



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE CUENCA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**OPTIMIZACIÓN DE LOS BODYWORKS DE UN KART KF4 IMPLEMENTANDO
ESTUDIOS CFD**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
título de Ingeniero Automotriz

AUTORES: JOSÉ ALFONSO CALVACHE JIMÉNEZ
DANIEL SEBASTIÁN VILLAMARIN PERA
TUTOR: ING. ANDRÉS ESTEBAN ORDOÑEZ SEGARRA, MSc.

Cuenca - Ecuador

2024

CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, José Alfonso Calvache Jiménez con documento de identificación N° AN836165 y Daniel Sebastián Villamarin Pera con documento de identificación N° 0950395475; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Cuenca, 17 de julio del 2024

Atentamente,



José Alfonso Calvache Jiménez

AN836165



Daniel Sebastián Villamarin Pera

0950395475

CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA

Nosotros, José Alfonso Calvache Jiménez con documento de identificación N° AN836165 y Daniel Sebastián Villamarin Pera con documento de identificación N° 0950395475, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Proyecto técnico: “Optimización de los BodyWorks de un kart KF4 implementando estudios CFD”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Automotriz, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2024

Atentamente,



José Alfonso Calvache Jiménez

AN836165



Daniel Sebastián Villamarin Pera

0950395475

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Andrés Esteban Ordoñez Segarra con documento de identificación N° 0103567863, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: OPTIMIZACIÓN DE LOS BODYWORKS DE UN KART KF4 IMPLEMENTANDO ESTUDIOS CFD, realizado por José Alfonso Calvache Jiménez con documento de identificación N° AN836165 y por Daniel Sebastián Villamarin Pera con documento de identificación N° 0950395475, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Proyecto técnico que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Cuenca, 17 de julio del 2024

Atentamente,



Ing. Andrés Esteban Ordoñez Segarra, MSc.

0103567863

DEDICATORIA

El siguiente proyecto de titulación está dedicado principalmente a mi padre Jaime Enrique Calvache Prado y a mi madre Claudia Carlina Jiménez Tabares a quienes debo mi vida, valores, crianza y amor. También dedico este proyecto a mi hermana María Camila Calvache Jiménez, quien me brinda su cariño incondicional, su apoyo y está ahí para cada etapa de mi vida emanando una sonrisa y alegría.

Dedico este proyecto de titulación a mis tíos Carlos Herney Calvache prado y Jackeline Zúñiga Cherres, quienes me brindaron la oportunidad de formarme como profesional, por acogerme en su hogar lejos de casa, por brindarme las comodidades de su familia, por darme la mano incondicionalmente y guiarme siempre buscando lo mejor para mi persona, donde me han enseñado a afrontar los altibajos de la vida de la mejor manera siendo capaz de afrontar situaciones complejas

Por último, dedico este proyecto a mis docentes en especial al Ingeniero Andrés Ordoñez Segarra y a la Doctora Mary Josefina Vergara, quienes nos inculcaron la pasión por el diseño mecánico y el arte de la ingeniería, afianzando nuestro potencial y habilidades, provocando una pasión aun mayor por la ingeniería automotriz.

José Alfonso Calvache Jiménez

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado principalmente a mis padres, Cynthia Pera y Patricio Villamarín; mi tía, Cecilia Amador; mi abuelita, Hilda Amador; mis hermanos, Diego, Lucas y Fiorella; y mi segunda mamá Venus López, quienes con su apoyo incondicional y sacrificio me impulsaron a no darme por vencido en cada de mis metas que me he propuesto.

También dedico este proyecto mis docentes que siempre nos acompañaron en este proceso de crecimiento continuo con sus enseñanzas, especialmente al Ing. Andrés Ordoñez por todo su apoyo desde el primer semestre hasta el final, y a la Doc. Mary Vergara por su perseverancia en la docencia.

Daniel Sebastián Villamarin Pera

AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi profundo agradecimiento al culminar mi tesis, especialmente a la prestigiosa institución académica. Ha sido un honor y un privilegio realizar mis estudios en la Universidad Politécnica Salesiana y llevar a cabo mi investigación en este ambiente académico tan enriquecedor.

Agradezco sinceramente a todos los profesores que han sido parte fundamental y guía en este proceso hacia la culminación de mi carrera, por compartir sus conocimientos y orientarme ante cualquier duda.

Agradezco a mis padres por todo su apoyo incondicional y perseverancia al no dejarme caer, a siempre estar ahí en los momentos más difíciles y darme ánimos. También a mi hermanita, que, a pesar de estar lejos, siempre estuvo conmigo preguntándome casi todos los días mi progreso en la universidad y sus consejos para no darme por vencido. También le agradezco a mis tíos abrirme las puertas de su casa y acogerme como un hijo más, por sus consejos y enseñanzas, siempre voy a estar eternamente agradecidos con ellos por todo el apoyo que me brindaron.

Como agradecimiento especial está dedicado nuestro tutor, el ingeniero Andrés Esteban Ordoñez Segarra, quien deposito un voto de confianza en la realización de este trabajo,

*por guiarnos en cada momento de nuestra
etapa universitaria y profesional,
impulsándonos a dar lo mejor de nosotros y
sacando a relucir el potencial que se puede
tener con dedicación y esfuerzo, quien con
sus conocimientos estuvo presente en cada
una de las etapas de este proyecto.*

José Alfonso Calvache Jiménez

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres Patricio, Cynthia y Venus, agradezco profundamente su sacrificio, paciencia y apoyo incondicional en todas las etapas de mi vida. Siempre estaré agradecido por todas las enseñanzas y principios morales que me inculcaron desde pequeño. Su amor y respaldo han sido fundamentales para alcanzar mis logros y metas.

Agradezco a mi abuelita Hilda y mi tía Cecilia por su incondicional apoyo en toda esta etapa estudiantil, la veces que me ayudaron a corregir redacciones de diferentes proyectos académicos que he realizado a lo largo de mis estudios.

Agradezco a mis hermanos, Diego, Lucas y Fiorella, por ser mi apoyo constante y mi empuje en todos los momentos difíciles. Su compañía, aliento y amor han sido esenciales para superar los desafíos y seguir adelante. Su presencia en mi vida me ha dado la fuerza y la motivación necesarias para alcanzar mis metas.

Agradezco especialmente al Ing. Andrés Ordoñez por todo su apoyo desde el primer semestre hasta el final. Siempre voy a valorar su esfuerzo, dedicación y, por supuesto, su apoyo incondicional, incluso en los peores momentos. Asimismo, extiendo mi

*agradecimiento a la Doc. Mary Vergara por
su perseverancia en la docencia.*

*Por último, agradezco a mis compañeros
Jose Calvache y Havit Garzozi, más que mis
compañeros, han sido unos amigos que
siempre me apoyaron, brindándome ánimo y
ayuda en los momentos que más lo
necesitaba.*

Daniel Sebastián Villamarin Pera

RESUMEN

El proyecto de titulación aborda la necesidad de mejorar el rendimiento de los karts en las competiciones nacionales mediante la optimización aerodinámica de sus componentes. En el contexto del karting competitivo en Ecuador, se ha identificado una falta de investigación en el área aerodinámica, a pesar de los avances en estudios estructurales sobre resistencia y vibración. Este proyecto tiene como objetivo principal llenar esta brecha a través de la aplicación de estudios de dinámica de fluidos computacional (CFD) para optimizar los BodyWorks de los karts, mejorando así su carga aerodinámica y rendimiento en pista.

La aerodinámica juega un papel crucial en el comportamiento y rendimiento de los vehículos de carreras. Un diseño aerodinámico eficiente puede reducir significativamente la resistencia al avance y aumentar la carga aerodinámica, lo que se traduce en una mayor adherencia en las curvas y mejor estabilidad a altas velocidades. En este estudio, se emplearon simulaciones CFD para analizar y optimizar el flujo de aire alrededor del kart. Las simulaciones permitieron identificar áreas críticas de mejora en el diseño de los BodyWorks, donde se podían implementar cambios para mejorar la eficiencia aerodinámica.

Los resultados de este estudio mostraron que, mediante la optimización aerodinámica de los BodyWorks, es posible lograr una reducción en la resistencia al avance y un aumento en la carga aerodinámica. Estas mejoras no solo aumentan la velocidad máxima del kart, sino que también mejoran su comportamiento en las curvas, proporcionando una ventaja competitiva significativa en las carreras. Además, los datos obtenidos de las simulaciones CFD proporcionaron una comprensión más profunda de cómo el diseño de la carrocería afecta el flujo de aire y cómo se pueden realizar ajustes específicos para maximizar el rendimiento.

PALABRAS CLAVES

Dinámica de Fluidos Computacional, BodyWorks, Optimización, Estudios Aerodinámicos

ABSTRACT

The thesis project addresses the need to improve kart performance in national competitions through the aerodynamic optimization of their components. In the context of competitive karting in Ecuador, a lack of research in the aerodynamic field has been identified, despite advances in structural studies on resistance and vibration. This project aims to fill this gap by applying computational fluid dynamics (CFD) studies to optimize the BodyWorks of the karts, thereby enhancing their aerodynamic load and track performance.

Aerodynamics plays a crucial role in the behavior and performance of racing vehicles. An efficient aerodynamic design can significantly reduce drag and increase downforce, resulting in better grip in corners and improved stability at high speeds. In this study, CFD simulations were employed to analyze and optimize the airflow around the kart. The simulations allowed for the identification of critical areas for improvement in the BodyWorks design, where changes could be implemented to enhance aerodynamic efficiency.

The results of this study demonstrated that through the aerodynamic optimization of the BodyWorks, it is possible to achieve a reduction in drag and an increase in downforce. These improvements not only increase the kart's top speed but also enhance its cornering behavior, providing a significant competitive advantage in races. Additionally, the data obtained from the CFD simulations provided a deeper understanding of how the body design affects airflow and how specific adjustments can be made to maximize performance.

