

Universidad Internacional del Ecuador

Escuela de Ingeniería Automotriz



**Análisis Comparativo de Molduras que Influyen en la Eficiencia
Aerodinámica Sobre un Chasis de Karting por Medio de
Simulación Computacional**

**Proyecto de Titulación para la obtención del Título de Ingeniera en Mecánica
Automotriz**

Angie Belén Álvarez Rivera

Director: Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MSc.

**Guayaquil-Ecuador
Marzo, 2021**

**Universidad Internacional Del Ecuador
Escuela De Ingeniería Automotriz**

Certificado

Ing. Edgar Gustavo Vera Puebla, MsC

CERTIFICA

Que el trabajo titulado “Análisis Comparativo de Molduras que Influyen en la Eficiencia Aerodinámica Sobre un Chasis de Karting por Medio de Simulación Computacional”, realizado por la estudiante: **Angie Belén Álvarez Rivera**, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple las normas estipuladas por la Universidad Internacional del Ecuador, en el Reglamento de Estudiantes.

Debido a que constituye un trabajo de excelente contenido científico que coadyuvará a la aplicación de conocimientos y al desarrollo profesional. El mencionado trabajo consta de un empastado que contiene toda la información de este trabajo. Autoriza a la Srta. Angie Belén Alvarez Rivera, que lo entregue a biblioteca de la Escuela, en su calidad de custodia de recursos y materiales bibliográficos.

Guayaquil, 15 de marzo de 2021

Ing. Edgar Vera Puebla, MsC.

Director de Proyecto

Universidad Internacional Del Ecuador**Escuela De Ingeniería Automotriz****Certificado Y Acuerdo De Confidencialidad**

Yo, Angie Belén Álvarez Rivera, declaro bajo juramento, que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido presentado anteriormente para ningún grado o calificación profesional y que se ha consultado la bibliografía detallada.

Cedo mis derechos de propiedad intelectual a la Universidad Internacional del Ecuador, para que sea publicado y divulgado en internet; según lo establecido en la Ley de Propiedad Intelectual, reglamento y leyes.

Angie Belén Álvarez Rivera

C.I: 092883020

Dedicatoria

A Dios por permitirme culminar esta aventura, a mis padres quienes nunca dejan de creer en mí, me corrigen y me apoyan siempre, a mi hermano por ser mi inspiración a ser mejor persona y ejemplo a seguir para él. Esto es por y para ustedes. Los amo.

Angie Belén Alvarez Rivera

Agradecimientos

Culminar esta gran aventura se ha convertido en un largo camino, la estación más increíble de mi vida, llena de conocimientos y experiencias, en la que me he caído y levantado con un nuevo aprendizaje, he conocido y ganado grandes amigos; por esta razón quiero expresar un profundo agradecimiento a cada una de las personas presentes durante proceso, a mis padres por fomentar buenos hábitos y valores, por enseñarme a ser la persona en la que me he convertido, por exigirme a culminar mis objetivos de la mejor forma, por la compañía en las malas noches, pero sobre todo por ese amor sobrenatural e incomparable que me brindan, al resto de mi familia por apoyarme e incentivar me hacer lo que me gusta, a todas las personas maravillosas que conocí durante la carrera, comienzo por la Ing. Daniela Jerez por ser mi ejemplo de profesionalismo, por su enseñanzas, confianza y gran estima, al Ing. Edgar Vera quien además de docente y tutor con el transcurso del tiempo gran amigo, gracias infinitas por toda la paciencia y conocimientos compartidos durante la carrera y la realización de este proyecto, al Ing. Oscar Villavicencio quien me brindo apoyo en cada paso en mis últimos semestres, conocimientos profesional y una gran amistad, Ing. Katty Orrala por el apoyo durante toda la carrera y gran estima, finalmente y no menos importantes a mis compañeros de aula y grandes amigos “los tigres” por todos los momentos y recuerdos que me llevo, gracias a ustedes la estadía en la universidad fue la mejor de todas, los llevo conmigo por siempre, son los mejores.

¡¡A TODOS USTEDES GRACIAS POR TANTO!!

Angie Belén Alvarez Rivera

Índice General

| | |
|--|-------|
| Certificado..... | iii |
| Certificado Y Acuerdo De Confidencialidad..... | iv |
| Dedicatoria..... | v |
| Agradecimientos | vi |
| Índice General..... | vii |
| Índice De Figuras..... | xii |
| Índice De Tablas | xvi |
| Índice De Ecuaciones..... | xvii |
| Resumen..... | xviii |
| Abstract..... | xix |
| Capítulo I | 1 |
| Problema De La Investigación | 1 |
| 1.1. Tema de investigación..... | 1 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.3. Formulación del problema | 1 |
| 1.4. Sistematización del problema..... | 2 |

| | | |
|----------|--|----|
| 1.5. | Objetivos de la investigación | 2 |
| 1.5.1. | Objetivo general | 2 |
| 1.5.2. | Objetivos específicos..... | 2 |
| 1.6. | Justificación e importancia de la investigación..... | 3 |
| 1.6.1. | Justificación teórica | 3 |
| 1.6.2. | Justificación metodológica | 3 |
| 1.6.3. | Justificación práctica | 3 |
| 1.6.4. | Delimitación temporal | 4 |
| 1.6.5. | Delimitación geográfica | 4 |
| 1.6.6. | Delimitación del contenido..... | 4 |
| 1.7. | Hipótesis..... | 5 |
| 1.7.1. | Variables de hipótesis..... | 5 |
| 1.7.1.1. | Variables independientes..... | 5 |
| 1.7.1.2. | Variables dependientes..... | 5 |
| | Capítulo II | 6 |
| | Marco De Referencia | 6 |
| 2.1. | Historia del kart..... | 6 |
| 2.2. | Dinámica de fluidos | 10 |
| 2.2.1. | Ecuaciones que rigen el flujo de fluidos..... | 11 |
| 2.2.2. | Principio de Bernoulli..... | 12 |

| | | |
|---------|---|----|
| 2.2.3. | La ecuación de Navier Stokes | 12 |
| 2.3. | Aerodinámica automotriz..... | 13 |
| 2.3.1. | Aerodinámica en el automovilismo deportivo..... | 17 |
| 2.3.2. | Flujo de Aire..... | 20 |
| 2.3.3. | Coeficiente aerodinámico | 23 |
| 2.3.4. | Túneles de viento..... | 24 |
| 2.3.5. | Túneles de vientos más importantes en el mundo | 26 |
| 2.3.6. | Dinámica de fluidos computacional CFD | 31 |
| 2.3.7. | Pasos para la dinámica de fluidos computacional | 33 |
| 2.4. | Marco conceptual | 34 |
| 2.4.1. | Aerodinámica..... | 34 |
| 2.4.2. | Apéndices Aerodinámicos | 36 |
| 2.4.3. | Efecto suelo | 36 |
| 2.4.4. | Aerodinámica Activa | 37 |
| 2.4.5. | Túnel de viento | 37 |
| 2.4.6. | Resistencia Aerodinámica | 38 |
| 2.4.7. | Carga aerodinámica y agarre | 38 |
| 2.4.8. | Capa Límite | 39 |
| 2.4.9. | Malla..... | 40 |
| 2.4.10. | Sistema CAD (Computer Aided Desing)..... | 42 |

| | | |
|---|---|----|
| 2.4.11. | Sistema CAE (Computer Aided Emgineering)..... | 44 |
| 2.4.12. | Simulaciones Computacionales | 44 |
| 2.4.13. | Energía Cinética de Turbulencia..... | 45 |
| 2.4.14. | Disipación de Energía Turbulenta | 45 |
| 2.4.15. | Método Iterativo en una Simulación..... | 46 |
| 2.4.16. | AutoDesk | 46 |
| 2.4.17. | Inventor Professional | 47 |
| 2.4.18. | SolidWorks | 47 |
| Capítulo III..... | | 49 |
| Metodología Aplicada..... | | 49 |
| 3.1. | Obtención de una geometría..... | 49 |
| 3.2. | Dominio computacional | 63 |
| 3.3. | Generación de la malla | 68 |
| Capítulo IV..... | | 75 |
| Análisis e interpretación de resultados | | 75 |
| 4.1. | Análisis de diseño..... | 75 |
| 4.2. | Pruebas en el sistema..... | 75 |
| 4.3. | Resultados obtenidos..... | 78 |
| Conclusiones | | 83 |

| | |
|-----------------------|----|
| Recomendaciones | 84 |
| Bibliografía | 85 |
| Anexos | 91 |
| Glosario..... | 91 |

Índice De Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1 Delimitación geográfica de la investigación | 4 |
| Figura 2 Inicios del karting | 7 |
| Figura 3 Carrocería lateral en karting | 8 |
| Figura 4 Spoiler delantero y módulos laterales..... | 8 |
| Figura 5 Spoiler trasero en karting..... | 9 |
| Figura 6 Fijación de spoiler delantero en karting | 10 |
| Figura 7 Prueba aerodinámica en un vehículo de Fórmula SAE | 13 |
| Figura 8 Aerodinámica automotriz | 14 |
| Figura 9 Fuerza de Arrastre | 15 |
| Figura 10 Fuerza de sustentación..... | 16 |
| Figura 11 Fuerza Lateral | 16 |
| Figura 12 Prueba de túnel de viento de un vehículo de competencia | 18 |
| Figura 13 Elementos de la aerodinámica | 19 |
| Figura 14 Flujo interior..... | 20 |
| Figura 15 Flujo exterior | 21 |
| Figura 16 Flujo laminar | 22 |
| Figura 17 Flujo turbulento | 22 |
| Figura 18 Túnel tipo Gottigen o Randtl..... | 25 |
| Figura 19 Túnel tipo Eiffel | 25 |
| Figura 20 Túnel de Viento de la Universidad de Stuttgart | 27 |
| Figura 21 Túnel de Viento de Audi | 28 |
| Figura 22 Túnel de Viento de Mercedes Benz..... | 29 |

| | |
|---|----|
| Figura 23 Túnel de Viento de BMW | 30 |
| Figura 24 Túnel de Viento de Porsche..... | 30 |
| Figura 25 Simulación CFD de un F1 | 31 |
| Figura 26 Esquema de elaboración del presente proyecto..... | 34 |
| Figura 27 Apéndices aerodinámicos. | 36 |
| Figura 28 Malla estructurada | 41 |
| Figura 29 Malla no estructurada | 42 |
| Figura 30 Malla híbrida | 42 |
| Figura 31 Logo de Autodesk..... | 46 |
| Figura 32 Logo de Inventor Autodesk..... | 47 |
| Figura 33 Logo de Solidworks..... | 48 |
| Figura 34 Medición de Karting..... | 50 |
| Figura 35 Chasis del Karting de Referencia. | 51 |
| Figura 36 Neumáticos delanteros..... | 52 |
| Figura 37 Ensamble de Dirección del kart..... | 52 |
| Figura 38 Suspensión del kart..... | 53 |
| Figura 39 Neumáticos Posteriores | 53 |
| Figura 40 Ensamble de Suspensión del kart | 54 |
| Figura 41 Motor del kart | 54 |
| Figura 42 Volante del kart | 55 |
| Figura 43 Ensamble del Motor del kart | 55 |
| Figura 44 Asiento del kart..... | 56 |
| Figura 45 Ensamble de Asiento del kart | 56 |

| | |
|--|----|
| Figura 46 Creación de elementos de sujeción del kart | 57 |
| Figura 47 Moldura lateral del kart | 58 |
| Figura 48 Ensamble de Moldura lateral del kart..... | 59 |
| Figura 49 Moldura frontal superior del kart | 59 |
| Figura 50 Ensamble de Moldura frontal superior del kart..... | 60 |
| Figura 51 Moldura frontal inferior del kart..... | 60 |
| Figura 52 Moldura frontal inferior del kart..... | 61 |
| Figura 53 Moldura posterior del kart..... | 61 |
| Figura 54 Ensamble de Moldura posterior del kart | 62 |
| Figura 55 Karting de Referencia..... | 62 |
| Figura 56 Karting de Referencia Diseñado..... | 63 |
| Figura 57 Datos para Flow Simulación | 64 |
| Figura 58 Tipo de fluido para Flow Simulación | 65 |
| Figura 59 Datos para Flow Simulación | 66 |
| Figura 60 Dominio computacional del kart | 67 |
| Figura 61 Datos para dominio computacional del kart | 67 |
| Figura 62 Creación de malla global..... | 68 |
| Figura 63 Implementación de malla | 68 |
| Figura 64 Calculo para implementación del vehículo | 69 |
| Figura 65 Creación de la malla – Magnitud de velocidad | 69 |
| Figura 66 Creación de malla- Presión Estática..... | 70 |
| Figura 67 Creación de rastro..... | 71 |
| Figura 68 Flujo de aire- Presión Estática..... | 71 |

| | |
|---|----|
| Figura 69 Presión estática | 72 |
| Figura 70 Recorrido del fluido en Presión Estática. | 73 |
| Figura 71 Recorrido del fluido en Magnitud de Velocidad. | 74 |
| Figura 72 Karts analizados mediante los softwares correspondientes..... | 75 |
| Figura 73 Gráfico de convergencia..... | 76 |
| Figura 74 Comportamiento estático de modelos | 76 |
| Figura 75 Flujo de aire en base a presión estática | 77 |
| Figura 76 Flujo de aire en base a magnitud de velocidad..... | 78 |

Índice De Tablas

| | |
|---|----|
| Tabla 1 Comparativa de la Velocidad de los Modelos de Karting Analizados. | 79 |
| Tabla 2 Comparativa de la Presión Estática de los Modelos de Karting Analizados. | 79 |
| Tabla 3 Comparativa de la Energía Cinética Turbulenta de los Modelos de Karting Analizados..... | 80 |
| Tabla 4 Comparativa de Disipación Energía Turbulenta de los Modelos de Karting Analizados..... | 81 |
| Tabla 5 Comparativa de la Sumatoria de Fuerza de los Modelos de Karting Analizados..... | 81 |

Índice De Ecuaciones

| | |
|--|----|
| Ecuación 1 Ecuación de Euler | 11 |
| Ecuación 2 Ecuación de continuidad | 11 |
| Ecuación 3 Conservación de masa o ecuación de continuidad..... | 12 |
| Ecuación 4 Conservación de momento lineal..... | 12 |
| Ecuación 5 Conservación de energía | 12 |
| Ecuación 6 Coeficiente aerodinámico | 23 |
| Ecuación 7 Carga aerodinámica..... | 39 |
| Ecuación 8 Carga de agarre | 39 |

Resumen

La idea de realizar el análisis comparativo de molduras que influyen en la eficiencia aerodinámica sobre un chasis de karting por medio de simulación computacional, nace del afán de mejorar el rendimiento del vehículo en pista, para esto, se realiza la debida investigación en cuanto a los temas involucrados para una mejor compresión del presente proyecto, mismo que se basa en el estudio de las molduras frontales y laterales de un vehículo de competencia modalidad karting donde se elabora un proceso de ejecución, comenzando por la toma de medidas de los componentes perteneciente al karting para posteriormente efectuar los respectivos dibujos en 2D y 3D de los mismos y proceder a la simulación de estas, con la finalidad de realizar una comparación entre la molduras de un diseño ya existente en este caso las del kart del equipo INGAUTO RACING ubicado en la Universidad Internacional del Ecuador y unas realizada por el autor de este proyecto en base al anterior; donde se demuestra que el diseño propuesto es ideal para el efecto suelo en curvas, es decir para que el vehículo obtenga mayor estabilidad.

Palabras clave: Aerodinámica, karting, análisis de fluido, diseño, competencia.

Abstract

The idea of carrying out the comparative analysis of moldings that influence the aerodynamic efficiency on a karting chassis by means of computer simulation, arises from the desire to improve the performance of the vehicle on the track, for this, due research is carried out regarding the issues involved for a better understanding of this project, which is based on the study of the front and side moldings of a karting competition vehicle where an execution process is developed, starting with taking measurements of the components belonging to karting to later make the respective 2D and 3D drawings of the same and proceed to simulate them, in order to make a comparison between the moldings of an existing design in this case those of the kart of the INGAUTO RACING team located at the Universidad Internacional del Ecuador and some made by the author of this project based on the previous one; where it is shown that the proposed design is ideal for the ground effect in curves, that is, for the vehicle to obtain greater stability.

Keywords: Aerodynamics, karting, fluid analysis, design, competition

Capítulo I

Problema De La Investigación

1.1. Tema de investigación

Análisis Comparativo de Molduras que Influyen en la Eficiencia Aerodinámica Sobre un Chasis de Karting por Medio de Simulación Computacional.

1.2. Planteamiento del problema.

El estudio de la aerodinámica es uno de los factores más importantes en el comportamiento de la resistencia, a la fuerza que sufre la carrocería del vehículo al moverse a través del aire y en particular a la componente de esa fuerza en la dirección a la velocidad relativa del auto respecto al medio.

“El objetivo de las pruebas era cuantificar y comparar la respuesta aerodinámica de esos aparatos tanto en sus configuraciones base, así como alterando algunos componentes”
(Gutierrez M., 2016)

Otros de los inconvenientes que se presentan según (Satín & Toro, 2013) es que “su estudio ayudará a realizar posteriores investigaciones que mejoren la estructura de un kart en cuanto a equilibrio, flexibilidad, tipo o material, diseño y armonía entre los elementos que lo constituyen.”

Basado en los estudios expuestos anteriormente el presente proyecto investigativo plantea mejorar el desempeño de un karting en pista, al obtener velocidades considerables teniendo en cuenta los factores que perjudican a la estabilidad y eficiencia del mismo.

1.3. Formulación del problema

¿El estudio aerodinámico sobre las molduras plásticas de un karting influye en el desempeño aerodinámico de la carrocería de un vehículo de competencia tipo karting?

1.4. Sistematización del problema

- ¿Cómo afecta el desarrollo de este análisis comparativo en molduras que trabajan sobre la eficiencia aerodinámica de un karting en las actividades competitivas que realizan los estudiantes de la Escuela de Ingeniería Automotriz en la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil?
- ¿Cuáles son las ventajas de realizar un análisis comparativo en molduras plásticas que trabajan sobre la eficiencia aerodinámica en un chasis de karting por medio de simulación computacional?
- ¿De qué forma se desarrollará el análisis de las molduras que posee un karting a través de ingeniería asistida por computador?

1.5. Objetivos de la investigación

1.5.1. *Objetivo general*

Realizar un análisis CFD (Dinámica de Fluido Computacional) comparativo entre diseño de molduras aerodinámica sobre un chasis de karting por medio de ingeniería asistida por ordenador.

1.5.2. *Objetivos específicos*

- Determinar una metodología desde la concepción de la geometría idealizada de karting, por medio de la librería de simulación del programa Inventor mediante la utilización de buenas prácticas y consulta bibliográfica.
- Estimar computacionalmente los valores de los coeficientes que influyen sobre las cargas aerodinámicas en el modelo base.
- Diseñar dos alternativas de molduras delanteras que determinen la comparación de eficiencia del comportamiento aerodinámico sobre el chasis de un karting.

1.6. Justificación e importancia de la investigación

1.6.1. *Justificación teórica*

Basados en los antecedentes y de acuerdo a la historia de karting según (FIA KARTING, 2020) menciona que el diseño aerodinámico de un karting se volvió importante con el transcurso del tiempo y el crecimiento del deporte; esto debido a que mejoran la estabilidad y desarrollo de la potencia del vehículo a altas velocidades; además de, que aporta una utilidad como sistema de protección ya que las molduras de estos evitan accidentes severos y mortales en pista es por esta ya mencionada razón, que la presente investigación se realiza para aportar al mejoramiento del desempeño de un vehículo tipo karting en pista con el análisis CFD aerodinámico de las molduras plásticas por medio de ingeniería asistida por computador; de tal forma, que se fortalezcan los futuros lectores e investigadores al manejo de análisis computacionales enfocados a la aerodinámica en el área automotriz, beneficiando a los equipos de competencia automovilística de la Escuela de Ingeniería Automotriz extensión Guayaquil.

1.6.2. *Justificación metodológica*

Para la consecución de los objetivos propuestos en este análisis comparativo de las molduras de un karting se sigue una metodología experimental, teórica y descriptiva, desarrollada en varias etapas, basada en la conformación de geometrías sencillas para la comprobación de diseño, sustentado en investigación científica y demostrando su validez y fiabilidad.

1.6.3. *Justificación práctica*

La presente investigación se realiza debido a que se requiere mejorar el nivel de desempeño de competencia de los vehículos tipo karting; por ende, se ejecuta un estudio mediante la utilización de dos softwares complementarios entre sí; así como tal mencionar en este caso Inventor de la familia AutoDesk ideal para realizar el diseño de las molduras de karting debido a que permite la realización del dibujo mediante sistema CAD y SolidWorks de

Dassault Systèmes S.A que posteriormente se utiliza para simular el análisis aerodinámico sobre las mismas mediante sistemas CAE.

1.6.4. *Delimitación temporal*

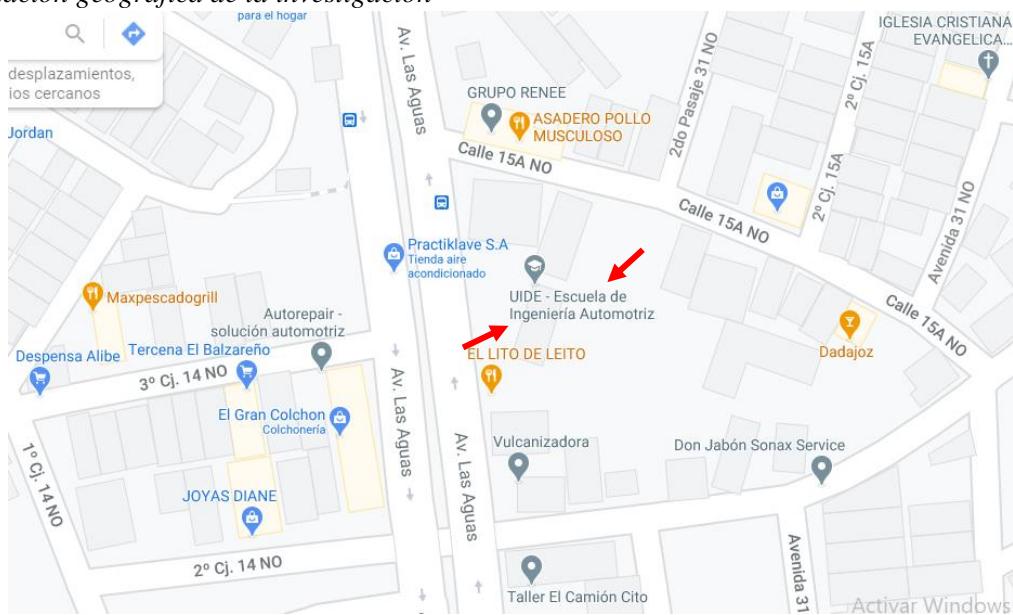
El proyecto investigativo se programa por fases y estas serán concluidos en un lapso de 12 meses, en el cual se llevará a cabo los procesos de diseño, simulación y análisis comparativo del estudio aerodinámico de las molduras de un karting.

1.6.5. *Delimitación geográfica*

El trabajo se realizará en la ciudad de Guayaquil, en los laboratorios de informática y multimedia de la Escuela de Ingeniería Automotriz de la Universidad Internacional del Ecuador, extensión Guayaquil, ver figura 1.

Figura 1

Delimitación geográfica de la investigación



1.6.6. *Delimitación del contenido*

La investigación minuciosa del presente proyecto, se encuentra fundamentada a través de bibliografía, artículos científicos y estudios que se han realizado en temas de aerodinámica sobre bases estructurales de vehículos de competencia, así como el manejo de software que permiten el desarrollo y análisis de sistemas CAD (Dibujo Asistido por Computadora) y CAE

(Ingeniería Asistida por Computadora), los cuales permiten al objetivo llegar al estudio y análisis del sistema CFD sobre las molduras plásticas que lleva una carrocería de competencia modalidad karting.

1.7. Hipótesis

La puesta a punto del sistema aerodinámico en un vehículo tipo karting optimizará el rendimiento en competición a través de un diseño de molduras plásticas y análisis CFD.

1.7.1. *Variables de hipótesis*

1.7.1.1. *Variables independientes.*

- Diseño
- Software

1.7.1.2. *Variables dependientes.*

- Análisis aerodinámico
- Karting
- Molduras de Karting

Capítulo II

Marco De Referencia

2.1. Historia del kart

La (FIA KARTING, 2020) en su página oficial expone la historia del kartismo en el mundo para que los aficionados del mundo motor sean conocedores del comienzo, progreso y sucesos importantes para que este deporte se convierta en lo significativo que ha llegado a ser en la actualidad en el deporte de automovilismo, así entonces mencionan que, el primer kart fue creado por Art Ingels y Lou Borelli en el año 1956 en el estado de California (Estados Unidos de América) un pequeño vehículo sin molduras, con un chasis tubular y era accionado por un motor de cortadora de césped West Bend; mismo que tuvo su primera aparición en una carrera organizada en Pomona, sucedido esto Duffy Livingstone realiza dos ejemplares y luego de la prueba de estos, su asociado Roy Desbrow fabrica tres, en 1957 encuentran un estacionamiento donde estos dos últimos fabricantes mencionados comercializaron los karts y crearon la primera compañía “GoKart Manufacturing Company” el pequeño vehículo obtiene rápida aceptación produciendo 500 karts por mes. Este mismo año, se decide establecer un organismo oficial para implementar las regulaciones de actividades deportivas y técnicas: Go Kart Club de América (GKCA), a finales de este año se realiza la primera competencia oficial de karting. En 1959 se muestra que un kart no es un juguete mediante un circuito de 2.5 millas; a su vez, se creó un nuevo club con ambiciones nacionales e internacionales: Grand Prix Kart Club of América (GPKCA), para este entonces no eran conocidos como Go- karts, si no como “autos enanos/ mikro-autos”, en Gran Bretaña se organizaron demostraciones de karts y la primera competencia oficial con la participación de Graham Hill en ese entonces piloto de F1 y futuro Doble Campeón Mundial de F1; por otro lado, en 1960 se organizan las primeras carreras de karting en Italia, Países Bajos, Irlanda, España, Suiza y Polonia, y en Portugal se

dio en 1961; además, nuevamente del Campeonato Mundial que lo ganó el joven de 17 años, Bobby Allen.

