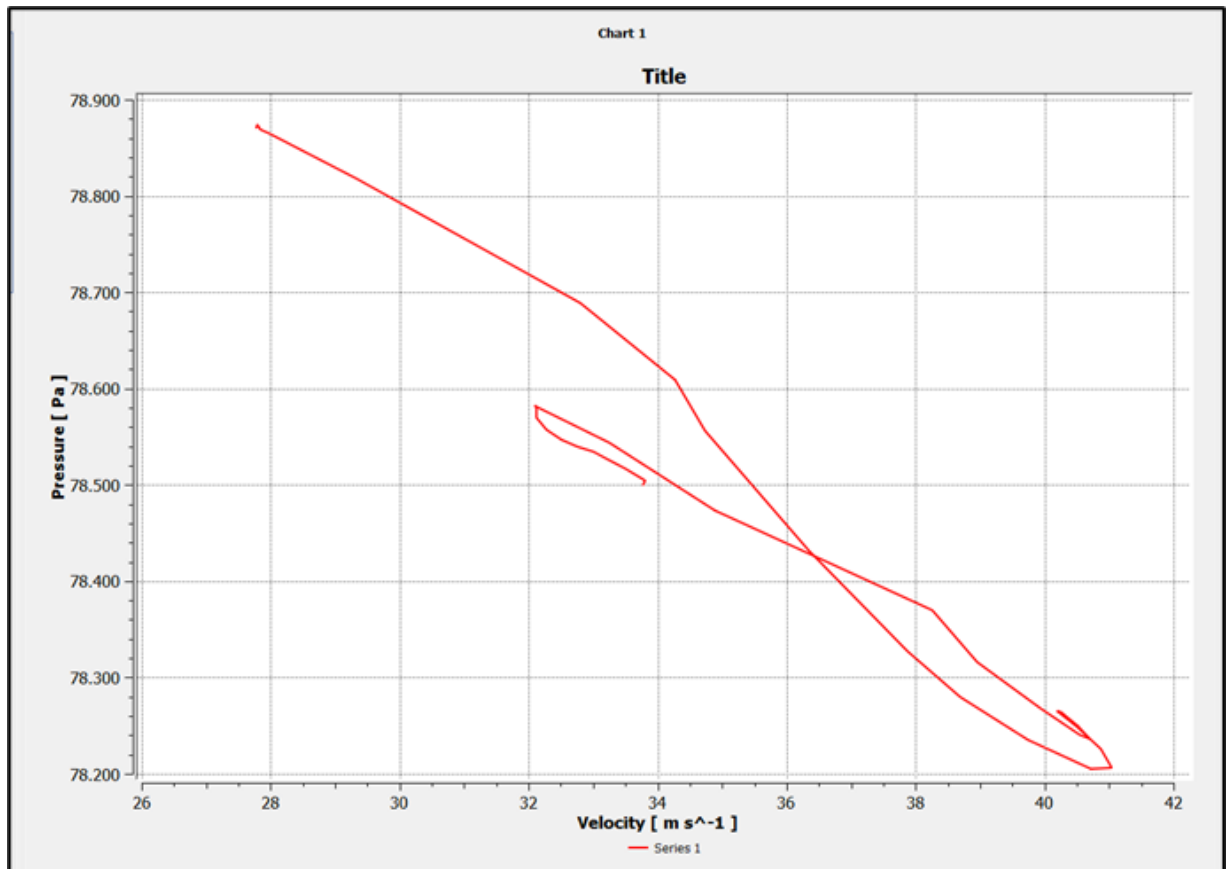


Figura 3-67. Gráfica presión vs velocidad del primer vehículo.

La tabla 3-9, permite visualizar los valores y franjas de colores analizados de los elementos sometidos a pruebas aerodinámicas en donde se obtiene una clara fuente de datos que nos permite constatar los rangos y elementos a los que el vehículo presenta problemas aerodinámicos y de igual forma observar si el KIA Picanto tiene mayor eficiencia y menor peligrosidad a la hora de circular en carretera.

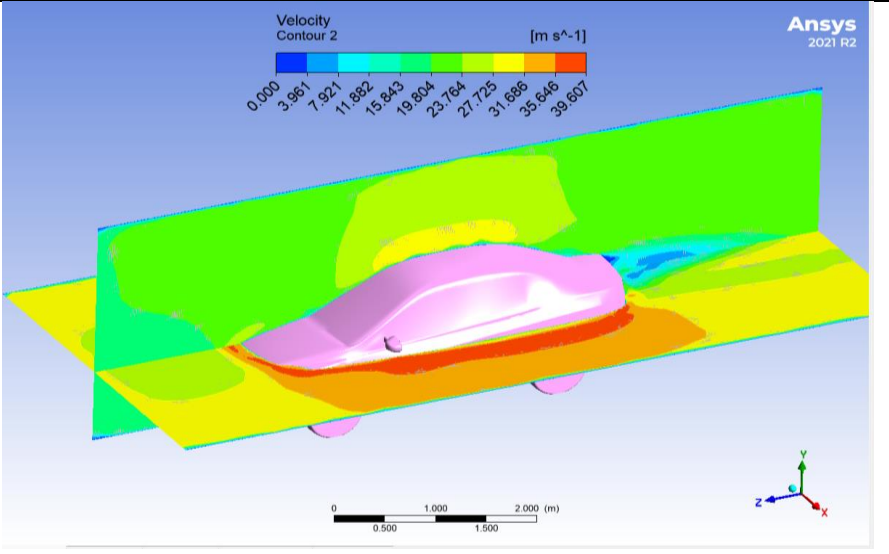
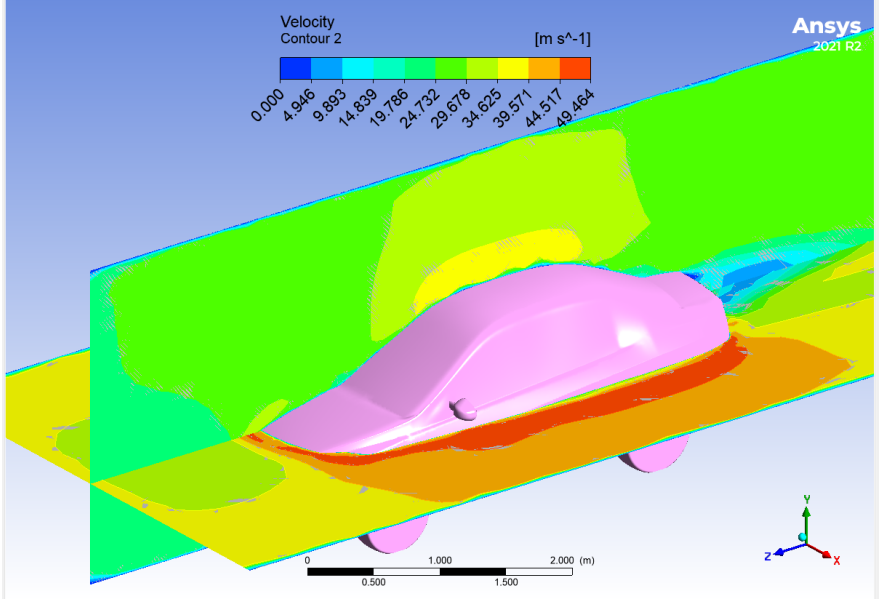
Tabla 3-9. Tipos de flujo en los elementos analizados del KIA Picanto.

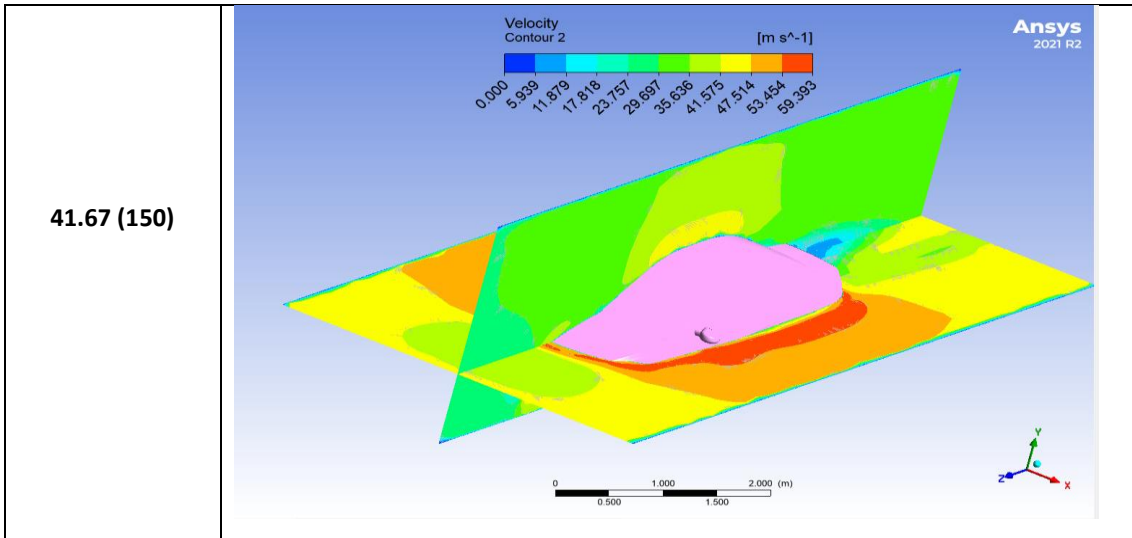
ELEMENTOS		VELOCIDAD (m/s)		
		Escala		
		1.55	1.92	2.31
		Real		
		27.78	34.7	41.67
Parachoques	Presión (Pa)	79795.36	80104.43	80590.75
	Color			
	Rango Reynolds	0-2000	2000-3000	2000-3000
	Tipo de Flujo	Laminar	Laminar	Laminar
Capot	Presión (Pa)	78304.13	78357.28	74957.3
	Color			
	Rango Reynolds	2000-3000	2000-3000	2000-3000
	Tipo de Flujo	Transitorio	Transitorio	Transitorio
Parabrisas	Presión (Pa)	78562.38	79230.85	78569.89
	Color			
	Rango Reynolds	4000-6000	4000-6000	4000-6000
	Tipo de Flujo	Turbulento	Turbulento	Turbulento
Techo	Presión (Pa)	70304.13	77920.50	77896.77
	Color			
	Rango Reynolds	6000-8000	6000-8000	6000-8000
	Tipo de Flujo	Turbulento	Turbulento	Turbulento

3.8.2. CHEVROLET Sail en diferentes regímenes de velocidad.

En la tabla 3-10, se observa la visualización en dos planos del flujo de aire del segundo vehículo a distintas velocidades con las cuales se verificó que existen cambios según vaya incrementado las rpm o la velocidad del vehículo y permite verificar los elementos que presentan problemas aerodinámicos de la misma forma que el anterior vehículo de pruebas se realizan las correspondientes simulaciones para obtener datos eficientes que permitan determinar que vehículo tiene un mejor C_x .

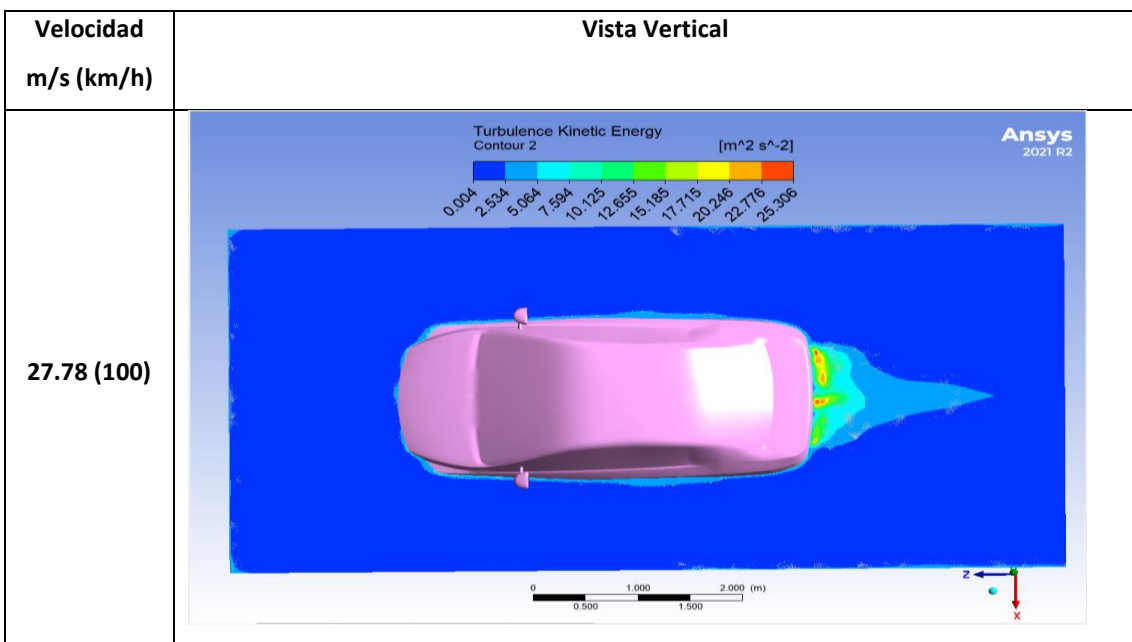
Tabla 3-10. Visualización en dos planos del CHEVROLET Sail del flujo de aire en los distintos cambios de velocidad.

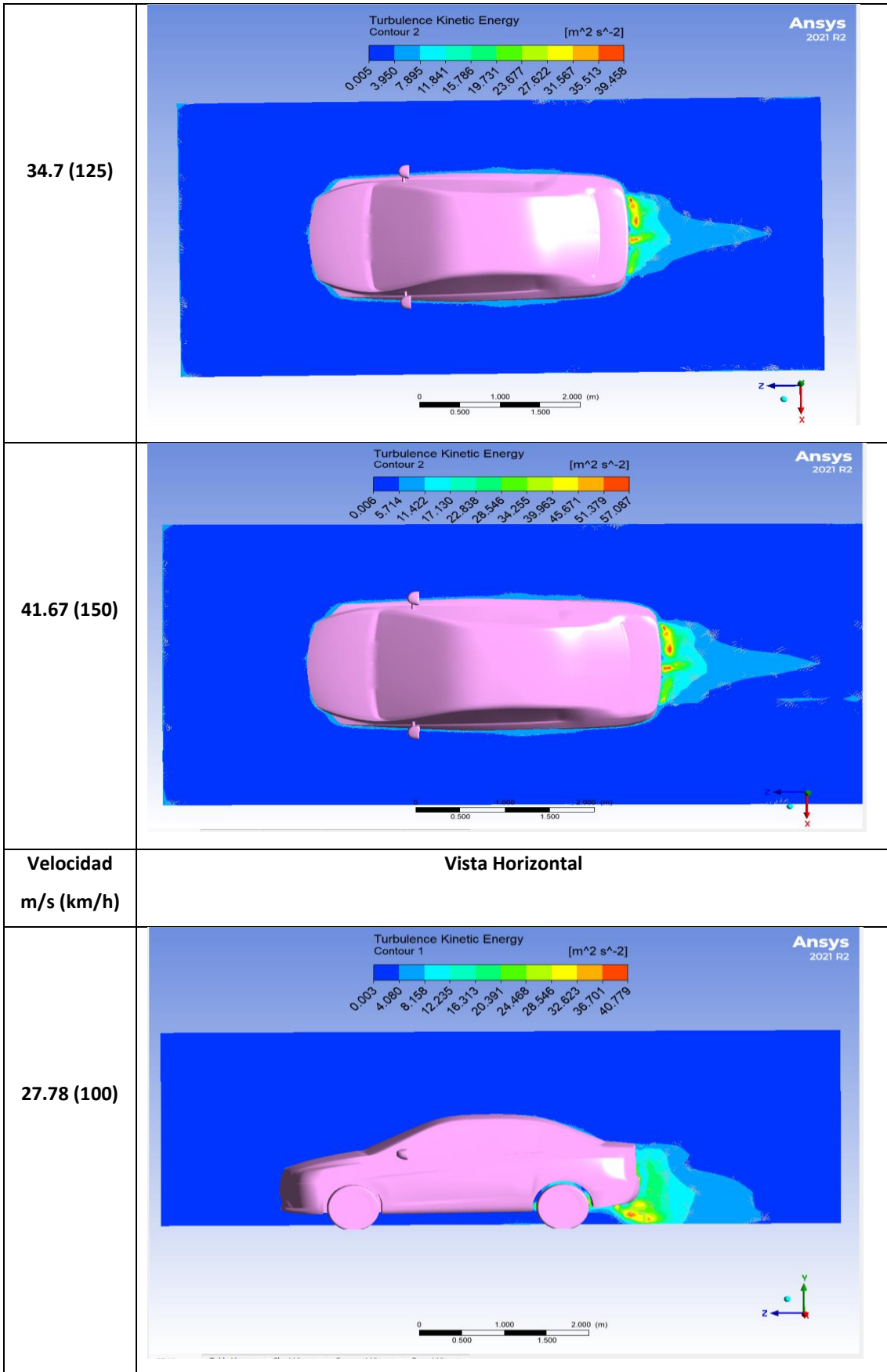
Velocidad m/s (km/h)	Visualización en dos Planos
27.78 (100)	
34.7 (125)	