KEYWORDS

Computational Fluid Dynamics, BodyWorks, Optimization, Aerodynamic Studies

CONTENIDO

RESUMEN	10
PALABRAS CLAVES	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN	17
PROBLEMA DE ESTUDIO	18
GRUPO OBJETIVO	19
Objetivo General.....	19
Objetivos Especifico.....	19
CAPITULO I	20
1. Marco Teórico	20
1.1 Categorías KF:.....	20
1.2 Especificaciones de un kart:.....	21
1.3 Carrocería de un kart:.....	22
1.4 Distribución de componentes que contribuyen a la generación de resistencia aerodinámica en los karts:.....	26
1.5 Principio de Bernoulli:.....	27
1.6 Flujo laminar y turbulento.....	28
1.7 Carga Aerodinámica.....	30
1.8 Efecto suelo generado en el kart:.....	33
1.9 Mecánica de Fluidos.....	36
CAPITULO II	40
2. Desarrollo.....	40
2.1 Medidas de las Carrocerías.....	40
2.1.1 BodyWorks frontal inferior.....	40
2.1.2 BodyWorks frontal superior.....	44
2.1.3 BodyWorks laterales.....	48
2.2 Estudios Aerodinámicos.....	51

2.2.1 Estudio Aerodinamico del BodyWorks Homologado	53
2.2.2 Estudio Aerodinamico del Prototipo BodyWorks 1	56
2.2.3 Estudio Aerodinamico del Prototipo BodyWorks 2	58
2.2.4 Coeficientes Aerodinámicos.....	60
CAPITULO III.....	63
3. Análisis de los resultados.....	63
3.1 Presión Estática.....	63
3.2 Presión Total.....	66
3.3 Velocidad	69
3.4 Fuerza de arrastre	70
3.5 Fuerza de sustentación	72
CONCLUSIÓN.....	75
RECOMENDACIONES	78
BIBLIOGRAFÍA.....	79

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Historia del Kartismo.	20
Figura 2 Partes del chasis del Kart.....	22
Figura 3 <i>Juego de carrocería KG 1ra Generación.</i>	23
Figura 4 <i>Juego de carrocería KG 2da Generación.</i>	23
Figura 5 <i>Presión relativa sobre la superficie de un Kart.</i>	24
Figura 6 <i>Coefficiente de presión.</i>	25
Figura 7 <i>Componentes que influyen en la resistencia aerodinámica de un kart</i>	26
Figura 8 <i>Flujo laminar y turbulento</i>	29
Figura 9 <i>Visualización del comportamiento del flujo en el Kart</i>	31
Figura 10 <i>Visualización de las presiones relativas.</i>	32
Figura 11 <i>Flujo turbulento en un kart.</i>	33
Figura 12 <i>Efecto suelo en un Kart</i>	34
Figura 13 <i>Zonas turbulentas debajo del Kart</i>	34
Figura 14 <i>Comportamiento del flujo laminar</i>	35
Figura 15 <i>Zonas de Capa Limite</i>	37
Figura 16 <i>Desprendimiento de la capa limite</i>	38
Figura 17 <i>Homologación 002-BF-37 Bumper frontal inferior</i>	41
Figura 18 <i>Homologación: 002-BP-11 Bumper frontal superior</i>	44
Figura 19 <i>Homologación: Bumpers laterales</i>	48
Figura 20 <i>Definición de parámetros ambientales</i>	54
Figura 21 <i>Diagrama del cuerpo libre del kart</i>	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Especificaciones de la Categoría KF4.</i>	21
Tabla 2	<i>Especificaciones del material estructura química del acero 4130.</i>	21
Tabla 3	<i>Medidas de la carrocería delantera inferior</i>	41
Tabla 4	<i>Diseño de BodyWorks frontal inferior</i>	42
Tabla 5	<i>Comparación entre las mediciones de los BodyWorks</i>	43
Tabla 6	<i>Medidas de la carrocería delantera</i>	45
Tabla 7	<i>Diseño de BodyWorks frontal superior</i>	45
Tabla 8	<i>Comparación entre las mediciones de los BodyWorks</i>	47
Tabla 9	<i>Diseño de BodyWorks laterales</i>	49
Tabla 10	<i>Comparación entre las mediciones de los BodyWorks</i>	51
Tabla 12	<i>Parámetros climáticos</i>	52
Tabla 13	<i>Parámetros por considerar en un estudio aerodinámico</i>	52
Tabla 14	<i>Medidas de la zona de ponderación</i>	53
Tabla 15	<i>Estudio aerodinámico del kart Homologado</i>	54
Tabla 16	<i>Resultados del estudio aerodinámico del BodyWorks Homologado</i>	55
Tabla 17	<i>Parámetros climáticos iniciales</i>	56
Tabla 18	<i>Estudio aerodinámico del kart Prototipo 1</i>	57
Tabla 19	<i>Resultados del estudio aerodinámico del Prototipo BodyWorks 1</i>	58
Tabla 20	<i>Parámetros climáticos iniciales</i>	58
Tabla 21	<i>Estudio aerodinámico del kart Prototipo 2</i>	59
Tabla 22	<i>Resultados del estudio aerodinámico del Prototipo BodyWorks 2</i>	60
Tabla 23	<i>Datos para la obtención del coeficiente de arrastre</i>	60
Tabla 24	<i>Resultados del coeficiente de arrastre C_x</i>	61
Tabla 25	<i>Datos para la obtención del coeficiente de sustentación</i>	61
Tabla 26	<i>Resultados del coeficiente de sustentación C_l</i>	62
Tabla 27	<i>Comparación de las presiones estáticas de los tres Karts</i>	63
Tabla 28	<i>Grafica de la Presión Estática de los tres Prototipos de Kart</i>	64
Tabla 29	<i>Comparación de la presión total de los tres Karts</i>	66
Tabla 30	<i>Grafica de la Presión Total de los tres Prototipos de Kart</i>	67
Tabla 31	<i>Comparación de las velocidades de los tres Karts</i>	70

Tabla 32 <i>Comparación de las fuerzas de arrastre de los tres Karts</i>	71
Tabla 33 <i>Resultados del coeficiente de arrastre C_x</i>	72
Tabla 34 <i>Comparación de las fuerzas de sustentación de los tres Karts</i>	72
Tabla 35 <i>Resultados del coeficiente de sustentación C_l</i>	73

INTRODUCCIÓN

La aerodinámica juega un papel crucial en el rendimiento de los karts, especialmente en competiciones donde cada pequeña mejora puede marcar la diferencia entre ganar y perder. En Ecuador, a pesar de los avances en estudios estructurales enfocados en la resistencia y vibración de los karts, existe una notable carencia de investigaciones específicas sobre aerodinámica, un área que ofrece un gran potencial para optimizar la velocidad y eficiencia de estos vehículos.

Este proyecto se centra en aplicar simulaciones de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD, por sus siglas en inglés) para analizar y mejorar los BodyWorks de un kart modelo KF4. El objetivo principal es investigar cómo las fuerzas aerodinámicas impactan el rendimiento del kart y explorar modificaciones precisas en el diseño de la carrocería que puedan optimizar estas fuerzas. Esto no solo permitirá llenar una brecha crítica en la investigación local, sino que también sentará las bases para futuros desarrollos y avances en el campo del karting competitivo en Ecuador.

El estudio se enfocará en evaluar la distribución de presiones, flujos de aire y zonas de separación alrededor del kart KF4 bajo diferentes condiciones de velocidad y ángulos de ataque. Mediante el análisis detallado de estos datos, se podrán identificar áreas específicas donde se pueden aplicar mejoras aerodinámicas, como la optimización de alerones, difusores y entradas de aire. Estas modificaciones no solo buscarán aumentar la carga aerodinámica para mejorar la estabilidad en curvas y la velocidad en rectas, sino también reducir la resistencia al avance para maximizar la eficiencia del kart durante toda la carrera.

Este proyecto no solo busca impulsar el conocimiento local en aerodinámica aplicada al karting, sino también proporcionar resultados concretos y aplicables que puedan beneficiar a los pilotos y equipos de competición en Ecuador y más allá. Al integrar métodos avanzados de simulación con el conocimiento práctico de ingeniería de vehículos de competición, se espera contribuir significativamente al desarrollo y la competitividad del deporte del karting en la región.

PROBLEMA DE ESTUDIO

En Ecuador, a pesar del desarrollo de investigaciones en instituciones educativas sobre el diseño, análisis y construcción de karts utilizando simulación computacional, se identifica una brecha en el enfoque de estos proyectos. Aunque se han realizado estudios estructurales para evaluar aspectos como resistencia a la fatiga, vibración y flexión, se nota una falencia en el enfoque del estudio aerodinámico, crucial para mejorar el rendimiento del kart.

Dada la necesidad de participar en competencias a nivel nacional y considerando que el rendimiento de los karts se ve afectado por la carga aerodinámica, es esencial abordar este aspecto en las investigaciones. La falta de análisis en este campo podría limitar el desarrollo de karts con un rendimiento óptimo, ya que la carga aerodinámica influye directamente en la velocidad y eficiencia del vehículo.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de investigar y analizar exhaustivamente la aerodinámica de los karts en el contexto ecuatoriano, con el fin de identificar cómo mejorar su rendimiento mediante la optimización de la carga aerodinámica. Esto requerirá estudios detallados sobre las acciones de los fluidos sobre los cuerpos sólidos en movimiento relativo, así como la evaluación de factores que influyen en esta carga, como el área frontal del vehículo.

GRUPO OBJETIVO

Este proyecto impactará positivamente a los grupos ASU Automotriz y al Club de Karting de la carrera de ingeniería Automotriz, centrándose en la optimización del rendimiento del kart a través de análisis aerodinámicos.

Objetivo General

- Realizar la optimización de los BodyWorks de un Kart para categoría KF-4, implementando estudios en CFD.

Objetivos Especifico

- Desarrollar una revisión bibliográfica de temas referentes al estudio dinámico de la carrocería del Kart, que sirvan como marco de referencia y validación de los datos obtenidos mediante las simulaciones.
- Realizar el análisis aerodinámico de las carrocerías, considerando parámetros que influyen en el rendimiento del kart y desarrollar un proceso de manufactura para la fabricación de los BodyWorks.
- Efectuar una comparación detallada de los resultados obtenidos a partir de los estudios aerodinámicos de los BodyWorks. Con esta comparación, se busca determinar cuál de los BodyWorks ofrece el mejor rendimiento aerodinámico y estabilidad en la pista, optimizando así el rendimiento general del kart en competición.

CAPITULO I

1. Marco Teórico

La aparición y construcción del primer kart se da en California (EE. UU.) en agosto de 1956, gracias a Art Inels y Lou Borelli. A simple vista era un vehículo de tamaño reducido que no poseía carrocerías y propulsado por un motor West Bend de una podadora de césped, el chasis surge a raíz de la unión de tubos de calefacción y los neumáticos que poseía, fueron reutilizados del tren de aterrizaje de una avioneta. La velocidad máxima que lograba alcanzar el vehículo era de nomas de 50km/h (Correa, 2022).

Figura

1

Historia del Kartismo.



Nota. Adaptado de Historia del Kartismo, Alex Marcelo Correa, 2022, (Correa, 2022).