Figura 2

Inicios del karting. (FIA KARTING, 2020)



Nota: Primera competencia de karts conocidos como autos enanos en 1959, al volante el Piloto de Fórmula 1 Graham Hill.

En los siguientes cuatro años; es decir, de 1962 a 1965 la Comisión Internacional de Karting (CIK) definió reglamentos técnicos y creó dos categorías denominadas “Sport” que son vehículos homologados existentes hasta la actualidad y “Racing” vehículos que deben ser ajustados; además, de organizar el primer Campeonato Mundial en Roma, en 1966 la señorita Susy Raganelli de nacionalidad Italiana gana el Campeonato Mundial y se convierte hasta ahora en la primera y única mujer en ganar el título supremo de karting, año posterior a este suceso 1967, la CIK crea una Copa Europea Femenina y la Copa reservada para Juniors en 1969; por lo consiguiente, los quince años siguientes; es decir, de 1970 a 1985 se continúan con las competencias con la imposición de un nuevo límite de ruido (90 dB) obligando a los participantes a implementar silenciadores en los vehículos, no obstante, no es hasta 1986 que se hace obligatoria la carrocería lateral en el fórmula K, aportando a la seguridad del piloto y siendo el cierre de cambios en los años 80 del kartismo en el mundo.

Figura 3

Carrocería lateral en karting. (FIA KARTING, 2020)



Nota: Uso obligatorio de laterales en competencias, 1986

Durante el periodo de los siguientes 10 años se implementó los spoilers delanteros en los vehículos y se introdujo un sistema de combustible único; en cuanto a las competencias se organizó por primera vez un campeonato en Argentina obteniendo una gran acogida por parte de los aficionados, se comienza un año 2000 con la CIK como comisión de la FIA nuevamente y a su vez se introducen motores refrigerados por agua, siguiendo su curso en competencias, en el 2003 la CIK- FIA presenta una carrocería de diseño libre e incluye prueba de choque en el procedimiento de homologación con respecto a los spoilers delanteros y módulos laterales, sin cambios algunos durante los próximos años.

Figura 4

Spoiler delantero y módulos laterales. (FIA KARTING, 2020)



Nota: Presentación de Spoilers en competencia, 2003.

En el 2006 se despiden a los motores 100 CC. y se introduce un nuevo elemento a la carrocería del vehículo una protección de ruedas traseras con el fin de reducir el número de colisiones y accidentes en pista, en los siguientes 3 años se implementan los motores KF dejando buena referencia durante las competencias, la CIK- FIA realiza un nuevo control de arranque; es decir, verifica la velocidad de aproximación de los karts y agrega cámaras miniaturas con el fin de brindar seguridad y evitar maniobras antideportivas, causando el efecto esperado.

Figura 5

Spoiler trasero en karting. (FIA KARTING, 2020)



Nota: Implementación de Spoilers posteriores en competencia como seguridad deportiva anticolisiones, 2006.

Cabe mencionar que no se realizaron cambios importantes si no es hasta el 2015 donde no solo participaba la última generación de los motores KF; si no que también fue el debut de las nuevas fijaciones del alerón delantero con el fin de mejorar el comportamiento del conductor y prevenir accidentes, pese a las críticas esta decisión demostró gran efectividad, años posterior los motores OK sustituyeron a los KF, y debido a su simplicidad y facilidad de uso el éxito no tardó en llegar, pues significaba el regreso a los orígenes del karting, finalmente las tres últimas temporadas han sido un éxito rotundo manteniendo un buen nivel en las distintas categorías existentes hasta la actualidad.

Figura 6

Fijación de spoiler delantero en karting. (FIA KARTING, 2020)



Nota: Los resultados de los spoilers como prevención y seguridad para el piloto tuvieron buena acogida, por lo que hasta la actualidad se utilizan en todas las categorías.

2.2. Dinámica de fluidos

En la mecánica de fluidos, la materia se muestra en dos estados: sólido y líquido, la diferencia entre estos se muestra en la reacción ante un esfuerzo tangencial “Un sólido puede resistir un esfuerzo cortante con una deformación estática; un fluido, no.” (M. White, 2003). Mientras que, existen dos clases de fluido: líquido y gases y su diferencia se encuentra en base al efecto de las fuerzas cohesivas, un líquido tiende a conservar su volumen debido a su composición de agrupaciones de moléculas y los gases se expansionan de forma indefinida porque no tiene un volumen definido, entonces es importante conocer que “La dinámica de fluidos se centra en el movimiento de los fluidos, particularmente cuando estos interactúan con un objeto sólido, se encarga de estimar las presiones, esfuerzos cortantes, calor, carga vertical, arrastre y momentos creados por la interacción fluido- sólido.” (Gutierrez M., 2016).

Por otro lado (Beléndez, 1992) en su libro acústica, fluidos y termodinámica, menciona que: “La dinámica de fluidos es una parte de la mecánica que estudia el movimiento o flujo de la materia. En el caso del agua se habla de hidrodinámica y para los gases de aerodinámica”, cuando la velocidad de un fluido no varía durante el trayecto, en un momento dado del fluido

la velocidad no depende del tiempo, este circula en régimen estacionario, por otro lado, se llama línea de corriente o línea de flujo a la trayectoria a una partícula específica del fluido en movimiento. En régimen estacionario una partícula del fluido sigue la trayectoria marcada por las líneas de corriente.

El espacio limitado por las líneas de corriente que pasan por un contorno de una superficie se llama tubo de corriente, cuando las líneas de corriente se entrecruzan y todos los puntos de una pequeña sección perpendicular a un tubo de corriente se mueven con la misma velocidad sucede el régimen de movimiento Bernoulli o régimen sin rozamiento.

Según (Modon, 2017) en sus apuntes de la catedra mecánica de fluidos de la Universidad Nacional de Cuyo; menciona que, la ecuación de Bernoulli se deduce de la ecuación de Euler, donde ρ es la densidad del aire, p es la presión estática, $1/2 \rho v^2$ es la presión dinámica y v es la velocidad del flujo.

Ecuación 1 Ecuación de Euler

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 = 0 \text{ (Una constante)}$$

“Donde el flujo alcanza su mayor velocidad, la presión alcanza su mínimo, es decir; si la velocidad aumenta, la presión debe disminuir” (McBeath, 2015)

2.2.1. *Ecuaciones que rigen el flujo de fluidos*

Según (Gutierrez M., 2016) en su libro Desarrollo de una metodología computacional para el diseño del paquete aerodinámico de un superkart eléctrico muestra las leyes fundamentales que se utilizan para resolver el movimiento de fluido en un problema convencional, donde expone cuatro ecuaciones principales implementadas en estas leyes, a continuación, se enumera e indica cuales son:

1. Conservación de masa o ecuación de continuidad

Ecuación 2 Ecuación de continuidad

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0$$

En donde:

$\frac{\delta \rho}{\delta t}$ = Es la tasa de variación de la densidad $kg/m^3 \cdot s$

$\nabla \cdot (\rho V)$ = Es el gasto másico neto

Ecuación 3 Conservación de masa o ecuación de continuidad

$$\frac{\delta \rho}{\delta t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u) + \frac{\partial}{\partial y}(\rho v) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w) = 0$$

2. Conservación de momento lineal o segunda ley de Newton

Ecuación 4 Conservación de momento lineal

$$\rho \frac{D V}{D t} = \rho F - \nabla p + \nabla \tau_{ij}$$

3. Conservación de energía o primera ley de termodinámica

Ecuación 5 Conservación de energía

$$\rho \frac{D e}{D t} + p(\nabla \cdot V) = \frac{\partial Q}{\partial t} - \nabla \cdot q + \Phi$$

2.2.2. *Principio de Bernoulli*

Según (Cumbe & Rockwood, 2009) dicen que se basa en la ley de conservación de la energía, el cual constituye un principio básico de la dinámica de partículas y afirma que la cantidad total de energía en cualquier sistema aislado permanece invariable con el tiempo, aunque dicha energía puede transformarse en otra.

2.2.3. *La ecuación de Navier Stokes*

Tomando en cuenta que las características de un fluido son el flujo laminar y turbulento, (Cumbe & Rockwood, 2009) mencionan que las ecuaciones de Navier Stokes involucran el estudio de la inestabilidad producida por las fuerzas viscosas, esto cuando el flujo laminar aumenta paulatinamente su velocidad y alcanza un estado de inestabilidad dinámica; adicional, (Morente, 2018) indica que esta ecuación surge de un conjunto de condiciones.

Según (Gutierrez M., 2016) dice que en un problema de flujo de fluidos se pretende corregir el campo de presión y velocidad $u\hat{i} + v\hat{j} + w\hat{k}$ dentro de un volumen de control,

mientras que en un flujo tridimensional el campo de velocidad y presión es función de las tres coordenadas fundamentales y del tiempo.

Cabe mencionar que para describir el flujo turbulento de una manera tradicional es dividiendo el movimiento en dos fragmentos tal como lo expone (Gutierrez M., 2016): uno es un flujo promedio estable sobre cual se impone el segundo siendo este último inestable.

2.3. Aerodinámica automotriz

La aerodinámica automotriz se origina en fórmula uno, cuando se implementaron alerones en sus monoplazas delanteros y traseros, evolucionando año tras año, para ingresar en contexto es importante citar a (Gutierrez M., 2016) que indica que la dirección y velocidad de un vehículo siempre será distinto a la del viento y que este aire se va a desplazar alrededor de un vehículo en movimiento, donde las cargas aerodinámicas dependerán de la geometría del vehículo y de los vientos laterales en caso de estar presentes, en el diseño de vehículos comerciales se obtiene mejor eficiencia de consumo de combustible con la fuerza de arrastre reduciendo carga vertical, a diferencia de los vehículos de competencia donde la fuerza de arrastre es imprescindible para obtener mayores velocidades.

Figura 7

Prueba aerodinámica en un vehículo de Fórmula SAE. (Gutierrez M., 2016)



Nota: Línea de corriente sobre el alerón de Fórmula, se puede observar el movimiento hacia arriba que realiza el flojo al pasar por el alerón posterior del vehículo.

Según (Hucho & Sovran, 1993) en su artículo Aerodynamics or Road Vehicles, menciona que, cuando el carro de caballos fue reemplazado por un motor térmico hace más de

100 años, nadie pensaba en la aerodinámica, el armazón del vehículo ahora sin caballos era como antes, para proteger al conductor y pasajeros del viento, lluvia y barro; la idea de la aerodinámica surgió más tarde, luego que la tecnología de vuelo había hecho progresos considerables, lo que redujo la resistencia significativamente y permitió llegar a mayores velocidades con cualquier potencia del motor; cabe señalar que, los vehículos en la actualidad son bastante aerodinámicos como se muestra en la figura 8 con el afán de mejorar el rendimiento de los mismos a altas velocidades, las innovaciones se fueron implementando de manera trascendental en la máxima categoría de automovilismo a nivel mundial, avance que fue inspirado en las alas de los aviones con un funcionamiento inverso; es decir, que no impulsa al vehículo, si no que se utiliza el aire en pro al agarre del vehículo, empujándolo hacia abajo para que no pierda el contacto de las llantas con el suelo

Figura 8

Aerodinámica automotriz. (Segura, 2018)



Nota: En la imagen se observa la forma en la que fluye el aire a través y alrededor del vehículo en prueba de análisis de fluido computacional.

Partiendo de lo mencionado anteriormente; es importante expresar que; “La aerodinámica es la parte de la ciencia que se ocupa del movimiento del aire y otros fluidos gaseosos, o, dicho de otra manera, de las acciones ejercidas por el aire sobre cuerpos sólidos inmersos en él.” (García, Gómez, Martín, & Águeda, 2002); por otro lado (Goncalves, 2016)

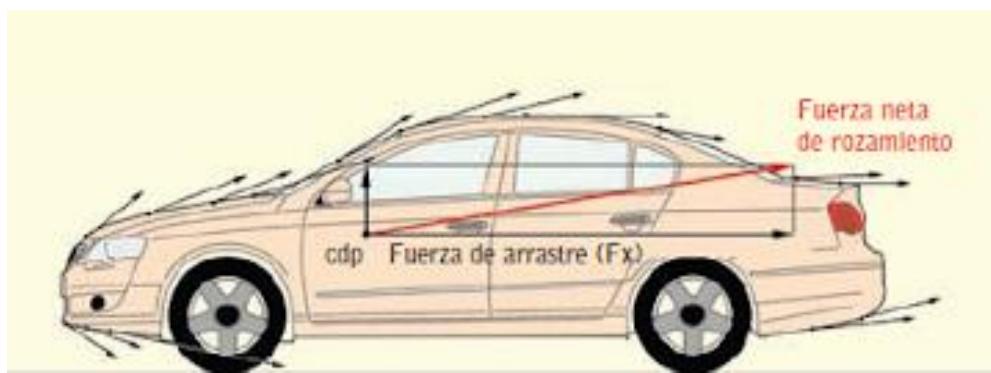
afirma que: “Generalmente el estudio de los efectos de la aerodinámica automotriz se realiza en túneles de viento, que asemejan las condiciones a las que el vehículo es sometido, pero en forma estática.”, y (García, Gómez, Martín, & Águeda, 2002) dice que “Este estudio se apoya en teorías físico-matemáticas cada vez más perfeccionadas y se controla a través de potentes y sofisticados programas informáticos y por medio de pruebas realizadas en los ya mencionados túneles de viento.”

La orientación y velocidad del vehículo será inverso a la del viento desplazando el aire a su alrededor, el flujo generado crea un campo de presiones en un sentido integral, produciendo las cargas aerodinámicas experimentadas y dependen de la geometría del vehículo y de los vientos laterales, tal como se muestra en la figura 7, “son tres las fuerzas aerodinámicas fundamentales que tienen efecto sobre un vehículo bien sea convencional o deportivo” (Gutierrez M., 2016); como se observa en las figuras 9, 10, 11, donde:

- La fuerza de arrastre: Es paralelo opuesto al recorrido del vehículo; en otras palabras, es la fuerza que se contraria al movimiento del vehículo, tal como se observa en la figura 9.

Figura 9

Fuerza de Arrastre. (Technical Courses, 2019)

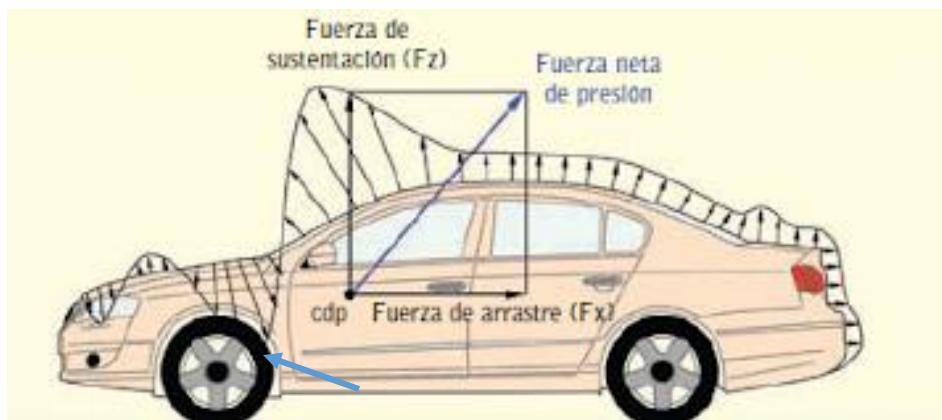


Nota: La fuerza de agarre (negro) actúa en sentido opuesto del vehículo generando una resistencia de avance en el recorrido, formándose una fuerza neta de rozamiento dinámica (rojo) entre el vehículo y el fluido durante su circulación.

- La fuerza de sustentación: Actúa en la dirección normal a la del vehículo, ideal para formar adherencia al suelo y generar estabilidad en el mismo, ver figura 10.

Figura 10

Fuerza de sustentación. (Technical Courses, 2019)



Nota: La fuerza de sustentación se genera cuando el vehículo percibe mayor presión (azul) al paso externo del flujo de aire (negro), generando que los neumáticos obtengan una mayor adherencia al suelo (flecha) y a su vez aportar a que el vehículo cuente con mayor estabilidad en el recorrido.

- La fuerza lateral: Es cuantitativamente baja, ver figura 11.

Figura 11

Fuerza Lateral. (Technical Courses, 2019)



Nota: La fuerza lateral es opuesta a la fuerza de arrastre por lo que esta última no se observa en la figura, ya que genera mayor fuerza de presión formada por los neumáticos (azul) brindando la capacidad de adherirse al girar en velocidades altas al suelo, de igual forma la fuerza de rozamiento (rojo) por el contacto directo del flujo con la carrocería al encontrarse en curva.

Las anteriormente cargas aerodinámicas mencionadas se valoran por medio de las presiones y esfuerzos cortantes, por ende, el resultado de estas debe ser preciso; por otro lado, según (García, Gómez, Martín, & Águeda, 2002) en su libro Automoción- Estructuras del vehículo señala que: aparte de establecer las prestaciones y el consumo, el aire causa otros problemas como:

- Desestabilización del vehículo en viento cruzado.
- Fuente de ruido
- Condiciona la habitabilidad
- Limita la eficacia de los limpiaparabrisas.
- Provoca el ensuciamiento de la carrocería.

Debido a lo mencionado anteriormente, los diseñadores se concentran en adquirir el menor valor de resistencia aerodinámica impidiendo los posibles efectos negativos que pudiera provocar.

2.3.1. Aerodinámica en el automovilismo deportivo

“No hay, seguramente otro aspecto en la tecnología de los coches de competición que haya tenido una influencia mayor en el rendimiento como el desarrollo de la aerodinámica” (McBeath, 2015)

El autor (McBeath, 2015) en su libro aerodinámica del automóvil de competición señala que destaca que la aerodinámica durante su recorrido en la historia ha proporcionado un aporte significativo en otro aspecto de tecnologías de los vehículos; por ende, juega un rol importante en las competencias, que incluso los diferentes organizadores se han visto obligados a modificar con regularidad el reglamento con el fin de reducir riesgos ya que por el aumento de velocidad de paso por curva la distancia de frenado comenzaba a ser peligroso; esto debido a que, en competencia se sacrifica la resistencia al avance para obtener fuerzas descendentes que influyan a la presión del vehículo contra el pavimento, efecto negativo que se compensa con

aumentar la potencia en los motores, esta fuerza resulta exponencial a la velocidad beneficiosa en el automovilismo deportivo; ya que, desarrolla la adhesión de las llantas al pavimento a altas velocidades.

Según (Gutierrez M., 2016) dice que en el automovilismo de alta competencia existe una relación de proporcionalidad directa entre rendimiento, carga vertical, velocidad y arrastre; es importante mencionar que el objetivo principal de un diseño aerodinámico se centra en la generación de carga vertical; además que, en este ámbito es deseable un bajo arrastre, por lo que se deben mantener largas regiones de capas límite delgadas laminares con transición retardada.

Figura 12

Prueba de túnel de viento de un vehículo de competencia



Nota: En la imagen se observa un vehículo de competencia automovilística en prueba aerodinámica en un túnel de viento.

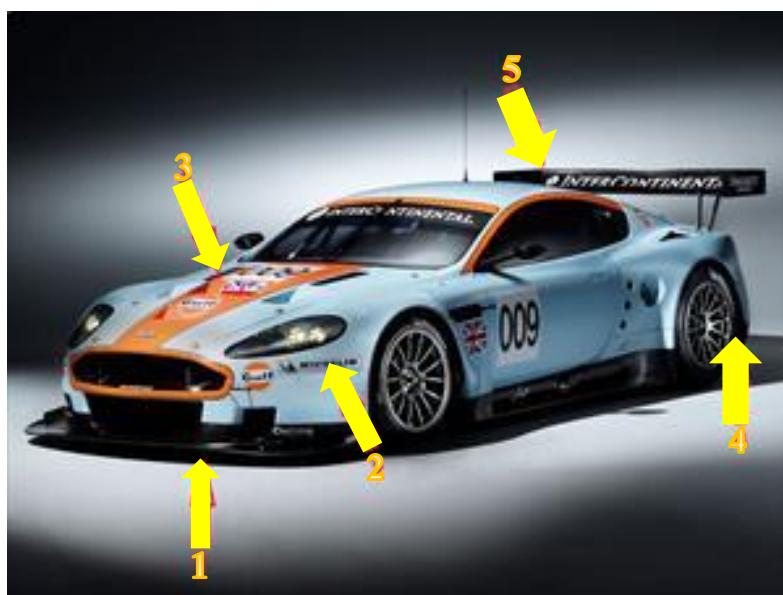
Por otro lado (García D. , 2010) opina que la aerodinámica genera un mayor impacto en el sector automovilístico a través de su contribución de las cargas del vehículo, además de que en un vehículo moderno interviene fundamentalmente la forma de su carrocería debido a que aporta a la potencia y desarrollo del motor; además de, la estabilidad a altas velocidades. Como ejemplo menciona la Fórmula 1, y expone que las escuderías invierten millones en investigación y desarrollo, los diseñadores tienen como objetivos principales: conseguir una correcta incidencia del vehículo en el aire para conseguir el efecto suelo; es decir, que este se

pegue lo más posible al suelo, y el equilibrio del monoplaza ya que con esto se conseguirá un paso rápido por curva, es por esta razón que pasa por largos estudios y pruebas en túneles de viento para verificar el aporte de sus elementos en pista.

Citando a (Calaza, 2015) en su artículo en la revista virtual autocosmo menciona los 5 elementos clave en la aerodinámica de un vehículo que benefician su agarre al pavimento a altas velocidades en una competencia; teniendo así, los splitters o faldones (1) que se ubican en la parte frontal del vehículo y dividen el flujo de aire produciendo alta presión sobre la carrocería y baja debajo de la misma, las aletas (2) ubicadas en los splitters parte lateral permite la canalización del aire limpiando el flujo en el vehículo, las entradas y salidas de aire (3) aportan a la refrigeración de los componentes del motor para un óptimo funcionamiento, el difusor (4) ubicado en la parte trasera acelera el aire debajo la carrocería generando un succión hacia el suelo y finalmente el alerón y spoiler (5) que se encargan de mantener la estabilidad del vehículo en rectas y curvas a altas velocidades, tal como se muestra en la figura 13.

Figura 13

Elementos de la aerodinámica. (Calaza, 2015)



Nota: 1. Splitters/ Faldones, 2. Aletas, 3. Entradas y Salidas de Aire, 4. Difusor, 5. Alerón/Spoilers

2.3.2. Flujo de Aire

“El estudio aerodinámico se focaliza en la resistencia aerodinámica que es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire. ” (Martín, 2016)

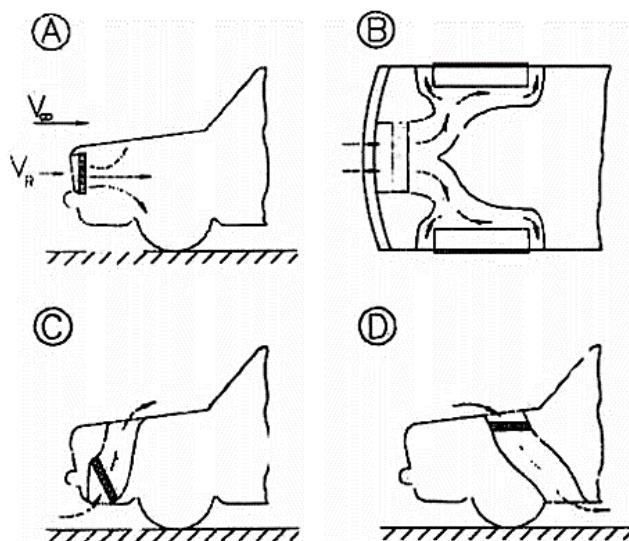
Centrado en el caso de un vehículo circulando en carretera (Artés, 2018); expone que, la resistencia aerodinámica la provoca la necesidad de apartar y reposicionar detrás del vehículo el gran volumen de aire que se atraviesa, es importante mencionar que existe una diferencia de presión entre el frontal y la trasera del vehículo; debido a que, delante hay mucha presión y detrás muy poca; es decir, hay succión.

Según (García, Gómez, Martín, & Águeda, 2002) en el libro Automoción- estructuras de vehículo expresan que, cuando un vehículo está en contacto con el aire, se aprecian dos flujos de aire diferentes:

- Flujo Interior: Es la que agrupa la ventilación del habitáculo, la admisión y refrigeración del motor, suponiendo el 20% de la resistencia aerodinámica, aportando al confort y al rendimiento térmico del motor, descripción gráfica en figura 14.

Figura 14

Flujo interior. (Fraija, 2006)

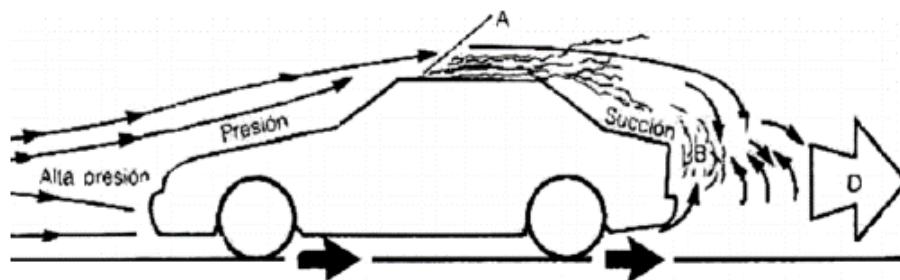


Nota: Se observa en la imagen las distintas entradas de flujo de aire en el vehículo hasta el habitáculo

- Flujo Exterior: Se refiere al aire que circula sobre la carrocería y el que fluye en esta y el suelo, suponiendo el primordial elemento de resistencia aerodinámica, descripción gráfica en figura 15.

Figura 15

Flujo exterior. (Fraija, 2006)



Nota: En la imagen se observa la forma en como fluye el aire al exterior del vehículo y la presión que genera en este proceso.