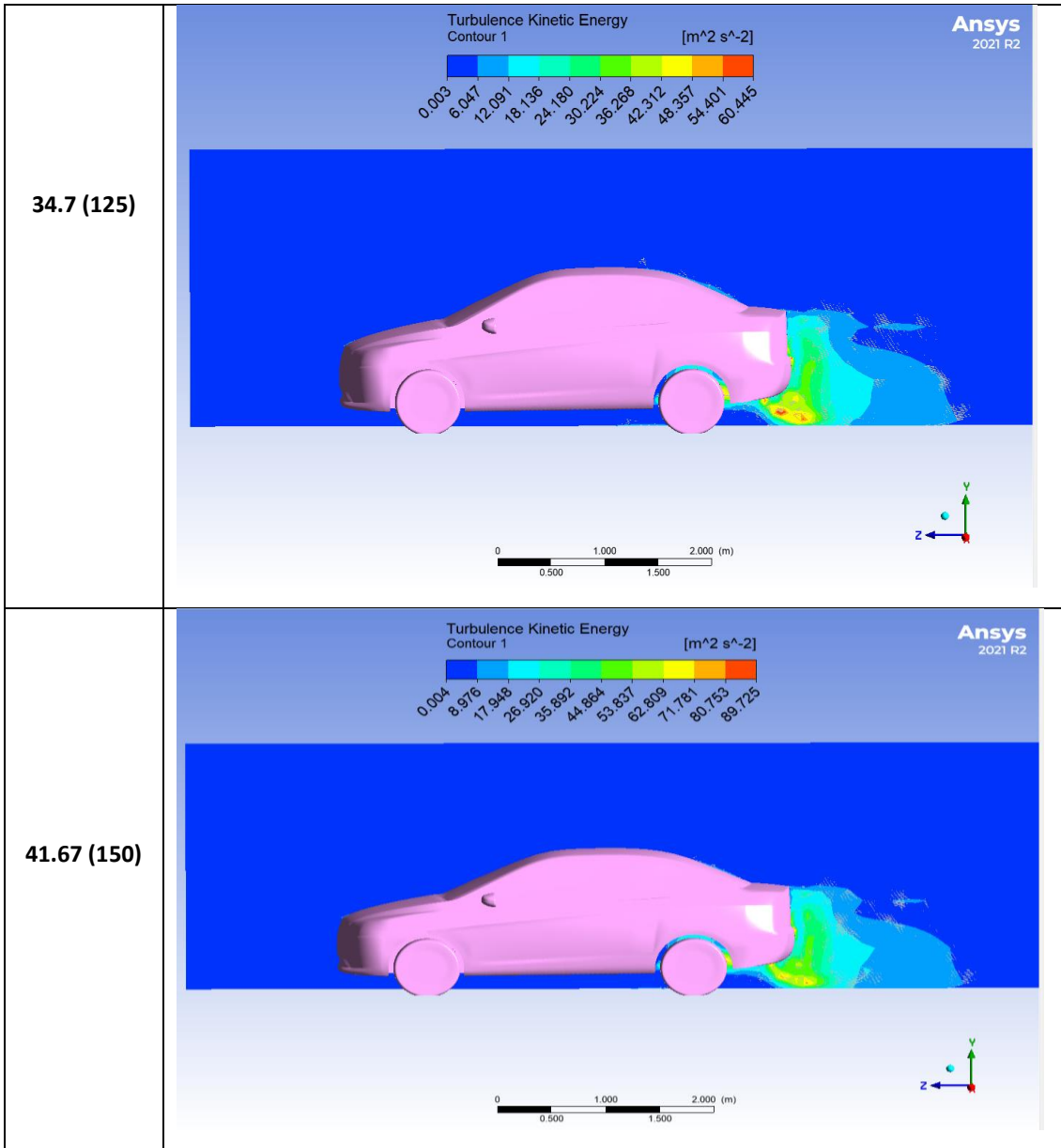


La tabla 3-11, permite observar los gráficos de forma horizontal y vertical del vehículo en pruebas de Energía Cinética de Turbulencia que permitió analizar los puntos donde existe la asociación con los remolinos en el flujo turbulento, e este caso podemos observar que tanto en la velocidad de 27.78 m/s, 34.7 m/s y 41.67 m/s se presentan fluctuaciones en la parte posterior al igual que en el caso del KIA Picanto, con un valor de 12.6 J, 19.7 J y 25.5 J respectivamente con sus velocidades correspondientes, lo que indica que este vehículo es más inestable que el primero debido a que sus valores de turbulencia son mayores en los mismo intervalos de velocidad.

Tabla 3-11. Vista vertical y horizontal del CHEVROLET Sail de la Energía cinética de turbulencia a las distintas velocidades de prueba.



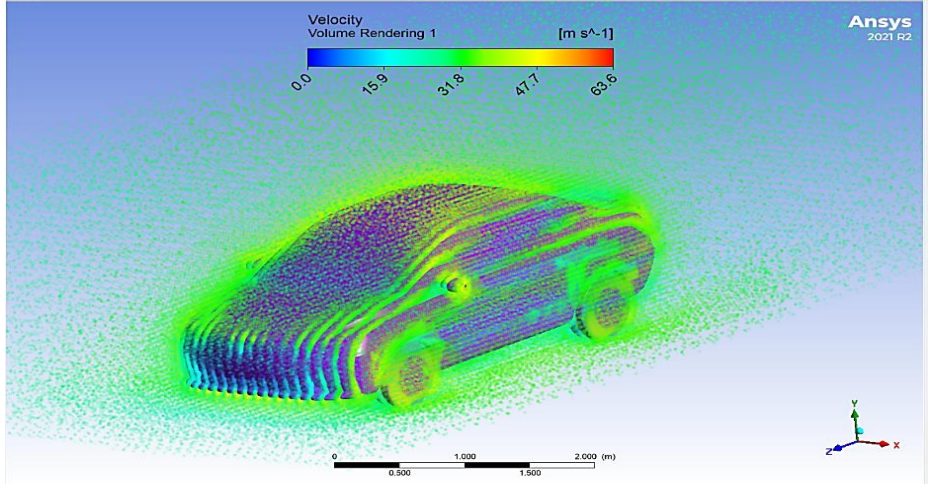
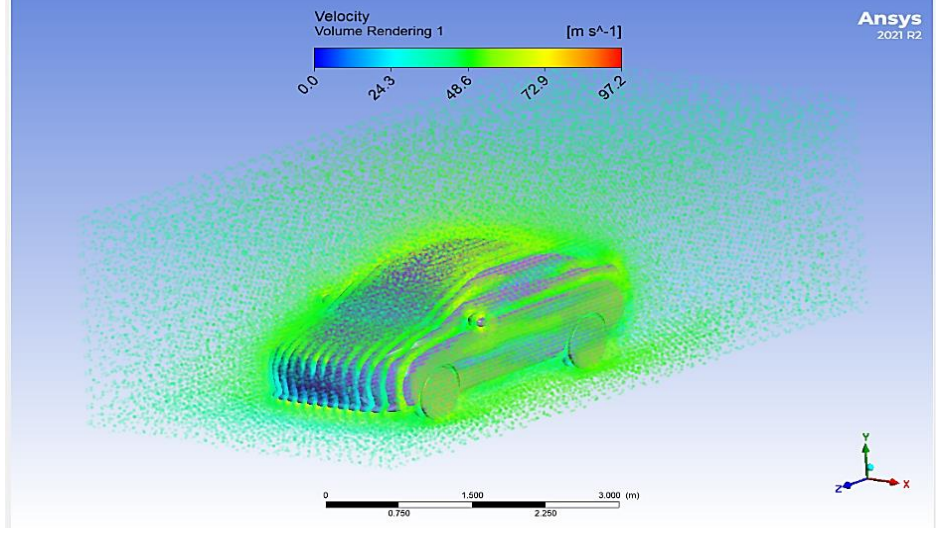
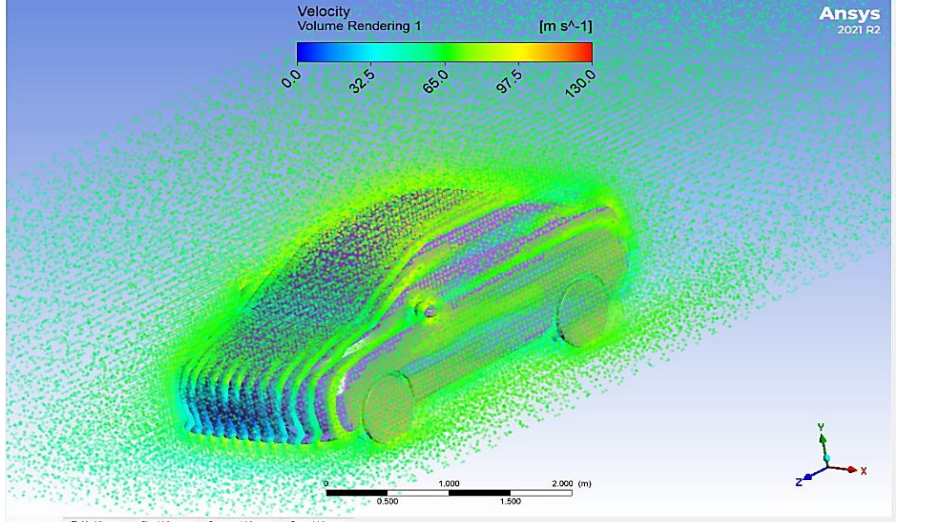




En la tabla 3-12, se observa una vista en 3D de cómo se comporta el flujo de aire con respecto al segundo vehículo. Se pudo observar las zonas donde se produjeron cambios de la continuidad de la curva, es decir son las zonas donde el fluido impacta.

En las simulaciones se puede analizar que conforme la velocidad aumenta la estela del flujo de aire se hace más intensa en los lugares señalados anteriormente debido a que choca con una mayor fuerza haciendo que el vehículo se desestabilice y genera un retroceso o pérdida de velocidad, también se puede apreciar que la estela es mucho más densa en el segundo vehículo debido a que su diseño presenta mayor inconveniente que el del KIA Picanto.

Tabla 3-12. Comportamiento del fluido en 3D a las velocidades correspondientes de las pruebas.

Velocidad m/s (km/h)	Vista 3D del Fluido
27.78 (100)	 <p>Velocity Volume Rendering 1 [m s⁻¹]</p> <p>0.0 15.9 31.8 47.7 63.6</p> <p>Ansys 2021 R2</p> <p>0 0.500 1.000 1.500 2.000 (m)</p>
34.7 (125)	 <p>Velocity Volume Rendering 1 [m s⁻¹]</p> <p>0.0 24.3 48.6 72.9 91.2</p> <p>Ansys 2021 R2</p> <p>0 0.750 1.500 2.250 3.000 (m)</p>
41.67 (150)	 <p>Velocity Volume Rendering 1 [m s⁻¹]</p> <p>0.0 32.5 65.0 97.5 130.0</p> <p>Ansys 2021 R2</p> <p>0 0.500 1.000 1.500 2.000 (m)</p>

La tabla 3-13, muestra las pruebas realizadas al segundo vehículo permitiendo analizar de igual forma la influencia de la velocidad y la presión en los distintos puntos críticos. Como primer elemento se analiza el parachoques, en donde se observa que a una velocidad de 27.78 m/s (100Km/h), la presión es de 78902.53 Pa, se encuentra en el punto crítico según se presenta en la simulación y en la franja de colores, de igual forma al aumentar la velocidad a 34.7 m/s (125Km/h) la presión aumenta a 79129.67 Pa y por último se analiza la velocidad de 41.67 m/s (150Km/h) en donde se obtiene que la presión es de 79277.00 Pa, estos nos indica que a velocidades altas el guardachoques tiene mayor contacto con el flujo de aire que puede producir desbalance y fuertes rozamientos con el fluido de la misma forma que el vehículo KIA Picanto, aunque los datos obtenidos muestran que a las diferentes velocidades la presión es menor en su punto crítico.

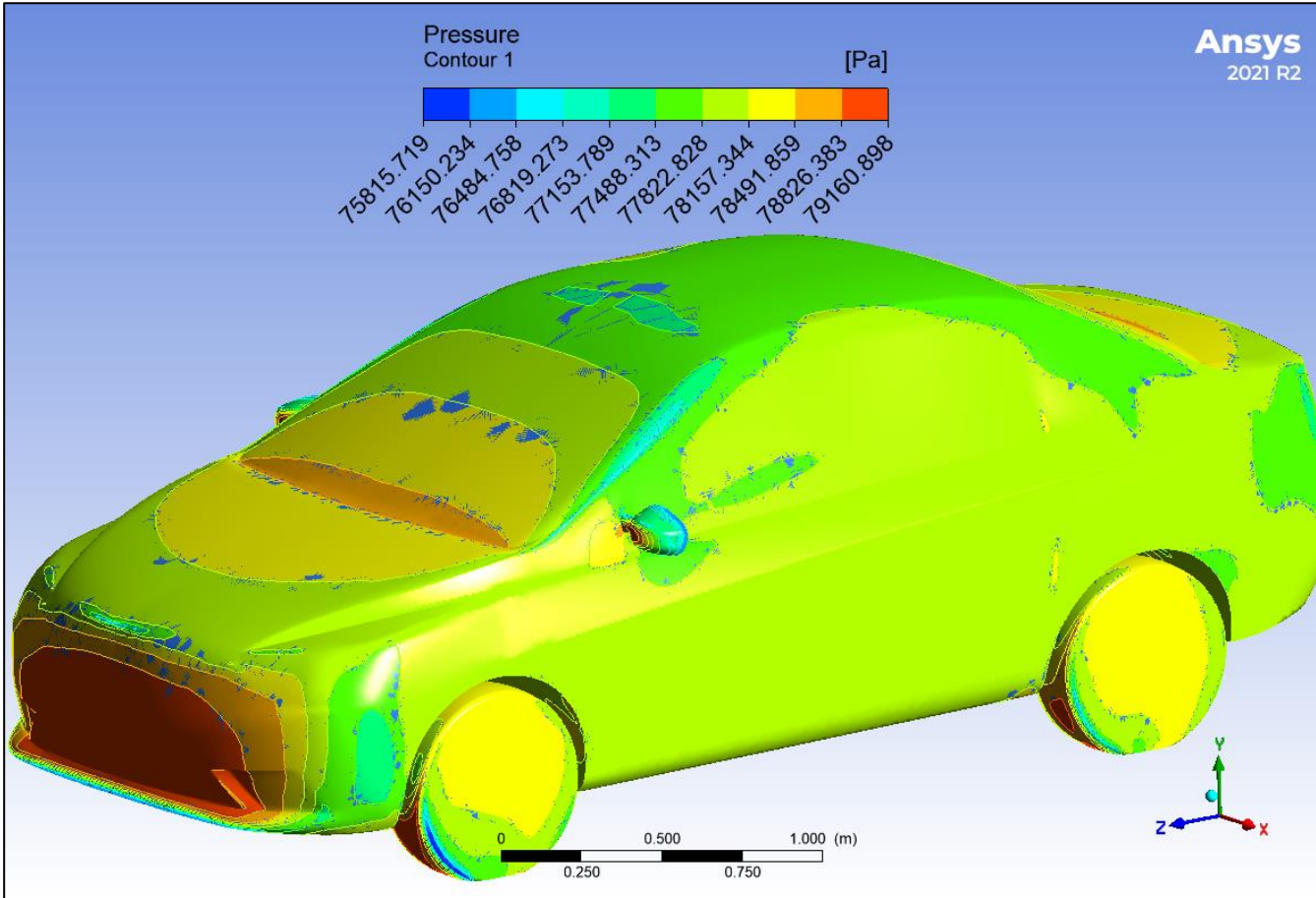
Como segundo elemento se analiza el capot, en donde se observa que la presión va disminuyendo igual que en el KIA Picanto, a la velocidad de 27.78 m/s (100Km/h) su valor es de 78356.26 Pa que se encuentra en el rango óptimo según las franjas de color del análisis aerodinámico y que a medida de que va aumentando la velocidad la presión ejerce menor fuerza en el capot, a 34.7 m/s (125 Km/h) su valor es de 78277.19 Pa y a la velocidad de 41.67 m/s (150 km/h) la presión aumenta a 77766.71 Pa, es decir que el capot en las pruebas aerodinámicas del CHEVROLET Sail no presenta índices de inseguridad en velocidades altas al igual que el anterior vehículo.