1.1 Categorías KF:

KF ofrece una selección de karts de alta categoría sin caja de cambios, aptos para pilotos desde los 15 años hasta los más expertos. A pesar de la aparente sencillez de estos vehículos de competición, su desarrollo y conducción requieren estándares rigurosos (FIA, 2023).

El programa permite la libertad de elección en cuanto a chasis y motores, todos ellos homologados por la FIA Karting. Incluye neumáticos de compuesto blando ("Prime"), un motor de 2 tiempos de hasta 125 cc refrigerado por líquido con arranque eléctrico y embrague automático. La potencia está limitada a 16000 RPM, generando aproximadamente 35 HP. Además, cuenta con frenos en

las ruedas delanteras y en el eje trasero, y el peso mínimo permitido es de 158 kg, considerando al conductor (FIA, 2023).

Tabla 1

Especificaciones de la Categoría KF4.

Categoría	Edad	Peso mínimo	Motor	Características
KF4	15 o mas	175 kg	2T / 100cc - 125cc / 16.000 rpm	Es el reglamento base de todas las categorías KF

Nota. Esta tabla muestra las características que se presentan en la categoría KF4. Tomado de CIK-FIA Karting Technical Regulations (p.1), por FIA, 2023.

1.2 Especificaciones de un kart:

La distancia mínima entre ejes será de 1045 mm, según lo estipula la normativa para la categoría KF. La estructura principal del coche ha de estar construida de tubos de acero magnético o carbono (Se prohíbe el uso de aceros cuya aleación en alguno de sus elementos sea $\geq 5\%$.)

La normativa también exige como características mínimas del material para la construcción del chasis de un kart, el uso de los siguientes materiales, excepto los materiales que presenten aleaciones de titanio (FIA, 2023).

Tabla 2

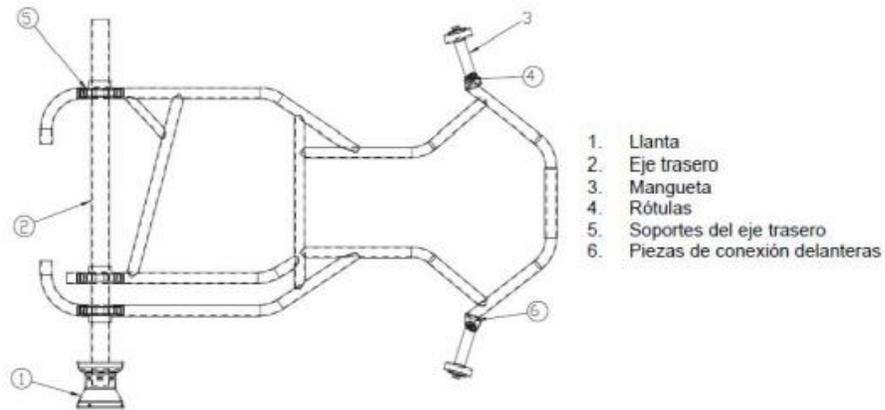
Especificaciones del material estructura química del acero 4130.

Grado (SAE)	%Cromo	%Molibdeno	%Carbono	%Manganeso	%Fósforo	%Azufre	%Silicio
4130	0.80	0.15	0.28	0.40	0.035	0.040	0.15

Nota. Esta tabla segmenta el porcentaje de la composición estructural del Acero 4130. Tomado de CIK-FIA Karting Technical Regulations (p.6 - 7), por FIA, 2023.

Figura 2

Partes del chasis del Kart.



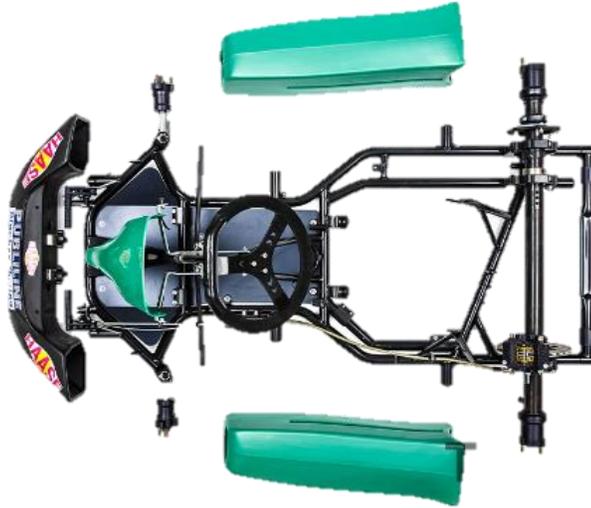
Nota. Adaptado de Partes del chasis del Kart, Federación Internacional del Automovilismo, 2023, (FIA, 2023).

1.3 Carrocería de un kart:

En los últimos años, el desarrollo de los BodyWorks, donde existe una mayor concentración en la carrocería inferior frontal ha dado lugar a formas más amplias y envolventes. Con un ligero aumento en el área frontal, estos componentes permiten una mayor cobertura de los pies, las piernas y las ruedas delanteras, lo que genera una significativa ventaja en términos de reducción de la resistencia aerodinámica. Además, las carcasas laterales han experimentado un desarrollo que las ha vuelto más delgadas en comparación con periodos previos, lo que resulta en una superficie de contacto reducida con el aire turbulento generado alrededor de las ruedas delanteras (Student, Department of Mechanical Engineering of, 2021), (Covini, 2023).

Figura 3

Juego de carrocería KG 1ra Generación.



Nota. Adaptado de Juego de carrocería KG 1ra Generación, Departamento de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, 2021, (Student, Department of Mechanical Engineering of, 2021).

Figura 4

Juego de carrocería KG 2da Generación.



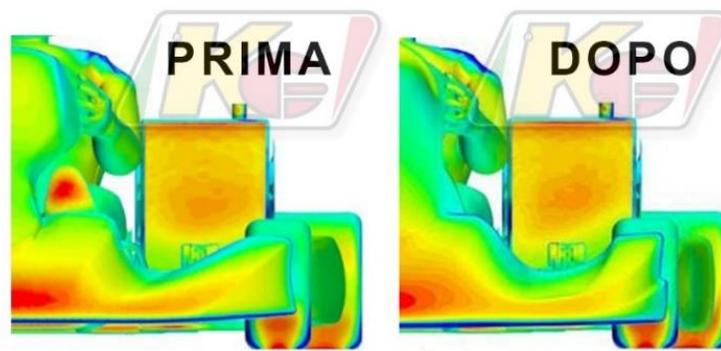
Nota. Adaptado de Juego de carrocería KG 1da Generación, Departamento de Estudiantes de Ingeniería Mecánica, 2021, (Student, Department of Mechanical Engineering of, 2021).

Coefficiente Aerodinámico de un kart:

La optimización de la eficiencia aerodinámica se ha vuelto cada vez más crucial en el desarrollo de un kart. Gracias a la aplicación de tecnologías innovadoras, como los análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD), se ha comprobado que, al prestar atención a los aspectos aerodinámicos del kart, es posible lograr resultados notables, incluso reducir el tiempo por vuelta en medio segundo, mediante ajustes mínimos y costos en ocasiones insignificantes. En términos prácticos, los cambios más evidentes se observan en los BodyWork, que han evolucionado de simples dispositivos de protección a componentes fundamentales para la disminución de la resistencia aerodinámica, también conocida como "drag" (Sampayo, Luque, Mantaras, & Rodriguez, 2021).

Figura 5

Presión relativa sobre la superficie de un Kart.



Nota. La imagen ilustra el cambio de área frontal. Tomado de Multi-body Elastic Simulation of a Go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance (p. 4), por Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica.

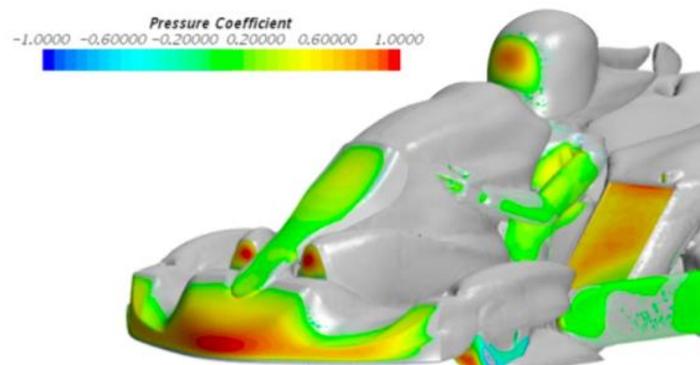
En la actualidad la aerodinámica del kart se ve afectada por la presencia del piloto, especialmente debido al casco, los hombros y los brazos. Estos elementos aumentan la superficie frontal y generan áreas extensas de turbulencia, siendo la causa principal de la resistencia aerodinámica. Aunque las ruedas descubiertas también generan turbulencias, en el karting, a diferencia de los monoplazas con ruedas descubiertas, estas permanecen parcialmente dentro de la envoltura del carenado. En cuanto a la aerodinámica de un kart, los componentes más influyentes son el alerón

y el spoiler delantero, comúnmente conocido como "spoiler frontal". De hecho, los desarrollos más recientes se han centrado principalmente en estos elementos (Covini, 2023), (Sampayo, Luque, Mantaras, & Rodriguez, 2021).

A pesar de los notables avances en aerodinámica, la combinación kart-piloto sigue presente, una resistencia aerodinámica considerablemente elevada. Esto está directamente vinculado al coeficiente de resistencia aerodinámica C_x (también conocido como "coeficiente de arrastre"), que oscila entre 0,6 y 0,8 para un kart moderno (en comparación, el de un automóvil suele ser alrededor de 0,3). El C_x es un valor adimensional y, a menor valor, menor será la resistencia al movimiento del vehículo. En el caso de los karts, su variabilidad se atribuye a las distintas constituciones de los pilotos, con una clara desventaja para aquellos que son más altos. El elevado coeficiente de resistencia aerodinámica del kart se traduce en una resistencia al avance mayor y, por ende, en una pérdida de potencia que podría emplearse para alcanzar velocidades máximas más elevadas (Covini, 2023).

Figura 6

Coeficiente de presión.



Nota. Se puede visualizar donde presenta un mayor coeficiente de presión en el kart. Tomado de Multi-body Elastic Simulation of a Go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance (p. 4), por Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica.