Los factores que influyen en la resistencia aerodinámica total son el tamaño y la forma de la carrocería; por otro lado, adicional, se encuentra otro factor que, de acuerdo al tipo de superficie de la carrocería, determina el rozamiento con la capa de aire al estar en contacto, donde este último puede fluir de dos formas:

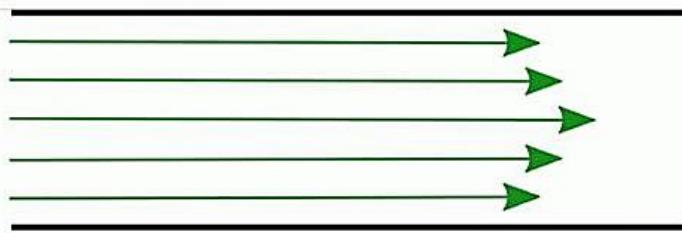
Uniformemente o Laminar: Cuando el aire se desplaza de forma ordenada en la misma dirección y velocidad, tal como se observa en la figura 16; es decir, cada partícula sigue su trayecto sin fusionarse entre sí, debido a que se transporta de forma lateral, creando un flujo laminar. Mientras mayor sea el flujo laminar menor será la resistencia. “La viscosidad del fluido es la magnitud física predominante y su acción amortigua cualquier tendencia a ser turbulento” (Cumbe & Rockwood, 2009).

En su artículo (Fernández, 2019) donde habla sobre el flujo laminar y turbulento basado en la aerodinámica de un vehículo de competencia F1 menciona que cuando el aire en estado laminar circula sobre el monoplaza, al moverse de forma paralela ejerce poca fuerza en dirección perpendicular a la superficie, de forma que cuando se encuentre con una curva en la

carrocería, puede que este fluido no tenga la capacidad de mantenerse pegado a ella, produciéndose un despegue de la capa límite; que genera, una zona de baja presión y a su vez que la resistencia aerodinámica al avance crezca.

Figura 16

Flujo laminar. (Nextnews, 2017)

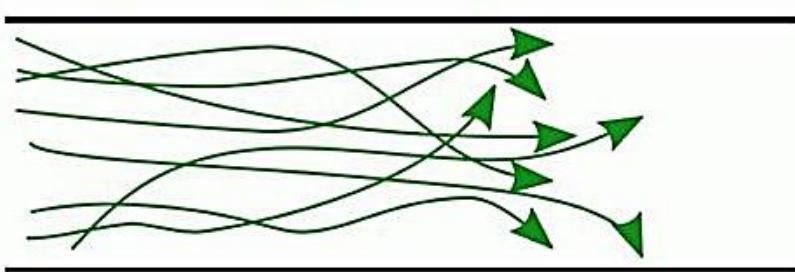


Con turbulencias: Después del flujo laminar se crea una turbulencia; es decir, el fluido recorre de manera caótica, ya que las partículas se mueven desordenadamente, tal como se puede observar en la figura 17, esto debido a que se pierden las ya mencionadas partículas de aire por la velocidad y el aire cambia de dirección. “Las partículas se mueven de forma desordenada cuando aumenta la velocidad del flujo; es importante mencionar que ninguna capa de fluido avanza más rápido que las demás.” (Cumbe & Rockwood, 2009)

El aficionado (Fernández, 2019) en su artículo donde explica el flujo laminar y turbulento basado en la aerodinámica de un vehículo de competencia F1, expone que el flujo turbulento al ser su movimiento tan caótico genera fuerzas en dirección perpendicular a la superficie, lo que le da mayor facilidad para mantenerse pegado al cuerpo del vehículo cuando se encuentra con curvas en la carrocería.

Figura 17

Flujo turbulento. (Nextnews, 2017)



2.3.3. Coeficiente aerodinámico

En el libro Automoción- estructuras de vehículo (García, Gómez, Martín, & Águeda, 2002) enuncian que el comportamiento dinámico de una carrocería es influido por la resistencia y la fuerza aerodinámica que se producen en el recorrido del vehículo, los coeficientes aerodinámicos examinan las cualidades y comportamientos con valores predeterminados, entre estos se encuentran:

- Coeficiente de Penetración en el eje longitudinal C_x : El desplazamiento de un cuerpo implica invertir una cantidad de potencia en atravesar la masa de aire que lo rodea, misma que se encontrara en correspondencia directa con el volumen del cuerpo, la sigla técnica expresa si la resistencia que ofrece al avance es mayor o menor; debido a que, si la cifra de resistencia es menor la capacidad de penetración aerodinámica de la forma es mayor, para adquirir un buen coeficiente aerodinámico es imprescindible que el flujo de aire que roza alrededor del vehículo sea homogéneo y tenga poco grado de rozamiento.
- Superficie de Ataque $C_x A$: Para definir la resistencia aerodinámica se necesita considerar el coeficiente de penetración aerodinámico y la superficie de ataque para para obtener una resistencia del flujo de aire clara.
- Adicional existen otros factores que incurren en el resultado del valor de la resistencia al aire tales como la velocidad del vehículo y la densidad del aire.

Ecuación 6 Coeficiente aerodinámico

$$W = C_x \times A \times (P/2 \times V_F^2)$$

C_x = Coeficiente de penetración aerodinámico

A = Superficie de ataque en m^2

P = Densidad de aire

V_F = Velocidad del vehículo

- Coeficiente de resistencia aerodinámica transversal C_Y : Mide el efecto de aire aplicado de forma lateral al vehículo mismo que interviene de diferentes formas en el vehículo.
- Coeficiente de elevación C_Z : También llamado coeficiente de sustentación; debido a que, mide el apoyo de las 4 ruedas del vehículo y su probable aliteración por efecto del viento y masas suspendidas.

2.3.4. Túneles de viento

Los túneles de viento son destinados para la ejecución de las pruebas tentativas de experimentación en el vehículo o un prototipo del mismo, en estas instalaciones se simulan las condiciones para el recorrido de un vehículo; a su vez, con la ubicación de dinamómetros debajo de las ruedas, se comprueba la reacción de la carrocería durante el transcurso de este procedimiento, unos constan de un ventilador gigante que aspira y expulsa aire y otras de varios ventiladores pequeños y de tal forma obtener las prestaciones requeridas.

El autor (Martín, 2016) en su libro donde realiza un estudio aerodinámico titulado mejora aerodinámica de un turismo destaca los dos tipos de túneles de vientos existentes, a continuación, se exponen los mismos adicionando las ventajas y desventajas de cada uno de ellos:

Tipo Gottigen o Randtl tunnel: Recirculan el aire en un circuito cerrado.

Ejemplo gráfico se observa en figura 18.

Ventajas:

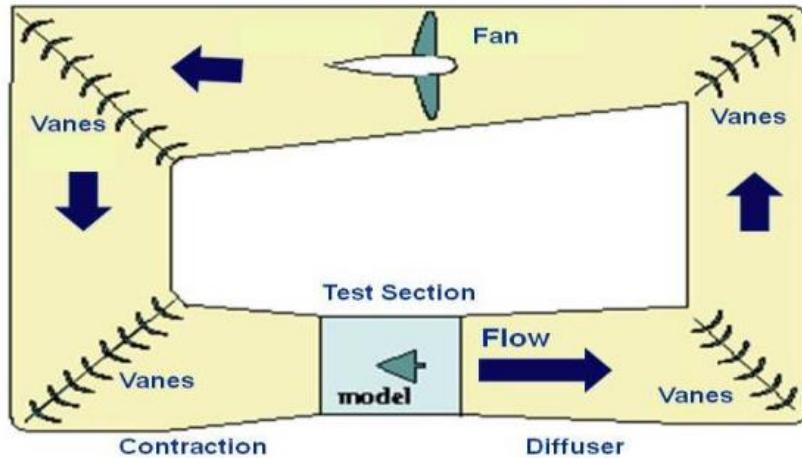
- Mayor flujo de aire en la zona de pruebas.
- Más económicos.

Desventajas

- Mayor coste de construcción.
- Se debe evacuar los humos del túnel mediante una purga.

Figura 18

Túnel tipo Gottigen o Randtl. (NASA, 2015)



Tipo Eiffel: Mediante un circuito abierto el aire pasa por la zona de pruebas y es aspirado desde la habitación donde se ubica el túnel. Ejemplo gráfico se observa en figura 19.

Ventajas

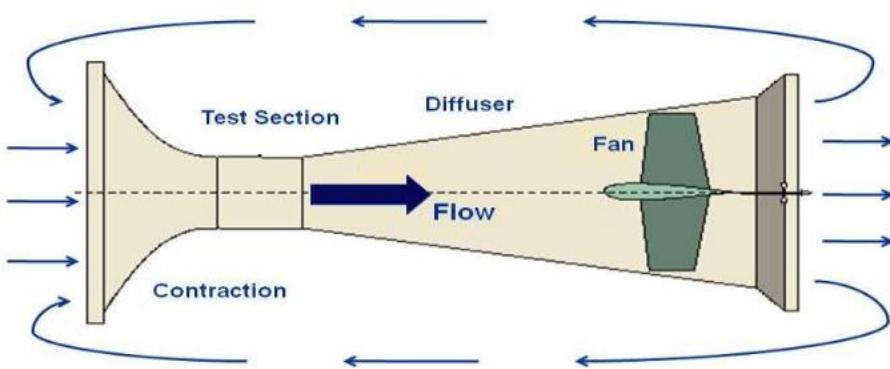
- Bajo coste de construcción.
- No se acumula el humo.

Desventajas

- El flujo no es uniforme.
- Mayor coste de operación.

Figura 19

Túnel tipo Eiffel. (NASA, 2015)



Según (García, Gómez, Martín, & Águeda, 2002) manifiesta varios puntos importantes de soluciones aerodinámicas que se suelen incorporar entre vehículos, mencionando así:

- Forma aerodinámica de la carrocería
- Posición inclinada de la rejilla del radiador, ya que unido al diseño del paragolpes delantero garantiza un flujo sin desprendimientos del aire por encima y alrededor de la carrocería.
- Implementar deflectora bajos en la parte delantera de los pasos de rueda para reducir las fuerzas ascensionales, la presión dinámica que se forma delante de los neumáticos y la temperatura de frenos.
- Perfil del vehículo que garantice un buen deslizamiento de aire.

2.3.5. Túneles de vientos más importantes en el mundo

(Saco, 2015) En el diario El Mundo realizó un artículo acerca los túneles de viento de las grandes marcas de la industria automotriz detallando que estas invierten gran parte de su capital en este punto de la fabricación de un vehículo; debido a que, actualmente el desarrollo de vehículos híbridos y eléctricos es un punto importante en la industria por ello el estudio de la aerodinámica y aeroacústica está siendo primordial, a continuación, se detallan cada uno de estos:

- Túnel de Viento de la Universidad de Stuttgart

Se conoce que el modelo de vehículo Astra perteneciente a la marca Alemana Opel, cuenta con un coeficiente aerodinámico de 0,285, lo que significa que este brinda mayor eficiencia y autonomía en su recorrido, tal como lo menciona (Saco, 2015) en su artículo, adicional también indica que el resultado se obtuvo debido a las pruebas en el túnel de viento de la Universidad de Stuttgart, misma que duró años y donde se estudió de forma determinada la línea del techo, el pilar C y la construcción de los bajos del vehículo, ver figura 20.

Figura 20

Túnel de Viento de la Universidad de Stuttgart. (Saco, 2015)



- Túnel de Viento de Audi

Se encuentra ubicado en Ingolstadt – Alemania, según (Saco, 2015) menciona en su artículo, Audi cuenta con tres túneles de viento, teniendo como principal el túnel de viento de aerodinámica y aeroacústica que cuenta con la capacidad de generar corrientes de 300 km/h, razón por la que los vehículos de Le Mans usan estas infraestructuras para sus pruebas; además de, que se encuentra forrada por elementos de espuma que representan resonadores y amortiguan las ondas sonoras obteniendo una instalación silenciosa, seguido del túnel de viento termal, donde se realizan los ensayos de refrigeración del motor, frenos e interiores; este ambiente, puede llegar a 55°C y puede calentar el suelo simulando una carretera a pleno sol, y finalmente, el túnel climático donde se forman todas las condiciones climáticas límites posibles, teniendo un rango de temperatura desde -25 hasta +55 °C, adicional tiene una cámara climática independiente, una zona de taller y tres laboratorios de pruebas, todo esto se encuentra situado en un alrededor de 10.000 metros cuadrados, donde los vehículos se analizan por más de 6500 horas de ensayo y transitan 250 veces por las diferentes instalaciones, ver figura 21.

Figura 21

Túnel de Viento de Audi. (Saco, 2015)



- Túnel de Viento de Mercedes Benz

De acuerdo con (Saco, 2015) en su artículo, comparte que la marca de vehículos conocida a nivel mundial por crear vehículos de alta gama Mercedes Benz, cuenta con un túnel de viento climático que se encuentra ubicado en Stuttgart y lleva por nombre “La fábrica climática”, así la denomina la marca, donde se someten a los vehículos a las pruebas más extremas posibles, con el fin de que estos se encuentren aptos y presenten un óptimo funcionamiento antes de salir al mercado automotriz; así pues la corriente de aire alcanza hasta 265 km/h, la temperatura puede llegar de -40 grados para analizar componentes del vehículo como la calefacción, hasta 60 grados cifras que se consiguen en lugares como desiertos; además de, también simular el calentamiento de asfalto como lo hace Audi y se mencionó con anterioridad, e incluso se calcula el tamaño de la gota al simular la lluvia y se consigue una precipitación de hasta 2400 litros de agua por hora, con una inversión de 52 millones de euros la meteorología no es un problema, ya que los vehículos pasan por todos los cambios climáticos a elección de los ingenieros de la marca, ver figura 22.

Figura 22

Túnel de Viento de Mercedes Benz. (Saco, 2015)



- Túnel de Viento de BMW

BMW tiene una infraestructura distribuida en cinco bancos de prueba según como lo expone (Saco, 2015), esta se encuentra ubicada en Múnich- Alemania, estos ya mencionados cinco bancos de pruebas están divididos en tres túneles de viento, el climático, el térmico y el de viento medioambiental, que cuentan con un ventilador que alcanza una velocidad punta de 250 km/h y circula el aire en sentido vertical y dos cámaras de ensayo, de altitud y frío; cabe mencionar que entre los tres tipos de túneles de viento que posee esta marca el más completo es el túnel de viento medioambiental ya que cubre la variedad de condiciones climáticas a las que un vehículo se encuentra expuesto, que en el mismo incluso es posible simular lluvia y nieve y las temperaturas oscilan entre -20 °C a 55 °C; mientras que, en el túnel de viento climático se realizan estudios destinados a la fiabilidad térmica, climatización y refrigeración y su temperatura oscila entre -10 °C hasta 45 °C, y finalmente en túnel de viento térmico se realizan ensayos dirigidos a la potencia de refrigeración y flujo de aire, razón por la que el rango de temperatura se basa en valores positivos y oscila entre 20 a 45 °C, ver figura 23.

Figura 23

Túnel de Viento de BMW. (Saco, 2015)



- Túnel de Viento de Porsche

Según (Saco, 2015) expone en su artículo que, desde el centro de desarrollo de Weissach, ubicado en Alemania la marca Porsche cuenta con un túnel aeroacústico, donde se simula un movimiento en carretera de hasta 300 km/h, y para realizar sus pruebas acústicas se utilizan cientos de micrófonos en el tramo de medición; además, posee un túnel de viento climático diseñado específicamente para aumentar la capacidad de desarrollo del vehículo, de forma que estudia el control de refrigeración, clima y sistema de emisiones, ver figura 24.

Figura 24

Túnel de Viento de Porsche. (Saco, 2015)

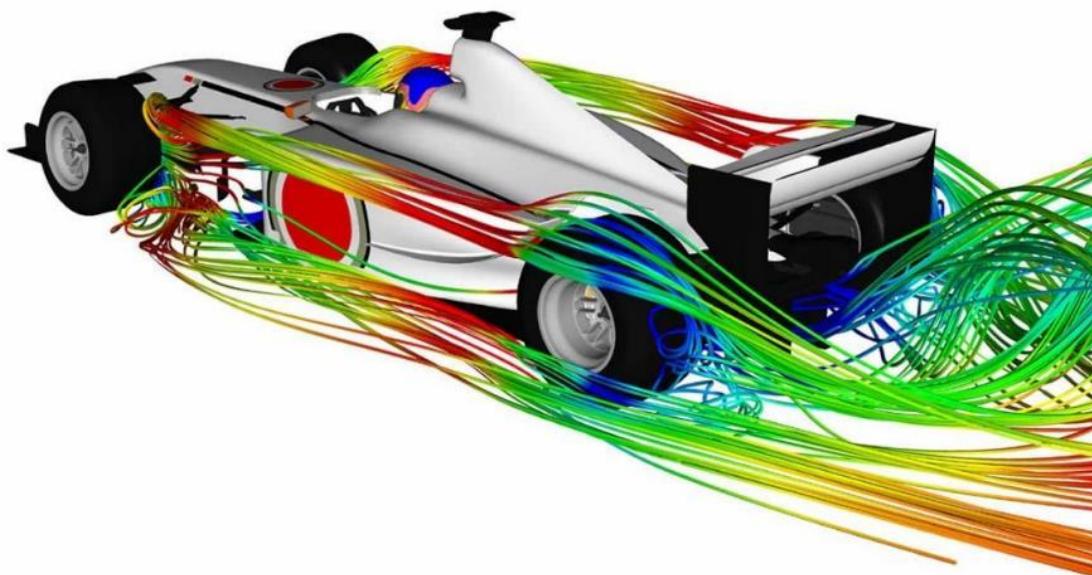


2.3.6. Dinámica de fluidos computacional CFD

Según (Xamán & Guijón- Rivera, 2015) en su libro dinámica de fluido para ingenieros destacan que con las capacidades de las computadoras y el desarrollo de los métodos numéricos la técnica del CFD (Computational Fluid Dynamics) se vuelve una herramienta de análisis y diseño práctica y eficiente, útil para las industrias de diseño, producción, mantenimiento, ámbito académico e investigativo; además, de que muestran muchas oportunidades de aplicación pero esta va a depender del interés del usuario; por otro lado, mencionan que como principal ventaja que mediante su uso disminuyen los costes de producción, ya que se evidencian fenómenos con la oportunidad de obtener rápidas soluciones evitando costosos experimentos, mientras que como desventajas se encuentra la amplia capacidad y conocimiento especializado del usuario, pues esto requiere de altos consumos computacionales; (Morente, 2018), por su parte, recalca que los CFD son capaces de simular por completo un equipo, con el fin de solucionar problemas operacionales o realizar cambios en su diseño.

Figura 25

Simulación CFD de un F1. (Todo Fórmula 1, 2019)



Para ser específicos en el ámbito automotriz se aplica en análisis de la aerodinámica, climatización del habitáculo, refrigeración interna dirigida al motor, entre otras, suministrando ventajas y desventajas las cuales (Cumbe & Rockwood, 2009), ejemplo gráfico en figura 25, señalan en su estudio aerodinámico, las mismas que se imparten a continuación:

Ventajas:

- Reducción de tiempos y costes en nuevos diseños.
- Posibilidad de analizar sistemas y condiciones como: velocidades supersónicas, altas temperaturas y componentes en movimiento relativo.
- Capacidad de estudiar sistemas en condiciones peligrosas y límites de funcionamiento.
- Obtención de grandes resultados sin costos extras.
- Facilidad de interpretación de gráficos.

Desventajas:

- Se ocasionan errores significativos si se efectúan simplificaciones durante el proceso que afectan al resultado.
- La asimilación del usuario de los resultados adquiridos; ya que, dan como verdaderos si se muestran de forma interesante.

“Integrar exitosamente los métodos computacionales en desarrollo de cualquier vehículo requiere de una inversión a largo plazo en habilidades de operario y/o correlación con otros experimentos.” (Katz, 2006)

Según (Hucho & Sovran, 1993) dice que son apropiadas para el análisis de un gran rango de opciones geométricas en las etapas tempranas de diseño fortaleciendo así los prospectos de obtener una geometría optima; en ocasiones, permite investigar situaciones que no pueden ser duplicadas en un túnel de viento como por ejemplo un escenario de sobrepaso.

CFD- Computational Fluid Dynamics “es una tecnología por ordenador que simula los flujos de aire, la carga aerodinámica, la resistencia aerodinámica, y otro dato importante para hacer un estudio de los estudios de los flujos de aire de los F1 como la vorticidad del aire.” (Oriol, 2018), el CFD intenta descubrir una medida macroscópica global, los valores de fuerza y momentos que es prácticamente la información que se adquiere en un túnel de viento y de tal manera tener una idea de las fuerzas de resistencia al avance.

Según (Gómez S. , 2017) en su libro de mallado y simulación CFD de automóvil menciona que el objetivo de las simulaciones CFD es determinar sobre el modelo las fuerzas que actúan sobre el mismo y la influencia que tienen sobre las mismas si se ensaya:

- Con o sin ruedas
- Con o sin contacto de las ruedas con el suelo
- Con o sin alerón

Dirigidos a los vehículos de competencias en este caso karting (Gutierrez M., 2016) dice que este método presenta gran complejidad por factores que se generan por el espacio entre el cuerpo y el suelo, regiones de separación y flujo transitorio; además que, recalca que las escuderías profesionales utilizan estas técnicas colectivamente con pruebas de túnel de viento y en pista para perfeccionar resultados.

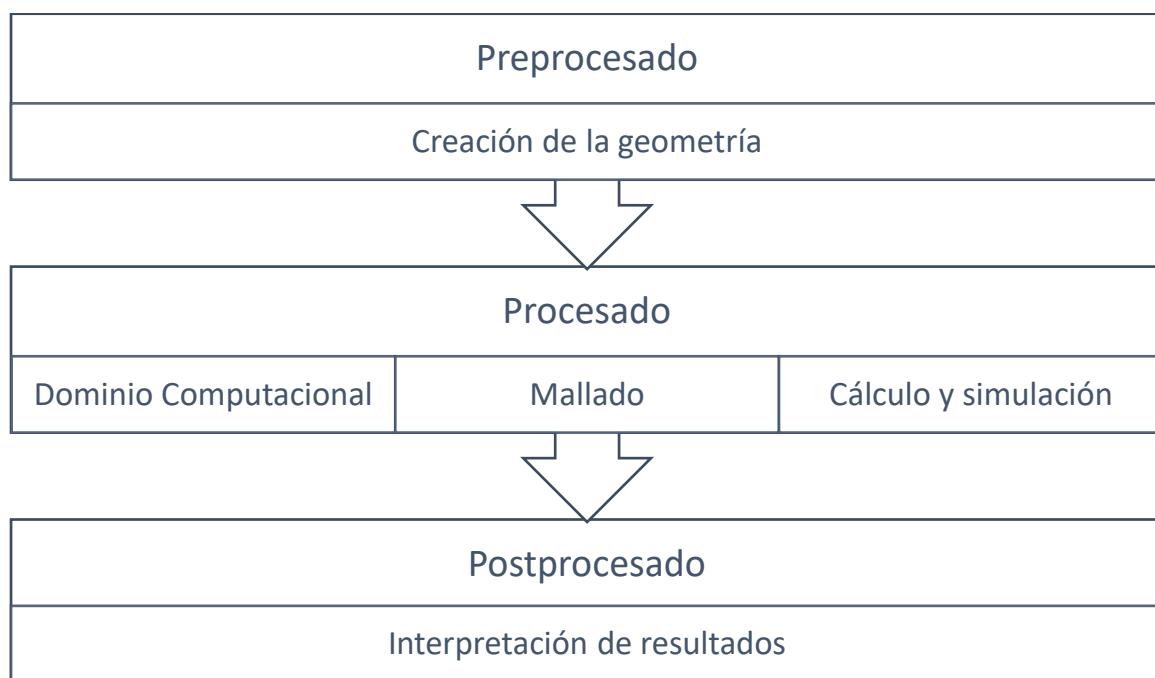
2.3.7. Pasos para la dinámica de fluidos computacional

Con guía del estudio realizado por (Morente, 2018) titulado Estudio del efecto del borde de salida en el desprendimiento de vórtices generados por una cascada de álabes donde se indica que como primer paso se debe realizar el preprocesado que en otras palabras es la creación, generación o importación de la geometría a estudiar; es decir, el modelo de karting tomado de referencia del equipo INGAUTO RACING y el modelo de karting con molduras modificadas con un diseño propuesto bajo el mismo chasis, para este proyecto se procedió a realizar la ya nombrada geometría en 2D, 3D y ensamble en el programa Inventor profesional

de Autodesk, para posterior a esto ejecutar procesado, donde como segundo paso se realiza un dominio computacional y siguiente a esto el mallado parte importante para la simulación, que consiste en discretizar una región del dominio dividiéndola en pequeños volúmenes de control; es decir, la construcción de la malla se realiza para descifrar que elementos concretan el comportamiento del fluido, esto depende de los elementos y forma de la geometría ya que se obtendrá una malla precisa con resultados minuciosos; para finalizar, como último paso se efectúa el postprocesado, que consiste en la interpretación de resultados mediante gráficos, datos y contornos, a continuación en la figura 26 se sintetiza mediante un cuadro conceptual los pasos a realizar para dinámica de fluidos computacional.

Figura 26

Esquema de elaboración del presente proyecto



2.4. Marco conceptual

2.4.1. Aerodinámica

Según (Fraija, 2006) expresa que la aerodinámica es la ciencia que estudia los flujos de aire; ya que, tiene como esencia el vínculo de acciones y efectos que ejerce el aire sobre el

vehículo en movimiento; de tal forma, que su influencia es determinante en el diseño de un vehículo, obteniendo ahorro de combustible y estabilidad a altas velocidades.

Por otro lado (Da Riva, 2002) expone como concepto que la aerodinámica estudia las fuerzas que un viento relativo ejerce sobre un obstáculo sumergido en él; además que, desde un punto de vista general las aplicaciones de la aerodinámica no se reducen al estudio de las fuerzas sobre aviones más o menos clásicos sino que trascienden a otros muchos campos por el efecto de arrastre que es característico de ciencias y técnicas avanzadas.

La aerodinámica es parte de la mecánica y la dinámica; ciencias que, estudian los distintos fenómenos físicos afines con el movimiento de los diversos objetos; de forma, que es necesario tener conocimientos físicos y matemáticos, su principal objetivo es el análisis de los distintos gases alrededor de un cuerpo en movimiento, este estudio es más utilizado en la aviación, área de transportes, construcción, ingeniería en general.