Como tercer elemento se analiza el parabrisas, en donde se observa que a la velocidad de 27.78 m/s (100km/h), el elemento presenta un pequeño incremento de presión de 78356.23 Pa que se encuentra casi dentro del rango óptimo del análisis, se puede verificar que al aumenta la velocidad la presión en el parabrisas va disminuyendo igual que pasaba en el caso del KIA Picanto ya que a la velocidad de 34.7 m/s (125km/h) la presión tiene un valor de 78277.19 Pa pero al aumentar a 41.67 m/s (150km/h) la presión aumenta a 78521.85 Pa, es decir que el elemento analizado tiene problemas aerodinámicos en el diseño del parabrisas ya que no mantiene un régimen ni de crecimiento ni de decrecimiento más bien es irregular su análisis aerodinámico.

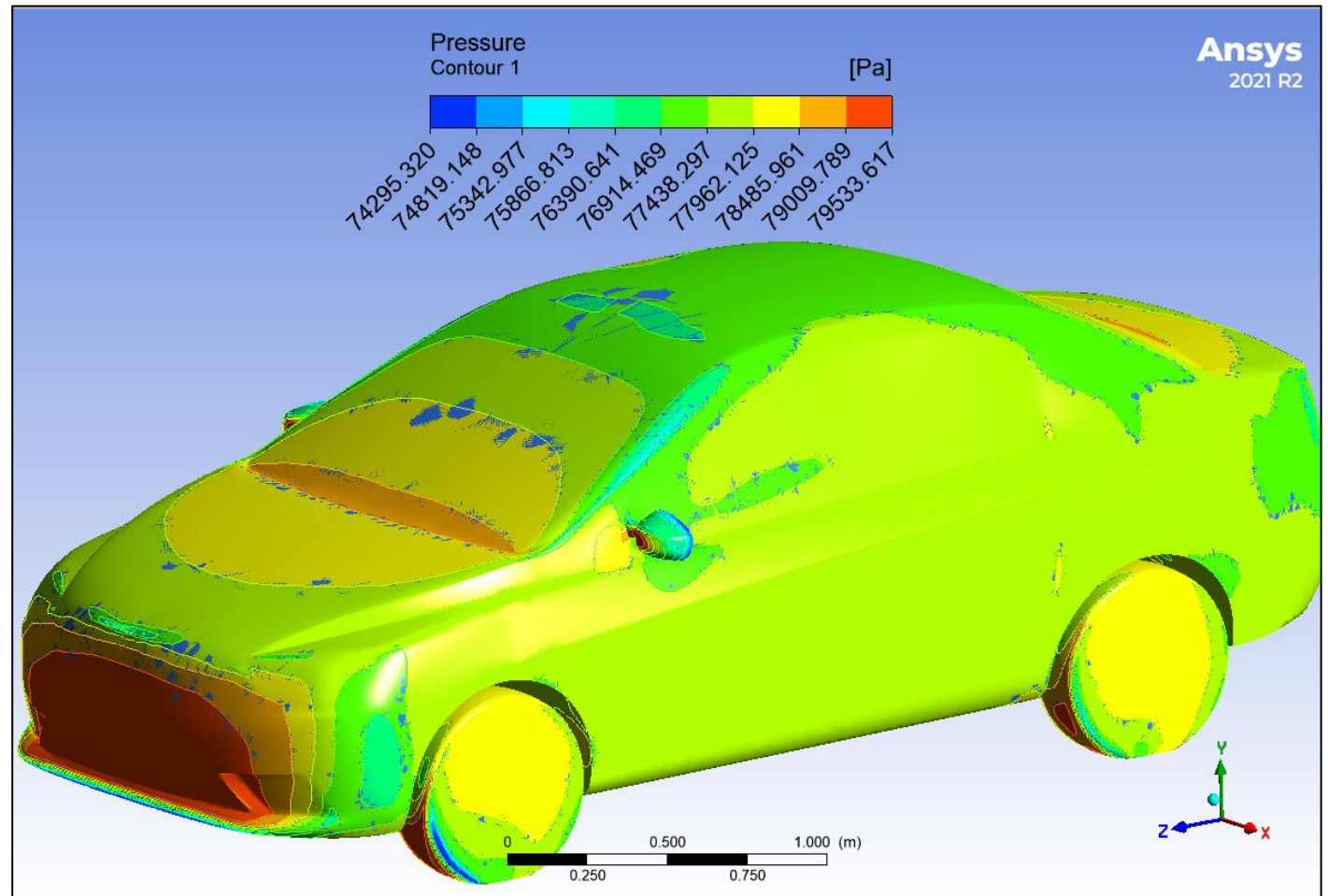
Como cuarto elemento se analiza el techo, en donde se observa que a la velocidad de 27.79 m/s (100 km/h), la presión en el elemento es de 78083.12 Pa y se puede verificar mediante las franjas de las simulaciones que a medida que aumenta la velocidad la presión disminuye como en el caso del KIA Picanto debido a que en 34.7 m/s (125 km/h) su valor

es de 77850.96 Pa y al llegar a la velocidad de 41.67 m/s (150 km/h) su valor es de 77768.71 Pa, que son rangos óptimos para circular sin problemas aerodinámicos en la parte superior del vehículo. Por lo que se obtiene que al realizar todos los análisis de pruebas en el CHEVROLET SAIL se contrasta que su diseño en el parabrisas es poco eficiente mientras que los demás elementos se mantienen en rangos de circulación apropiada.

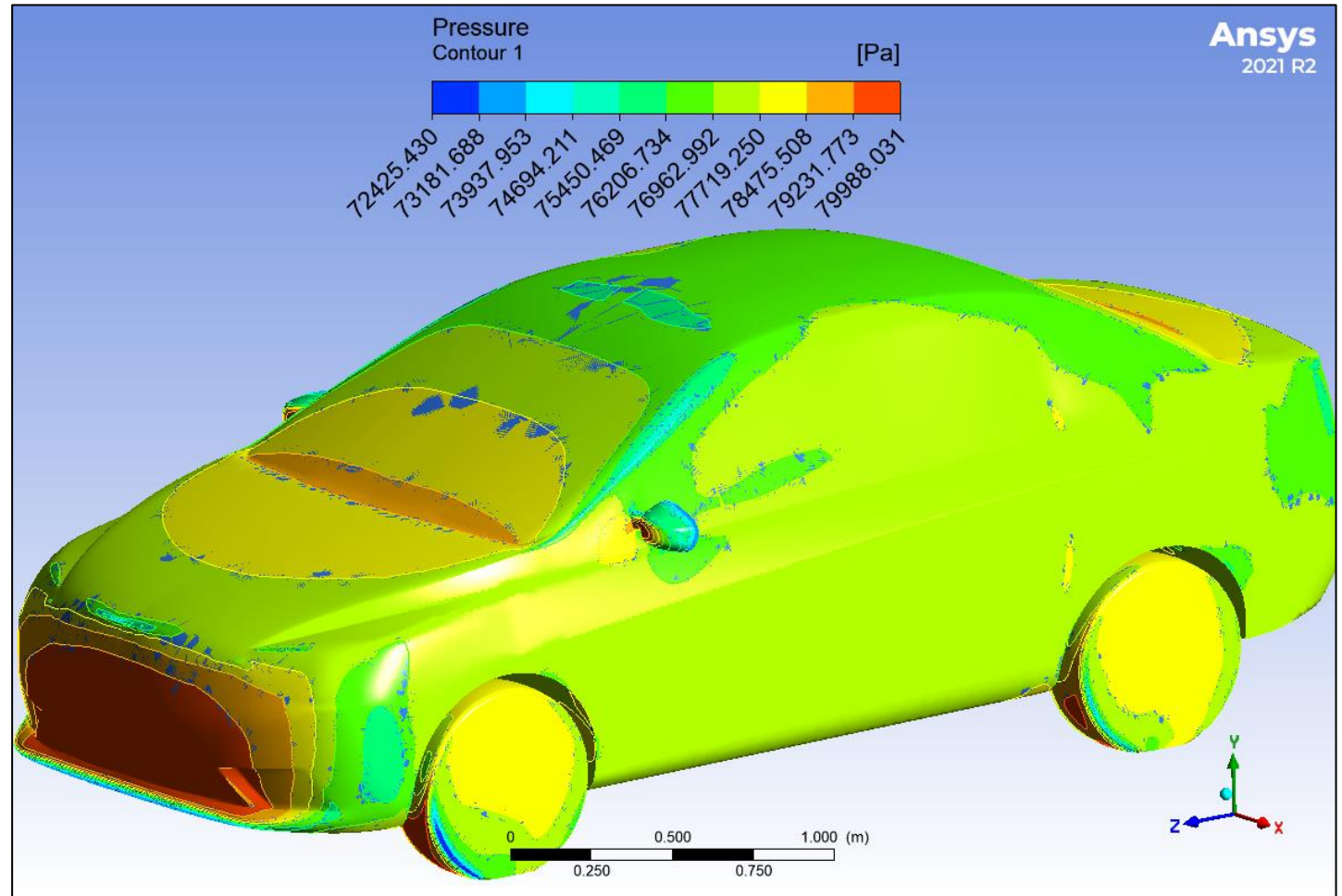
Tabla 3-13. Elementos del CHEVROLET Sail sometidos a diferentes velocidades.

VELOCIDAD m/s (km/h)	SIMULACIÓN (Presión)
27.78 (100)	

34.7 (125)



41.67 (150)



- **CHEVROLET Sail y el número de Reynolds.**

En la figura 3-68, se muestra la gráfica de Reynolds del segundo vehículo en el eje z, la simulación demuestra los puntos donde el flujo de aire está en estado laminar – de transición – turbulento, este gráfico permite observar el paso del fluido sobre los elementos respectivos donde los rangos van desde 0 en condición de Reynolds hasta 5000 que son resultados altos en cuanto a desplazamiento del vehículo los datos dan a conocer en donde el flujo de aire es mejor aerodinámicamente con la condición fija de que Reynolds es laminar cuando es menor a 2000 ($Re < 2000$), flujo de transición cuando se encuentra dentro del rango de 2000 a 4000 ($2000 < Re < 4000$) y turbulento cuando es mayor a 4000 ($Re > 4000$).

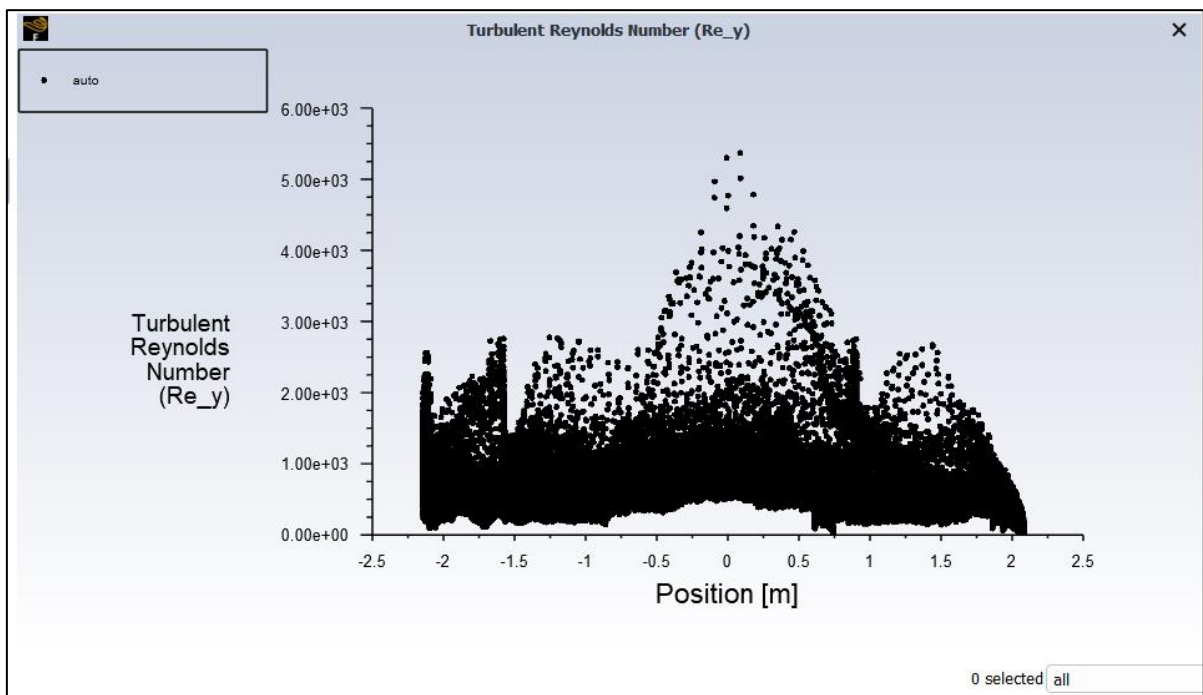


Figura 3-68. Número de Reynolds del segundo vehículo.

- **Gráfica de presión vs velocidad.**

En la figura 3-69, se observa que a la velocidad de 27.78m/s se obtiene una presión de 78635 Pa, en 34.7m/s la presión disminuye a 78480 Pa y en 41.67m/s la presión disminuye a valor menores a los 78000 Pa, se observar que la presión tiende a disminuir mediante el vehículo va aumentando la velocidad la cantidad de flujo de aire en los elementos se reduce, de igual forma como en el anterior gráfico es similar a las simulaciones que se realizan al CHEVROLET Sail posterior del vehículo en este caso

existen tres tipos, pero de acuerdo a la gráfica el que tiene el CHEVROLET Sail es el denominado en escalón que según la teoría es moderado en rangos de 30° a 40°, lo que indica que en el aspecto aerodinámico es adecuado en comparación a los demás vehículos de prueba según su ángulo posterior.