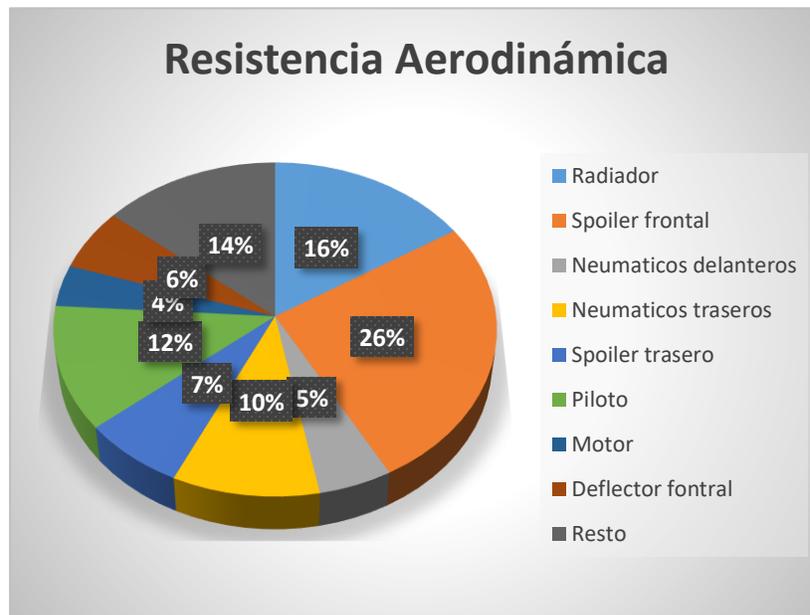
1.4 Distribución de componentes que contribuyen a la generación de resistencia aerodinámica en los karts:

En el contexto del karting, las velocidades alcanzadas no suelen ser considerablemente altas, generalmente no superan los 150 *km/h*. Sin embargo, a partir de los 70-100 *km/h*, las fuerzas aerodinámicas comienzan a desempeñar un papel crucial, disminuyendo su influencia por debajo de esa marca. Una excepción notable son los Superkarts, los cuales están equipados con motores de 250 *cm³* y presentan una carrocería integral que cubre completamente los neumáticos y al piloto. Esto les permite lograr un coeficiente aerodinámico aproximado de 0,4 a 0,5. (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022)

La gráfica ilustra los componentes que contribuyen a la generación de resistencia aerodinámica en los karts.

Figura 7

Componentes que influyen en la resistencia aerodinámica de un kart



Nota. Adaptado de Componentes que influyen en la resistencia aerodinámica de un kart, Departamento de Ingeniería Industrial y Mecánica, 2020, (Dipartimento di Ingegneria

Industriale e Meccanica, Multi-body Elastic Simulation of a Go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance, 2020).

1.5 Principio de Bernoulli:

El principio físico de Bernoulli es esencial para entender como se genera la fuerza aerodinámica. Si consideramos el aire como un fluido homogéneo, sin tener en cuenta la compresibilidad y la fricción viscosa, y asumimos un "fluido perfecto", podemos aplicar el principio de Bernoulli en su formulación más conocida (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022). Este principio establece que la suma de la energía cinética y la energía de presión es constante a lo largo de una "línea de corriente" o flujo de aire. En este contexto, la suma de la presión estática y la presión dinámica es constante, conocida como presión total o presión de impacto (Arias Parada & Cediel Urrea, 2019), (Font Mezquita & Dols Ruiz, 2006), (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Formula, 2014).

Ecuación 1

$$(P_{estatica} + P_{dinamica}) = P + \frac{1}{2}\rho(V^2)$$

Cuando un objeto, como un kart, se mueve, la presión total permanece constante para cada línea de flujo, abarcando todo el campo aerodinámico alrededor del kart. Este equilibrio es fundamental para comprender fenómenos aerodinámicos como la sustentación o fuerza descendente. Al combinar este principio con la conservación del flujo de fluidos, que establece que el caudal volumétrico (Q) se mantiene constante a lo largo del flujo de aire, es decir, el producto de la sección transversal (S) y la velocidad (V), representado como Q (caudal volumétrico), es constante (Arias Parada & Cediel Urrea, 2019), (Font Mezquita & Dols Ruiz, 2006), (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula, 2019).

Ecuación 2

$$S * V = Q = \text{Constante}$$

Si aplicamos las ecuaciones anteriores en dos puntos distintos y realizamos una simplificación matemática, obtenemos una nueva ecuación que indica que una restricción en la sección transversal (disminución de S) conlleva una disminución en la presión estática y un aumento en la

velocidad del flujo de aire (Arias Parada & Cediél Urrea, 2019), (Font Mezquita & Dols Ruiz, 2006), (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula, 2019).

Ecuación 3

$$\frac{Q^2}{S_1^2} + 2 \cdot \frac{P_1}{\rho} = \frac{Q^2}{S_2^2} + 2 \cdot \frac{P_2}{\rho}$$

La suposición de que el fluido se adhiere a la superficie y la aplicación de la ecuación de Bernoulli nos llevan a considerar que cuando el flujo de aire encuentra una superficie cóncava, disminuye su velocidad y aumenta su presión. En contraste, cuando se encuentra con una superficie convexa, disminuye la presión y aumenta la velocidad. Este concepto es fundamental en el funcionamiento de las alas de los aviones y perfiles aerodinámicos "invertidos", comúnmente utilizados en coches de fórmula y Superkarts. En las alas invertidas, la superficie convexa inferior provoca una disminución de la presión del aire, junto con un aumento en la velocidad aerodinámica, generando una fuerza descendente, es decir, una fuerza vertical dirigida hacia abajo. Esto incrementa la adherencia a la carretera, aunque con un ligero aumento en la resistencia aerodinámica (Arias Parada & Cediél Urrea, 2019), (Font Mezquita & Dols Ruiz, 2006), (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula, 2019)

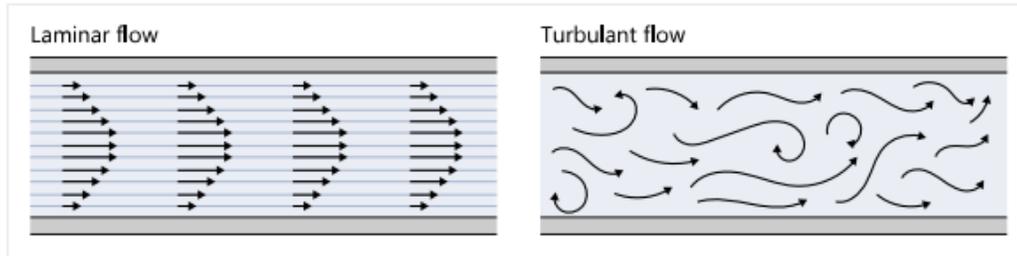
1.6 Flujo laminar y turbulento

El flujo de aire puede estar ordenado de dos maneras, o bien de manera ordenada y por láminas que siguen una trayectoria suave (flujo laminar), o por turbulencias y un flujo de aire caótico (flujo turbulento). Si el número de Reynolds es bajo, la fuerza viscosa que hay entre las distintas capas de aire es suficiente como para mantenerlas pegadas, y por tanto, que el aire se comporte de forma laminar (Rivas Pérez, 2022).

Sin embargo, a medida que el número de Reynolds aumenta (y con ello la velocidad), las fuerzas viscosas son cada vez menos determinantes y la rugosidad o curvatura de la superficie por la que fluye el aire puede provocar que se generen pequeñas perturbaciones que hagan que el flujo se comporte de manera inestable. A esto se le conoce como turbulencias, que no son beneficiosas para el comportamiento aerodinámico del monoplaza. El paso de la zona laminar a la zona de flujo turbulento se le conoce como zona de transición o flujo de transición (Rivas Pérez, 2022).

Figura 8

Flujo laminar y turbulento



Nota. Adaptado de Flujo laminar y turbulento, Oriol Rivas Pérez, 2022, (Rivas Pérez, 2022).

El flujo turbulento aparece cuando el número de Reynolds es elevado, es decir, cuando las fuerzas inerciales son superiores a las viscosas y por tanto el aire no es capaz de seguir “enganchado” a las capas adyacentes. En cambio, en el caso del flujo laminar, como el número de Reynolds es bajo, las fuerzas viscosas son superiores a las inerciales y el flujo de aire es capaz de seguir trayectorias ordenadas. (Rivas Pérez, 2022)

- Se considera flujo laminar cuando el número de Reynolds es menor 2300.
- Se considera flujo de transición cuando el número de Reynolds esta entre 2300 a 3500 ($2300 < \text{Reynolds} < 3500$).
- Se considera flujo turbulento cuando el número de Reynolds es mayor de 3500.

En el caso del flujo turbulento, el perfil de la velocidad es más uniforme que en el caso del flujo laminar, sin embargo, en el caso del flujo turbulento, el gradiente de velocidad cerca de la superficie es mayor (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022). En otras palabras, el flujo turbulento tiene un mayor coeficiente de fricción superficial (C_f), el cual se puede definir como:

Ecuación 4

$$C_F = \frac{\tau_w}{\frac{1}{2} \rho t_u^2}$$

Donde:

- ρ es la densidad del fluido
- t_u^2 es la velocidad media
- $\tau_\omega = m \frac{\delta t_u}{\delta x}$ es el esfuerzo cortante de la pared y m es la viscosidad dinámica.

1.7 Carga Aerodinámica

La carga aerodinámica o “downforce” es una fuerza aerodinámica en sentido descendiente cuyo objetivo es hacer que aumente el agarre del vehículo, por tanto, que el coche pueda ir más rápido en las curvas (Rivas Pérez, 2022).

Esta fuerza se genera de igual manera que se produce sustentación en los aviones, con la única diferencia que en el caso de los aviones la fuerza es ascendente y se conoce con el nombre de sustentación. Mientras que en un Fórmula 1 es descendente y se conoce como “downforce”. En otras palabras, la sustentación y la carga aerodinámica son la misma fuerza, pero en sentidos opuestos (Rivas Pérez, 2022).

El “downforce” se produce al tener un perfil alar interactuando con el aire, provocando que la trayectoria de las diferentes partículas de aire se separe. Es decir, unas recorren la parte superior y las otras la parte inferior. Esto provoca que las partículas que van por la parte inferior recorran mayor distancia, por tanto, su velocidad aumentará y su presión disminuirá, en consecuencia, se generará una succión que empujará el coche contra el asfalto (Rivas Pérez, 2022).