Según (Medina, 2015) dice que en el sector automotriz consiste en darle el mayor aprovechamiento a los vientos para mejorar el desempeño de un auto, principalmente en carretera, ya que a altas velocidades el beneficio es más notorio: mayor seguridad, velocidad, maniobrabilidad, eficacia en consumo de combustible y menor desgaste de motor. También tiene un segundo uso: el de mantener el vehículo adherido al suelo para mayor agarre y no perder o variar su centro de gravedad.

Es importante mencionar que el estudio aerodinámico en la actualidad en el ámbito automotriz comercial es de fundamental importancia ya que cada vez se incrementa el gusto de las personas por la velocidad y debido a esto las marcas deben brindar velocidad con estabilidad basándose en los vehículos de competencias de automovilismo, de forma que se invierte y se aplican estudios y pruebas aerodinámicas para brindar seguridad y calidad a los amantes de la adrenalina automovilística.

2.4.2. *Apéndices Aerodinámicos*

Los apéndices aerodinámicos forman parte de un elemento aerodinámico y permiten el paso de aire a través de ellos con el fin de certificar la carga aerodinámica del vehículo, han sido diseñados para garantizar la carga aerodinámica en función de la velocidad del vehículo; además de, disminuir el peso lo que influye en la aportación de un mejor desarrollo y eficiencia del vehículo en circulación, de forma que brinda una mejor estabilidad en curva al mismo.

En el diseño a realizar en las molduras de un kart se adicionarán como detalles aerodinámicos los apéndices tomando como base, la implementación de estos en los vehículos de Fórmula uno, debido a que no solo aporta a un mejor aspecto del vehículo; si no que, brinda como ventaja un mejor desarrollo y estabilidad del vehículo en curvas durante su recorrido en pista, tal como se mencionó anteriormente, ver figura 27.

Figura 27.

Apéndices aerodinámicos. (TKART MAGAZINE, 2017)



Nota: El kart tiene implementado en su diseño apéndices aerodinámicos, mismos que son señalados por la flecha color amarillo.

2.4.3. *Efecto suelo*

En la aerodinámica lo tan denominado efecto suelo es un tema de vital importancia sobre todo en las competencias de alto rendimiento del ámbito automotor, así como (García D.

, 2010) en su estudio de la capacidad aerodinámica de carrocerías de vehículo categoría cm expone que se llama efecto suelo a un fenómeno aerodinámico se da cuando un cuerpo, con una diferencia de presiones entre la zona que hay por encima y debajo de él, se encuentra muy cerca de la superficie; de forma que, esto provoca alteraciones en el flujo de aire que pueden aprovecharse en diversos campos; y a su vez, que en el mundo de automovilismo se busca crear una zona de alta presión por encima del vehículo y una baja presión por debajo, ya que esto genera una succión del vehículo en el suelo, aportando visiblemente al agarre del mismo, con la posibilidad de trazar curvas a mayor velocidad.

2.4.4. Aerodinámica Activa

Según (Ruiz, 2017) se dirige a la aerodinámica activa como la que permite a los elementos del vehículo reaccionar ante cambios bruscos del mismo y no perder la estabilidad a altas velocidades; generalmente, se encuentran ubicados en vehículos que desarrollan altas potencias como complemento a la aerodinámica desplegándose en distintas condiciones según este lo requiera.

En los vehículos de competencia como karts y formula 1 no constan de aerodinámica activa esto debido a que se regulan automáticamente según lo requiera el piloto, lo que sí es una realidad es que existe una propuesta para que esto sea parte de los deportes de automovilismo, según (Todo Fórmula 1, 2019) esto se dio por parte de FIA, ya que la esperanza es que la aerodinámica activa les da a los pilotos la capacidad de ajustar las alas y otras partes del vehículo mientras siguen cerca de un rival; sin embargo, existirían muchas limitantes y restricciones para esta implementación.

2.4.5. Túnel de viento

Un túnel de viento en el ámbito automotriz es una herramienta de uso primordial son el fin de generar vehículos seguros sobre todo en competencias, (García D. , 2010) dice que un túnel aerodinámico como también es conocido es una herramienta de investigación desarrollada

para ayudar en el estudio de los efectos del movimiento del aire alrededor de objetos sólidos, con este instrumento se simulan situaciones habituadas por el objeto en el escenario real, ya que; en este el objeto se conserva de forma invariable mientras se impulsa el paso de del aire o gas alrededor del ya mencionado objeto sólido.

2.4.6. *Resistencia Aerodinámica*

Según (García D. , 2010) indica que se designa como resistencia aerodinámica al componente de la fuerza que sufre un cuerpo al moverse a través del aire en la dirección de la velocidad relativa entre el aire y el cuerpo ; es decir, que la resistencia es de sentido opuesto a la velocidad; en otras palabras, es la fuerza que se opone al avance de un cuerpo a través del aire.

En el área automotriz la resistencia aerodinámica es establecida por el vehículo y los detalles que pueden influir en este proceso está basado en el diseño exterior del mismo, la forma más utilizada en la actualidad que mayor aporte han brindado a un vehículo en cuando a eficiencia y desarrollo son las puntas esquinadas ubicadas hacia debajo de aquí los famosos apéndices utilizados en competencias como la Fórmula 1, de manera que su efecto es más factible ya que el aire no golpea si no que pasa sin generar exceso de turbulencia.

2.4.7. *Carga aerodinámica y agarre*

En las competencias del mundo tuerca los más importante es que el vehículo sea rápido, por esta razón y mediante una serie de estudios se destaca que es impredecible la potencia y la energía del mismo, cabe recalcar que para esto en ocasiones se debe ampliar la fuerza lo que implica que al ya mencionado vehículo se le debe aumentar peso y por ende aumentar potencia lo que no se puede realizar ya que estas competencias se dividen por categorías según el cilindraje y potencia del motor, en esta parte es donde ingresa la carga aerodinámica que es la que cumplirá esta función sin realizar cambios que afecten a las escuderías ya que esta fuerza se obtiene del flujo de aire que rodea al vehículo en circulación.

De acuerdo con (Borja, 2015) hace referencia de la carga aerodinámica como la fuerza que se encarga de empujar el vehículo contra el suelo mediante los apéndices aerodinámicos al atravesar el aire; es decir, la fuerza de sustentación se debe al rozamiento y agarre que desarrollan al optimizar el apoyo aerodinámico, motivo por el cual se define como:

Ecuación 7 Carga aerodinámica

$$F = \mu \times N$$

Donde:

F = Fuerza de agarre en el suelo en N.

μ = Coeficiente de rozamiento relativo (Suelo y neumático, es adimensional)

N = Fuerza al vehículo ejercida por la carga aerodinámica, se mide en N y se

define como:

Ecuación 8 Carga de agarre

$$N = m \cdot g + F_z$$

Donde:

m = Masa del vehículo, kg.

g = Aceleración de gravedad, m/s^2 .

F_z = Fuerza de sustentación, N.

2.4.8. Capa Límite

De acuerdo con (Plaza, 2020) la capa límite o también llamada boundary layer en inglés, es el conjunto de capas, formadas a su vez por moléculas que ven alterada su velocidad por acción del objeto en cuestión, comenzando por la que iguala su velocidad a la del mismo y finalizando cuando la velocidad del aire no se ve afectada por la resistencia generada.

En otras palabras (Morente, 2018) dice que la capa límite es una zona muy cercana a la superficie del cuerpo, con una relativa velocidad de flujo nula justo en la superficie, dicha capa

aparece en los fluidos viscoso, es importante mencionar que la velocidad de flujo se incrementa lentamente hasta un punto que alcanza la velocidad exterior a esta.

En las competencias del mundo motor los elementos aerodinámicos son diseñados con el fin de aprovechar el desempeño de los regímenes de las capas aerodinámicas y su influencia en la mejora de desarrollo con los mencionados elementos.

2.4.9. *Malla*

“La malla es un conjunto de todos los elementos o celdas y aseguran la continuidad adecuada de la solución a través de las interfaces comunes entre dos dominios.” (Gómez S. , 2017)

Este proceso es el más complejo y de mayor detalle, ya que según (Cumbe & Rockwood, 2009) en su libro titulado Simulación aerodinámica de un vehículo Toyota- Corola 2005 en un programa de dinámica de fluidos computacional, indican que se realiza para designar elementos en los que se resolverán ecuaciones diferenciales que definen el comportamiento del fluido, por otro lado las celdas son agrupadas dentro de una zona de contorno donde se especifican los atributos físicos de la geometría; es importante mencionar, que en función de los métodos que se utilizan para linealizar las ecuaciones dentro de las celdas, las mallas se dividen en dos tipos, estructuradas y no estructuradas.

Malla Estructurada: “Se caracteriza por una conectividad regular que puede expresarse como una matriz de dos o tres dimensiones, restringiendo las opciones a cuadriláteros en 2D hexaedros en 3D.” (Gómez S. , 2017), ver figura 28.

Según (Cumbe & Rockwood, 2009) en su libro titulado Simulación aerodinámica de un vehículo Toyota- Corola 2005 en un programa de dinámica de fluidos computacional, mencionan como ventajas de la malla estructurada las expuestas a continuación:

- Es más sencillo de crear y genera menos costo computacional.

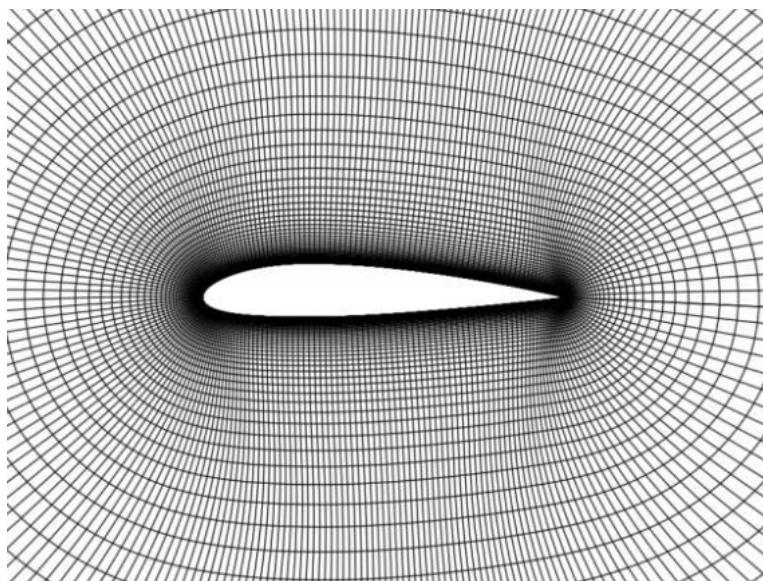
- Su implementación es simple y muy conveniente para la solución de diferencias finitas
- Requieren menos memoria de cómputo y brindan la posibilidad de controlar la forma y tamaño de cada elemento.

Por otro lado también (Cumbe & Rockwood, 2009) exponen la desventaja o inconveniente que presenta la misma:

- El inconveniente se presenta en que por ser estructura rígida se hace imposible su adaptación a geometrías complejas.

Figura 28

Malla estructurada. (Gómez S. , 2017)



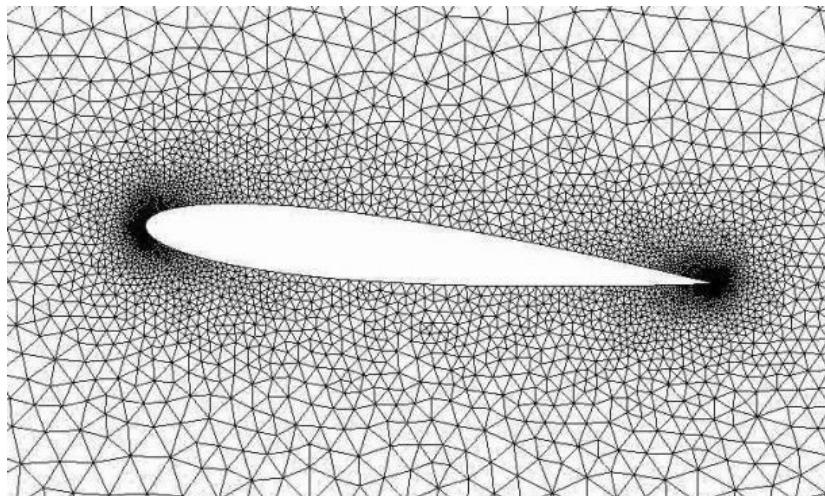
Malla no estructurada: “Se caracteriza por una conectividad irregular, no se expresa como una matriz de 2D o 3D.” (Gómez S. , 2017), ver figura 29.

Según (Cumbe & Rockwood, 2009) expone que la malla no estructurada tiene diferente número de elementos vecinos, su solución se realiza mediante los métodos y volúmenes finitos debido a que permiten fácilmente refinamientos locales para resoluciones altas en regiones de interés, esto sin perder precisión en el resto del dominio; es importante mencionar que como ventaja brinda:

- La relación directa con el encarecimiento del costo computacional.

Figura 29

Malla no estructurada. (Gómez S. , 2017)

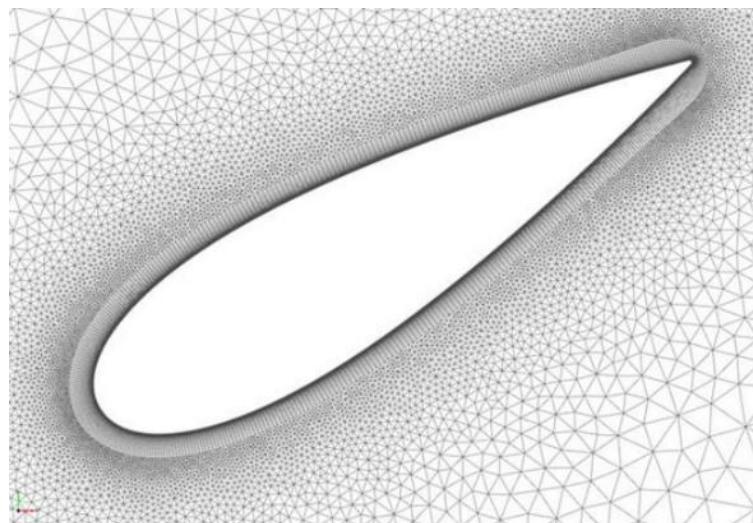


Malla híbrida: “Contiene proporciones estructuradas y proporciones no estructuradas.”

(Gómez E. , 2009), ver figura 30.

Figura 30

Malla híbrida. (Gómez S. , 2017)



2.4.10. Sistema CAD (Computer Aided Desing)

Como señala (Rojas & Salas, 1999) el sistema CAD (Computer Aided Desing) o en castellano conocido como (Diseño Asistido por Computadora) es un sistema que permite el diseño de componentes tridimensionales mediante un ordenador facilitando la interacción y creación de los mismos, y a su vez posibilitando la simulación del modelo para la correcta

construcción del prototipo, aborda la automatización global del proceso de diseño de un determinado tipo de objeto o ente.

Cabe mencionar que en los sistemas CAD es fundamental conseguir una representación del modelo bien realizado; de modo que, esto permita simplificar la generación de cualquier tipo de método a utilizar; además que, su estructura puede depender del objetivo y aérea de comprensión para el que se diseñen.

Según (Perales, 2015) en sus estudios sobre sistemas CAD y CAE indica que el CAD representa el conjunto de aplicaciones del producto a fabricar; adicional, expone como tipos de CAD el CAD analítico y el CAD paramétrico donde:

CAD Analítico

Usa procedimientos analíticos para definir sus límites o acciones; estos, surgieron después de los primeros métodos gráficos por la necesidad de cuantificar y permitir evaluar los resultados de las variables que involucra el diseño estructural; así mismo, permanecen en la memoria de la computadora como relaciones de puntos- coordenadas, sentido y dirección, el dibujo es definido por sus coordenadas espaciales x,y,z y toda la información es lógica-analítica.

CAD Paramétrico

Usa parámetros para definir sus límites o acciones, en este la información visual es parte de la información disponible en el banco de datos; es decir, una representación de la información como objeto que no es definido por solo por sus coordenadas espaciales; si no, también por sus parámetros, gráficos o funcionales; en la actualidad este ha substituido a las técnicas clásicas de diseño en tres dimensiones y se ha convertido en un conocimiento imprescindible de la ingeniería.

2.4.11. Sistema CAE (Computer Aided Engineering)

Con base en (Rojas & Salas, 1999) se expone que el sistema CAE (Computer Aided Emgineering) o conocidas en castellano por sus siglas como (Ingeniería Asistida por Computadora) consiste en la representación de un modelo geométrico en la memoria de la computadora; además que, todos los elementos de este sistema se fundamentan en una descripción geométrica como punto de partida.

Según (Perales, 2015) menciona que este sistema engloba el conjunto de herramientas informáticas que permiten analizar y simular el comportamiento del producto diseñado existen dos tipos:

CAE Mecánico

Incluye análisis por elementos finitos para evaluar las características estructurales de una parte y programas de cinemática para estudiar los complejos movimientos de algunos mecanismos.

CAE Electrónico

Permite verificar los diseños antes de fabricarlos, simular su uso y otros análisis técnicos para evitar perder tiempo y dinero, su objetivo es proporcionar herramientas que permitan fabricar la pieza diseñada.

2.4.12. Simulaciones Computacionales

“La simulación es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y realizar experimentos con él para entender el comportamiento del sistema y evaluar varias estrategias.” (Gómez E. , 2009); Por otro lado, también se puede considerar como uno de los métodos más eficaces dentro del ámbito ingeniería; es por esto que (Katz, 2006) lo muestra como el método primordial manejado por los equipos y escuderías en el deporte del automovilismo para complementar resultados; ya que, para integrar exitosamente los métodos computacionales se requiere de inversión, habilidad de operarios y concordancia con otros experimentos.

Es importante mencionar que para esta es necesario la utilización de técnicas lógicas matemáticas ya que permite analizar el estudio de comportamiento de una forma realista; de forma que, se busca usar los modelos para pronosticar futuros comportamientos en una pieza o conjunto de piezas para a través de esto generar mejoras de producto, además que según (Gutierrez M., 2016) dice que las simulaciones CFD son especialmente útiles para predecir tendencias de como la forma afecta las características del flujo, “la predicción absoluta del rendimiento es pobre y esto es debido a la falta de información de la física del problema y otras cuestiones relacionadas con los recursos computacionales como tal.” (Hucho & Sovran, 1993).

2.4.13. *Energía Cinética de Turbulencia*

Para entender lo que es la energía cinética de turbulencia que es un tema primordial en el proceso de la simulación aerodinámica, donde por su siglas en inglés se denomina como TKE (Turbulent Kinetic Energy), primero es imprescindible conocer el concepto básico de energía cinética, entonces así, se indica que esta es la energía que tiene un cuerpo debido a la realización de un movimiento, mientras que la turbulencia es el desorden en el movimiento de un fluido, según el soporte técnico de un programa de simulación (PTC, 2018) dice que la energía cinética de turbulencia es la suma de toda la energía cinética de forma turbulenta en un volumen, además que esta también es una unidad de medida de fluctuaciones; en otras palabras variable, de la energía cinética en general.

2.4.14. *Disipación de Energía Turbulenta*

Según (Ballesteros, 2004) en su libro turbulencia publicado por la Universidad de Oviedo, dice que los flujos turbulentos son siempre disipativos; ya que, una vez que se ha desarrollado el flujo turbulento, la turbulencia tiende a mantenerse, aunque para ello necesite de un aporte continuo de energía. Esta energía se extrae del flujo principal y la invierte en aumentar la energía interna mediante procesos de deformación a los que se ven sometidas las partículas fluidas. La turbulencia necesita de una transferencia continua de energía para reponer

esas pérdidas viscosas. Si no existe suministro de energía, la turbulencia decae rápidamente, en otras palabras, la disipación como tal influye en la pérdida de la turbulencia mediante métodos viscosos.

2.4.15. *Método Iterativo en una Simulación*

Para definir que es un método iterativo es importante ser conocedor del concepto de iteración, entonces se conoce como iteración a la actividad repetitiva de determinados pasos o procesos; en el ámbito de la dinámica y la simulación computacional, es imprescindible el uso de métodos iterativos que según el portal web (Definición.de, 2008) resultan útiles para resolver problemas por medio de aproximaciones sucesivas a la solución; partiendo desde una estimación inicial ya que son factibles para la solución de problemas de muchas variables; de forma que, consiste en reiterar un conjunto de instrucciones o acciones con uno o varios objetivos, cabe recalcar que una función iterativa está compuesta a partir de la repetición de la misma función.

2.4.16. *AutoDesk*

Con base en la página principal de AutoDesk (AutoDesk, 2020) se expone que AutoDesk, Inc. es una empresa reconocida mundialmente que se dedica a la creación de softwares para personas que hacen cosas; es decir, que diseñan, crean y asientan una idea mediante la creación de un dibujo en 2D y 3D; es importante mencionar que, son líderes en el área de diseño y fabricación de software para las distintas industrias tales como, arquitectura, ingeniería, construcción, medios y entretenimientos.

Figura 31

Logo de Autodesk. (AutoDesk, 2020)



2.4.17. *Inventor Professional*

Inventor Professional software utilizado para el desarrollo de este presente proyecto es un software creado por AutoDesk Inc., mismo que fue inmiscuido en el mercado en 1999, posicionándose como competidor directo de otros programas de ingeniería de diseño asistido por computadora, brindando las mismas facilidades e innovación para los usuario, cabe mencionar que, de acuerdo con la página principal de AutoDesk (AutoDesk, 2020) se lo describe como una herramienta más funcionales para la simulación de productos, documentación y diseño mecánico 3D de nivel profesional, esto debido, a que el mismo proporciona un trabajo eficiente y adicional a esto personalizado gracias a la combinación de capacidades de diseño paramétrico, directo, de forma libre y basado en reglas, ideal para personas que dejan fluir su creatividad y se dedican a la invención y estudio de componentes en las diferentes áreas de la ingeniería y construcción.

Figura 32

Logo de Inventor Autodesk. (AutoDesk, 2020)



2.4.18. *SolidWorks*

Solidworks es un programa de diseño asistido por computador, este fue utilizado para la simulación de fluido en este presente proyecto de forma complementaria como ha sido mencionado con anterioridad, mismo que según en la página oficial (Dassault Systemes, 2021) SOLIDWORKS Corp. fue fundada en 1993 por Jon Hirschtick con sede en Masachusset, en el año 1995 lanzó su primera versión del CAD 3D al mercado y en 1997 fue adquirida por

Dassault Systemes convirtiéndose en una filial de ésta. Solidworks es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D; este, ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto; ya que, brinda la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño.

Figura 33

Logo de Solidworks. (Dassault Systemes, 2021)

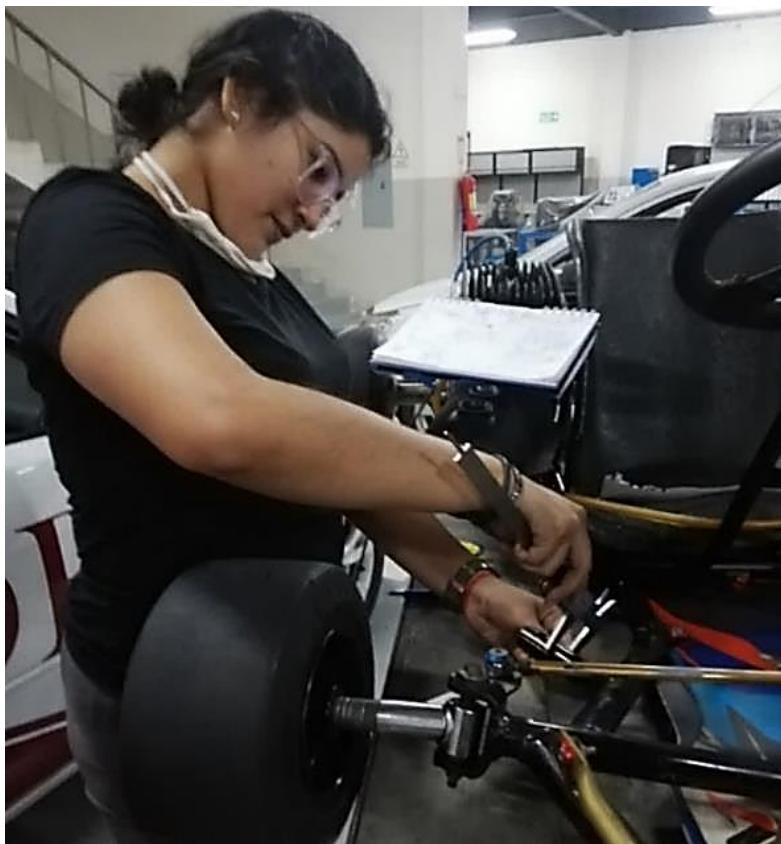


Capítulo III

Metodología Aplicada

3.1. Obtención de una geometría

Basados en los estudios sustentados anteriormente en el presente análisis se procede como primer paso con la realización de toma de medidas; tal como se observa en la figura 34, teniendo como referencia el karting perteneciente al equipo INGAUTO RACING de la Universidad Internacional del Ecuador Extensión Guayaquil; esto, con las herramientas técnicas de medición apropiadas; de forma que, las herramientas a utilizar fueron un flexómetro para medición de elementos grandes y generales, y un calibrador Vernier o pie de rey para medición de elementos pequeños, medidas internas, medidas externas y medidas de profundidad, así como también elementos con detalles presente en él mismo que influyen en la realización de la simulación del mismo; esto, con el fin de conseguir un óptimo desarrollo en la geometría durante y después del proyecto, de tal forma, que al obtenerse las ya mencionadas medidas, se proceda a la ejecución por partes con medidas exactas del dibujo en 2D y simulación una vez este sea realizado y ensamblado en 3D de los vehículos mencionados con anterioridad, esto se realiza en los programas Inventor Profesional de Autodesk ideal para la realización y ejecución del proceso de geometría y ensambles, y posterior a esto, se utilizó el programa Solidworks para realizar la simulación de fluidos mediante un dominio computacional que simula ser un túnel de viento donde se emplea como datos una velocidad de -150 km/h esto debido a que el viento como gas y fluido elegido debe circular en contra al vehículo por esta razón el dato utilizado se encuentra en forma negativa, a un estado climático con temperatura ambiente de 25°C colocados por default, y una fuerza de presión de 0 Pa, debido a que se requiere verificar la presión mínima y máxima en un rango de iteración de 1 – 80, ambos programas se utilizaron de forma complementada para adquirir un resultado final óptimo y acertado a la realidad.