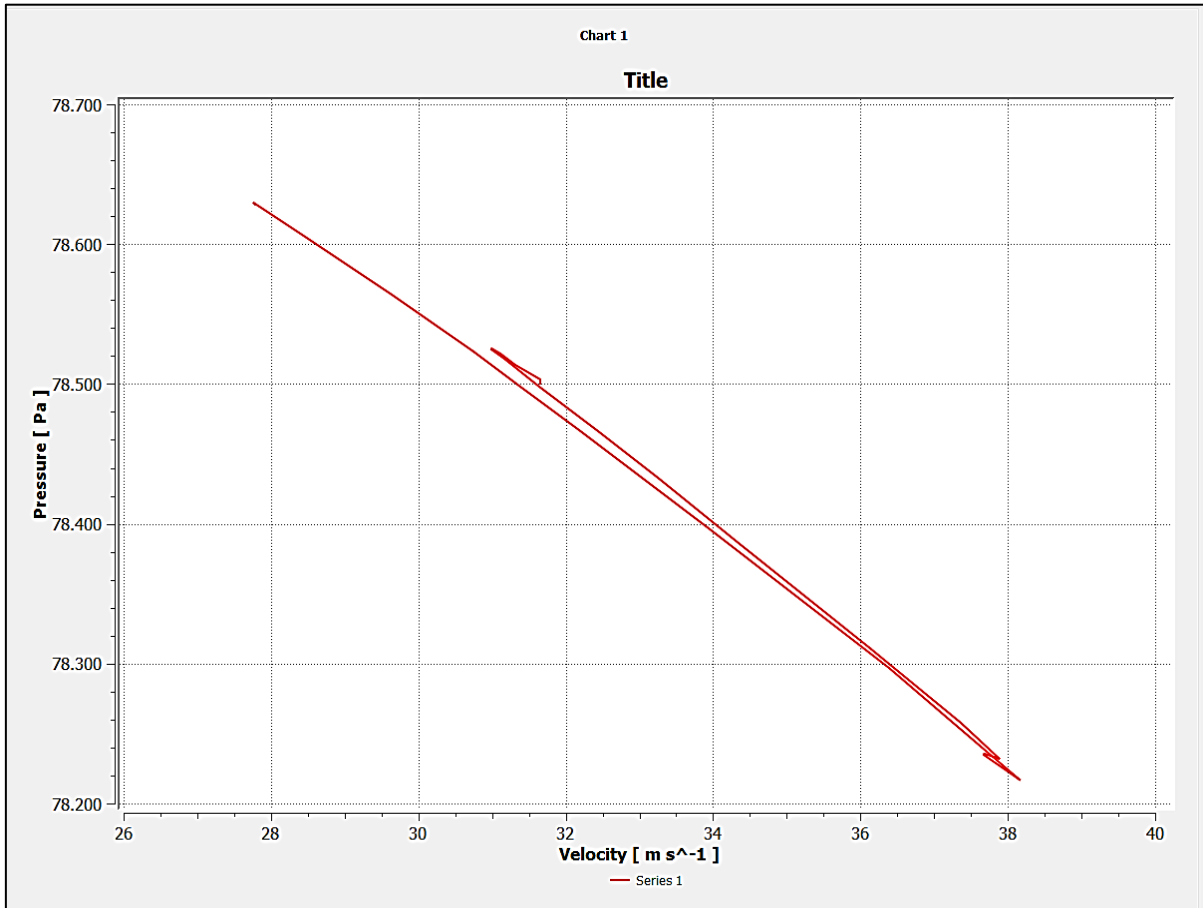


Figura 3-69. Gráfica de presión vs velocidad del segundo vehículo.

La tabla 3-14, permite observar los valores y franjas de colores analizados de los elementos sometidos a pruebas aerodinámicas en donde se obtiene una clara fuente de datos que nos permite constatar los rangos y elementos a los que el vehículo presenta problemas aerodinámicos y de igual forma observar si el CHEVROLET Sail cuenta con el diseño óptimo para circular por la carretera a velocidades altas.

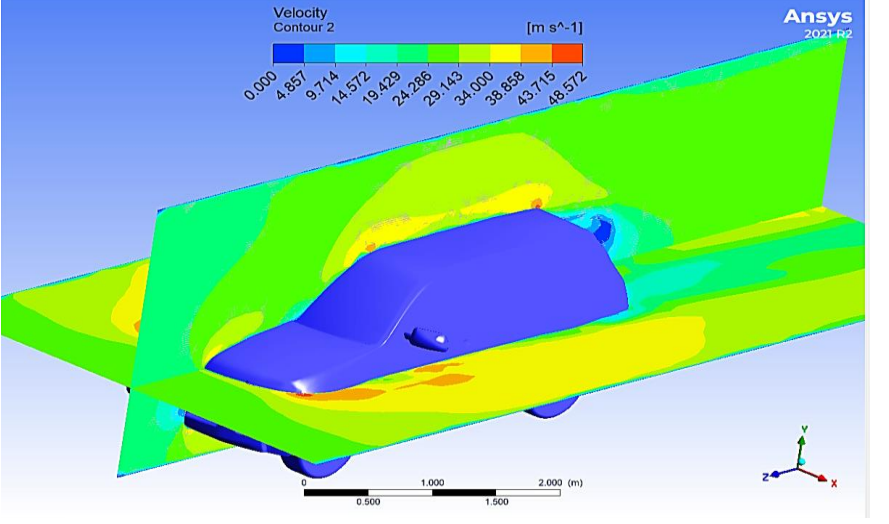
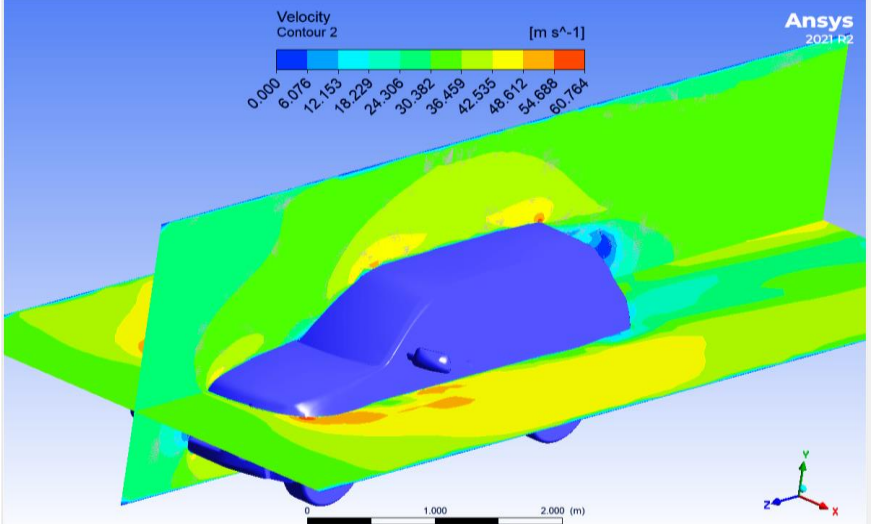
Tabla 3-14. Tipos de flujo en los elementos analizados del CHEVROLET Sail.

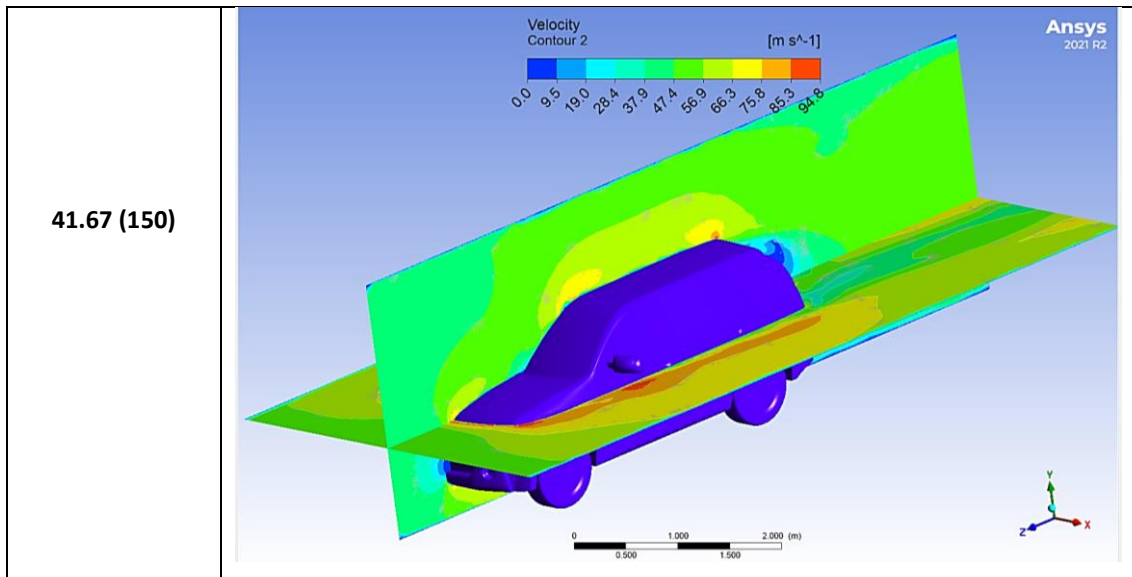
ELEMENTOS		VELOCIDAD (m/s)		
		Escala		
		1.55	1.92	2.31
		Real		
		27.78	34.7	41.67
Parachoques	Presión (Pa)	78902.53	79129.67	79277.00
	Color			
	Rango Reynolds	0-1000	1000-2000	1000-2000
	Tipo de Flujo	Laminar	Laminar	Laminar
Capot	Presión (Pa)	78356.26	78277.19	77766.71
	Color			
	Rango Reynolds	1000-2000	2000-3000	2000-3000
	Tipo de Flujo	Laminar	Transitorio	Transitorio
Parabrisas	Presión (Pa)	78356.23	78277.19	78521.85
	Color			
	Rango Reynolds	3000-4000	3000-4000	4000-5000
	Tipo de Flujo	Transitorio	Transitorio	Turbulento
Techo	Presión (Pa)	78083.12	77850.96	77768.71
	Color			
	Rango Reynolds	4000-6000	4000-6000	5000-7000
	Tipo de Flujo	Turbulento	Turbulento	Turbulento

3.8.3. CHEVROLET Grand Vitara SZ en diferentes regímenes de velocidad.

En la tabla 3-15, se observa la visualización en dos planos del flujo de aire del tercer vehículo a distintas velocidades con las cuales se verificó que existen cambios según vaya incrementado las rpm o la velocidad del vehículo y permite verificar los elementos que presentan problemas aerodinámicos de la misma forma que el anterior vehículo de pruebas se realizan las correspondientes simulaciones para obtener datos eficientes que permitan determinar que vehículo tiene un mejor Cx, en el cuadro se pueden apreciar los diversos colores que representan la aerodinámica en los elementos del vehículo.

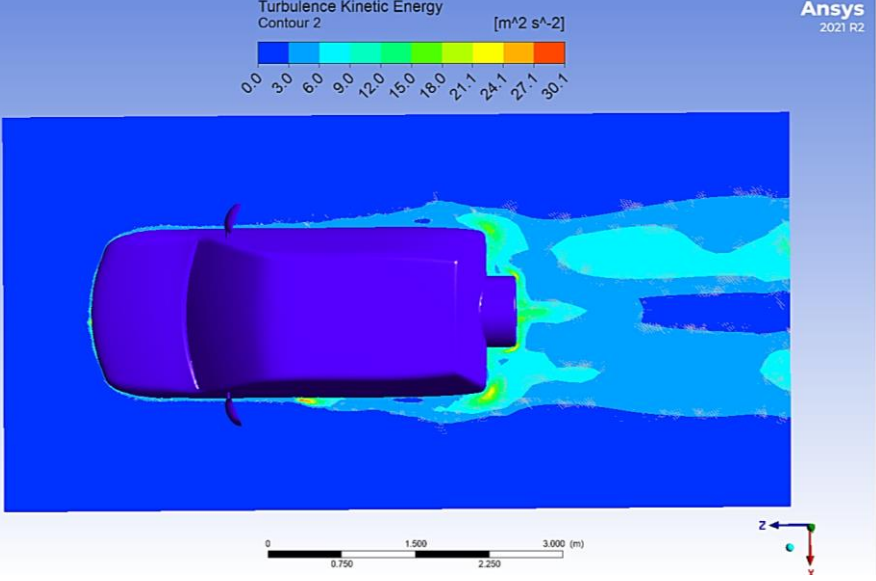
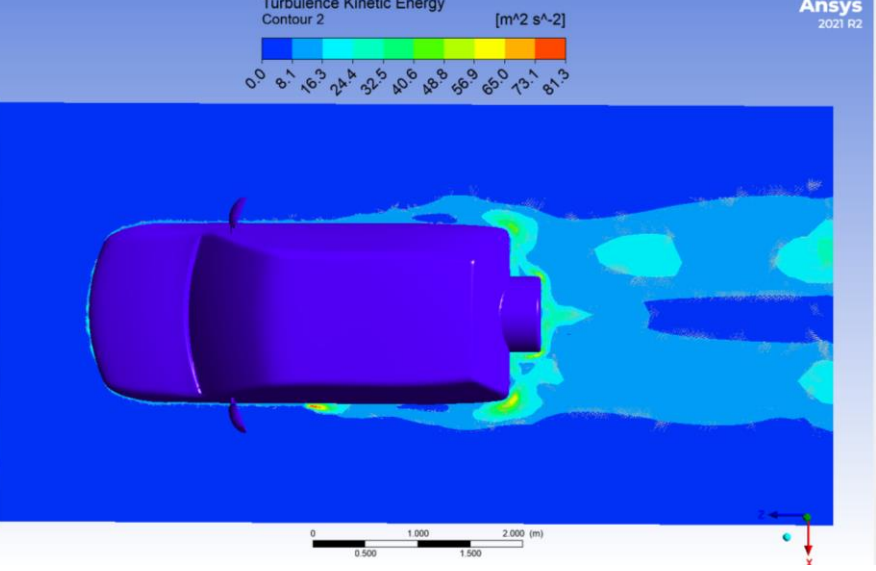
Tabla 3-15. Visualización en dos planos del CHEVROLET Grand Vitara SZ del flujo de aire en los distintos cambios de velocidad.

Velocidad m/s (km/h)	Visualización en dos Planos
27.78 (100)	
34.7 (125)	

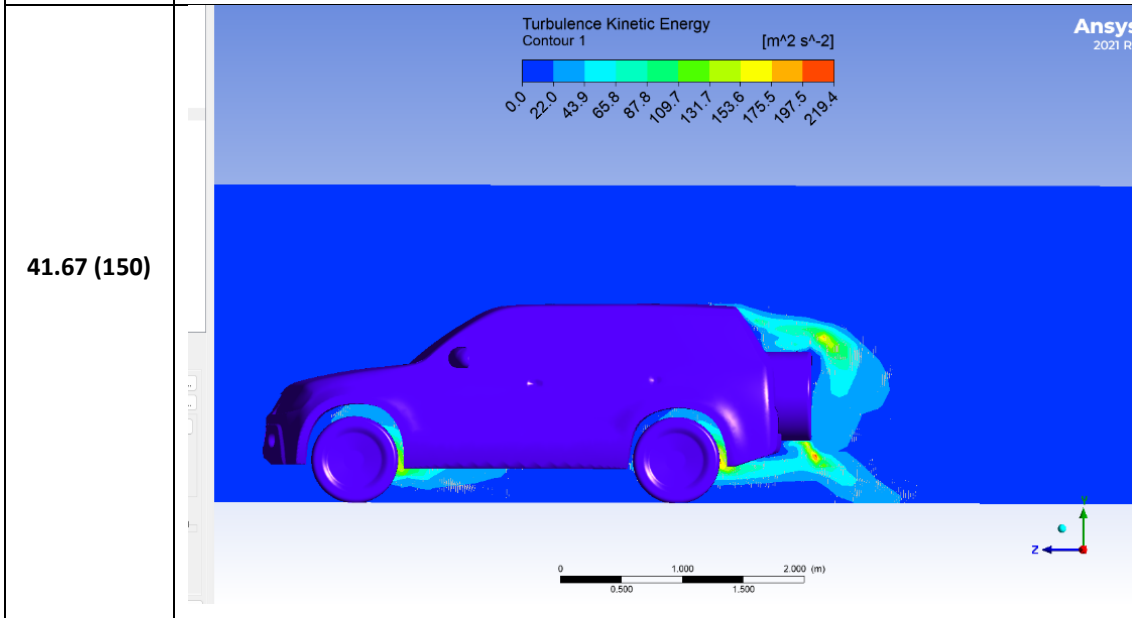
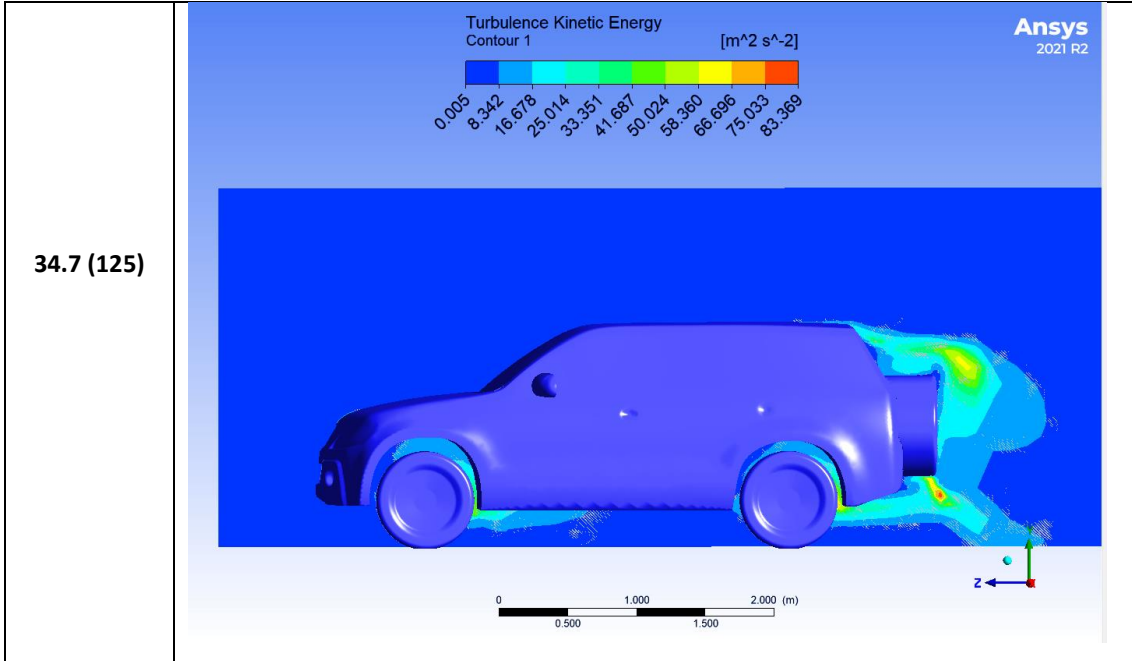


La tabla 3-16, muestra los gráficos de forma horizontal y vertical del vehículo en pruebas de Energía Cinética de Turbulencia que permitió analizar los puntos donde existe la asociación con los remolinos en el flujo turbulento, e este caso podemos observar que tanto en la velocidad de 27.78 m/s, 34.7 m/s y 41.67 m/s se presentan fluctuaciones en la parte posterior al igual que en el caso del KIA Picanto, con un valor de 15.0 J, 40.6 J y 61.8 J respectivamente con sus velocidades correspondientes, lo que indica que este vehículo es más inestable que el primero y el segundo debido a que sus valores de turbulencia son mayores en los mismo intervalos de velocidad, estos datos son relevantes, al ser el vehículo con más problemas aerodinámicos su diseño no es el mejor para transitar a velocidades altas que pueden ser peligrosas para los conductores de este modelo y que según las estadísticas es uno de los más adquiridos en la ciudad de Ibarra.