Ecuación 5

$$F_L = C_L \frac{1}{2} \rho V^2 A$$

Donde:

- F_L carga aerodinámica (Newtons)
- C_L coeficiente de sustentación (adimensional)
- ρ densidad del aire (kg/m^3)
- V Velocidad (m/s)
- A área frontal (m^2)

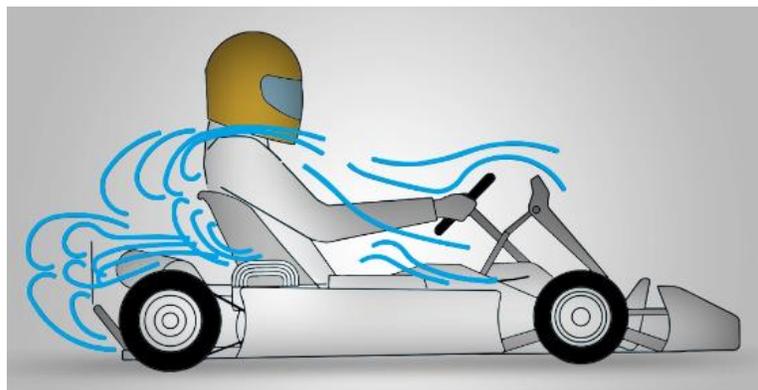
El C_L es un número adimensional que se obtiene a partir de cálculos experimentales en los túneles de viento o en las simulaciones CFD. Representa la sustentación generada por un objeto al moverse en la dirección del movimiento (Rivas Pérez, 2022).

Turbulencias y estelas:

Tu descripción es precisa. La ecuación de Bernoulli, al asumir un flujo ideal sin pérdidas de energía, no tiene en cuenta fenómenos como el desprendimiento de vena (separación del flujo de aire de la superficie) y efectos viscosos (fricción interna). En situaciones donde estos fenómenos ocurren, como en zonas de fuertes turbulencias, se experimentan pérdidas de energía que resultan en una reducción simultánea de la velocidad y la presión estática del aire, superando así los principios de la ecuación de Bernoulli (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula, 2019).

Figura 9

Visualización del comportamiento del flujo en el Kart



Nota. Adaptado de Visualización del comportamiento del flujo en el Kart, César Estaban Quiña Egas, Ricardo Andrés Sanchez Reinoso, 2022, (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022).

Las zonas de turbulencias pueden generarse detrás del piloto, detrás del spoiler frontal, detrás del radiador y alrededor de las ruedas, afectando la aplicación directa de los principios ideales de Bernoulli en esas áreas específicas. Es importante tener en cuenta estas condiciones del mundo real al analizar la aerodinámica de los karts y al diseñar componentes para optimizar el rendimiento en condiciones menos ideales (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022) (Rivas Pérez, 2022).

Figura 10

Visualización de las presiones relativas

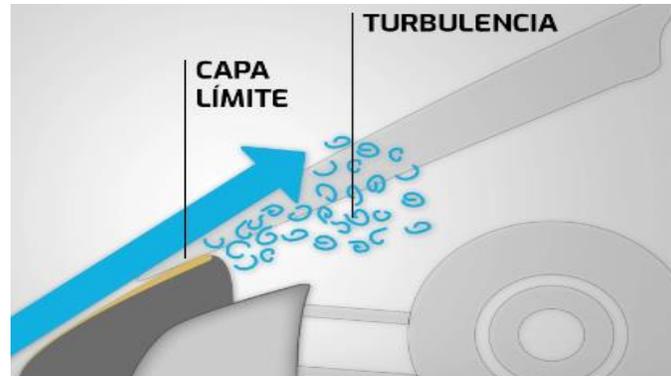


Nota. Adaptado de Visualización de las presiones relativas, César Estaban Quiña Egas, Ricardo Andrés Sánchez Reinoso, 2022, (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022)

El flujo de aire experimenta pérdida de energía cinética debido al gradiente de presión y a los efectos viscosos, en una zona de turbulencia, lo que resulta en un desplazamiento del flujo lejos de la superficie. En consecuencia, la velocidad del aire en esta región es baja, pero también es una zona de baja presión, contradiciendo el principio de Bernoulli. Las turbulencias provocan un significativo aumento en la resistencia aerodinámica, perjudicando el equilibrio aerodinámico del vehículo (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula, 2019).

Figura 11

Flujo turbulento en un kart



Nota. Adaptado de *Flujo turbulento en un kart*, César Estaban Quiña Egas, Ricardo Andrés Sánchez Reinoso, 2022, (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022)

La baja presión en la región de turbulencia es la causa principal del fenómeno de la estela, que permite que un kart que sigue a otro a cierta distancia experimente una reducción en las fuerzas de fricción aerodinámica y, por ende, sea "aspirado" hacia adelante, aumentando su velocidad con el mismo esfuerzo. La intensidad de la estela es más pronunciada a velocidades superiores a los 100 km/h y disminuye a medida que se aleja del kart delantero, eventualmente volviéndose nula. Es interesante destacar que cuando dos karts avanzan juntos, no solo hay una ventaja aerodinámica para el que sigue, sino también en menor medida para el que va delante. La presencia del kart detrás ayuda a reducir la zona de turbulencias al actuar como una extensión y aliviar el desprendimiento de la vena fluida en la parte trasera del primer kart (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022) (Rivas Pérez, 2022).

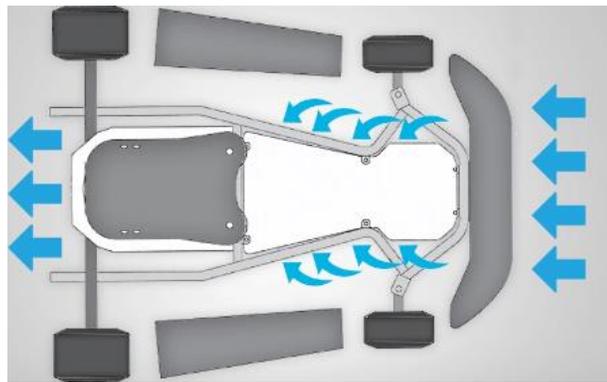
1.8 Efecto suelo generado en el kart:

Cuando el flujo de aire se acelera por debajo del chasis, se crea una presión más baja que aspira el vehículo hacia abajo, generando fuerzas de succión que mejoran la adherencia de las ruedas al suelo. Este efecto es particularmente valioso en términos de estabilidad y rendimiento en curvas, ya que ayuda a prevenir el levantamiento del kart y mejora la tracción. La salida de aire se localiza justo detrás del asiento, lo que motiva que la conformación adecuada de la parte inferior del asiento

y la inclinación correcta del piso puedan originar una especie de tubo de Venturi debajo del kart. Esto implica un estrechamiento en el paso de aire, justo debajo del asiento, seguido de un ensanchamiento en la parte posterior. Como se abordó en la primera sección del artículo, este efecto acelera el flujo de aire y reduce su presión (según el principio de Bernoulli), generando así una carga aerodinámica, es decir, una fuerza descendente, que puede alcanzar algunos kilogramos a velocidades superiores a los 100 km/h. Este fenómeno es beneficioso para mejorar la adherencia y la estabilidad del kart a altas velocidades (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022).

Figura 12

Efecto suelo en un Kart

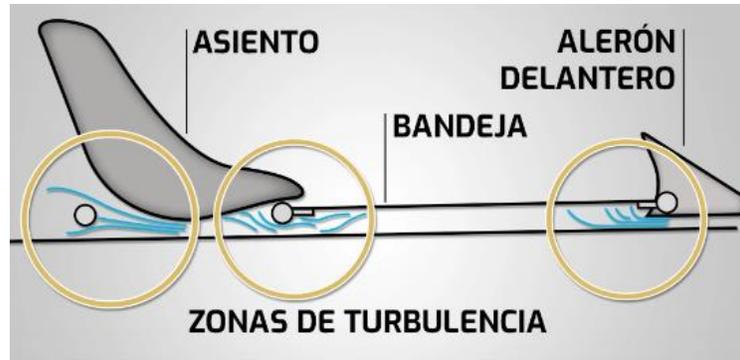


Nota. Adaptado de Efecto suelo en un Kart, César Estaban Quiña Egas, Ricardo Andrés Sánchez Reinoso, 2022, (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022)

Aunque la carga aerodinámica generada es relativamente modesta en comparación con la que podría producir un automóvil de fórmula, equipado típicamente con una canalización específica en la parte inferior del chasis y un difusor trasero para facilitar la extracción del aire y aumentar la presión en la salida del tubo Venturi, sigue siendo un efecto valioso sin desventajas significativas. Por ende, es apropiado buscar este efecto mediante medidas adecuadas.

Figura 13

Zonas turbulentas debajo del Kart

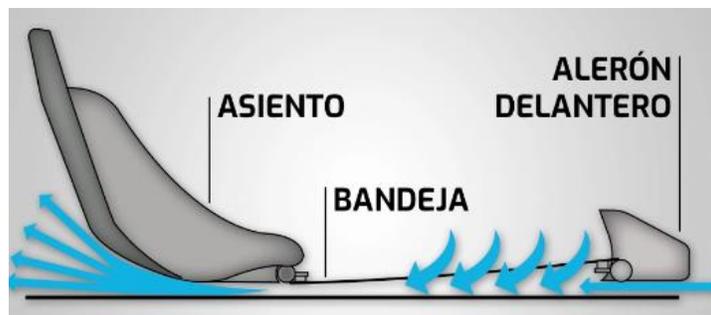


Nota. Adaptado de Zonas turbulentas debajo del Kart, César Estaban Quiña Egas, Ricardo Andrés Sánchez Reinoso, 2022, (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022)

En este contexto, es esencial lograr una alineación adecuada entre los tres componentes cercanos entre sí en la parte inferior del chasis: la parte inferior del alerón delantero, la bandeja del piso y el asiento. Cualquier desalineación entre ellos podría ocasionar bordes afilados y discontinuidades, que podrían generar turbulencias adicionales debido al desprendimiento de la vena de fluido (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022).

Figura 14

Comportamiento del flujo laminar



Nota. Adaptado de Comportamiento del flujo laminar, César Estaban Quiña Egas, Ricardo Andrés Sánchez Reinoso, 2022, (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022)

El diseño efectivo del efecto suelo implica considerar factores como la forma del chasis, la altura del mismo respecto al suelo, y otros elementos aerodinámicos específicos destinados a optimizar

la interacción entre el flujo de aire y la parte inferior del kart (Quiña Egas & Sanchez Reinoso, 2022).