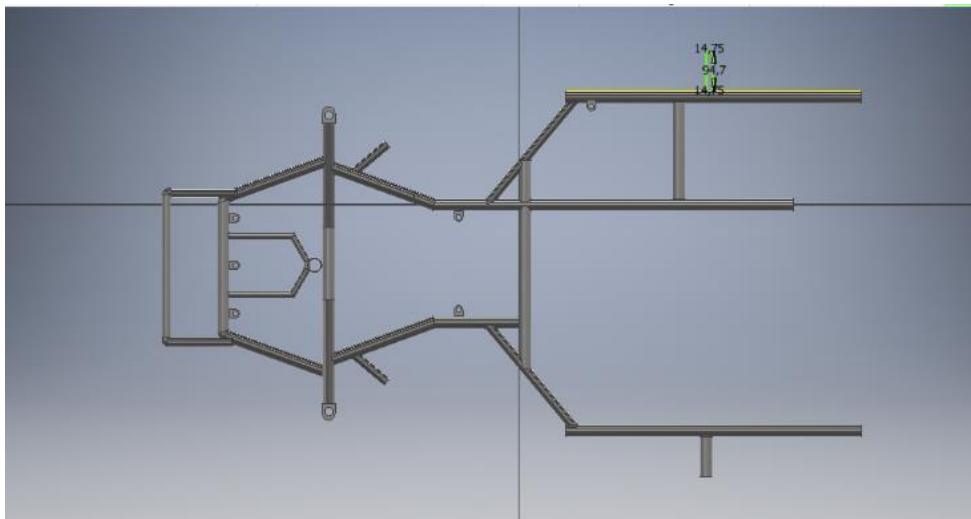
Figura 34*Medición de Karting.*

Nota: Toma de medidas con Calibrador Vernier o Pie de Rey

Una vez obtenidas las medidas del karting de referencia ubicado en el taller de mecánica de la Universidad Internacional del Ecuador Extensión Guayaquil mediante un flexómetro y un calibrador Vernier como se mencionó con anterioridad esto según el tamaño del componente a medir, se prosiguió a realizar el dibujo de forma cronológica en el programa inventor profesional en 2D para, de tal forma, convertirlo en 3D simultáneamente, y así este empiece a tener forma, durante el proceso se basó en trabajos de sólidos y en ocasiones se efectuaba en un proceso para la elaboración de componentes mediante simetría del dibujo opción ideal para la igualdad de las partes y obtener un mejor acabado; de forma que se comenzó por un sólido principal; en este caso, el chasis que es la pieza fundamental y estructura base para la creación del vehículo necesario para el análisis de esta comparativa en este proyecto, tal como se muestra en la figura 35.

Figura 35

Chasis del Karting de Referencia.



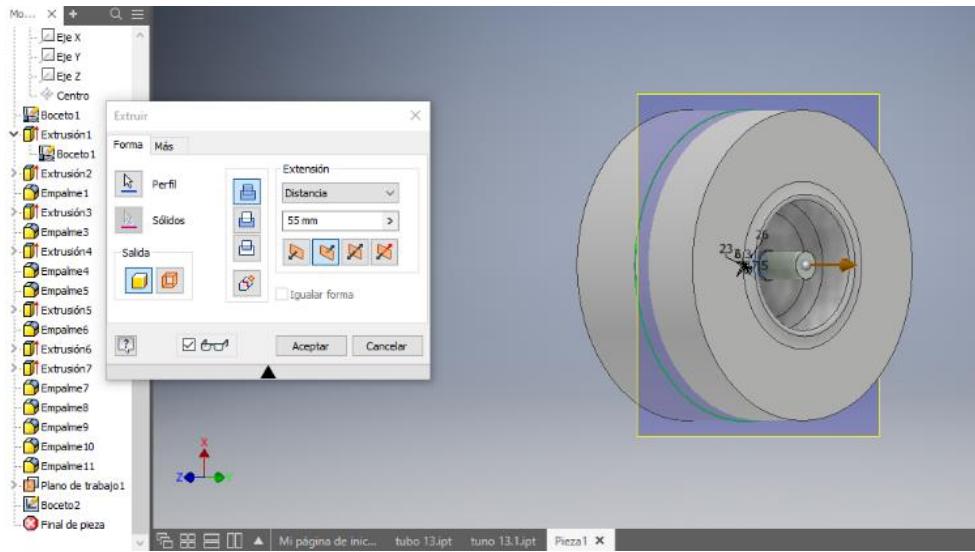
Nota: Se puede observar el chasis como primer elemento realizado en el programa Inventor Profesional 2019

A continuación, se efectuó partes complementarias e importantes; tales como, dirección (figura 36-37), la suspensión (figura 38-39-40), motor del vehículo (figura 41), asiento (figura 44), y elementos de sujeción (figura 46) de los mismos para la realización de este proyecto, mientras que; adicional se realizaba el ensamble de forma remota (figura 40-43-45), de tal manera; que se le daba forma al karting en el transcurso de su creación; es importante recalcar, que se debe tomar en cuenta los detalles que puedan influir en el análisis aerodinámico e implementarlos en el dibujo, esto para un resultado más realista, como en todo proyecto se presentaron complicaciones durante proceso, donde se efectuaron las debidas correcciones de los errores durante la ejecución de las piezas y ensambles de las mismas, esto con el fin de obtener un óptimo resultado en cada avance y más acercado a la realidad, la explicación a detalle del paso a paso de este proceso a continuación.

Para el proceso de la creación de los neumáticos delanteros se procedió a dibujar en 2D los círculos y formas necesarias para luego realizar las extrucciones de las mismas por partes de acuerdo a las medidas especificadas por el fabricante, tal como se observa en la figura 36.

Figura 36

Neumáticos delanteros.

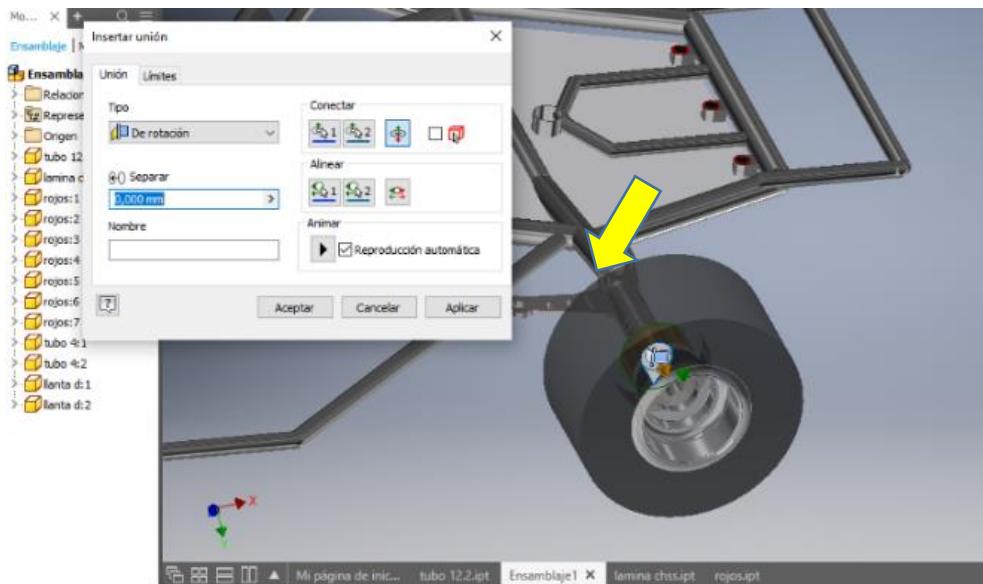


Nota: En esta imagen se observa el proceso de creación de los neumáticos del kart en 3D.

Una vez realizados los neumáticos delanteros se procedió a ensamblar los ejes de cada lado de los chasis señalados con una flecha amarilla en la figura 37 y los neumáticos a estos, donde pasarían a ser parte de la dirección del vehículo a realizar, ver figura 37.

Figura 37

Ensamble de Dirección del kart.

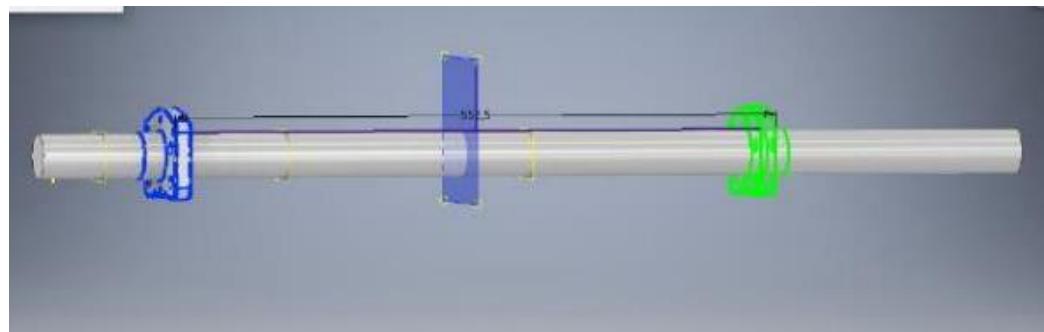


Nota: Se observa el ensamble del neumático en el eje delantero perteneciente al sistema de dirección del vehículo con un movimiento de rotación.

Ya realizada la dirección del vehículo, se prosigue a ejecutar la suspensión, utilizando simetría en la geometría para los elementos iguales en el mismo sistema, cabe recalcar que, al hablar de suspensión, se indica que esta consta de eje, disco de freno y catalina, como se muestra en la figura 38.

Figura 38

Suspensión del kart.

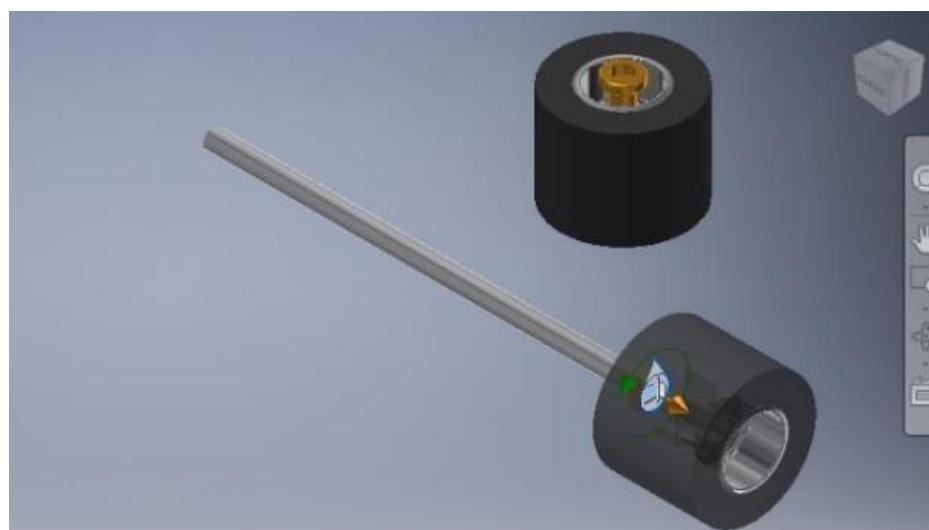


Nota: La imagen demuestra la realización de la suspensión del vehículo mediante simetría.

Se dibuja y se sigue el mismo proceso para la creación de los neumáticos posteriores pertenecientes al sistema de suspensión ya que estos son de diferentes medidas comparado con los neumáticos delanteros pertenecientes al sistema de dirección, adicional se las ensambla en el eje posterior de la suspensión, ver figura 39.

Figura 39

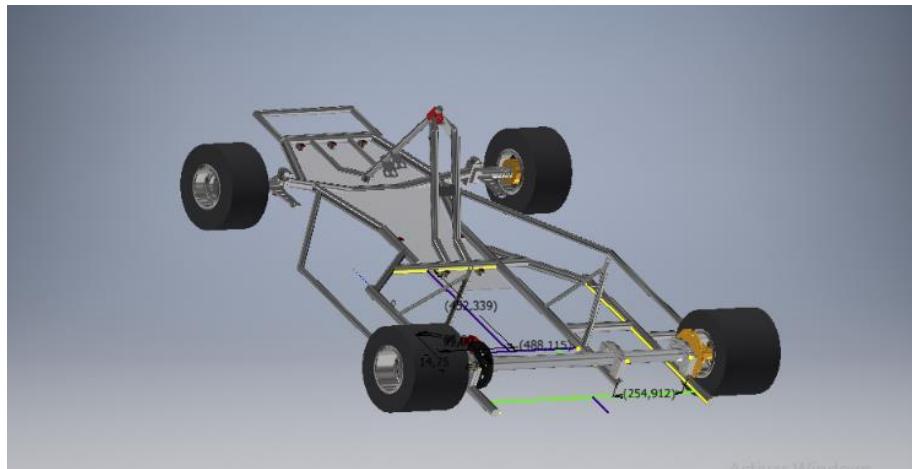
Neumáticos Posteriores.



Ya realizado el ensamble de los neumáticos posteriores en el sistema de suspensión se procedió al ensamble del mismo al chasis, empezando a tomar forma, tal como se muestra en la figura 40.

Figura 40

Ensamble de Suspensión del kart.

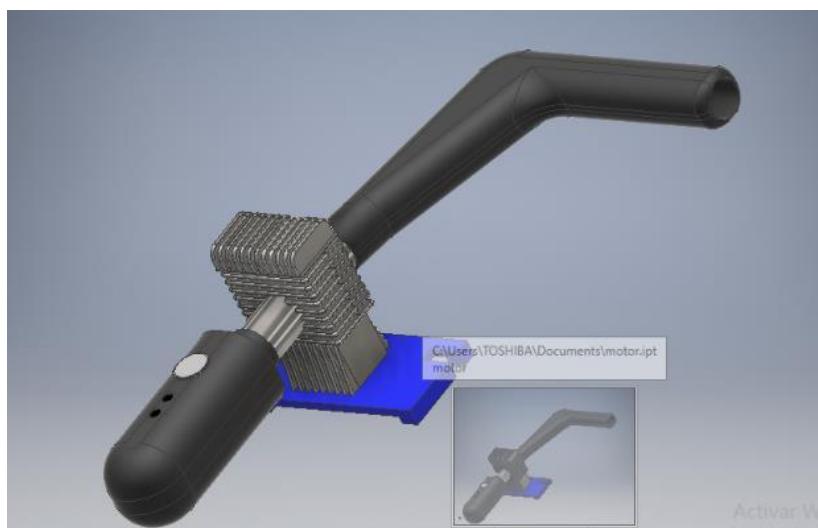


Nota: En esta imagen se observa un plano general del ensamble de dirección y suspensión del kart.

Con el vehículo tomando forma, era hora de realizar los elementos adicionales que influye en este análisis aerodinámico como es el motor del vehículo, lo que incluye la base, el filtro y el tubo de escape en el mismo, ver figura 41.

Figura 41

Motor del kart.

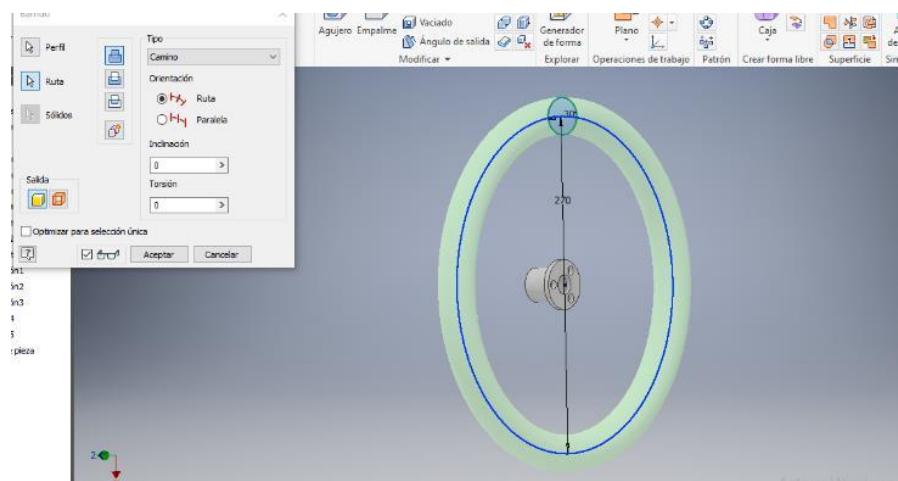


Nota: Se observa la base y motor del kart.

Como elemento adicional importante para la creación del vehículo a analizar es la ejecución del volante, se realizó el dibujo y posterior a esto la extrusión de los elementos, en el caso del manubrio se implementó un barrido por la forma del mismo, tal como se muestra en la figura 42.

Figura 42

Volante del kart.



Con el motor y el volante realizado se procede al ensamblaje de los ya mencionados componentes de forma que vehículo empieza a estar casi completo, tomando forma en detalles que influyen en este presente análisis, ver figura 43.

Figura 43

Ensamble del Motor del kart.

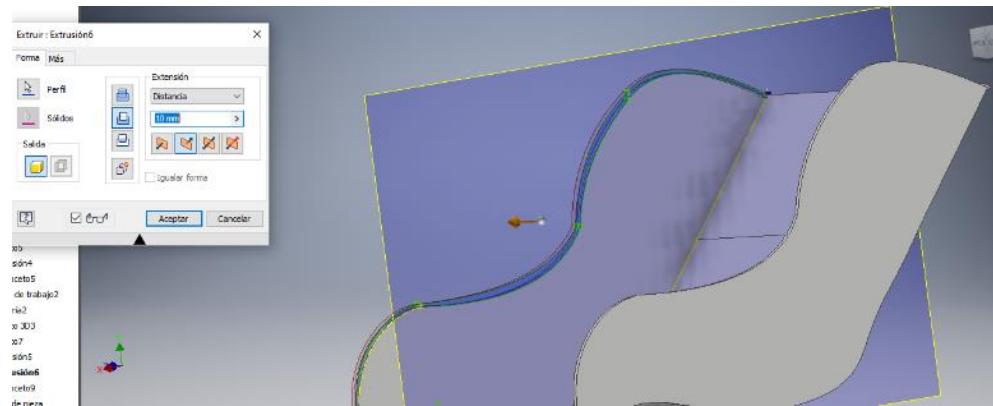


Nota: En esta imagen se observa un plano general del ensamblaje del kart adicionando motor y volante.

Con los pasos ya proporcionados con anterioridad se procede a la realización del asiento ergonómico para el piloto del vehículo, elemento que tiene mucha influencia por el tamaño y posición de la geometría; por ende, se declara de los componentes más importantes para este proyecto, ver figura 44.

Figura 44

Asiento del kart.

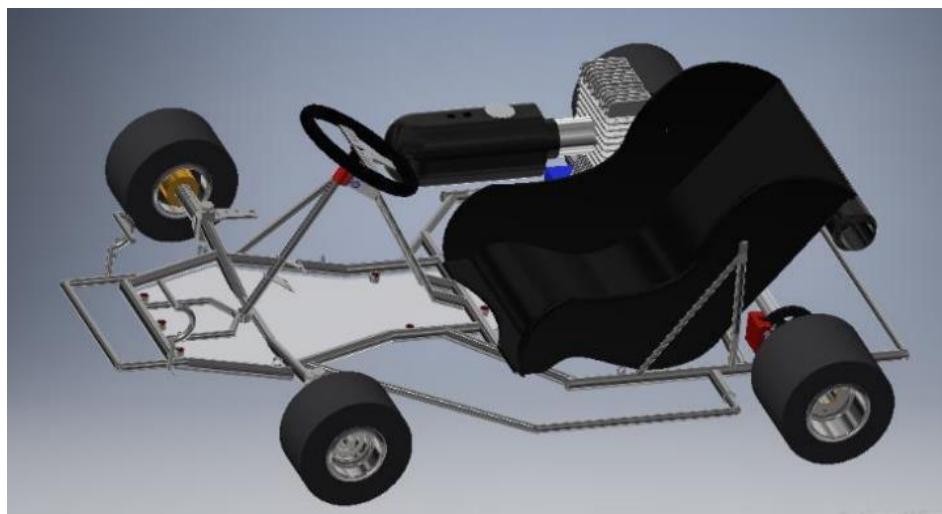


Nota: Realización de simetría del asiento del kart.

Siguiente al paso anterior se realiza el ensamblaje del asiento en el chasis del vehículo, en la figura 45 se observa un plano general ya con el asiento ensamblado en el kart.

Figura 45

Ensamble de Asiento del kart.

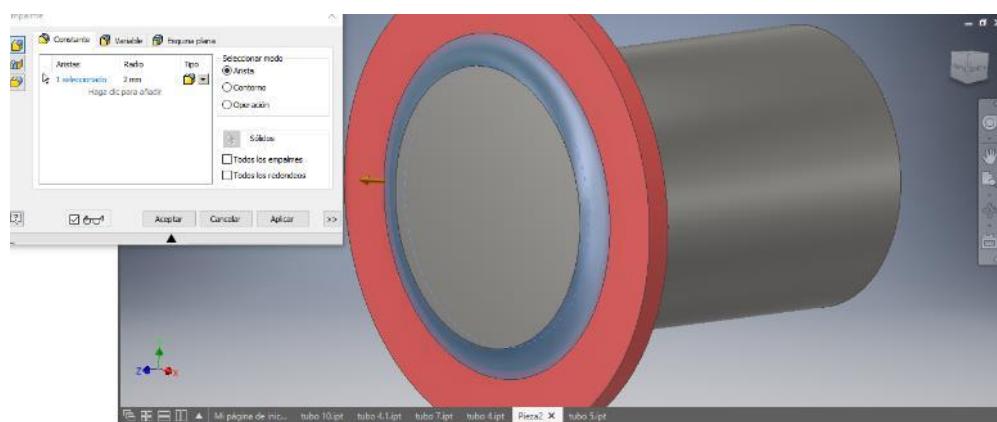


Nota: En esta imagen se observa un plano general del ensamblaje del kart adicionando el asiento del kart.

Con el proceso realizado hasta ahora, se procede a sujetar los componentes con pernos, tuercas y pasadores en todo el ensamble; tal cual, el kart de referencia, ver figura 46.

Figura 46

Creación de elementos de sujeción del kart.



Nota: En la figura se observa uno de tipos de elementos de sujeción que se utilizó para la realización de este proyecto, ya que cabe recalcar que se usaron remaches, pernos, tuercas y pasadores.

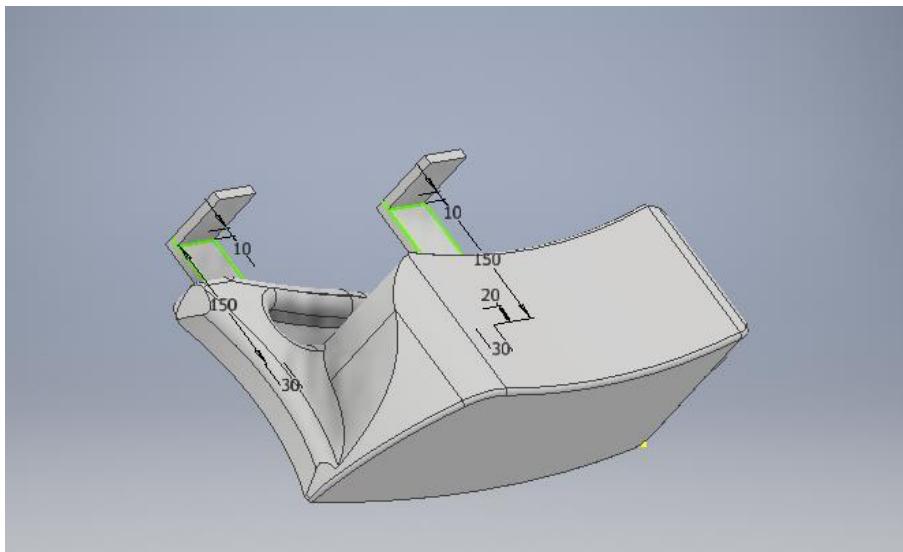
Para culminar el proceso de dibujo y ensamble se realizaron las molduras primordiales para este estudio y análisis comparativo en el presente proyecto, en este caso; se menciona a las molduras laterales (figura 47-48), la moldura frontal superior (figura 49-50), y la moldura frontal inferior (figura 51-52); adicional la moldura posterior (figura 53-54) para completar el vehículo partes principales como ya fue mencionado para este análisis, es importante indicar que se utilizó la misma estructura del vehículo para el ensamble de ambos karts con diferencia de diseño de molduras, el objetivo es analizar la nueva propuesta de los componentes seleccionados para este proyecto; en este caso, las molduras frontales y laterales del karting, y de tal forma realizar la comparación con el karting de referencia perteneciente al equipo INGAUTO RACING de la Universidad Internacional del Ecuador Extensión Guayaquil- UIDE para verificar la influencia del diseño de su forma para bien o para mal en el desarrollo del vehículo en una competencia, como se ha citado con anterioridad se ha tomado como base de referencia un modelo de karting existente en el taller de la ya mencionada Universidad Internacional del Ecuador- UIDE, y para la realización de esta redundada comparativa se realiza

un diseño inspirado en los vehículos de Fórmula 1 con apéndices aerodinámicos en la moldura frontal inferior y disminución de ancho en la moldura frontal superior, todo esto sobre la base del diseño original de las molduras antes mencionadas (Figura 55-56), igual que antes, la explicación el proceso elaborado, a continuación.

Una vez realizado la parte de metal y que permite el funcionamiento del vehículo se procede a ejecutar la parte más importante para este análisis las molduras a estudiar; en este caso, se comienzan por las molduras laterales es importantes en estas realizar los detalles exactos para un mejor análisis, así que se dibuja en 2D y se va extruyendo hasta que este tome el moldeado del elemento deseado.

Figura 47

Moldura lateral del kart.



Nota: Proceso de realización de geometría moldura lateral del karting y conversión de 2D a 3D de la misma.

A continuación de realización de la geometría se procede a ensamblar el componente en la estructura del vehículo; para obtener un mejor resultado, se realiza simetría de la geometría de la moldura laterales ensamblada, de forma que la otra moldura se ensambla automáticamente en el otro lado en forma inversa a la ya ensamblada, tal como se observa en la figura 48.

Figura 48

Ensamble de Moldura lateral del kart.