Tabla 3-16. Vista vertical y horizontal del CHEVROLET Grand Vitara SZ de la Energía cinética de turbulencia a las distintas velocidades de prueba.

Velocidad m/s (km/h)	Vista Vertical
27.78 (100)	 <p>Turbulence Kinetic Energy Contour 2 [m² s⁻²]</p> <p>0.0 3.0 6.0 9.0 12.0 15.0 18.0 21.1 24.1 27.1 30.1</p> <p>0 0.750 1.500 2.250 3.000 (m)</p> <p>ANSYS 2021 R2</p>
34.7 (125)	 <p>Turbulence Kinetic Energy Contour 2 [m² s⁻²]</p> <p>0.0 8.1 16.3 24.4 32.5 40.6 48.8 56.9 65.0 73.1 81.3</p> <p>0 0.500 1.000 1.500 2.000 (m)</p> <p>ANSYS 2021 R2</p>

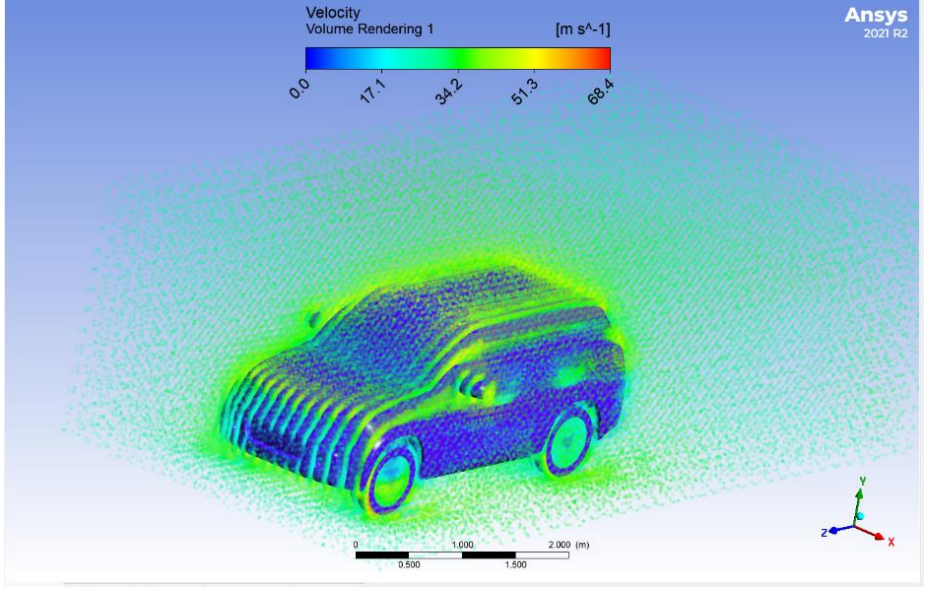
<p>41.67 (150)</p>	
<p>Velocidad m/s (km/h)</p>	<p>Vista Horizontal</p>
<p>27.78 (100)</p>	

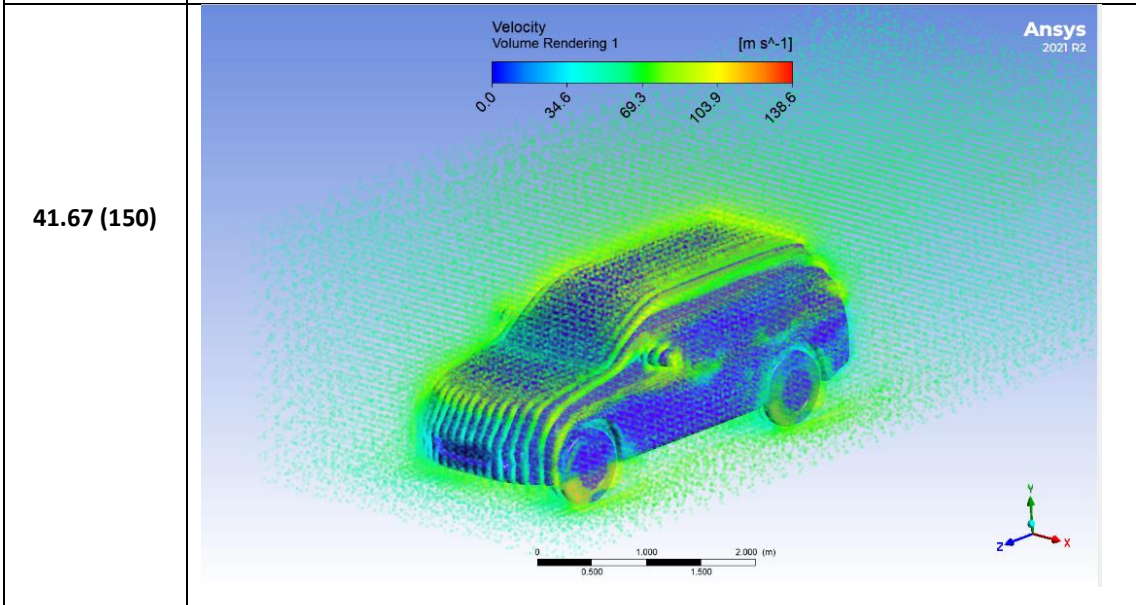
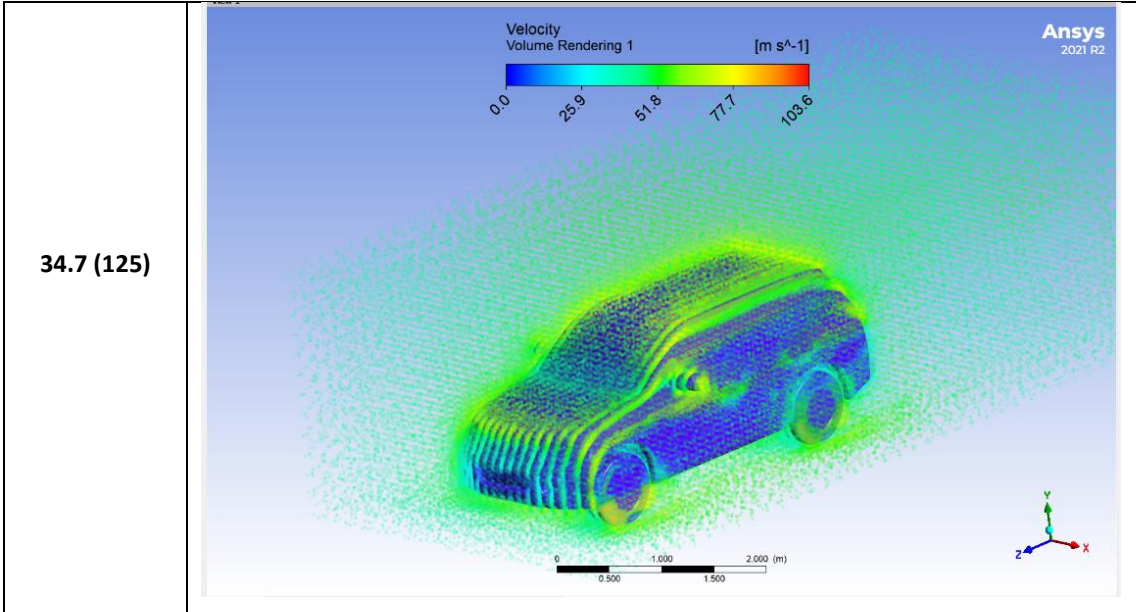


En la tabla 3-17, se observa una vista en 3D de cómo se comporta el flujo de aire con respecto al segundo vehículo. Se pudo observar las zonas donde se produjeron cambios de la continuidad de la curva, es decir son las zonas donde el fluido impacta.

En las simulaciones se puede analizar que conforme la velocidad aumenta la estela del flujo de aire se hace más intensa en los lugares señalados anteriormente debido a que choca con una mayor fuerza haciendo que el vehículo se desestabilice y genera un retroceso o pérdida de velocidad, al igual que en el anterior caso al ser el vehículo con mayores problemas aerodinámicos la estela que se observa aumenta a medida que incremental la velocidad.

Tabla 3-17. Comportamiento del fluido en 3D a las velocidades correspondientes de las pruebas.

Velocidad m/s (Km/h)	Vista 3D del Fluido
27.78 (100)	



La tabla 3-18, muestra las pruebas realizadas al tercer vehículo permitiendo analizar como en los demás casos la influencia de la velocidad y la presión en los distintos puntos críticos.

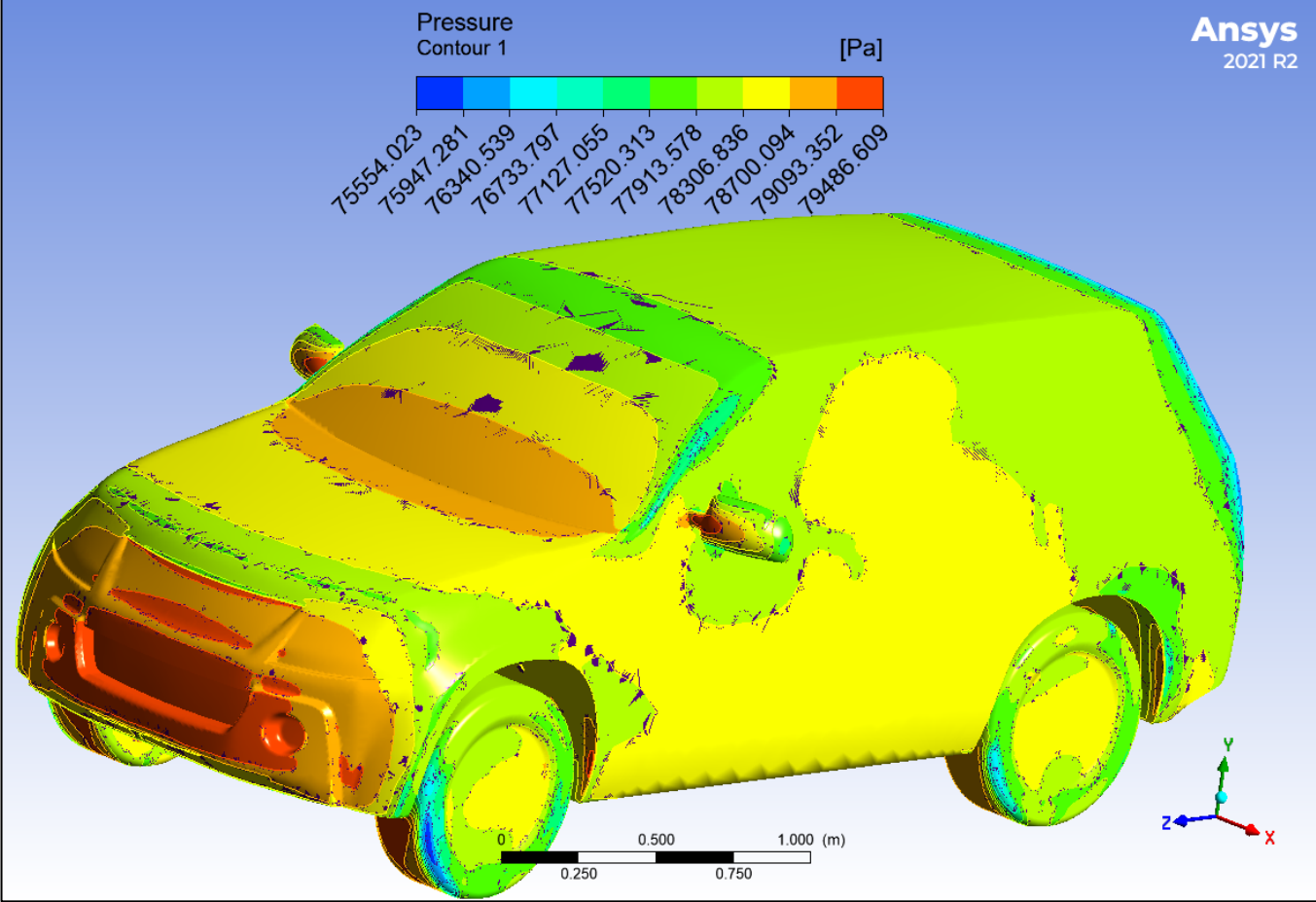
Como primer elemento se analiza el parachoques, en donde se observa que a una velocidad de 27.78 m/s (100Km/h), la presión es de 79496.16 Pa, se encuentra en el punto crítico de la misma forma que los demás vehículos, al aumentar la velocidad a 34.7 m/s (125km/h) la presión aumenta a 80012.48 Pa y por último se analiza la velocidad de 41.67 m/s (150km/h) en donde se obtiene que la presión es de 80693.91 Pa, lo que demuestra que a velocidades altas el guardachoques tiene una mayor presión al igual que un mayor contacto con el flujo de aire que puede producir desbalance y fuertes rozamientos con el fluido de la misma forma que los vehículos KIA Picanto y CHEVROLET Sail, la presión en el tercer vehículo es inferior al primero y superior al segundo según indican las gráficas de las simulaciones.

Como segundo elemento se analiza el capot, en donde se observa que la presión aumenta en comparación al KIA Picanto y al CHEVROLET Sail, a la velocidad de 27.78 m/s (100km/h) su valor es de 78607.96 Pa que se encuentra casi en el rango óptimo según las franjas de color del análisis aerodinámico y a medida que aumenta la velocidad la fuerza que ejerce en el capot disminuye como en los anteriores casos, a 34.7 m/s (125 km/h) su valor es de 78269.47 Pa y a la velocidad de 41.67 m/s (150 km/h) la presión disminuye a 78164.57 Pa, es decir que el capot en las pruebas aerodinámicas del CHEVROLET Grand Vitara SZ, no presenta índices de inseguridad en velocidades altas y no tiene irregularidades o problemas aerodinámicos.