1.9 Mecánica de Fluidos

Es importante conocer que existen dos tipos de flujos que se pueden encontrar en los distintos fluidos, que se denominan el flujo laminar y turbulento. Este primer concepto se caracteriza porque el flujo, sin importar que tipo de fluido, tiene unas líneas de corrientes muy suaves y su movimiento es muy ordenado. Este flujo se puede evidenciar cuando las líneas del fluido son líneas rectas y bastante suaves a bajas velocidades. Caso contrario con el flujo turbulento, el cual se caracteriza por presentar variaciones y fluctuaciones en la velocidad del fluido, así como que sus movimientos ocurren de manera desordenada. (Font Mezquita & Dols Ruiz, 2006)

Para poder determinar en qué tipo de flujo se encuentra el fluido, en este caso se trabaja con aire, es importante entender la relación establecida por Osborne Reynolds, donde expresa la razón entre las fuerzas inerciales y las fuerzas viscosas, y se evidencia en la ecuación de Reynolds:

Ecuación 6

$$Re = \frac{F.Inercia}{F.Viscosidad} = \left(\frac{\rho VL}{\mu} \right) = \frac{V * L}{\nu}$$

Donde:

- V es la velocidad del flujo (m/s)
- L es la dimensión característica o recorrida por el fluido (m)
- ρ es la densidad del fluido (kg/m^3)
- μ es la viscosidad dinámica ($Pa.S$)
- ν es la viscosidad cinemática (m^2/s)

Para identificar si un flujo es laminar o turbulento, se emplea el número de Reynolds (Re). Este número adimensional considera factores como la velocidad del fluido, la densidad y la viscosidad (Colette Mesanza, 2021).

- Si $Re < 2000$, el flujo es generalmente laminar.
- Si $Re > 4000$, el flujo es turbulento.
- Si $2000 < Re < 4000$, el flujo se encuentra en la zona de transición.

Ecuación de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli es una expresión derivada del principio de conservación de la energía aplicada a un fluido en movimiento a lo largo de una línea de corriente o conducto. Esta ecuación caracteriza el comportamiento de un fluido ideal en flujo estable, permitiendo resolver problemas relacionados con dicho flujo (Colette Mesanza, 2021).

Ecuación 7

$$P + \rho \cdot \frac{v^2}{2} = cte$$

Donde:

- P corresponde a la presión a lo largo de la línea de corriente, presión Estática P_a .
- $\rho \cdot \frac{v^2}{2}$ es el término correspondiente a la presión dinámica P_a .

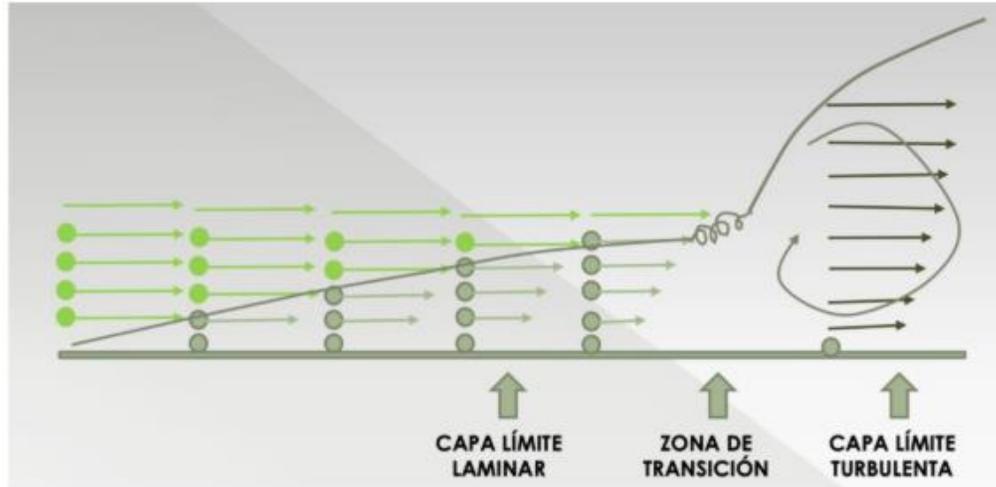
Capa límite

La capa límite se puede descomponer en dos zonas, una exterior, de flujo no viscoso, y otra más cercana a la superficie del sólido, donde se encuentra una capa de viscosidad que genera fricción sobre el sólido.

La capa límite puede ser laminar o turbulenta. En una capa límite laminar, el flujo es ordenado y genera una fuerza perpendicular a la superficie del objeto muy baja, lo que resulta en una fricción mínima entre el fluido y la superficie. En contraste, una capa límite turbulenta presenta un flujo con vórtices, lo que incrementa la fricción entre el fluido y el objeto, produciendo una fuerza perpendicular mayor.

Figura 15

Zonas de Capa Limite



Nota. Se observa el comportamiento de la fuerza perpendicular ejercida sobre una superficie, delimitando las zonas laminares y turbulentas (Colette Mesanza, 2021).

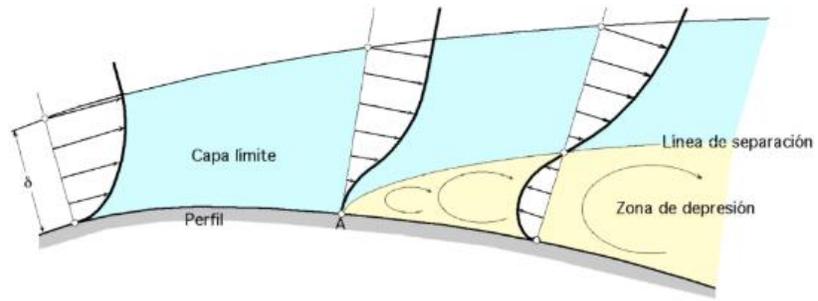
Toda capa límite comienza siendo laminar. A medida que aumenta la distancia, la capa límite se desestabiliza y puede volverse turbulenta si dispone de suficiente espacio. La transición de laminar a turbulenta ocurre en un rango de números de Reynolds entre 10^5 y 10^6 . Si la turbulencia continúa incrementándose, eventualmente se producirá un desprendimiento de la capa límite del objeto, generando una zona de baja presión conocida como "vacío de presiones". Esta depresión no es favorable a la velocidad del objeto al ejercer una fuerza de succión.

La separación de la capa límite ocurre en regiones con gradientes de presión adversos, excepto en casos de cambios bruscos de geometría. Esto se debe a que, a partir de la zona de máximo espesor, las fuerzas de presión y fricción se oponen al movimiento de las partículas, lo que puede detener e incluso invertir la dirección de las partículas más cercanas a la superficie.

Para evitar el desprendimiento de la capa límite, es crucial mantener un gradiente adverso de presión lo más moderado posible, lo que se puede lograr diseñando la forma del objeto de manera que facilite el paso del flujo, es decir, haciéndolo más aerodinámico. Para restablecer la adherencia de la capa límite, es necesario generar un gradiente de presión favorable.

Figura 16

Desprendimiento de la capa limite



Nota. Los vórtices se forman en la interfaz entre los flujos que avanzan en la dirección del movimiento y aquellos que retroceden (Colette Mesanza, 2021).

CAPITULO II

2. Desarrollo

2.1 Medidas de las Carrocerías

Las dimensiones utilizadas como base para la creación de los BodyWorks se extraen del documento de regulaciones de competición de karting (FIA, 2023). Este documento proporciona las siguientes series de homologaciones empleadas en el diseño:

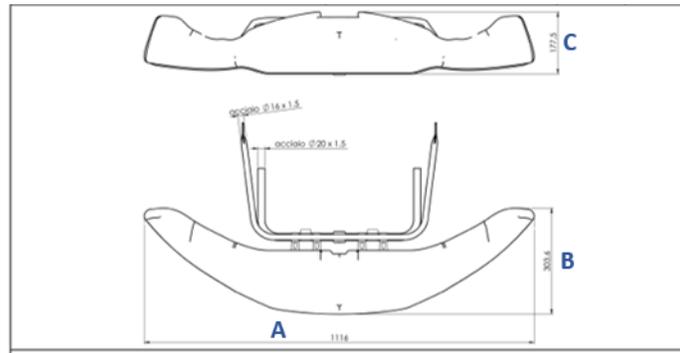
- 002-BF-37 Carenage Avant / Front Fairing / Bumper frontal inferior.
- 002-BP-11 Panneau frontal / Front panel / Bumper frontal superior.
- 002-BS-85 Carrosserie laterale / Side bodywork / Bumpers laterals.

2.1.1 BodyWorks frontal inferior

Se realiza el diseño de la carrocería delantera inferior, tomando en cuenta las medidas que presenta la normativa de la FIA, respetando las medidas que son, de largo de 1200 *mm*, de ancho de 400 *mm* y alto de 250 *mm* (FIA, 2023). Utilizando el software CAD Autodesk Inventor, se crea un modelo detallado del bumper frontal inferior. Este proceso comienza con la elaboración de bocetos precisos que representan las secciones transversales y las curvas del diseño, para asegurar que las medidas y las proporciones estén alineadas con los requisitos reglamentarios. Posteriormente, se emplean herramientas avanzadas de modelado en Inventor para transformar estos bocetos en un sólido 3D, permitiendo una visualización completa del bumper. Este enfoque no solo garantiza la conformidad con las normativas, sino que también optimiza el diseño para mejorar el rendimiento aerodinámico del kart, asegurando una reducción eficaz de la resistencia al aire y una mayor estabilidad en pista. Finalmente, se selecciona el material a emplear en la fabricación de los BodyWorks, optando por el políácido láctico (PLA) (DomoDesk, 2024). Además, su alta resistencia mecánica y térmica garantiza que las carrocerías mantendrán su integridad estructural bajo las exigentes condiciones de competición. Con estas propiedades, este material es escogido debido a su ligereza y facilidad de maleabilidad, lo que permite alcanzar con precisión el diseño final propuesto, a su vez que también contribuye a mejorar el rendimiento aerodinámico del kart al proporcionar una superficie suave y optimizada para el flujo de aire.