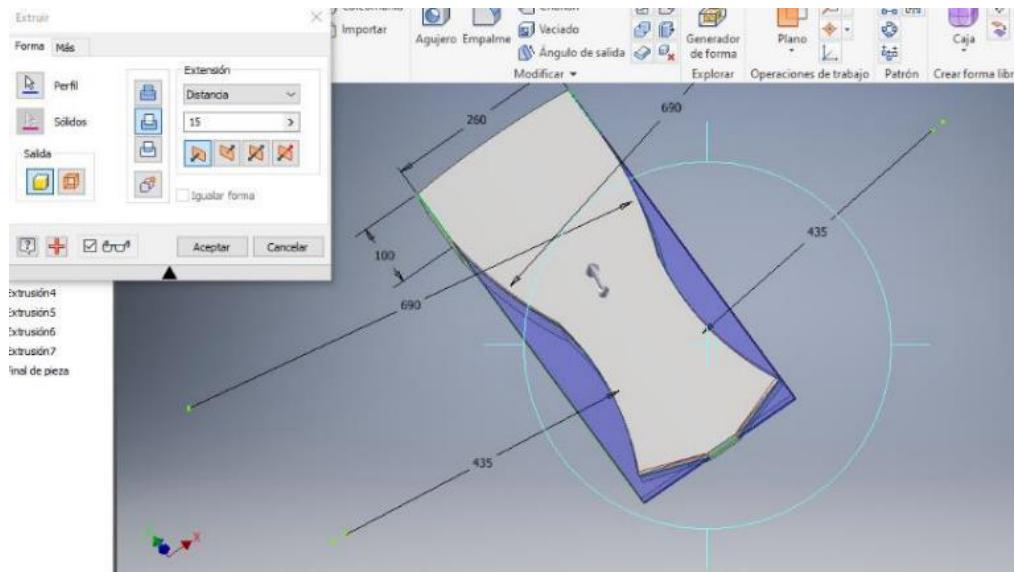


Nota: Ensamble de las molduras laterales en el kart.

Ya ensamblado las molduras laterales, se procede a la realización de la moldura frontal superior del vehículo, de igual manera que las laterales, cuidando cada detalle de este ya que es de los componentes principales para analizar, como se observa en la figura 49.

Figura 49

Moldura frontal superior del kart.

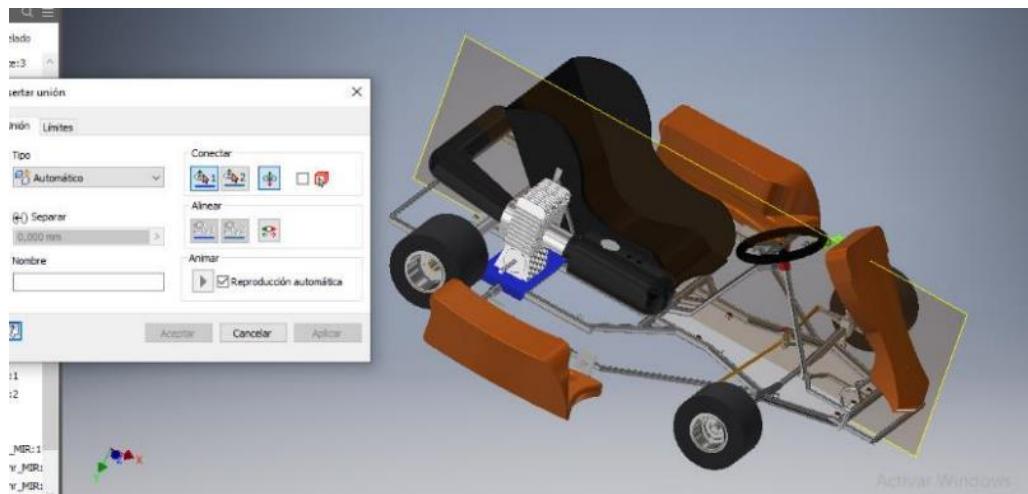


Nota: Creación de moldura frontal superior del kart.

Una vez realizada la moldura frontal superior con todos sus soportes, se realiza el ensamblaje para la verificar que este se encuentre bien realizada y encaje según el diseño del vehículo, tal como se muestra en la figura 50.

Figura 50

Ensamble de Moldura frontal superior del kart.

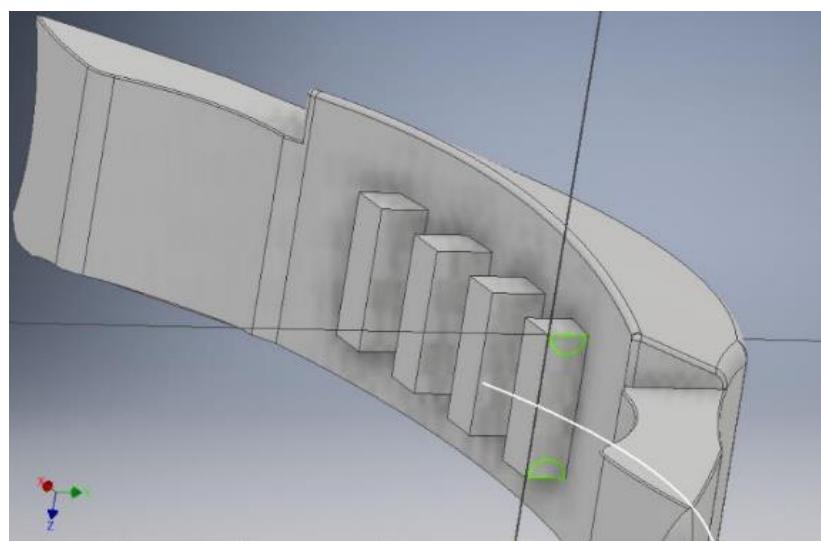


Nota: Plano general del ensamble con moldura frontal superior del kart.

Se procede a la realización de la moldura frontal inferior, que como se ha mencionado antes, es importante tener en cuenta los detalles del mismo debido a que son componentes expuestos al flujo de aire y los que permitirán unos resultados más reales y precisos, ver figura 51.

Figura 51

Moldura frontal inferior del kart.

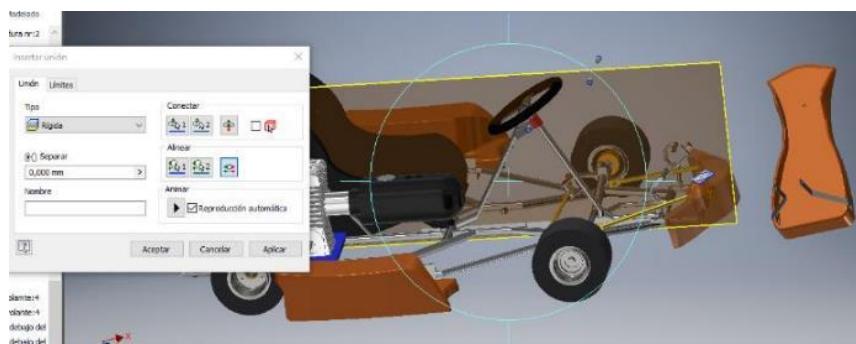


Nota: Realización de moldura frontal inferior del kart.

En este punto es importante mencionar que, en el ensamble anterior, este se realizó como prueba para verificar que la moldura frontal como se mencionó; esto debido a que, primero se ensambla la moldura frontal inferior y luego la superior, entonces el vehículo estaría casi completo, como se muestra en la figura 52.

Figura 52

Moldura frontal inferior del kart.

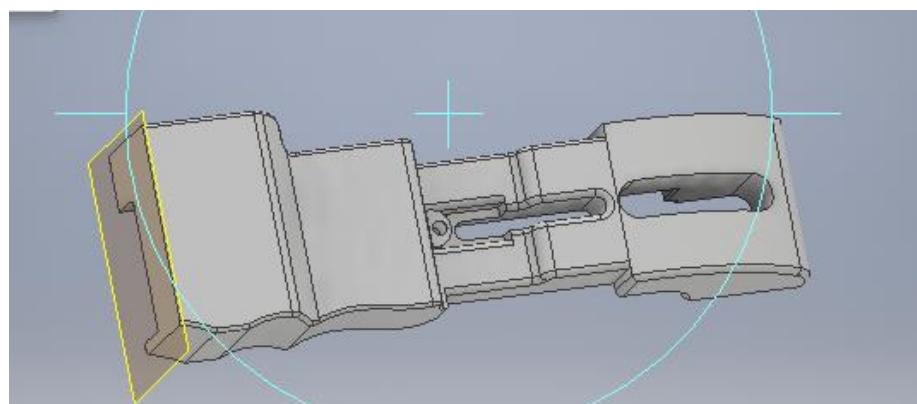


Nota: Fue necesario primero ensamblar la moldura frontal inferior y luego la superior para un mejor resultado.

Una vez realizado todo el proceso anterior, se procede a efectuar la última parte del kart, que es la moldura posterior donde se realizó la mitad del componente y luego se realizó simetría de la geometría, de forma que se dibuja en forma inversa desde el plano seleccionado, tal como se puede verificar en la figura 53.

Figura 53

Moldura posterior del kart

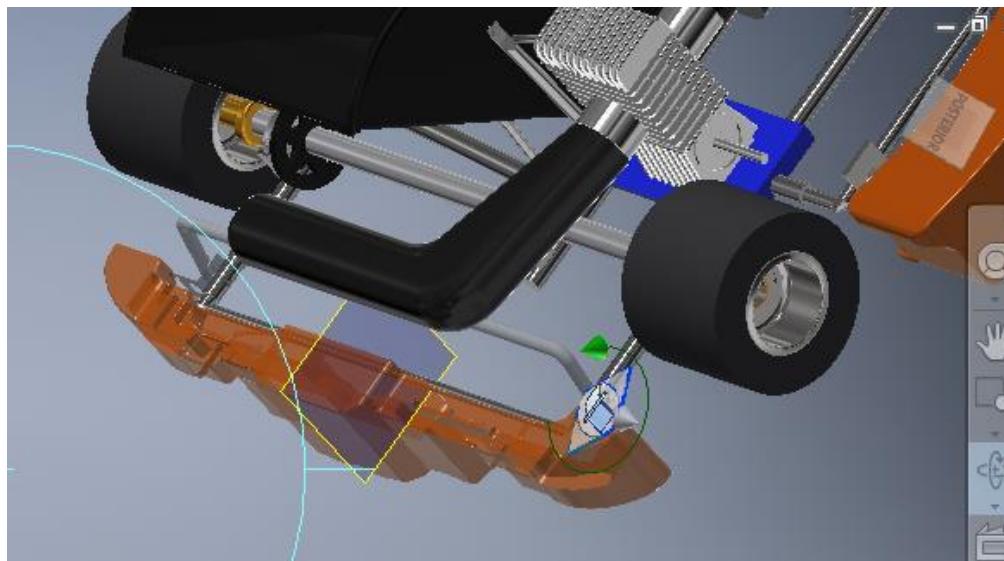


Nota: Creación de mitad de moldura posterior del kart, se trabajó mediante simetría.

Finalmente se realiza el ensamble de la moldura posterior del vehículo para finiquitar este proceso del proyecto para darle paso a la simulación del mismo, como en la figura 54.

Figura 54

Ensamble de Moldura posterior del kart



Nota: Se observa el ensamble de la moldura posterior del kart.

Para concluir en la figura 49 se observa el kart que fue tomado como referencia en su totalidad después de todo el proceso de dibujo en 2D y 3D realizado, ver figura 55.

Figura 55

Karting de Referencia.

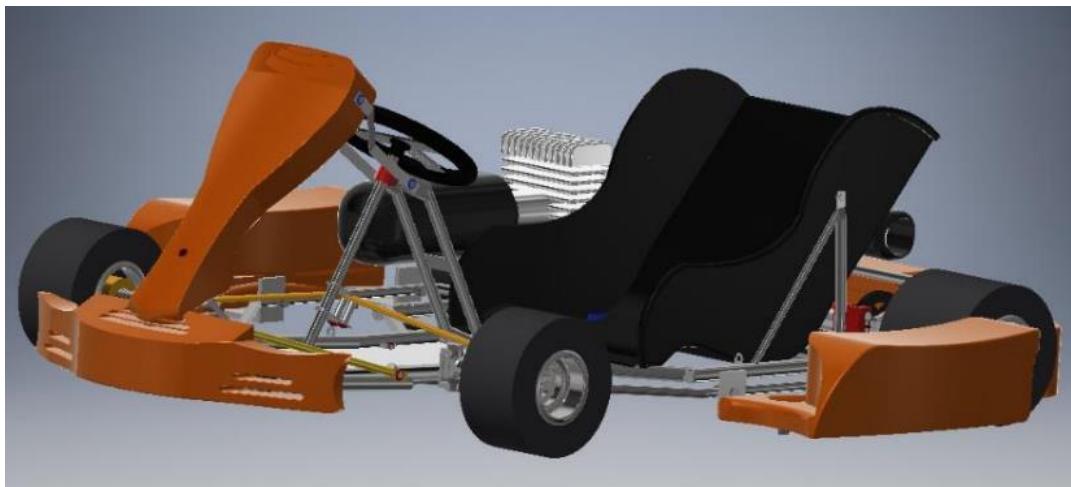


Nota: Dibujo del Kart de referencia en 3D terminado.

Adicional, es importante recalcar lo mencionado anteriormente, al realizar una comparativa se realizó dos karts en la figura 56 se puede observar la diferencia en diseño realizada sobre el kart de referencia del equipo INGAUTO RACING perteneciente a la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil - UIDE.

Figura 56

Karting de Referencia Diseñado.



Nota: Propuesta de diseño sobre el kart de referencia.

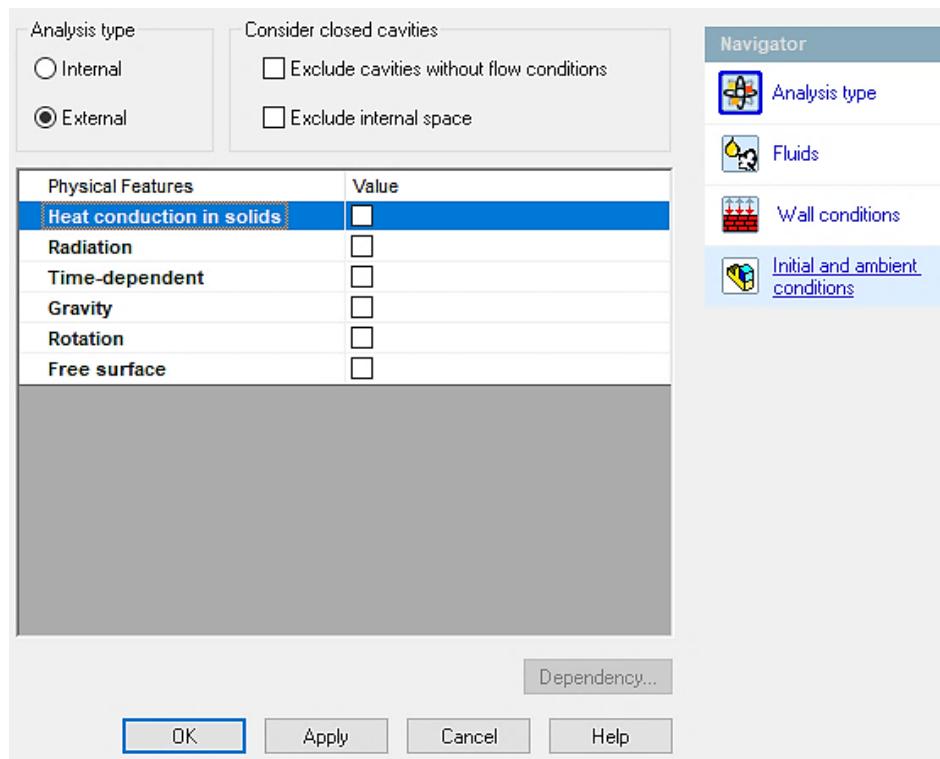
3.2. Dominio computacional

Una vez terminada la geometría y ensamble de ambos karts en el programa Inventor Profesional 2019, se procedió a guardar el archivo en formato PARASOLID; ya que, si bien es cierto inventor cuenta con opciones de análisis y simulación pero solo incluye la realización de inspección y simulación de estructuras de geometrías; de forma, que una vez terminado el proceso en dibujo 2D, 3D y ensamble bajo el formato antes mencionado facilitaría la lectura del archivo en el programa Solidworks ya que por compatibilidad sería la forma viable para cumplir con el proceso propuesto, cabe recalcar que este programa cuenta con la opción de simulación de fluidos, conveniente para el objetivo de este proyecto, una vez importado el archivo con el ensamble total a Solidworks, se procede a realizar un dibujo rectangular y extrucción del mismo, que luego se ensambla con el vehículo; de modo que, este representa ser

una calle, sobre la que se insertó el vehículo como ensamble como se ha indicado anteriormente, una vez ya realizada esta acción se procede a realizar la activación del flow simulation, que es el complemento a utilizar y se encuentra dentro del programa antes mencionado, para esto es importante descargar la librería completa de Solidworks, una vez activado el antes mencionado Flow Simulation, se hace click sobre wizard para de tal forma darle paso al ingreso de los debidos datos solicitados por el programa, mismos que estarán basados en la realidad; es decir, los datos que se han utilizado son de acuerdo al lugar, clima y recorrido del vehículo de competencia en pista, ejemplo de donde se ubicaron los datos, mostrados en las Figuras 57-58-59.

Figura 57

Datos para Flow Simulation.



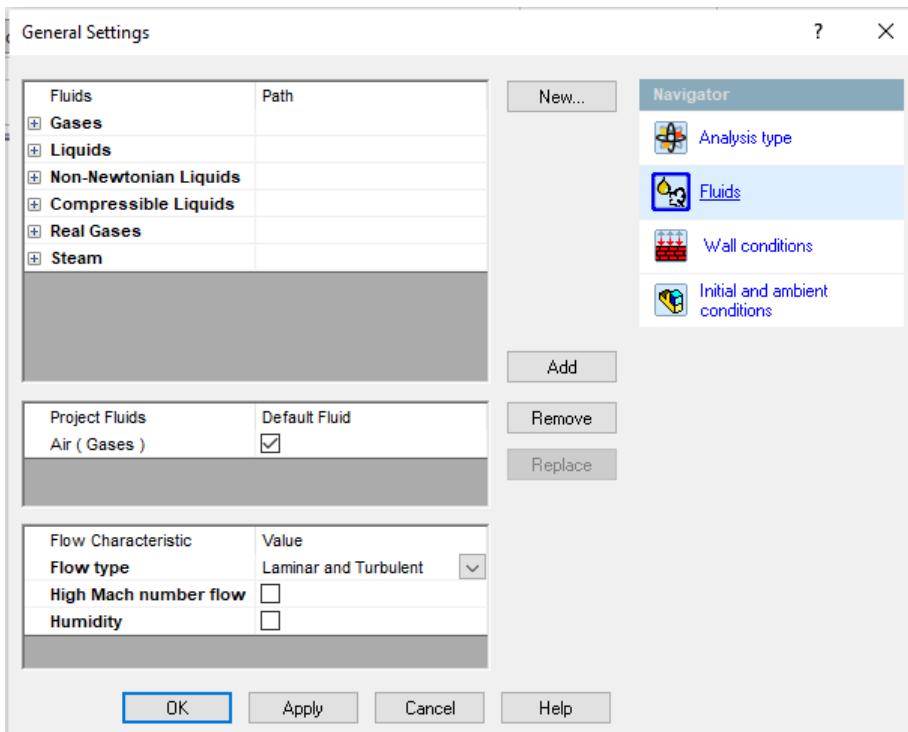
Nota: Se indica que la simulación de fluido a realizar será externa.

Una vez seleccionada la opción wizard para dar paso al inicio de la simulación de la geometría realizada, se comienza indicando que el flujo a utilizar para la ejecución de la simulación será externo es decir que recorrerá alrededor del vehículo, como se muestra en la

figura 57, siguiente a este paso se indica cual es el fluido a utilizar; en este caso, se utilizó el aire con tipo de fluido laminar y turbulento, tal como se indica en la figura 58.

Figura 58

Tipo de fluido para Flow Simulation.



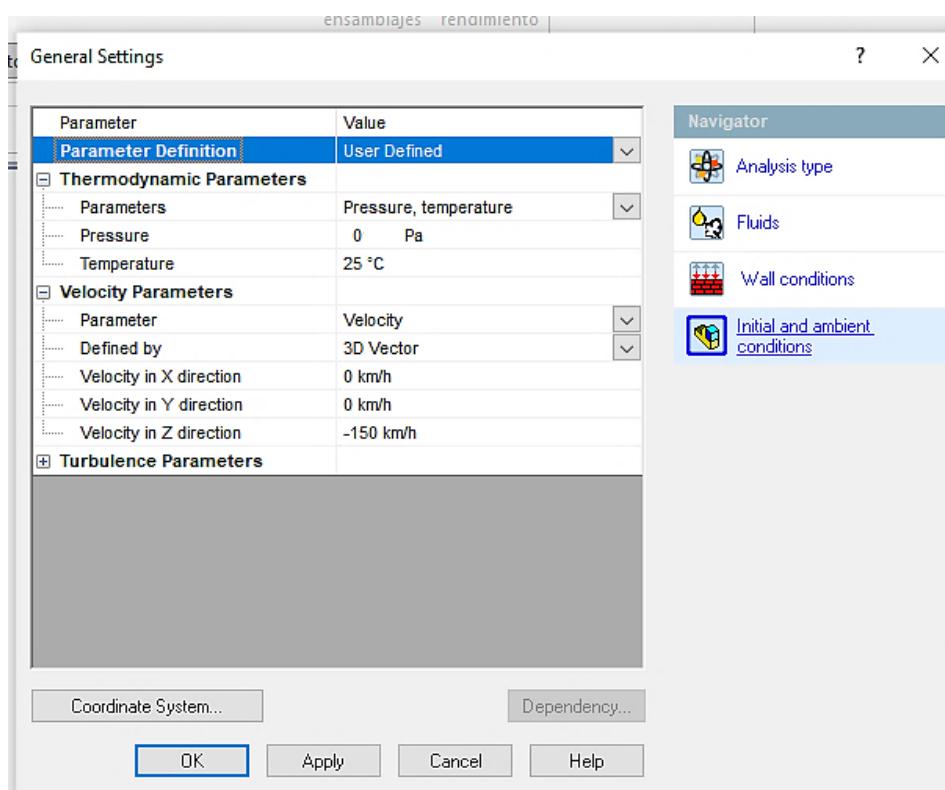
Nota: Es importante colocar el tipo de fluido a utilizar en este caso aire.

Como tercer paso a seguir se indican las condiciones a las que estará sometido el vehículo según como lo vaya requiriendo el complemento Flow Simulation, tal como se muestra en la figura 59, entonces así se muestra que se utilizará una presión de 0 Pa ya que la idea es verificar los puntos donde el fluido genere presión y el límite al que llegue la misma en un rango de iteraciones de 1 - 80, adicional se decide tomar como referencia la temperatura al ambiente por default, por ende sería una temperatura de 25 °C y como punto importante se utiliza la velocidad máxima de un kart en pista en este caso 150 km/h para el recorrido del fluido; como dato extra, es importante mencionar que se coloca -150 km /h debido a que hay que en la simulación el aire es el fluido que tendrá esta velocidad y este se mueve en dirección contraria al vehículo; es decir, si el vehículo se mueve en dirección Z positivo el fluido se

trasladará en dirección Z negativo, razón por la que se coloca en negativo la velocidad en los parámetros de condición para este análisis.

Figura 59

Datos para Flow Simulation.



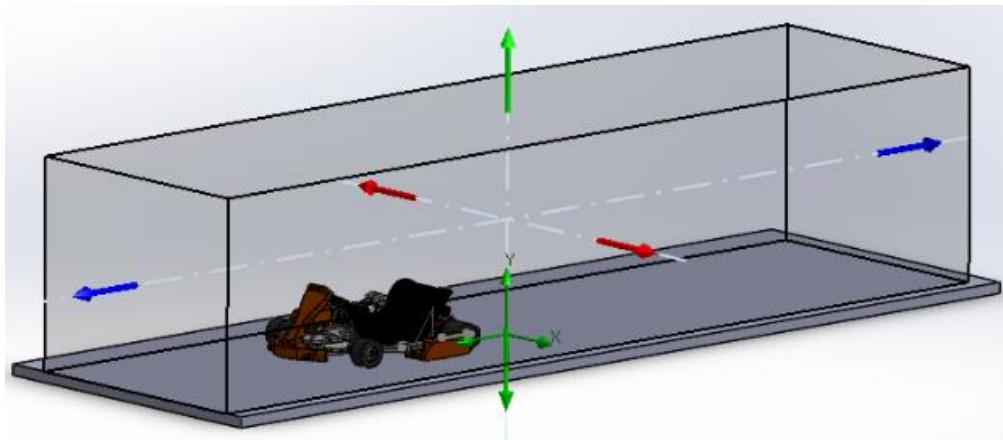
Nota: Se puede observar que se usa una temperatura ambiente de 25°C, una presión de 0 Pa y una velocidad de -150km, porque el viento debe correr en dirección Z contraria.

Una vez realizado el proceso indicado anteriormente, se procede a la realización del dominio computacional donde se ajusta el tamaño de la caja de cristal como representación de un túnel de viento que se realiza de acuerdo a la dimensión del espacio tomando de referencia el sólido realizado y ensamblado al kart para el adecuado paso del fluido esto con el fin de que los resultados finales sean lo más precisos y reales posibles, tal como se puede observar en la figura 54; es importante recalcar que este tipo de pruebas se realizan en la ingeniería, con el fin de disminuir costos, ya que realizar las pruebas de aerodinámica en túneles de viento reales conlleva de tiempo y alta inversión, de forma que este tipo de pruebas genera un resultado cercano a la realidad, de forma que brinda la oportunidad de realizar correcciones a tiempo, en

el ámbito de competencias automovilística, los vehículos pasan como primer punto por simulaciones para la verificación de errores y resuelto estos se crea el vehículo o modificaciones para dar paso al túnel de viento para una prueba final, ver figura 60.