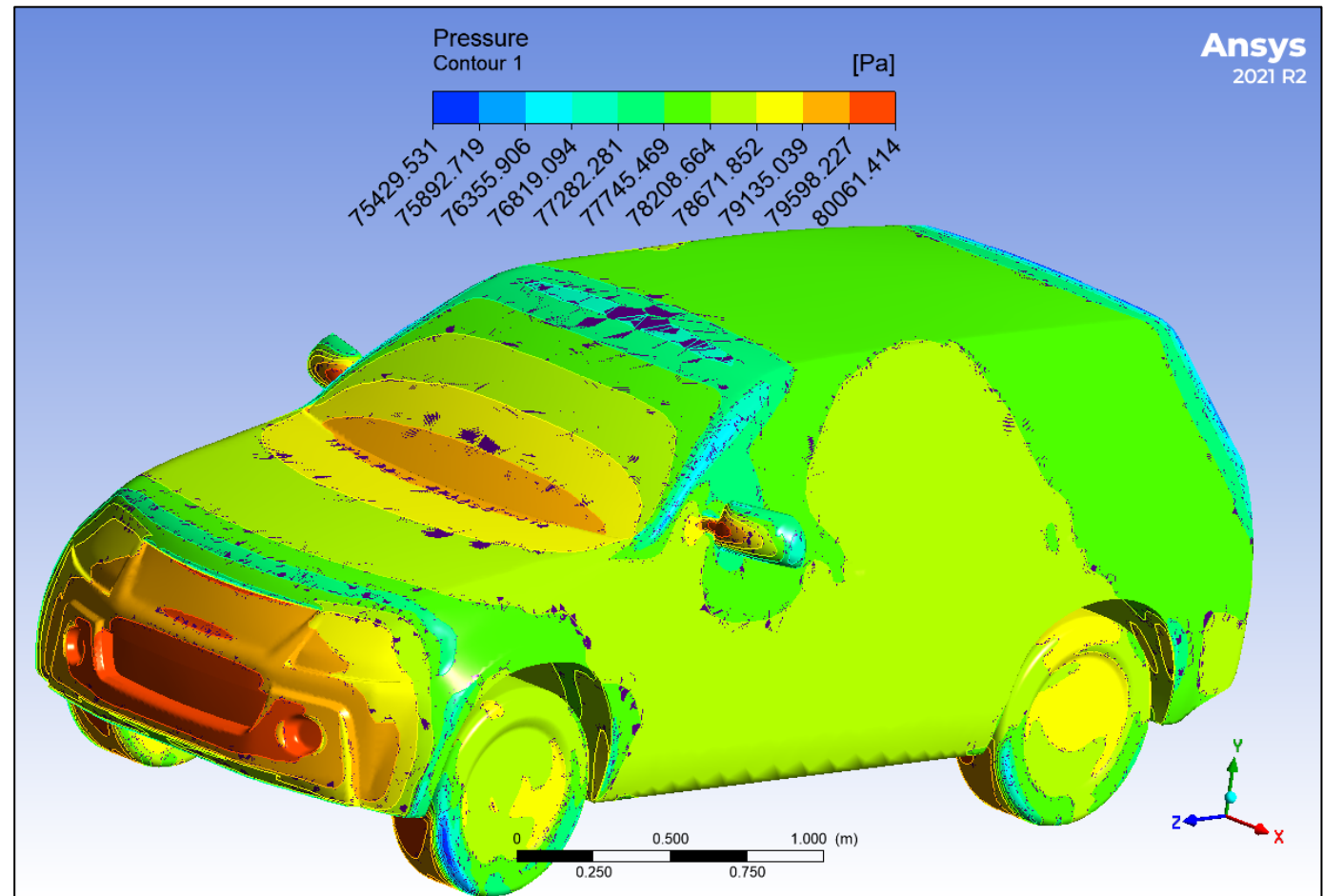
Como tercer elemento se analiza el parabrisas, en donde se observa que a la velocidad de 27.78 m/s (100km/h), el elemento incrementa a 78607.96 Pa, que a diferencia de los otros vehículos no se encuentra dentro del rango óptimo del análisis, se puede verificar que al aumenta la velocidad la presión en el parabrisas aumenta, lo que no pasaba en ninguno de los demás análisis debido a que a 34.7 m/s (125km/h) la presión tiene un valor de 78850.47 Pa pero al aumentar a 41.67 m/s (150km/h) la presión disminuye a 78164.57 Pa, es decir que el elemento analizado tiene problemas aerodinámicos en el diseño del parabrisas ya que no mantiene un régimen ni de crecimiento ni de decrecimiento más bien su análisis aerodinámico es irregular.

Como cuarto elemento se analiza el techo, en donde se observa que a la velocidad de 27.79 m/s (100 m/h), la presión en el elemento es de 78015.82 Pa y se puede verificar mediante las franjas de las simulaciones que a medida que aumenta la velocidad la presión también que es todo lo contrario al del KIA Picanto y del CHEVROLET Sail debido a que en 34.7 m/s (125 km/h) su valor es de 77107.48 Pa y al llegar a la velocidad de 41.67 m/s (150 km/h) existe una variante de presión en los laterales de 78164.57 en los laterales del techo, que son rangos relativamente altos y con variantes de presión para circular en la carretera. Por lo que se obtiene que al realizar todos los análisis de pruebas en el CHEVROLET Grand Vitara SZ se contrasta que su diseño en el capot y parabrisas es poco eficiente mientras que los demás elementos se mantienen en rangos de circulación apropiada.

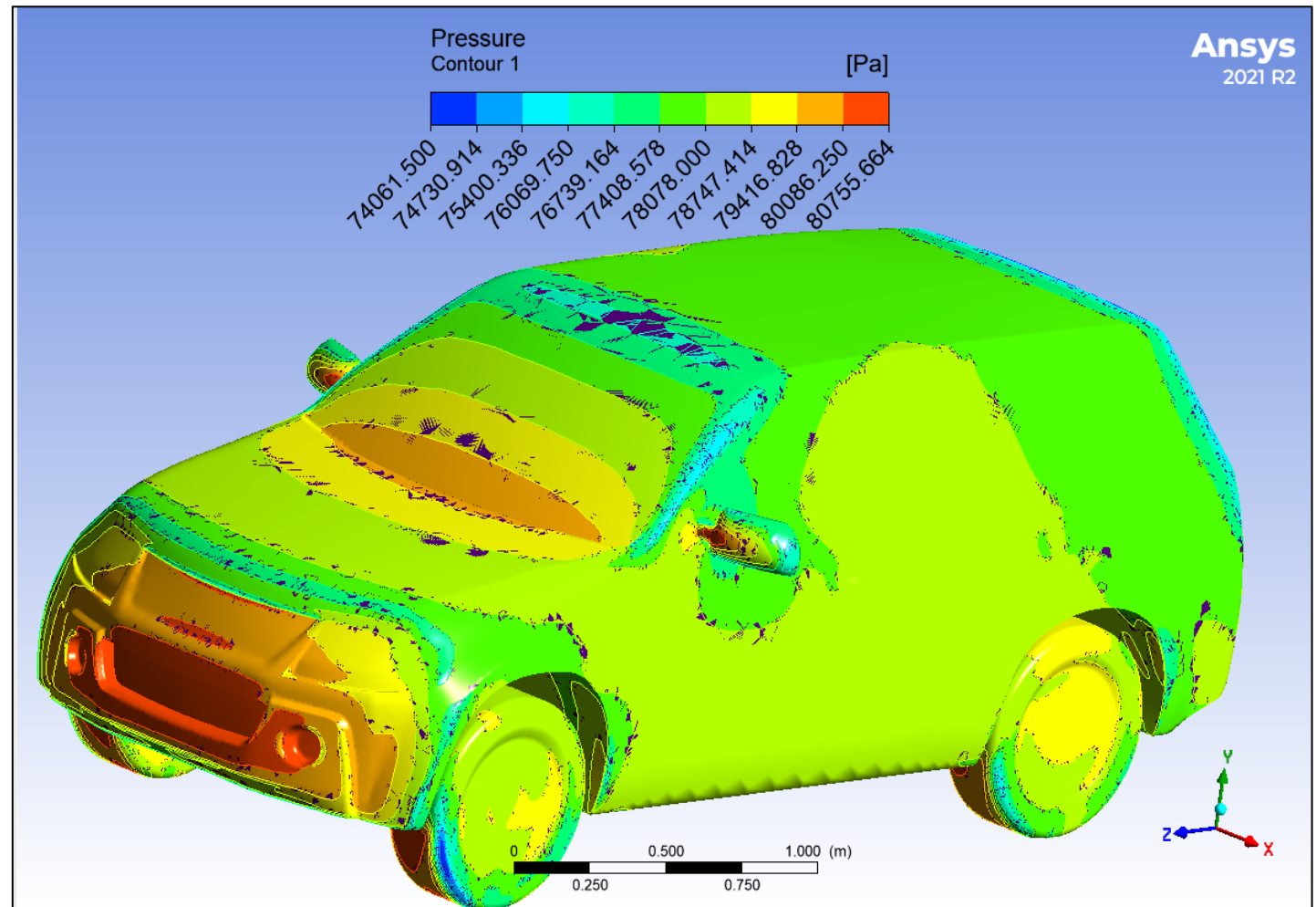
Tabla 3-18. Tabla 3 22. Elementos del CHEVROLET Grand Vitara SZ sometidos a diferentes velocidades.

VELOCIDAD m/s (km/h)	SIMULACIÓN (Presión)
27.78 (100)	

34.7 (125)



41.67 (150)



- **CHEVROLET Grand Vitara SZ y el número de Reynolds.**

En la figura 3-70, se muestra la gráfica de Reynolds del tercer vehículo en el eje z, la simulación demuestra los puntos donde el flujo de aire está en estado laminar – de transición – turbulento, este gráfico permite observar el paso del fluido sobre los elementos respectivos donde los rangos van desde 0 en condición de Reynolds hasta 7000 que son resultados altos en comparación a los demás vehículos de prueba y en cuanto a desplazamiento del vehículo se busca conocer en donde el flujo de aire es mejor aerodinámicamente con la condición fija de que Reynolds es laminar cuando es menor a 2000 ($Re < 2000$), flujo de transición cuando se encuentra dentro del rango de 2000 a 4000 ($2000 < Re < 4000$) y turbulento cuando es mayor a 4000 ($Re > 4000$).

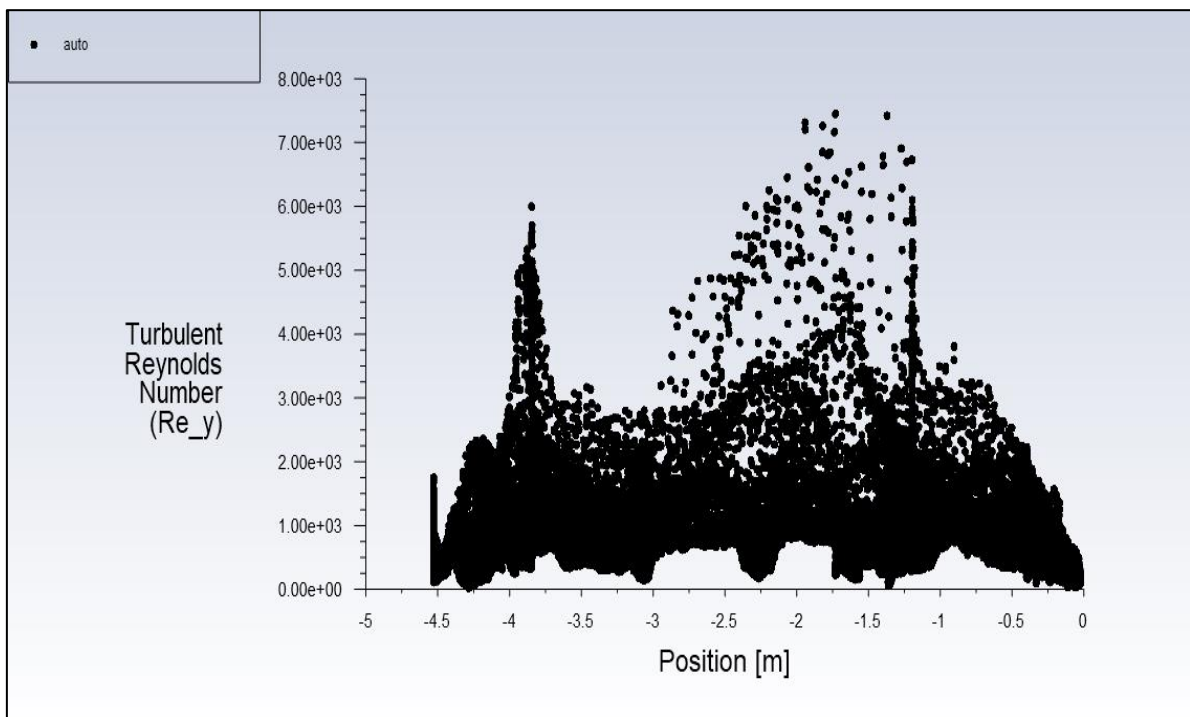


Figura 3-70. Número de Reynolds en el tercer vehículo.

- **Gráfica de presión vs velocidad.**

En la figura 3-71, se puede observar que el vehículo tiende a disminuir la presión a medida de que sube la velocidad, esto confirma las simulaciones en donde los datos nos arroja los mismo que al momento de que la velocidad aumenta en las tres velocidades de prueba de 27.78m/s, 34.7 m/s, 41.67m/s, las presiones varían según de 78800 Pa a 78550 Pa hasta llegar a su última velocidad con 78225 Pa. La gráfica corresponde a la presión vs la

velocidad en donde se demuestra cómo influye a los diferentes rangos de velocidad del flujo de aire y según el ángulo se puede determinar que es de forma cuadrada que según la teoría es mayor de 40° ($\phi < 40^\circ$), lo que indica que en el aspecto aerodinámico es menos seguro en comparación a los demás vehículos de prueba según su ángulo posterior.

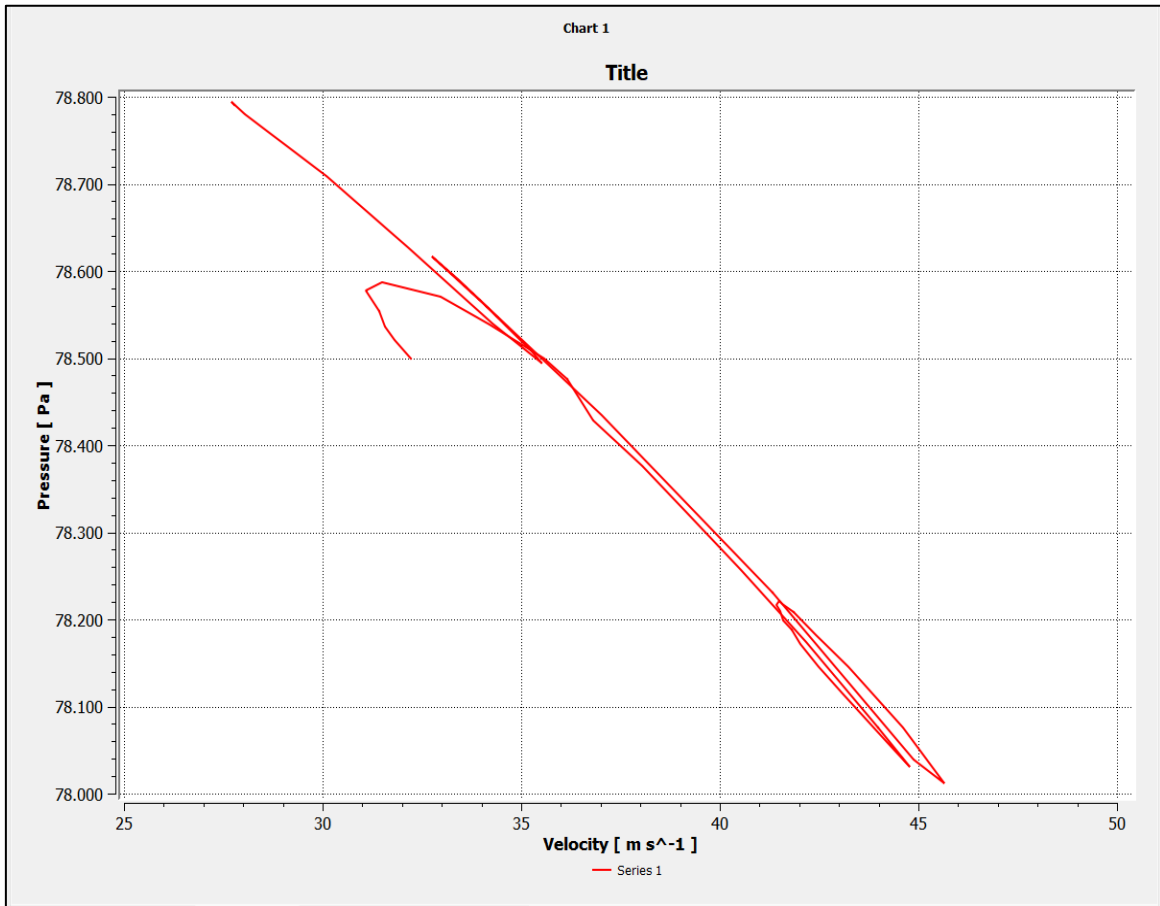


Figura 3-71. Gráfica de presión vs velocidad del tercer vehículo.