Figura 17

Homologación 002-BF-37 Bumper frontal inferior:



Nota. Adaptado de Regulación Técnica, Federación Internacional de Automovilismo, 2023 (FIA, 2023)

En la figura 17 se lleva a cabo una codificación, con letras, para visualizar en una tabla las medidas de la carrocería frontal inferior. Este proceso implica la recopilación y organización de los datos de diseño, seguidos de su presentación en un formato tabular claro y comprensible. A continuación, se presenta la tabulación de la tabla:

Tabla 3

Medidas de la carrocería delantera inferior

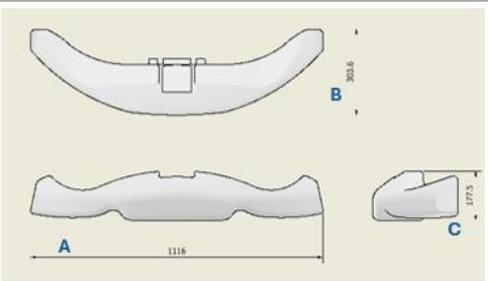
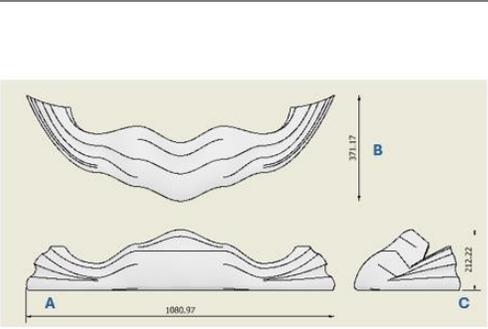
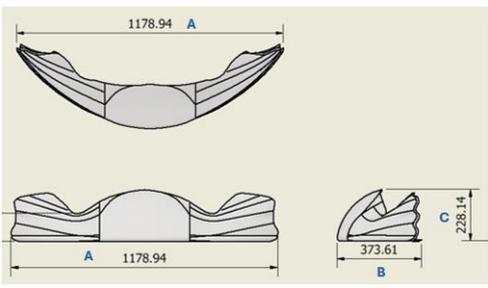
A: Largo	1116 mm
B: Ancho	303.6 mm
C: Alto	177.5 mm

Nota. Esta tabla clasifica las dimensiones del bumper delantero inferior. Tomado de CIK-FIA Karting Technical Regulations (p.6 - 7), por FIA, 2023.

Se elabora una tabla con las acotaciones de las carrocerías diseñadas en Autodesk Inventor, definiendo las cotas de medición según las restricciones del documento de la FIA, las cuales incluyen las dimensiones de largo, alto y ancho. Posteriormente, se realiza una tabla de comparación entre estas medidas, con el propósito de calcular el porcentaje de cambio entre los tres BodyWorks.

Tabla 4

Diseño de BodyWorks frontal inferior

Nombre	Acotaciones del Bumper Frontal Inferior	Descripción
BodyWork Homologado	 <p data-bbox="532 779 800 877"> A-Largo: 1116 mm B-Ancho: 303.6 mm C-Alto: 177.5 mm </p>	<p>Primero realizamos el diseño de la carrocería homologada, siguiendo las dimensiones establecidas en el documento de la FIA (FIA, 2023).</p>
Prototipo BodyWorks 1	 <p data-bbox="521 1255 813 1360"> A-Largo: 1080.97 mm B-Ancho: 371.17 mm C-Alto: 212.22 mm </p>	<p>Se desarrolla un prototipo inicial en el software Autodesk Inventor, reducción el largo de la carrocería para obtener una disminución en el área frontal, utilizando la herramienta de solevación, donde se necesita crear un boceto que represente las secciones transversales de la solevación, lo que permite una mayor precisión y detalle en el modelo final. En la figura de las acotaciones, se definen las medidas predeterminadas por la normativa, con las siguientes especificaciones: el largo está indicado con la letra A, el ancho con la letra B y el alto con la letra C.</p>
Prototipo BodyWorks 2	 <p data-bbox="521 1766 813 1871"> A-Largo: 1178.94 mm B-Ancho: 373.61 mm C-Alto: 228.14 mm </p>	<p>Se desarrolla un segundo prototipo, aumentando el área frontal para mejorar el rendimiento del kart, aplicando la herramienta de solevación del software Autodesk Inventor para la creación de este bumper frontal inferior, diseñando planos que, en la ficha de transición, los puntos de asignación, raíles, ejes y vértices de sección determinan cómo los segmentos de una sección se corresponden con los segmentos de la sección anterior y posterior. En la figura</p>

de las acotaciones, se definen las medidas predeterminadas por la normativa, con las siguientes especificaciones: el largo está indicado con la letra A, el ancho con la letra B y el alto con la letra C.

Nota. Esta tabla describe las diferencias entre los tres BodyWorks, diseñado en el software CAD Autodesk Inventor. Realizado por: Autores.

Se realiza una tabla donde se muestran las dimensiones de los tres BodyWorks diseñados con el software CAD Autodesk Inventor. Se calcula el porcentaje de diferencia en tamaño, donde se puede evidenciar que entre el bumper homologado y el prototipo 1 hay una disminución de longitud del 3.14%, reduciendo el área frontal. Por otro lado, entre el bumper homologado y el prototipo 2 se observa un aumento de longitud del 5.64%, incrementando el área frontal para cubrir los neumáticos y reducir el flujo turbulento. A su vez, las dimensiones de ancho y alto de los prototipos 1 y 2 presentan un aumento de más del 20% en comparación con la carrocería homologada, este incremento está destinado a mejorar la disipación del flujo de aire al interactuar con la carrocería, siguiendo las diversas regulaciones definidas en la investigación y cumpliendo con las normativas de homologación de las carrocerías de karting.

Tabla 5

Comparación entre las mediciones de los BodyWorks

	A - Largo	B - Ancho	C - Alto	Unidad
Homóloga	1116	303,6	177,5	mm
Prototipo 1	1080,97	371,17	212,22	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	-3.14%	22,26%	19,56%	
Homóloga	1116	303,6	177,5	mm
Prototipo 2	1178,94	373,61	228,14	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	5,64%	23,06%	28,53%	
Prototipo 1	1080,97	371,17	212,22	mm
Prototipo 2	1178,94	373,61	228,14	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	9,06%	0,66%	7,50%	

Promedio	1125,30	349,46	205,95	mm
-----------------	---------	--------	--------	----

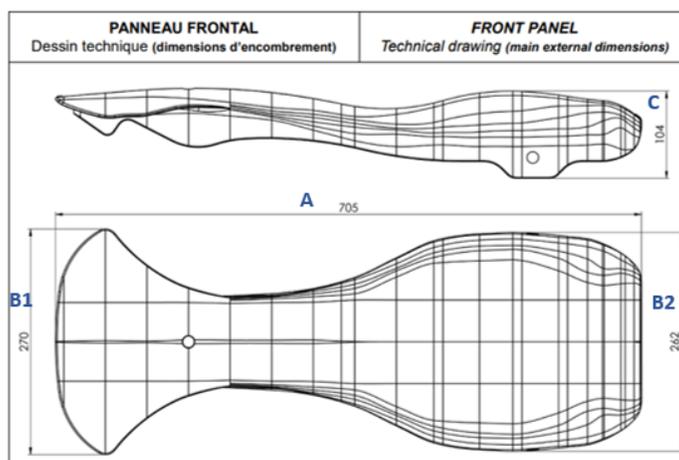
Nota. Esta tabla muestra las dimensiones de los tres BodyWorks diseñados con el software CAD Autodesk Inventor, Realizado por: Autores.

2.1.2 BodyWorks frontal superior

Se realiza el diseño de la carrocería frontal superior, tomando en cuenta las dimensiones establecidas en el documento de la FIA (FIA, 2023) y respetando las medidas máximas exigidas por la normativa. El diseño del bumper frontal superior se realiza en el software Autodesk Inventor.

Figura 18

Homologación: 002-BP-11 Bumper frontal superior.



Nota. Adaptado de Regulación Técnica, Federación Internacional de Automovilismo, 2023 (FIA, 2023)

En la figura 18 se lleva a cabo una codificación, con letras, para visualizar en una tabla las medidas de la carrocería frontal inferior. A diferencia del BodyWork frontal inferior, esta carrocería presenta una medida que se divide en dos secciones que es el ancho de la carrocería. A continuación, se presenta la tabulación de la tabla:

Tabla 6

Medidas de la carrocería delantera

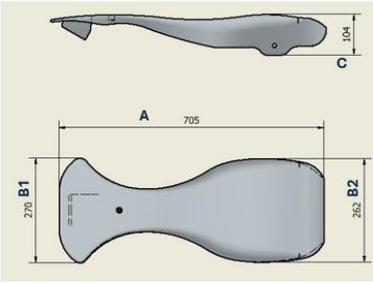
A: Largo	705 mm
B1: Ancho Inferior	270 mm
B2: Ancho Superior	262 mm
C: Alto	104 mm

Nota. Esta tabla clasifica las dimensiones del bumper delantero superior. Tomado de CIK-FIA Karting Technical Regulations (p.6 - 7), por FIA, 2023.

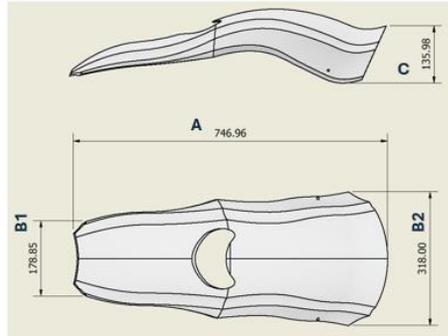
Se elabora una tabla con las acotaciones de las carrocerías diseñadas en Autodesk Inventor, definiendo las cotas de medición según las restricciones del documento de la FIA, las cuales incluyen las dimensiones de largo, alto y ancho. Posteriormente, se realiza una tabla de comparación entre estas medidas, con el propósito de calcular el porcentaje de cambio entre los tres BodyWorks.

Tabla 7

Diseño de BodyWorks frontal superior

Nombre	Acotaciones del Bumper Frontal Inferior	Descripción
BodyWork Homologado	 <p>A-Largo: 705 mm B1-Ancho: 270 mm B2-Ancho: 262 mm C-Alto: 104 mm</p>	Primero realizamos el diseño de la carrocería homologada, siguiendo las dimensiones establecidas en el documento de la FIA (FIA, 2023).

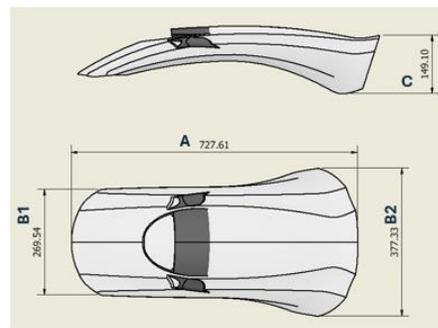
Prototipo
BodyWorks 1



A-Largo: 746.96 mm
B1-Ancho: 178.85 mm
B2-Ancho: 318 mm
C-Alto: 135.98 mm

Se realiza un primer diseño nombrado Prototipo BodyWorks 1, en el cual se rediseña el bumper frontal superior. Este rediseño incluye una curvatura que inicia desde la mitad de la carrocería, siguiendo la trayectoria del flujo de aire, desde la parte inferior hasta la parte superior del kart. La curvatura está diseñada para redireccionar el flujo de aire, evitando turbulencias y asegurando que el flujo se mantenga laminar. Esta optimización en el diseño del bumper frontal superior tiene como objetivo minimizar la pérdida de rendimiento aerodinámico del kart, mejorando su eficiencia en pista y contribuyendo a un mejor desempeño general. En la figura de las acotaciones, se definen las medidas predeterminadas por la normativa, con las siguientes especificaciones: el largo está indicado con la letra A, el ancho inferior con la letra B1, el ancho superior B2 y el alto con la letra C.