Figura 60

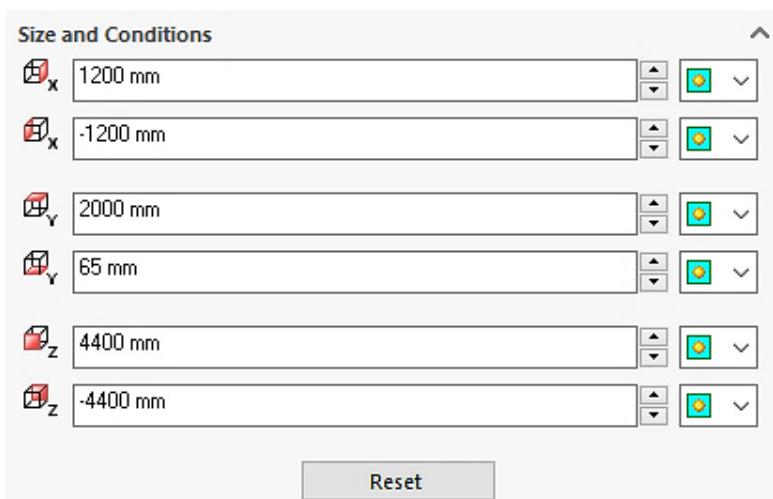
Dominio computacional del kart.



Con más precisión en la figura 61 se muestran los datos exactos de la dominación computacional utilizada, donde se toman de referencia las caras del túnel de viento como guía para la realización del mismo, de forma que una vez realizado permita el paso de la generación de malla para realizar la respectiva simulación de este proyecto.

Figura 61

Datos para dominio computacional del kart.



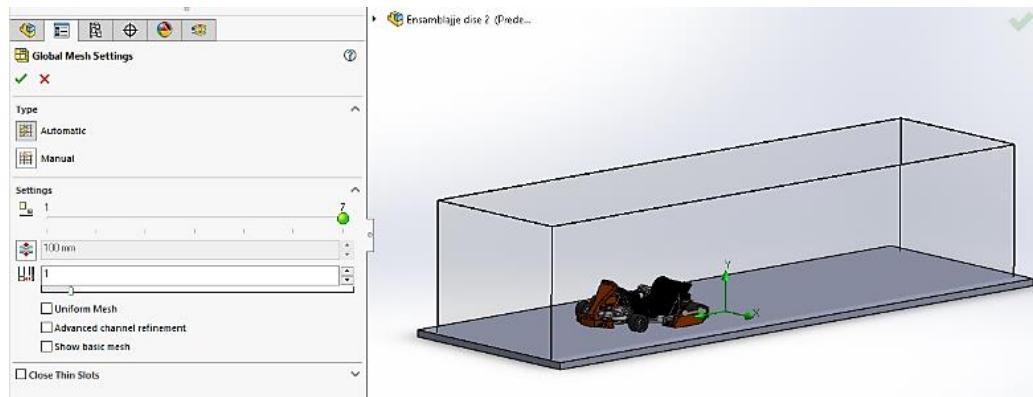
Nota: Los datos que se observan en la figura son los que se agregaron para obtener un dominio computacional racional.

3.3. Generación de la malla

Para la generación de malla es importante realizar como primer paso la creación de la malla global misma que será automática en un rango de 7 para un mejor resultado, tal como se observa en la figura 62.

Figura 62

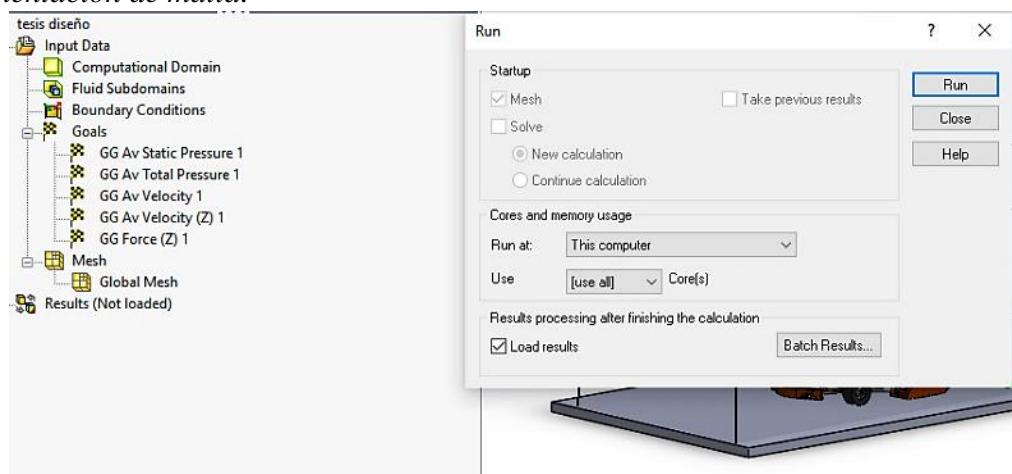
Creación de malla global.



Una vez ingresada los datos para la malla global, se da paso a insertar la malla para la simulación del vehículo, para dar paso a este proceso se debe hacer click sobre run, como se indica en la figura 63.

Figura 63

Implementación de malla.

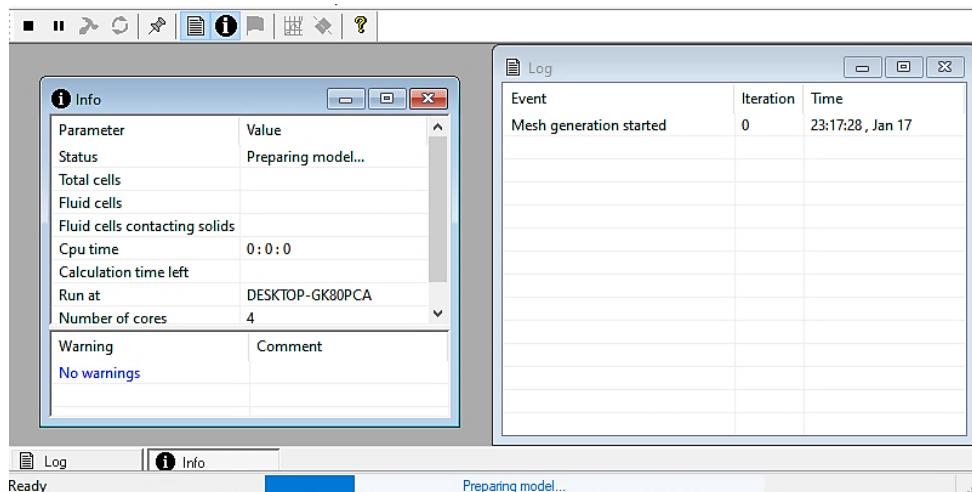


Ya corriendo el flow simulation este prepara y evalúa al modelo; adicional, lo mantiene en análisis durante el tiempo que sea necesario, pues es imprescindible un cálculo exacto del

componente a analizar, es poco predecible el tiempo que se demora este cálculo pues influye mucho la cantidad y dificultad de los componentes a analizar, demostración en figura 64.

Figura 64

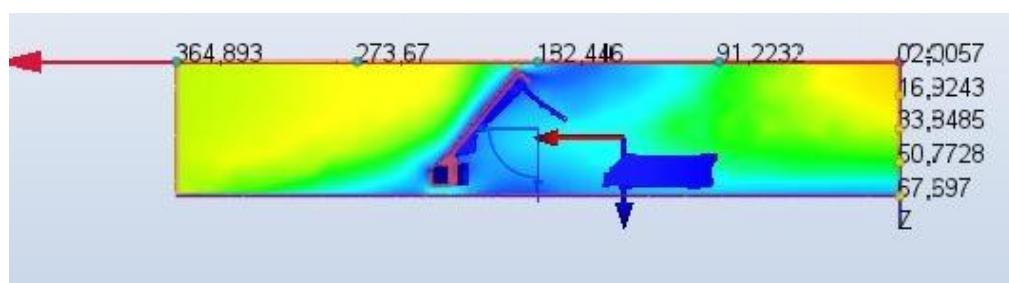
Calculo para implementación del vehículo



Una vez terminado el proceso de cálculos se observa la creación de la malla y la diferencia de colores de la presión en los elementos a analizar según la magnitud de velocidad del fluido donde se observa en la figura 65 que este en su paso genera mayor presión en los componentes frontales del kart por la tonalidad naranja.

Figura 65

Creación de la malla – Magnitud de velocidad



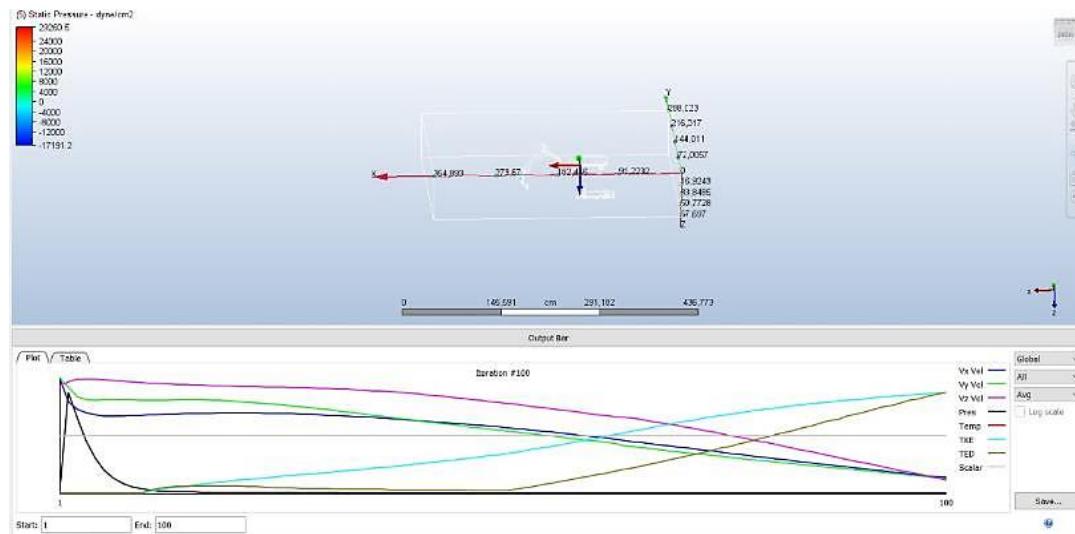
Nota: En la figura se observa la vista lateral de la magnitud de velocidad del fluido, donde se observa la presión notable sobre las molduras frontales del mismo.

Ya realizada la simulación de magnitud de velocidad, se procede a la ejecución de la demostración de presión estática influyentes en los elementos a analizar, mediante un cálculo

iterativo que se muestra en la figura 66 donde se observa la variedad de la velocidad, presión y temperatura durante el tiempo de simulación.

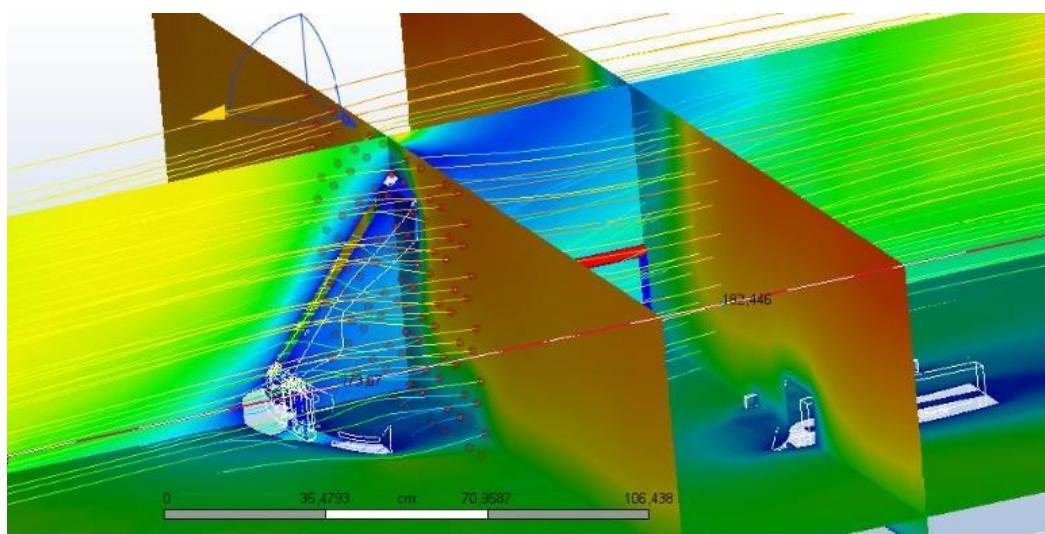
Figura 66

Creación de malla- Presión Estática



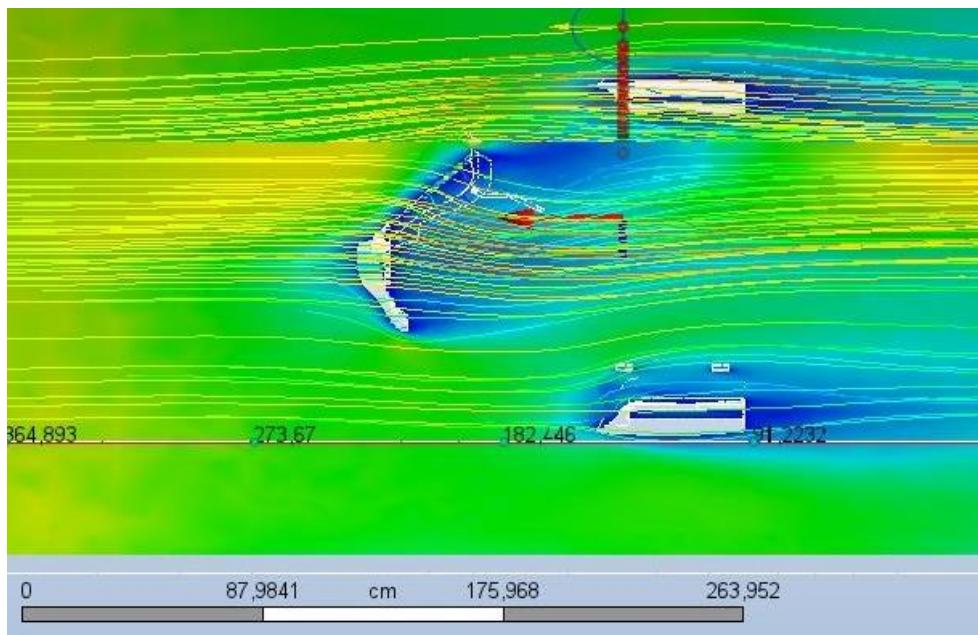
Nota: En la figura 66 se pude observar la variación de velocidad que por colores se diferencia con Vx Azul, Vy Verde y Vz Fucsia, de presión con color negro y de temperatura con color rojo que no se aprecia debido a que se encuentra por default a una temperatura ambiente de 25° C, la turbulencia total de color celeste y la disipación de turbulencia de color café; todo esto en el gráfico de convergencia a un rango de iteraciones de 1 -80, y se encuentra ubicado en la parte inferior de los componentes de los modelos a analizar en este proyecto.

Se genera una creación de rastros en forma rectangular frente al modelo a analizar para la visualización de la circulación del fluido sobre los elementos a analizar; es decir, las molduras de los diferentes modelos de kart realizados; es importante mencionar, que al dibujar esta figura rectangular se debe cubrir frontalmente todos los componentes a estudiar, esto con el fin de que el flujo cumpla con un recorrido ya sea este externamente e/o internamente en caso de ser necesario según su diseño, donde se formaran rastros de refinamiento y de estos finalmente la simulación del aire y movimiento en los ya mencionados elementos pertenecientes a los karts a analizar, como se muestra en la figura 67.

Figura 67*Creación de rastro.*

Nota: En la figura 61 se observa la circulación del fluido a través del rastro generado en el mismo.

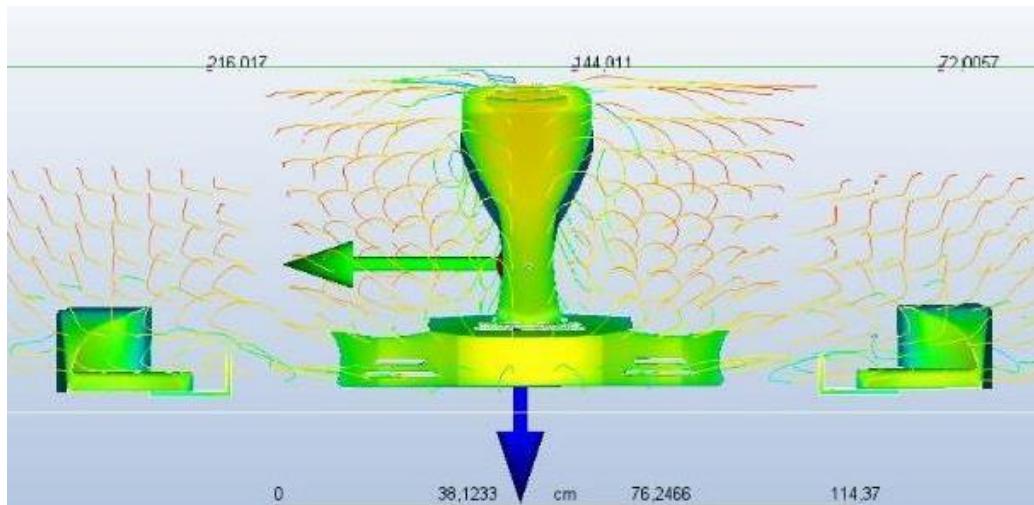
Desde una vista superior lateral en la figura 68 se puede observar la forma que toma el flujo al pasar en circulación por el exterior de los componentes a analizar en este proyecto.

Figura 68*Flujo de aire- Presión Estática*

Nota: Se evidencia de forma general las variaciones de la circulación del fluido.

Durante el proceso de ejecución de la simulación para este análisis comparativo es importante verificar las distintas vistas de los componentes a simular, en la figura 69 se evidencia el rastro del flujo en su recorrido donde se observa la presión y depresión sobre los componentes.

Figura 69
Presión estática



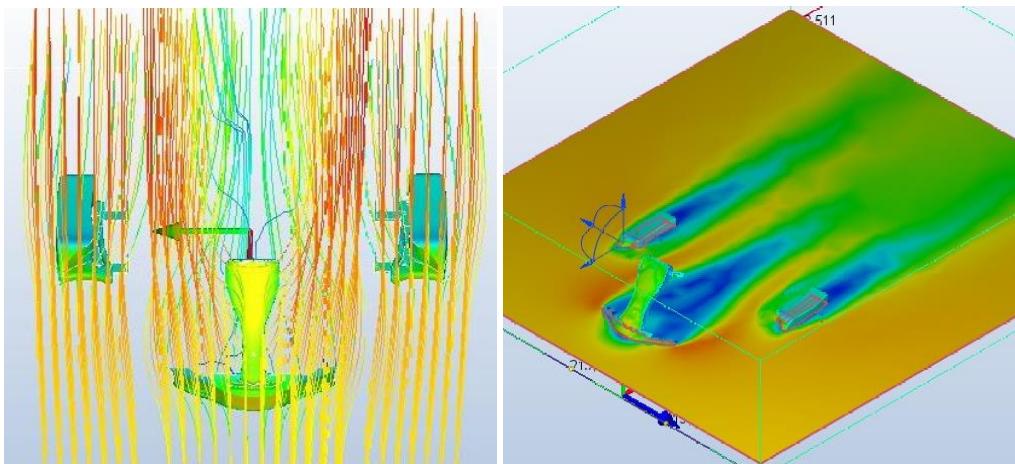
Nota: Los componentes analizados en esta figura pertenecen al modelo de kart con el diseño propuesto sobre la base del vehículo ya existente.

A continuación, en la figura 70 se observa mediante una vista superior y de forma más específica el recorrido del fluido, y las variantes que el mismo realiza al pasar externamente e internamente por las piezas del vehículo a analizar, recalmando que el rastro del fluido; en este caso se utilizó como fluido el aire, donde su límite en un rango se diferencian por la tonalidad del color que sus líneas en representación del flujo presentan; es decir, cuando existen colores cálidos como el naranja y rojo significa que existe mayor presión en ese lugar, siendo este último el límite máximo; mientras que, en presencia de colores fríos como el verde y el azul se indica que hay depresión en los elementos, de igual forma siendo el último mencionado el límite mínimo; así como adicionalmente, es importante mencionar que al obtener una tonalidad

de color amarillo en los componentes se refiere a que presenta un nivel intermedio de presión en los mismos.

Figura 70

Recorrido del fluido en Presión Estática.

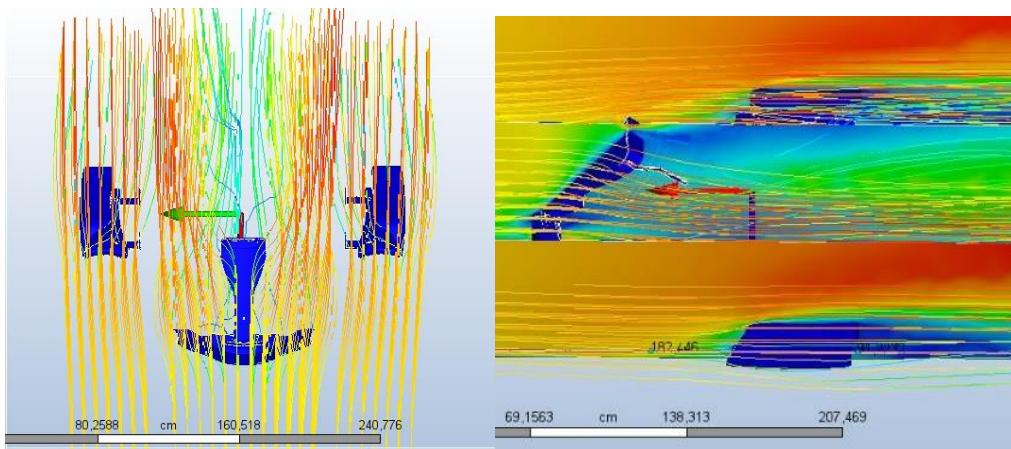


Nota: Al ser este una simulación donde se toma como análisis principal la presión estática se observa la variación de la tonalidad en las molduras a analizar, donde se muestra en la moldura frontal inferior una presión intermedia con tonalidad amarilla un mostaza en su contacto directo con el flujo mientras que en la parte superior de la pieza varía la tonalidad entre verde y celeste, por otro lado en la moldura frontal superior se evidencia una tonalidad entre amarilla y verde, a su vez se observa en las molduras laterales que la tonalidad se encuentra entre verde en la vista frontal donde hay un contacto directo con el fluido y celeste en la vista superior indicando mayor depresión en estos elementos.

Una vez realizada la simulación de presión estática en los elementos, en la figura 71 se desarrolla el análisis de recorrido de fluido en base a la magnitud de velocidad; donde, de igual manera se comprueba la variación del flujo de aire de las molduras del karting mediante la diferencia de tonalidades de color en la circulación externamente e internamente de los componentes de los vehículos a analizar; en este caso se observa la diferencia de tonalidad del flujo ya que el vehículo se encuentra de forma fija; es decir, de manera estática; por ende, se muestra las diferentes variaciones donde se observa presión en las áreas que no intervienen los componentes analizados esto de colores cálidos y depresión donde ya existe la influencia de los mismos mediante colores fríos, cabe mencionar que se debe tomar en cuenta los límites según el rango de tonalidades para una mejor interpretación de resultados.

Figura 71

Recorrido del fluido en Magnitud de Velocidad.



Nota: En la figura 65 se observa una vista superior y una vista lateral donde se toma en cuenta la influencia de la magnitud de velocidad del aire sobre las molduras a analizar en este proyecto de forma que, tal y como se muestra, estas mantienen un mismo color azul ya que se encuentran de manera estática mientras que la variación se exhibe en la velocidad del fluido, donde el aire no tenga contacto o antes del contacto con los componentes, se indica que se mantiene con presión intermedia y alta dependiendo el color a visualizar, una vez fluyendo el aire sobre y a través de estos elementos; finalmente, se observa la depresión debido a la resistencia que estos generan al fluido al tener un contacto directo con el mismo,

Finalmente se obtienen los resultados de la simulación de acuerdo a la elección de piezas en los componentes; es decir, cada curva, cara o detalle mencionando así empalmes, chaflan efectuado sobre la el elemento es una pieza dentro de él; por ende, se seleccionan los que se encuentran más expuestos frontalmente a tener un contacto directo con el fluido que como se indicó antes es el aire, cabe mencionar que cada una de estos ya nombrados fragmentos tendrá su resultado de análisis, de forma que se obtiene unos varios resultados donde finalmente se reduce con una sumatoria exponiendo datos concretos y finales mediante un complemento que permite la realización de una generación de reporte en Word mediante el anexo de ambos programas, de forma que con obtención de este reporte, se procede a realizar el análisis e interpretación de resultados finales.

Capítulo IV

Análisis e interpretación de resultados

4.1. Análisis de diseño.

En este análisis se realizó un proceso de generación de geometría, para posterior dar paso a la ejecución de la simulación de las molduras de los mismos, donde el objetivo es verificar y comparar la influencia del aire sobre el vehículo en competencia; de forma que, el presente proyecto sirva como antecedente para las futuras implementaciones sí así se requiere, aportando al crecimiento y desarrollo deportivo automovilístico en los estudiantes de la Universidad Internacional del Ecuador extensión Guayaquil, tal como se muestra en la figura 66, donde se indica que el diseño actual del vehículo, es un diseño estandarizado, las modificaciones implementadas en las molduras elegidas para este análisis se fundamentan en los diseños actuales de Fórmula 1, para esto se realizó apéndices aerodinámicos en el spoiler o moldura frontal inferior manteniendo las medidas de dicho componente; por otro lado, otras de las modificaciones realizadas fue en la moldura frontal superior donde se disminuyó el tamaño lateral del mismo dándole un aspecto estilizado y menos robusto, la idea con este diseño implementado es aportar al desarrollo y estabilidad del vehículo en competencia, ver figura 72.

Figura 72

Karts analizados mediante los softwares correspondientes.



Nota: En la figura se muestra la diferencia de diseño entre de kart 1 ya existente (1) y kart 2 con diseño propuesto (2) vehículos simulados para la influencia comparativa de diseño en el presente proyecto.