La tabla 3-27, permite observar los valores y franjas de colores analizados de los elementos sometidos a pruebas aerodinámicas en donde se obtiene una clara fuente de datos que nos permite constatar los rangos y elementos a los que el vehículo presenta problemas aerodinámicos y de igual forma observar si el CHEVROLET Grand Vitara SZ cuenta con el diseño óptimo para circular por la carretera a velocidades altas.

Tabla 3-19. Tipos de flujo en los elementos analizados del CHEVROLET Grand Vitara SZ.

ELEMENTOS		VELOCIDAD (m/s)		
		Escala		
		1.55	1.92	2.31
		Real		
		27.78	34.7	41.67
Parachoques	Presión (Pa)	79496.16	80012.48	80693.91
	Color			
	Rango Reynolds	0-2000	1000-2000	1000-2000
	Tipo de Flujo	Laminar	Laminar	Laminar
Capot	Presión (Pa)	78607.96	78269.47	78164.57
	Color			
	Rango Reynolds	2000-3000	2000-3000	3000-4000
	Tipo de Flujo	Transitorio	Transitorio	Transitorio
Parabrisas	Presión (Pa)	78607.96	78850.47	78164.57
	Color			
	Rango Reynolds	2000-4000	2000-4000	4000-6000
	Tipo de Flujo	Transitorio	Transitorio	Turbulento
Techo	Presión (Pa)	78015.82	77107.48	78164.57
	Color			
	Rango Reynolds	5000-7000	5000-7000	7000-8000
	Tipo de Flujo	Turbulento	Turbulento	Turbulento

3.9. Procesamiento de la información obtenida en el software y obtención de datos para el coeficiente aerodinámico C_x .

- Análisis parte trasera del vehículo

La resistencia al avance se la puede analizar desde otro punto de vista que es muy fiable en este caso es la forma del perfil del vehículo con la que cuenta en su parte posterior.

La figura 3-72, muestra las diversas formas con las que se analiza la aerodinámica de los vehículos, existen tres maneras de comprobarlo la forma (a) o llamada inclinada es la mejor aerodinámicamente debido a que tiene un ángulo menor a 30° que como dice la teoría entre mas bajo sea el ángulo del vehículo mejor proyección hacia el piso tendrá, el segundo es la forma (b) o llamada cuadrada esta forma contiene un ángulo de más de 30° el cual no está dentro del rango aerodinámico efectivo y por último la tercera forma (c) o llamada de escalón la forma de este vehículo tiende a tener un rango intermedio pero que físicamente es estable o aerodinámico y produce la mezcla entre las dos antes mencionadas.



Figura 3-72. Formas traseras usuales de los vehículos.
(Domingo F Sarmiento, 2009)

La Figura 3-73, muestra los rangos de cambio del C_x o coeficiente aerodinámico según el ángulo de inclinación esto permite tener una idea más clara y sumado a los resultados obtenidos en el análisis de las simulaciones encontrar cual de los vehículos se acerca a un mejor coeficiente aerodinámico.

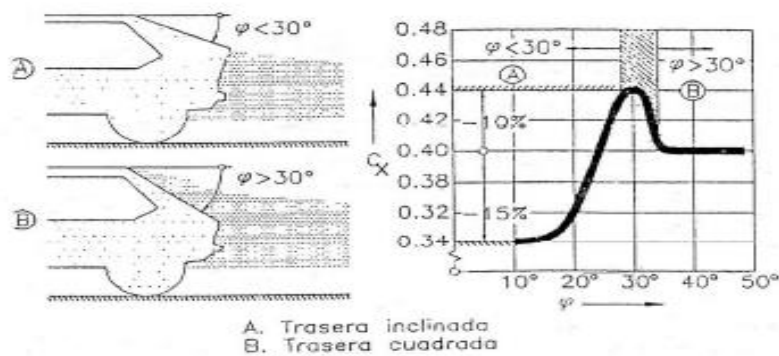


Figura 3-73. Influencia aerodinámica del Cx según su parte trasera.
(Domingo F Sarmiento, 2009)

En la Tabla 3-20, permite observar que según la forma del ángulo posterior del vehículo se encuentra dividido el Cx en bajo, alto y moderado es de mucha ayuda debido a que si los datos son erróneos se compara con el tipo de ángulo posterior y se puede analizar las condiciones de pruebas para llegar a obtener un coeficiente aerodinámico eficiente tanto en simulaciones como en teoría. Los ángulos varían de 30° a 40° según corresponda la forma del vehículo a realizar pruebas.

Tabla 3-20. Incidencia Cx según la forma trasera del vehículo.

Forma trasera del vehículo	Cx
Inclinado	Bajo
Cuadrado	Alto
Escalon	Moderado

Conforme se fue desarrollando el flujograma se fue obteniendo información del desarrollo del túnel de viento con respecto a los vehículos con la cual se puede realizar un cálculo del coeficiente aerodinámico según los datos obtenidos para analizar cuál de los vehículos presenta una condición óptima en cuanto a seguridad según el resultado de todos los análisis y simulaciones realizadas a los vehículos.

Se realizó el procedimiento de buscar el área de los vehículos como última fuente de datos para el cálculo del Cx.

- **KIA Picanto.**

La figura 3-74, detalla el área del primer vehículo que se realiza de forma manual trazando líneas consecutivas en el perfil delantero para poder realizar un cierre de sección que permita el cálculo del área correspondiente.

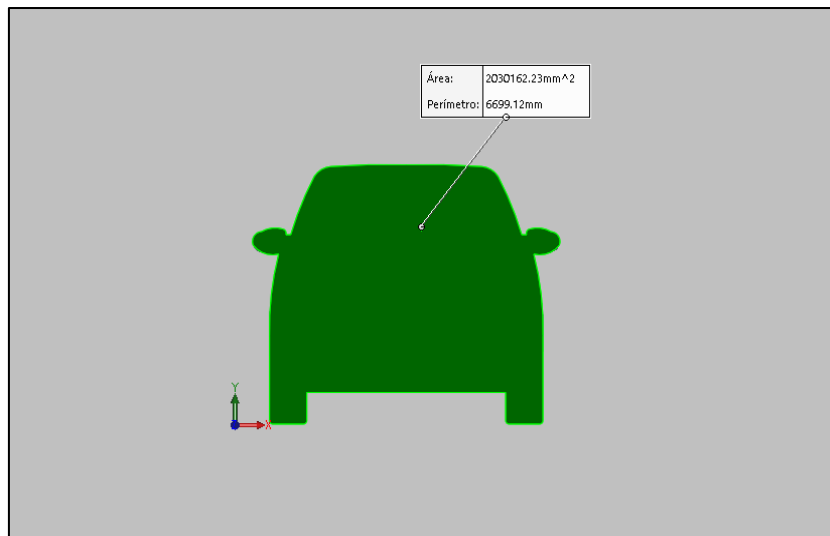


Figura 3-74. Área del vehículo KIA Picanto.

La tabla 3-21, muestra los datos necesarios para calcular el Cx del primer vehículo con el cual se podrá comparar cuál de todos tiene un mejor desempeño aerodinámico en la carretera siendo eficiente y seguro.

Tabla 3-21. Datos para calcular el Cx del KIA Picanto.

DATOS	KIA Picanto
F (N)	685
A (m2)	2,03
densidad (kg/m3)	1,184
V (m/s)	41,6

Cálculo coeficiente aerodinámico:

Datos:

Fd: 685.50 N

A: 2030162.23 mm² = 2.03 m²

ρ: 1.184 kg/m³

V: 150 km/h = 41.6 m/s

Ecuación 3-1. Cálculo coeficiente aerodinámico del KIA Picanto.

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

$$C_x = \frac{2(685.50 \text{ N})}{1.184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (41.6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 (2.03 \text{m}^2)}$$

$$C_x = \frac{1371.4 \text{ N}}{4159.43 \text{ N}}$$

$$C_x = 0.33$$

- **CHEVROLET Sail.**

La figura 3-75, detalla el área del segundo vehículo, de la misma forma se emplea trazando de líneas consecutivas en el perfil delantero para realizar un cierre de sección y calcular el área correspondiente.

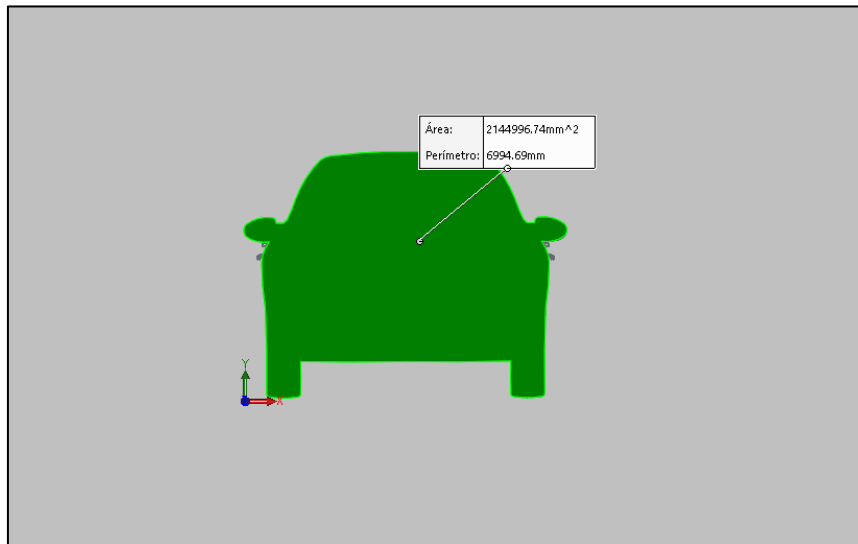


Figura 3-75. Área del vehículo CHEVROLET Sail.

La tabla 3-22, muestra los datos necesarios para calcular el Cx del segundo vehículo con el cual se podrá comparar cuál de todos tiene un mejor desempeño aerodinámico en la carretera siendo eficiente y seguro.

Tabla 3-22. Datos para calcular el Cx del CHEVROLET Sail.

DATOS	KIA Picanto
F (N)	792,927
A (m2)	2,14
densidad (kg/m3)	1,225
V (m/s)	41,6

Cálculo coeficiente aerodinámico:

Datos:

Fd: 792.927 N

A: 2144996.74 mm² = 2.14 m²

ρ: 1.184 kg/m³

V: 150 km/h = 41.6 m/s

Ecuación 3-2. Cálculo coeficiente aerodinámico del CHEVROLET Sail.

$$Cx = \frac{2Fd}{\rho v^2 A}$$

$$Cx = \frac{2(792.927 \text{ N})}{1.184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} (41.6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2 (2.14 \text{m}^2)}$$

$$Cx = \frac{1585.85 \text{ N}}{4384.82 \text{ N}}$$

$$Cx = 0.36$$

- **CHEVROLET Grand Vitara SZ.**

La figura 3-76, detalla el área del tercer vehículo como antes mencionado se traza líneas consecutivas en el perfil delantero y con ellas se obtiene el área adecuada, este proceso se lo realiza para todos los vehículos.

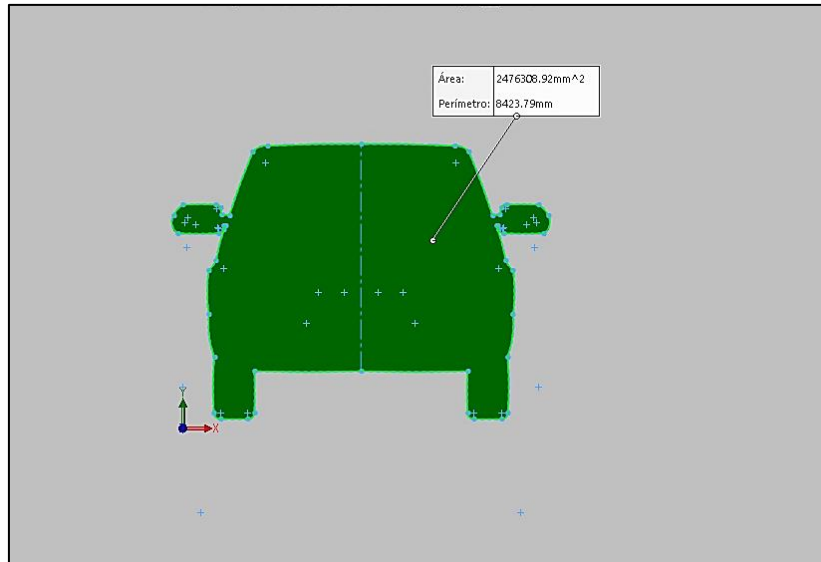


Figura 3-76. Área del vehículo CHEVROLET Grand Vitara SZ.

La tabla 3-23, muestra los datos necesarios para calcular el Cx del segundo vehículo con el cual se podrá comparar cuál de todos tiene un mejor desempeño aerodinámico en la carretera siendo eficiente y seguro.

Tabla 3-23. Datos para calcular el Cx del CHEVROLET Grand Vitara SZ.

DATOS	KIA Picanto
F (N)	1073
A (m2)	2,357
densidad (kg/m3)	1,184
V (m/s)	41,6

Cálculo coeficiente aerodinámico:

Datos:

Fd: 1073 N

A: 2476308.92 mm² = 2.47 m²

ρ: 1.184 kg/m³

V: 150 km/h = 41.6 m/s

Ecuación 3-3. Cálculo coeficiente aerodinámico del CHEVROLET Grand Vitara SZ.

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

$$C_x = \frac{2(1073\text{N})}{1.184 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \left(41.6 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2 (2.35\text{m}^2)}$$

$$C_x = \frac{2146 \text{ N}}{4815.11 \text{ N}}$$

$$C_x = 0.45$$

Luego de calcular los coeficientes aerodinámicos de los vehículos a prueba se compara los resultados obtenidos y que se pueden visualizar en la Tabla 3-24.

Tabla 3-24. Coeficientes aerodinámicos.

N° Vehículo	Coefficiente Aerodinámico
KIA Picanto	0,33
CHEVROLET Sail	0,36
CHEVROLET Grand Vitara SZ	0,45

Al analizar todos los elementos con sus respectivos valores y colores de acuerdo a la simulación se concluye que el vehículo que se encuentra en mejor condición aerodinámica tanto por su coeficiente aerodinámico C_x y los datos recopilados es el KIA Picanto.

CX: 0.33

Y los resultados de sus flujos tanto en las partes que se encuentran en mayor contacto con el fluido y su parte posterior como antes mencionamos de forma inclinada dan como resultado un conjunto aerodinámico mucho más seguro y amigable hacia las personas que se encuentren movilizándose en el vehículo.

3.10. Fuerza aerodinámica

“En un vehículo, la fuerza aerodinámica es generada cuando una corriente de aire fluye sobre y por debajo de este. La Fuerza Aerodinámica es la resultante de dos fuerzas que desempeñan un papel importantísimo, estas son, la sustentación y la resistencia al avance”(Fraija, 2006).

En la figura 3-77, se muestra la fuerza necesaria para romper la resistencia del viento de los diferentes vehículos a prueba, en la cual se constata que a mayor velocidad los vehículos necesitan una potencia mayor y por ende el vehículo consume más de acuerdo al modelo de cada uno se analiza que el mejor vehículo es el KIA Picanto debido a que a diferencia de los demás tiene un mejor ahorro de combustible en bajas y altas velocidades.