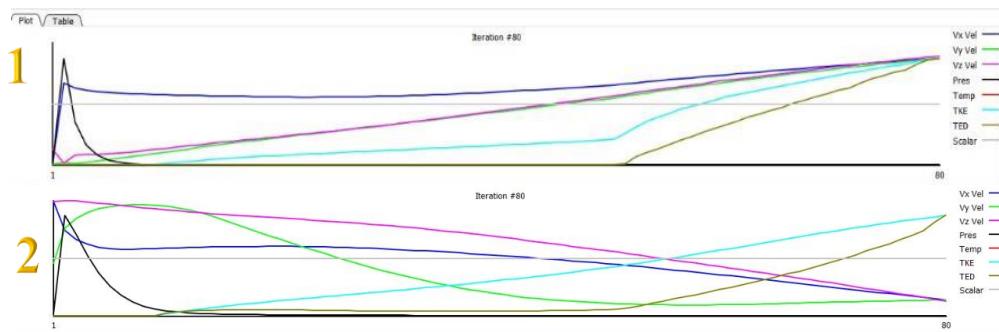
4.2. Pruebas en el sistema.

Para concluir la prueba es importante identificar los gráficos de convergencia donde se puede observar las diferencias entre los diseños analizados con un rango de iteración de 1 a 80,

teniendo así la figura 69 donde el gráfico 1 que pertenece al vehículo base de este proyecto mismo muestra una eficiencia óptima en velocidad, adicional también presenta turbulencia sin embargo la velocidad no disminuye, a diferencia del gráfico 2 perteneciente al kart diseñado que indica la perdida de velocidad debido a que existe más turbulencia de fluido en el mismo, ver figura 73.

Figura 73

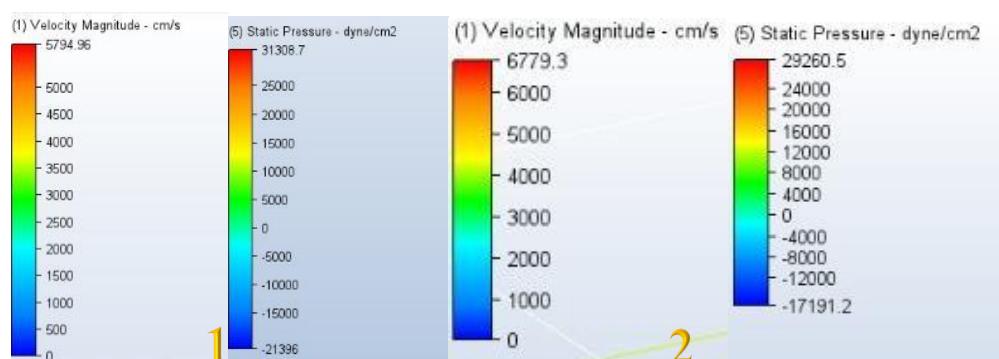
Gráfico de convergencia.



Otro de los datos importantes a tener en cuenta son los gráficos de tolerancia por tonalidad de colores donde, como se ha explicado con anterioridad los colores cálidos muestra un límite máximo dentro de un rango de tolerancia, el amarillo un rango medio y los colores fríos indican una tolerancia estable dentro del rango permitido, así pues, se observa en la figura 74 donde se toma como referencia las gráficas 1 para el kart existente en la institución y las gráficas 2 para el kart diseñado.

Figura 74

Comportamiento estático de modelos

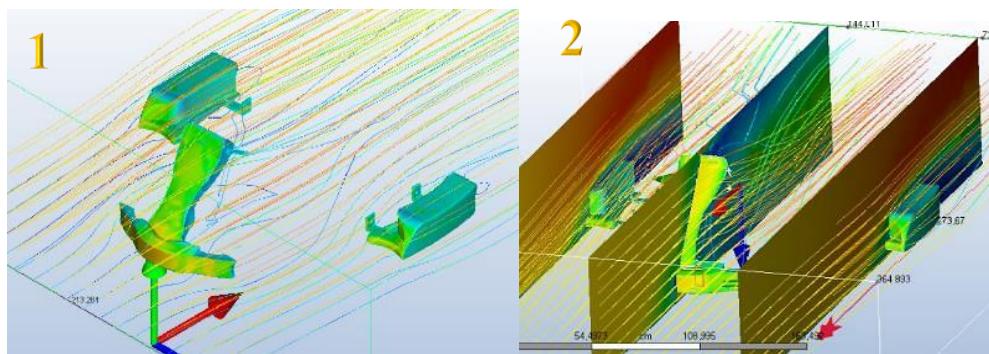


Nota: Gráficos de diferencia de comportamiento estáticos de modelos analizados, se observa la velocidad de magnitud y presión estática en este análisis.

En la figura 75 se observa el contraste de tonalidad sobre las molduras al tener contacto con el fluido; en este caso aire, mediante una vista superior y una vista semilateral, diferenciando así que el kart 1 existente con rangos de tolerancia más estables pues su tonalidad varía entre verde y celeste, mientras que en el kart 2 diseñado se observa una tonalidad entre amarilla y verde que indica que su rango de tolerancia es intermedio, cabe mencionar, que ambos karts se encuentran entre los rangos de tolerancia requeridos sin embargo con el tiempo las molduras del kart 2 tendrán averías en menor tiempo comparado con el kart 1.

Figura 75

Flujo de aire en base a presión estática

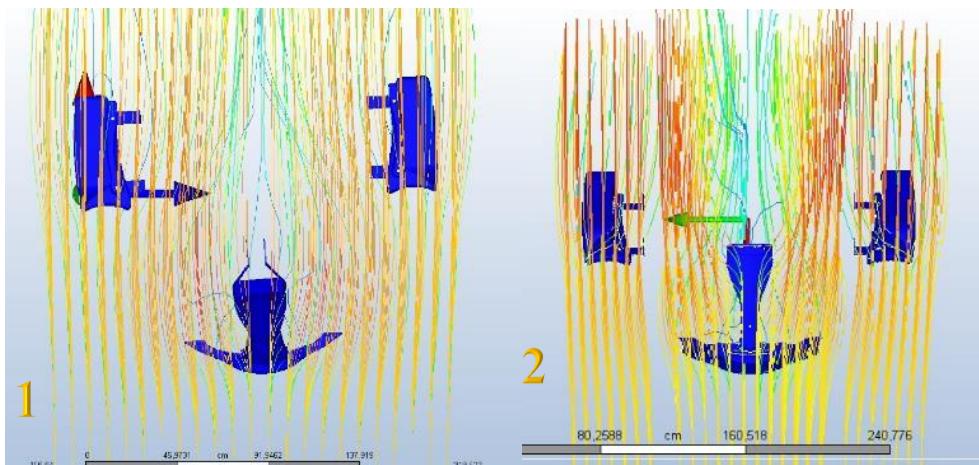


Nota: Vista superior y vista semilateral de los componentes analizados bajo presión estática, se observa la diferencia de tonalidad de colores en los componentes al contacto con el flujo de aire.

Para finalizar se tomó en cuenta el flujo de aire en base a la magnitud de la velocidad del flujo de aire donde es importante mencionar que las molduras se encuentran en estado estático y para este proyecto el flujo es el que se encuentra en circulación externamente e/o internamente, donde de acuerdo a la figura 76 se observa en el modelo kart 1 un flujo más laminar, a diferencia del modelo diseñado kart 2 donde el flujo es más denso y muestra mayor turbulencia, cabe mencionar que al tener más turbulencia, contiene mayor presión y la velocidad disminuye, dejando como la ventaja de este es que último es un vehículo más estable en curvas por su adherencia al suelo, idóneo para competencias donde la pista contiene más curvas ya sean estas abiertas o cerradas.

Figura 76

Flujo de aire en base a magnitud de velocidad



Nota: Vista superior de los componentes analizados y diferencia de tamaño de diseño, adicional se observa la diferencia de densidad de fluido sobre los mismos.

4.3. Resultados obtenidos.

Finalmente, después de la realización del análisis comparativo se verifica e identifica de qué forma atribuye el implementar detalles aerodinámicos en el diseño ya establecido del karting del equipo INGAUTO RACING, ya que mediante la simulación y una prueba bajo la metodología de iteración con un rango de 1 - 80 se determina la diferencia, ventajas y desventajas entre ambos diseños, de forma que como se observa en la Tabla 1 se indica la diferencia de velocidad en cuanto a iteraciones mínima y máxima en los diferentes modelos analizados; en este caso, se comprueba que la velocidad en el plano y (Vy) muestra la velocidad según el recorrido en pista y se evidencia que el modelo de kart ya existente es factible si lo que se requiere es aumentar el desarrollo potencial del vehículo, cabe mencionar que los equipos buscan velocidad de acuerdo al tipo de pista; es decir si la pista no consta de curvas este modelo ya mencionado es ideal para un mejor resultado en competencia; por otro lado se demuestra que el modelo con el diseño propuesto no presento una mejora potencial quedando descartado si el objetivo como ya antes se mencionó es optimizar el desarrollo potencial del vehículo en pista.

Tabla 1*Comparativa de la Velocidad de los Modelos de Karting Analizados.*

| It. | Velocidad | | | |
|-----------|---------------|--------------|-----------------|---------------|
| | Kart 1 | | Kart 2 | |
| | Vx | Vy | Vy | Vx |
| 1 | -4145500 cm/s | 2010500 cm/s | -10900 cm/s | -4987100 cm/s |
| 80 | 7903500 cm/s | 5501200 cm/s | -233100000 cm/s | -6822400 cm/s |

Así mismo, se realizó la comprobación de la presión estática en ambos modelos de karting, en la Tabla 2 se demuestran los datos obtenidos bajo esta prueba en la simulación ejecutada en los mismos, donde se observa la diferencia notoria entre estos, mencionando que el kart 1 que es el modelo ya existente presenta menos presión estática en comparación al kart 2 que es el modelo diseñado el cual muestra presión desde la mínima iteración, cabe recalcar que las molduras al exhibir presión se encuentran creando una resistencia al paso en este a la velocidad, generando así un sustento de la razón por la que un vehículo cuenta con mayor velocidad.

Tabla 2*Comparativa de la Presión Estática de los Modelos de Karting Analizados.*

| Iteraciones | Presión Estática | |
|-------------|---------------------------|-----------------------|
| | Kart 1 | Kart 2 |
| 1 | 0 N/m ² | 2,76 N/m ² |
| 80 | -159,906 N/m ² | 18 N/m ² |

De igual forma, se comprobó la energía cinética turbulenta que para aclarar el panorama es importante mencionar que es la sumatoria total de la turbulencia de un cuerpo que se encuentra en movimiento donde según la Tabla 3, se muestra la diferencia en los modelos de karting analizados, donde como ya hemos mencionado y soportando los resultados anteriores

de velocidad y presión estática; es este caso, se presenta de forma repetida menor valor de turbulencia en el modelo de kart 1 ya existente, a diferencia del kart 2 que al contar con mayor presión, aumenta la turbulencia y disminuye la velocidad, generando el efecto suelo.

Tabla 3

Comparativa de la Energía Cinética Turbulenta de los Modelos de Karting Analizados.

TKE - Energía Cinética Turbulenta

| Iteraciones | Kart 1 | Kart 2 |
|--------------------|---------------|---------------|
| 1 | 4,59377 | 10 |
| 80 | 0,711772 | 346380,00 |

Como se ha mencionado en los párrafos anteriores, los resultados que se han obtenidos mediante esta simulación computacional de fluidos mantienen conexión entre sí para demostrar un resultado final de forma que, el competidor o equipo verifique y decida a su conveniencia que molduras son viables a utilizar en las próximas competencias; a continuación, se procede a realizar el análisis de los datos obtenidos en cuanto a la disipación de energía turbulenta que se muestra en la Tabla 4, antes de analizar los ya mencionados datos, es importante indicar que al hablar de la disipación de energía turbulenta se habla de pérdida de turbulencia en el proceso de recorrido del flujo de aire, en un rango de iteración de 1 - 80 , de forma que se obtiene una cantidad mayor de disipación en el rango final de 80 iteraciones en el modelo ya existente en las instalaciones de la Universidad Internacional del Ecuador- UID, denominado kart 1 a diferencia del modelo diseñado kart 2 donde se muestra que presenta una cantidad menor de disipación, lo que indica que al contar con mayor presión, genera mayor turbulencia esta se mantiene por la energía constante del fluido por lo que disminuye su disipación y a su vez la velocidad del vehículo, con esta explicación se indica que el kart 2 mismo que es un diseño propuesto en este proyecto, crea un efecto suelo que aporta a la estabilidad del vehículo en curvas lo que favorece en competencias donde la pista cuente con más curvas que vías rectas.

Tabla 4*Comparativa de Disipación Energía Turbulenta de los Modelos de Karting Analizados.***TED - Disipación de Energía Turbulenta**

| Iteraciones | Kart 1 | Kart 2 |
|--------------------|-----------------|---------------|
| 1 | 2,52391 | 4 |
| 80 | 142920000000,00 | 6457500000,00 |

A continuación, se adjunta Tabla 5 como sumatorio total de fuerza donde se observan un total de los esfuerzos a los que los componentes analizados en este caso a las que las molduras de karting frontales y laterales se encontraban expuestas, de forma que como se observa el kart 1 estuvo sometido a más esfuerzos que el kart 2, debido al tamaño y diferencia en cuanto a diseño de los mismos.

Tabla 5*Comparativa de la Sumatoria de Fuerza de los Modelos de Karting Analizados.*

| | <i>Summary</i> | |
|---|--------------------|------------------|
| | Kart 1 | Kart 2 |
| Total, área | 61685 cm^2 | 126720 cm^2 |
| Total, FX | -397.171 N | -323.341 N |
| Total, FY | -100.072 N | -2.64507, N |
| Total, FZ | 2.65368 N | 2379.77N |
| Center of Force about X-Axis (Y-Z) | 211.52, 88.26 cm | -2.92, 7.28 cm |
| Center of Force about Y-Axis (X-Z) | -272.08, 90.45 cm | 32.29, 8.50 cm |
| Center of Force about Z-Axis (X-Y) | -291.90, 245.61 cm | 150.26, -9.26 cm |

Finalmente, se concluye que el diseño del vehículo va a depender del tipo de pista en el que el mismo compita, ya que si se busca obtener mayor estabilidad en curvas del vehículo el

diseño en propuesta es factible, debido a que el aire al pasar por estos componentes genera mayor presión lo que posterior crea turbulencia implicando una disminución de disipación de energía turbulenta y velocidad, lo que a su vez esto aporta a la obtención de una mayor adherencia, factores fundamentales para el efecto suelo, por el contrario si se busca mejorar la velocidad del vehículo, el diseño propuesto no es idóneo, de forma que el diseño ya existente en el vehículo brinda más aportes en el desarrollo potencial, cabe recalcar que es importante conocer el tipo de pista al que este estaría expuesto, ya que en curvas se requiere de estabilidad y en rectas de velocidad.

Conclusiones

- Se realizó la edificación de una geometría mediante una metodología idealizada de karting, donde se utilizó un mismo chasis con diferencia de molduras por medio de la librería de simulación del programa Inventor, de forma que fue indispensable la utilización de buenas prácticas y consulta bibliográfica por refuerzo de conocimiento.
- Para la evaluación de los valores de los coeficientes computacionales se utilizó el programa Solidworks, donde una vez realizada la geometría en Inventor se importó en formato PARASOLID de forma que este facilitaría la lectura de los archivos y simulación de los mismos bajo un proceso determinado para verificar la influencia sobre las cargas aerodinámicas en el modelo base.
- Se diseñaron alternativas de molduras delanteras en base a los spoilers ya existentes en el vehículo, adicionando detalles aerodinámicos como los apéndices y la modificación de dos de sus componentes donde se determinó que de acuerdo a la comparación de eficiencia del comportamiento aerodinámico sobre la molduras con diseño propuesto de un modelo de karting presentan más presión; es decir, se genera mayor resistencia al paso del flujo de aire, encontrándose entre rangos tolerables y aportando a una mayor estabilidad del mismo en curvas; por el contrario, al generar mayor turbulencia afecta a la velocidad del mismo siendo el primer modelo ya existente más rápido, cabe mencionar que la elección de los modelos de spoilers va a depender del tipo de pista en el que este compita.

Recomendaciones

- Durante la realización de la geometría se recomienda verificar los contornos de las figuras, debido a que, al presentar medidas mínimas de contorno, existe la probabilidad de que presente errores durante el proceso de simulación; adicional, es importante mantener un sólido para un proyecto de esta magnitud ya que facilita la lectura y cálculos durante el proceso.
- Es indispensable tener un ordenador con gran capacidad para la evaluación de la geometría en el programa Solidworks, debido a que por la calidad de gráficos a analizar este requiere de un mejor rendimiento.
- Es preciso instruirse para realizar un diseño acorde a las actividades del vehículo en este caso de competencia, por lo que se debe tomar en cuenta factores como tipo de pista en la que compite el mismo, ya que para una pista recta el vehículo a utilizar debe rendir en velocidad, mientras que si la pista es con curvas el vehículo va a requerir mayor estabilidad, por lo que sus molduras deben aportar al desarrollo del vehículo según lo que el competidor solicite.

Bibliografía

- Artés, D. (2018). Aerodinámica del automóvil: principios básicos. *Diario Motor*. Recuperado el 8 de Agosto de 2020, de <https://www.diariomotor.com/consejos/aerodinamica-del-automovil-principios-basicos/>
- AutoDesk. (2020). *Información corporativa*. Recuperado el 18 de Agosto de 2020, de <https://www.autodesk.com/company/newsroom/corporate-info>
- AutoDesk. (2020). *Inventor Professional*. Recuperado el 18 de Agosto de 2020, de <https://www.autodesk.com/products/inventor/overview>
- Ballesteros, R. (2004). *Turbulencia*. España: Universidad de Oviedp.
- Behar, D. (2008). *Metodología de la Investigación*. Shalom. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de https://issuu.com/draesperanzagarciaayala/docs/libro_metodologia_investigacion_pdf
- Beléndez, A. (1992). *Acústica, Fluidos y Termodinámica*. España: Universidad de Alicante.
- Borja, A. (2015). *Estudio aerodinámico del comportamiento del aleron trasero de un automóvil*. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid. Recuperado el 13 de Julio de 2020, de <https://core.ac.uk/download/pdf/79176609.pdf>
- Calaza, H. (2015). 5 Elementos clave para la aerodinámica en vehículos de competencia. *autocosmo.com*. Recuperado el 5 de Julio de 2020, de <http://noticias.espanol.autocosmos.com/2015/02/06/5-elementos-clave-en-la-aerodinamica-de-los-autos-de-carrera>

- Campos, R. (2008). *Diseño de un alerón de un vehículo de competición: comparación de la simulación aerodinámica numérica y la simulación aerodinámica experimental*. España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Cumbe, E., & Rockwood, R. (2009). *Simulación aerodinámica de un vehículo Toyota-Corolla 2005 en un programa de dinámica de fluidos computacional*. Azuay: Universidad del Azuay.
- Da Riva, I. (2002). *Aerodinámica*. Recuperado el 21 de Enero de 2021, de <http://oa.upm.es/13758/1/C14.pdf>
- Dassault Systemes. (2021). *SolidWorks*. Recuperado el 4 de Enero de 2021, de <https://solid-bi.es/solidworks/>
- Definición.de. (2008). *Iteración*. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de <https://definicion.de/iteracion/>
- Fernández, M. (2019). Flujo laminar y turbulento. *Aerodinámica F1*. Recuperado el 8 de Agosto de 2020, de <https://www.aerodinamicaf1.com/2019/10/flujo-laminar-y-turbulento/>
- FIA KARTING. (2020). *Federación Internacional del Automóvil Karting*. Recuperado el 18 de Marzo de 2020, de <https://www.fiakarting.com/page/home>
- Frajia, I. (2006). *Estudio aerodinámico de los vehículos*. Colombia: Universidad Autónoma del Caribe.
- García, D. (2010). *Estudio de la capacidad aerodinámica de arrocerías de vehículos categoría CM*. Pamplona: Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicaciones.
- García, J., Gómez, T., Martín, J., & Águeda, E. (2002). *Automoción- Estructuras del vehículo*. España: Paraninfo.

- Gómez, E. (2009). *Desarrollo de un modelo de simulación vehicular para la mejora en la sincronización de semáforos*. México: Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica. Recuperado el 17 de Julio de 2020, de https://repositorio.uam.es/bitstream/handle/10486/679256/EM_32_3.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Gómez, S. (2017). *Mallado y simulacion de CFD de automovil*. Recuperado el 4 de Enero de 2021, de https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/108947/Mallado_y_simulacion_CFD_de_automovil_-_GOMEZGONZALEZsamuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Goncalves, R. (2016). Aerodinámica automotriz y su evolución. *Motor y racing*.
- Gutierrez M., J. M. (2016). *Desarrollo de una metodología computacional para el diseño del paquete aerodinamico de un superkart eléctrico*. Bogotá: Universidad de los Andes.
- Hernández, R. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: Mc Graw Hill Education. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>
- Hucho, W., & Sovran, G. (1993). Aerodynamics of road vehicles. *Annual Reviews*.
- Katz, J. (2006). *Race Car Aerodynamics*. United States: Bentley Publishers.
- M. White, F. (2003). *Mecánica de Fluidos*. España: McGraw - Hill.
- Martín, D. (2016). *Mejora aerodinámica de un turismo*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- McBeath, S. (2015). *Aerodinámica del automóvil de competición*. Dorchester: Veloce Publishing Limited.

Medina, C. (2015). *Aerodinámica*. Recuperado el 5 de Enero de 2021, de <http://www.motorydominio.com.mx/investigaciones/aerodinamica-para-que-sirve#.YAJbyehKjIU>

Modon, A. (2017). *Dinàmica de Fluidos*. Recuperado el 01 de Julio de 2020, de <http://ingenieria.uncuyo.edu.ar/catedras/apuntes-teoricos-de-mecanica-de-los-fluidos-rev9-doc-prot.pdf>

Morente, E. (2018). *Estudio del efecto del borde de salida en el desprendimiento de vórtices generados por una cascada de álabes*. España: Universidad de Catalunya.

NASA. (2015). *Túnel de Gottingen*. Recuperado el 7 de Julio de 2020, de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tuncret.html>

NASA. (2015). *Túnel Eiffel*. Recuperado el 7 de Julio de 2020, de <https://www.grc.nasa.gov/www/k-12/airplane/tunoret.html>

Nextews. (2017). *Flujo laminar y turbulento*. Recuperado el 7 de Julio de 2020, de <http://es.nextews.com/45ad18e8/>

Oriol. (2018). CFD- Computational FLuid Dynamics. Recuperado el 11 de Febrero de 2020, de <https://www.formula1atmosphere.com/aerodinamica/cfd-computational-fluid-dynamics/>

Perales, A. (2015). *Sistemas CAD/CAE*. Recuperado el 17 de Enero de 2021, de <https://es.slideshare.net/alexiaperez7374/sistemas-cad-cam-cae-y-cnc>

Plaza, D. (2020). Aerodinámica: capa límite, flujo laminar y turbulento. *Motor.es*. Recuperado el 15 de Agosto de 2020, de <https://www.motor.es/formula-1/aerodinamica-capa-limite-flujo-laminar-turbulento-202063700.html>

PTC. (2018). *Turbulencia*. Recuperado el 2 de Febrero de 2021, de http://support.ptc.com/help/creo/creo_pma/spanish/index.html#page/simulate/cfd/Turbulence/Definition.html

Rojas, O., & Salas, J. (1999). Producción automotizada sistemas CAD/CAE/CAM. Recuperado el 17 de Julio de 2020, de https://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/Publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm

Ruiz, D. (2017). La evolución de la aerodinámica de los coches. *Pocket Magazine*. Recuperado el 16 de Julio de 2020, de <https://www.thepocketmagazine.com/la-evolucion-de-la-aerodinamica-de-los-coches/>

Saco, M. (2015). Figura 3 - Túneles de viento. *Túneles de viento: en manos del aire*. Recuperado el 10 de Febrero de 2020, de <https://www.elmundo.es/motor/2015/08/20/55d5bc5c268e3ed31d8b457f.html>

Satín, E., & Toro, D. (2013). *Diseño y construcción de un kart según las normas CIK/FIA*. Riobamba: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Segura, R. (2018). Aerodinámica automotriz: principios básicos. *Memolira.com*. Recuperado el 7 de Julio de 2020, de <https://memolira.com/noticias/aerodinamica-automotriz-principios-basicos/>

Technical Courses. (2019). *Fuerzas Aerodinámicas*. Recuperado el 7 de Julio de 2020, de

http://www.technicalcourses.net/portal/es/blog/blog_categorias.php?categoria_id=6&nombre=CFD

TKART MAGAZINE. (2017). Spoiler. Recuperado el 14 de Julio de 2020, de <https://www.tkart.it/es/magazine/enfoque-tecnico/nuevo-spoiler-birelart-estilo-formula-1/>

Todo Fórmula 1. (2019). FIA propone aerodinámica activa para 2021. *Todo Fórmula 1*. Recuperado el 15 de Enero de 2021, de <https://www.todoformula1.net/fia-propone-aerodinamica-activa-para-2021/>

Xamán, J., & Guijón- Rivera, M. (2015). *Dinàmica de fluido para ingenieros*. Estados Unidos: Palibrio. Recuperado el 6 de Julio de 2020, de <https://books.google.com.ec/books?id=dwIDDAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=cfd+dinamica+fluidos+computacional&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwjUmqDQnbrqAhUySN8KHX-nAagQ6AEwAHoECAAQAg#v=onepage&q=cfd%20dinamica%20fluidos%20computacional&f=false>

Anexos

Glosario

- C_x = Coeficiente de penetración aerodinámico
- A = Superficie de ataque en m^2
- P = Densidad de aire
- V_F = Velocidad del vehículo
- C_Y = Coeficiente de resistencia aerodinámica transversal
- C_Z = Coeficiente de elevación
- m = Masa del vehículo, kg.
- g = Aceleración de gravedad, m/s^2 .
- F_z = Fuerza de sustentación, N.
- F = Fuerza de agarre en el suelo en N.
- μ = Coeficiente de rozamiento relativo (Suelo y neumático, es adimensional)
- V_x : Velocidad X
- V_z : Velocidad Z
- V_y : Velocidad Y
- $Pres$: Presión
- $Temp$: Temperatura
- TKE : Energía Cinética Turbulenta
- TED : Disipación de Energía Turbulenta