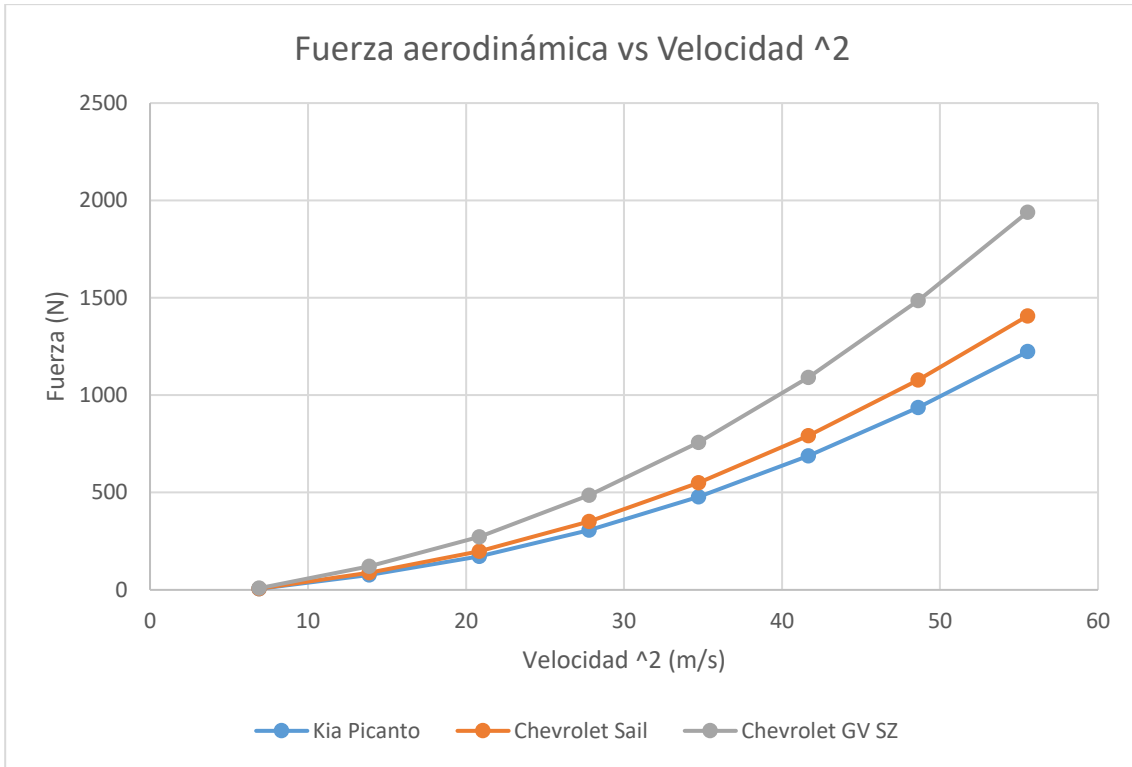


Figura 3-77. Gráfica de Fuerza aerodinámica vs velocidad².

En la tabla 3-25, se muestra los valores obtenidos según la fórmula de la fuerza aerodinámica en donde se obtiene datos específicos de cada vehículo, cabe recalcar que esta condición se da por el cambio de valores en la velocidad al cuadrado (V^2).

Tabla 3-25. Resultados de la Fuerza aerodinámica a diferentes velocidades.

Fuerza aerodinámica			
Velocidad ²	Kia Picanto	Chevrolet Sail	Chevrolet GV SZ
6,9	17,88	19,46	28,16
13,88	71,09	78,24	113,25
20,83	161,68	175,94	254,67
27,78	287,5	312,85	452,83
34,72	449,09	488,69	707,35
41,66	646,57	703,59	1018,4
48,61	880,29	957,93	1386,54
55,55	1149,6	1250,98	1810,71

- **Comparación Cx fabricante con Cx obtenido en el estudio.**

En la tabla 3-26, se observar la comparación de resultados en donde se debe tomar en cuenta el diseño debido a que mientras que el fabricante realiza un estudio con superficies detalladas del vehículo en el estudio se lo realiza con un diseño de superficies continuas, es decir excluyendo varios elementos del diseño del vehículo. Se debe tomar en cuenta que existe un porcentaje del 15% al 25% de prueba error en los estudios aerodinámicos

Tabla 3-26. Comparación de datos obtenidos con datos del fabricante.

Vehículo	Coeficiente aerodinámico Cx fabricante	Coeficiente aerodinámico Cx obtenido
KIA Picanto	0.31	0.33
CHEVROLET Sail	0.35	0.36
CHEVROLET Grand Vitara SZ	0.42	0.45

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

En el presente trabajo se da a conocer la implementación de un prototipo de túnel de viento en 3D que tiene como objetivo el análisis aerodinámico de vehículos a escala 1:18 dentro de una cámara de ensayos, se lo realizó por medio de la ejecución de simulaciones en diferentes tipos de velocidades en varias pruebas. Principalmente, en las simulaciones se realizaron pruebas de densidad, presión, velocidad y turbulencia con lo cual se pudo constatar cual de ellos es el que se considera más eficiente en la parte aerodinámica. Se llegó a las siguientes conclusiones:

- El diseño y simulación del túnel de viento se realizó por medio de un análisis comparativo donde se utilizó cuatro diseños en los cuales, se llegó a verificar el que sería más eficiente para las pruebas correspondiente a realizar en los vehículos y de esta forma elegir el mejor prototipo para su posterior construcción. Se realizó su elección por medio de variables y matrices de distintas alternativas, se especificaron condiciones a cumplir para cada uno y como un punto importante se descartó el túnel de viento que no cumple con la condición de Match ($M > 0.7$). Se identificó los tipos de túneles con los cuales se realizan las pruebas aerodinámicas centrandose en los de tipo ciclo abierto que beneficia a las prestaciones necesarias y condiciones de trabajo. Finalmente se llegó al diseño y elección de un túnel de viento de tipo aspirado que facilita el acople con los demás elementos y de igual manera minimiza las pérdidas de energía, por lo que el túnel de viento elegido o seleccionado fue de aspirado de ciclo abierto denominado subsónico.
- Los software que facilitaron el trabajo de diseño, simulación y fae de pruebas fueron el Software SOLIDWORKS y ANSYS, estos son sistemas operativos que facilitan la realización de pruebas de falla es decir realizar pruebas hasta llegar al objetivo planificado o deseado permitiendo la ejecución de pruebas eficientes en vehículos diseñados a una escala 1:18 simulando el comportamiento de un flujo de aire que choca contra elementos de un vehículo con el fin de apreciar y analizar las cargas necesarias para romper la fricción o la fuerza de resistencia del aire.

- Los análisis simulados no pueden ser reproducibles a escala implementando el túnel de viento construido, por que no se puede escalar la condiciones aerodinámicas como las propiedades del aire, la velocidad del fluido y la presión de salida. En condiciones normales a escala el vehículo va tener una velocidad máxima permitida de 100 km/h o 27 m/s, con esta velocidad se realizaron las simulaciones. En el túnel de viento se pudo implementar un ventilador industrial que generaba una velocidad del viento máxima de 10 m/s, este valor muy inferior al necesario para replicar el estudio real.
- Para el presente estudio se aplicaron criterios de simplificación de geometrías limpiando ciertos detalles menores, eliminando redondeos, detalles de elementos de sujeción como pernos, ejes, tuercas, cauchos de protección, también se eliminaron autopartes como los limpia parabrisas, marcas y sellos, antenas, ductor, rejillas entre otros. Estos detalles fueron eliminados con el objetivo de mejorar la calidad de malla, ya que los volúmenes finitos son complejos de generar debido a su naturaleza ya que son elementos 3D, eliminado estos detalles se reduce la dificultad en la generación malla de volúmenes finitos.
- El análisis que se realizo mediante la gráfica resultante en la simulación de reynolds y la gráfica resultante de la simulacinde presión vs velocidad, permite verificar cual de los vehículos es mejor aeordinamicamente y de esta manera realizando una aplicación de estos criterios se detallo en una tabla mediante la obtención de la Fuerza aerodinámica ($FA = 0,5 \times p \times S \times Cx \times V^2$.) en donde la V^2 es la que permite variar la fuerza, de esta forma se encontro que el vehículo en mejores condiciones aerodinámicas es el KIA Picanto dando un Cx de 0.33 y siendo el vehículo que necesita menor fuerza para atravesar el flujo de aire por ende necesita un menor consumo y tiene una mayor eficiencia.

4.2. Recomendaciones.

- Para aumentar la eficiencia en las pruebas se recomienda realizar nuevas alternativas de diseño en el túnel de viento en donde los resultados que se lleguen a obtener sean mucho más eficientes y cercanos a la realidad de túneles de viento a escala real esto mediante las condiciones y estudios eficientes.
- El diseño de los vehículos es una de las partes más importantes tanto para la realización de pruebas como para la obtención de datos por lo que se recomienda tener en cuenta todos los aspectos mecánicos como también los datos métricos, es

decir los datos referenciales de las medidas adecuadas en escala real de los vehículos para poder realizar una correcta escala de pruebas.

- Para una correcta recopilación de los cálculos aerodinámicos de cada vehículo, es necesario que se ejecuten los programas de simulación de forma adecuada en caso de no hacerlo los datos serán erróneos y las simulaciones no serán las adecuadas para verificar su eficiencia y eficacia por lo que se recomienda seleccionar una velocidad específica, misma que debe ser utilizada para los tres vehículos con la finalidad de obtener y comparar datos correctamente ejecutados y analizar cuál de ellos son mejores.
- Para realizar los cálculos del C_x se debe recopilar todos los datos en las simulaciones los cuales permitan al momento de comenzar el análisis matemático un correcto resultado que ayuden a comparar de manera eficiente cuál de los tres vehículos cuenta con un mejor coeficiente aerodinámico al desplazarse a diferentes velocidades de prueba.

5. REFERENCIAS.

- Alejandro Arango Duque, M. Y. M. (2014). Diseño, Construcción Y Puesta En Funcionamiento Del Túnel De Viento Subsónico De Circuito Abierto De La Universidad Nacional De Colombia Sede Bogotá Con Implementación De Sistemas De Toma De Datos De Aire Y Visualización De Flujo Alejandro. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 170.
- Ángel león navarro, G., Ángel león navarro Asesor, G., & Pulido Mondragón, E. (2010). *Historia del automóvil Historia del automóvil Protocolo de investigación que para acreditar la materia Métodos de Investigación I P R E S E N T A*.
- Arte, H. D. E. L., Hist, P., Curso, R., & Mart, C. (2018). *Sesiones prácticas*. 1–4.
- Baena Paz, G. (2017). *Metodología de la investigación*. Grupo Editorial Patria.
- Bermeo Vallejo, J. E., Sigüencia Bermeo, D. F., & Serpa Medina, P. I. (2012). *Diseño Y Contrucción De Un Tunel De Viento Para Analisis Aerodinamico En Vehiculos a Escala*. 196.
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/69819>
- By ALLDATASHEET.COM, P. (2007). *DATASHEET SEARCH SITE / WWW.ALLDATASHEET.COM*.
- Cangrejo Guzmán Javier Fernando. (2020). Diseño de tunel de viento abierto. , 1, 1–107.
- Chevrolet. (2018). *Ficha técnica Chevrolet Sail Sedán*. 2–3. <https://www.chevrolet.com.co/content/dam/chevrolet/south-america/colombia/espanol/index/cars/2019-sail/mov/02-pdfs/sail-ficha-tecnica.pdf>
- Corporation, S. M., Cion, P.-, Indica, A., & Indica, P. (2014). *NOTA: Encierra una información especial para facilitar el mantenimiento o aclarar alguna instrucción*. 1, 276.
- Diaz, F. (2011). Introducción a Solidworks. *Solidworks*, 134. <https://bit.ly/2OHqEeu>
- Domingo F Sarmiento. (2009). *Unidad N° 2: Cajas De Velocidades*. 1–17. <http://escueladeltrabajo.net/cajas.pdf>
- Electrónica, I. (2016). Tema: Introducción a Labview. *Instrumentación y Control*, 1–19.
- Enrique, J., Vallejo, B., Fabian, D., Bermeo, S., Israel, P., & Medina, S. (2012). *UNIVERSIDAD POLITECNICA SALESIANA SEDE CUENCA CARRERA DE INGENIERIA MECANICA AUTOMOTRIZ Tesis previa a la obtención del título de*.
- Enrique, P., Mera, L., & Tayupanta, G. (2016). *UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ Colegio de Ciencias e Ingeniería Diseño y construcción de un túnel de viento a escala*.
- Escudero, C., & Cortez, A. (2018). Diseño de Investigación Cualitativa. Capítulo 3. *Técnicas y Métodos Cualitativos Para La Investigación Científica*, 1–110. <http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/14209/1/Cap.3-Diseño de investigación cualitativa.pdf>
- Esther, E., & Echenique, G. (2017). *Metodología de la Investigación*. <http://www.continental.edu.pe/>
- Fernando, M. E. (2014). *Tipos de túneles de viento*. 1, 2.
- Fraija, B. (2006). Estudio de la aerodinámica en los vehículos. *Prospectiva*, 4(2), 66–70.
- Giles, R. V. (2015). Mecánica de fluidos y tablas. *Universidad de Cantabria*, 40. <https://ocw.unican.es/pluginfile.php/1307/course/section/1605/T04.pdf>
- Ingenier, C. D. E., Previo, N. T., Obtenci, L. A., Ingeniero, T. D. E., Mecatr, E. N., Tema, N., Un, C. D. E., Viento, N. E. L. D. E., Para, C., Sensores, D. E., & Medici, I. D. E. (2015). *Departamento de ciencias de la energía y mecánica*.
- LLUGUAY, K. (2016). Desarrollar Un Modelo CFD Para El Análisis Del

- Comportamiento Del Fluido En Tuberías Del Banco De Pérdidas De Turbomáquinaria Hidraulica. *Espoch*, 1(sup3.2), 1–98.
- Martínez Coza, D. E. (2016). *Diseño y construcción de un tunel de viento para ensayos de régimen Subsónico y Transónico*.
- Microchip. (2009). *MCP606/7/8/9 2.5V to 6.0V Micropower CMOS Op Amp Features*.
- Miranda, M. F. (2014). Universidad Internacional SEK. *Panorama*, 5–20.
- Muños, A. G. (2014). *Diseño de un túnel aerodinámico para la calibración de equipos de medición*. 170.
- Muñoz-Mejías, A., & Álvarez-Valenzuela, M. (2012). *Autor: Alberto Muñoz Mejías Tutor: Marco Antonio Álvarez Valenzuela Octubre, 2012*.
- Paredes Godoy, M. M. (2016). *Técnicas De Aprendizaje Aplicado a La Hidrodinámica En Sistemas De Riego Para La Agricultura, Dirigido a Los Estudiantes De La Escuela De Ingeniería Agronómica De La Facultad De Recursos Naturales De La Escuela Superior Politécnica De Chimborazo En El Per.* 135. <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/2804/1/UNACH-IPG-CED-FIS-2016-0002.pdf>
- Pascasio Chávez, J. E., Rentería Bravo, C. E., & Torres Fernández, L. E. (2013). *Túnel de Viento Un Vistazo a las Invisibles Turbulencias*.
- Ricardo Cárdenas González. (2005). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN*.
- Ruiz, H., & Curicama, Á. (2013). Diseño y construcción de un túnel de viento para pruebas aerodinámicas en vehículos para la escuela de ingeniería automotriz. *Tesis de Grado*, 91. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v31i0.530>
- Segarra, S. (2016). UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ Colegio de Ciencias e Ingenierías. *Quito*, 17. <http://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/5715/1/126203.pdf>
- Suarez Barbuzano, J. C. (2006). El tubo de venturi. *El Tubo de Venturi*, 2–3.
- Suparyanto dan Rosad. (2020). Manual del Propietario. *Suparyanto Dan Rosad (2015, 5(3), 248–253*.
- Torres, J. (2014). *Estudio numérico de flujo turbulento cargado con partículas sólidas a través de canales y tuberías de sección variable*. <http://oa.upm.es/29358/>
- Ultimaker. (2017). *Ficha de datos técnicos PLA*. 1–3. <https://ultimaker.com/download/67583/TDS PLA v3.011-spa-ES.pdf>
- Valle, A. A. (2013). Informe de túneles de viento por el mundo. *Laboratorio de Investigación En Energía Eólica*, 53(9), 1689–1699.
- Verma, M. K. (2005). *Introduction to Statistical Theory of Fluid Turbulence*. October. <http://arxiv.org/abs/nlin/0510069>
- Versiones 1.0*. (2022). 2022.
- Zitnik, J. (2003). *Manual Aerodinamica*. 3, 36.