Prototipo
BodyWorks 2



A-Largo: 727.61 mm
B1-Ancho: 373.61 mm
B2-Ancho: 377.33 mm
C-Alto: 149.10 mm

Se desarrolla un segundo prototipo, realizando un cambio en la curvatura de inclinación y a su vez aplicado una reducción material sin que pierda propiedades físicas en su construcción, se agregan tres tomas de aire en la parte media de la carrocería con el fin de reducir la presión que se ejerce al chocar el aire con la carrocería, con el objetivo de mejorar el rendimiento del kart. En la figura de las acotaciones, se definen las medidas predeterminadas por la normativa, con las siguientes especificaciones: el largo está indicado con la letra A, el ancho inferior con la letra B1, el ancho superior B2 y el alto con la letra C.

Nota. Esta tabla describe las diferencias entre los tres BodyWorks, diseñado en el software

CAD Autodesk Inventor, Realizado por: Autores.

La siguiente tabla muestra las dimensiones de los tres BodyWorks frontal superior, diseñados con el software CAD Autodesk Inventor. Al comparar estas dimensiones, se calcula el porcentaje de diferencia en tamaño, observándose que las dimensiones de largo entre la carrocería homologada y los dos prototipos presentan un aumento superior al 3%, esto tiene como objetivo mejorar la disipación del flujo de aire a lo largo del BodyWork. Por otro lado, el ancho inferior de la carrocería entre la homologada y el prototipo 1 disminuye un 33.76%, en contraste, entre la carrocería homologada y el prototipo 2, la disminución es de un 0.17%, esta reducción se enfoca en disminuir el área de contacto en la parte baja de la carrocería delantera inferior. Por último, las dimensiones de ancho superior y altura presentan un aumento del 20%, con un diseño en la parte superior que cubre la mayor parte del torso del piloto, reduciendo así el flujo turbulento generado al impactar con el piloto. Todos estos cambios, cumplen con las diversas regulaciones definidas en la investigación y cumpliendo con las normativas de homologación de las carrocerías de karting.

Tabla 8

Comparación entre las mediciones de los BodyWorks

	Largo	Ancho Inferior	Ancho Superior	Alto	Unidad
Homóloga	705	270	262	104	mm
Prototipo 1	746.96	178.85	318	135.98	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	5.95%	-33.76%	21.37%	30.75%	
Homóloga	705	270	262	104	mm
Prototipo 2	727.61	269.54	377.33	149.10	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	3.21%	-0.17%	44.02%	43.37%	
Prototipo 1	746.96	178.85	318	135.98	mm
Prototipo 2	727.61	269.54	377.33	149.10	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	-2.59%	50.71%	18.66%	9.65%	
Promedio	680.99	223.86	319.11	129.69	mm

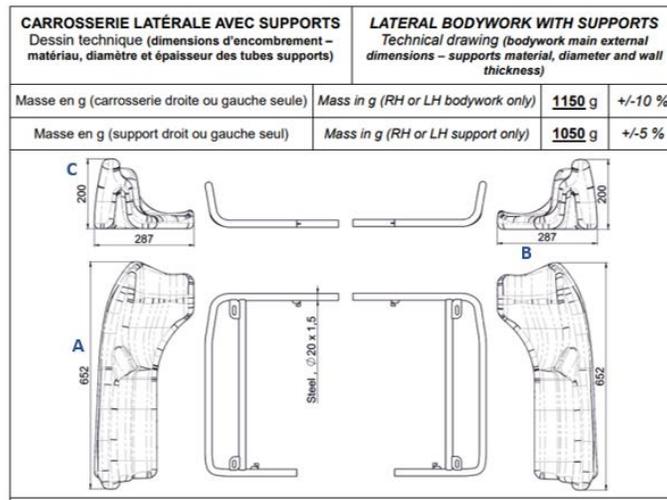
Nota. En esta tabla se muestra las medidas de los bumpers delanteros superiores de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

2.1.3 BodyWorks laterales

El diseño de las carrocerías laterales se lleva a cabo considerando las dimensiones especificadas en la normativa de la FIA. Es fundamental que estas medidas se adhieran estrictamente a las máximas permitidas por la normativa que son, de largo de 660 mm, de ancho de 287 mm y alto de 230 mm (FIA, 2023). Para este proyecto, se elaboran tres diseños diferentes de bumpers laterales. Cada diseño tiene como objetivo principal mejorar el rendimiento del kart, una tarea que requiere precisión y atención al detalle para cumplir con los requisitos normativos y, al mismo tiempo, optimizar la aerodinámica y la eficiencia del vehículo.

Figura 19

Homologación: *Bumpers laterales.*



Nota. Adaptado de Regulación Técnica, Federación Internacional de Automovilismo, 2023 (FIA, 2023)

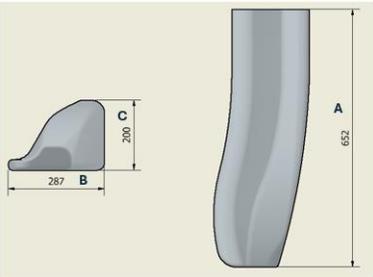
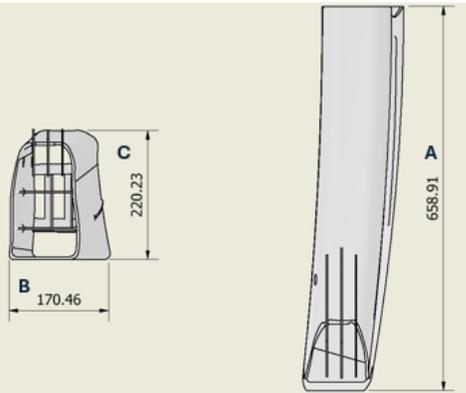
En la figura 19 se lleva a cabo una codificación, con letras, para visualizar en una tabla las medidas de la carrocería frontal inferior. Este proceso implica la recopilación y organización de los datos de diseño, seguidos de su presentación en un formato tabular claro y comprensible. A continuación, se presenta la tabulación de la tabla:

- A – Esta letra especifica el largo de la carrocería.
- B – Esta letra especifica el ancho de la carrocería.
- C – Esta letra especifica la altura de la carrocería.

Se elabora una tabla con las acotaciones de las carrocerías diseñadas en Autodesk Inventor, definiendo las cotas de medición según las restricciones del documento de la FIA, las cuales incluyen las dimensiones de largo, alto y ancho. Posteriormente, se realiza una tabla de comparación entre estas medidas, con el propósito de calcular el porcentaje de cambio entre los tres BodyWorks.

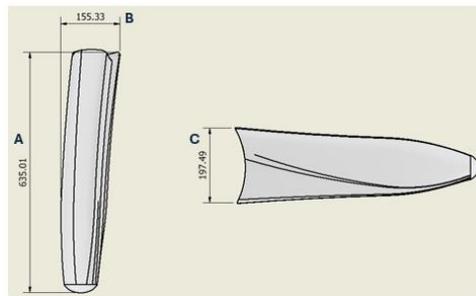
Tabla 9

Diseño de BodyWorks laterales

Nombre	Acotaciones del Bumper Frontal Inferior	Descripción
BodyWork Homologado	 <p data-bbox="548 1220 787 1318">A-Largo: 652 mm B-Ancho: 287 mm C-Alto: 200 mm</p>	<p>El primer diseño se enfoca en las carrocerías laterales homologadas, asegurando que se ajusten a las dimensiones especificadas en la normativa de la FIA. Este proceso comienza con la creación del modelo en un software CAD, donde se definen meticulosamente las medidas para cumplir con la normativa vigente.</p>
Prototipo BodyWorks 1	 <p data-bbox="527 1770 808 1869">A-Largo: 658.91 mm B-Ancho: 170.46 mm C-Alto: 220.23 mm</p>	<p>El segundo diseño, nombrado Prototipo BodyWorks 1, cambiando la estructura del bumper lateral, incorporando entradas de aire y aletas internas para transformar el flujo de aire de turbulento a laminar, además de añadir aletas externas que redireccionan el flujo, siguiendo las diversas regulaciones definidas en la investigación y cumpliendo con las normativas de homologación de las carrocerías de karting. En la figura de las acotaciones, se definen las medidas predeterminadas por la normativa, con las siguientes especificaciones: el largo está indicado</p>

con la letra A, el ancho con la letra B y el alto con la letra C.

Prototipo
BodyWorks 2



A-Largo: 635.01 mm
B-Ancho: 155.33 mm
C-Alto: 197.49 mm

El tercer diseño, nombrado Prototipo BodyWorks 2, realiza otro cambio de estructura para obtener una disminución de área de contacto, a su vez se diseña una cavidad en la parte inferior para redireccionar el flujo a la parte interna del kart, a su vez se invierte la curvatura que presenta el prototipo 1, redireccionando el flujo hacia afuera del kart, siguiendo las diversas regulaciones definidas en la investigación y cumpliendo con las normativas de homologación de las carrocerías de karting. En la figura de las acotaciones, se definen las medidas predeterminadas por la normativa, con las siguientes especificaciones: el largo está indicado con la letra A, el ancho con la letra B y el alto con la letra C.

Nota. Esta tabla describe las diferencias entre los tres BodyWorks, diseñado en el software CAD Autodesk Inventor, Realizado por: Autores.

En la siguiente tabla presenta las dimensiones de los tres BodyWorks diseñados utilizando el software CAD Autodesk Inventor. Al analizar y comparar estas dimensiones, se ha calculado el porcentaje de diferencia en tamaño entre los distintos bumpers. Los resultados muestran una notable reducción de tamaño entre los tres bumpers, entre el bumper homologado y el prototipo 1 existe un aumento del 1.06% de largo, el objetivo es reducir la separación entre las ruedas y el bumper, con el fin de minimizar el flujo turbulento generado por los neumáticos; por otro lado, entre la homologada y el prototipo 2 existe una disminución del 2.61% de largo, pero el prototipo 2 presenta una curvatura que ayuda a redireccionar el flujo hacia afuera de las ruedas posteriores, evitando que se acumule un flujo turbulento en la parte de atrás del kart. Entre el BodyWork homologado y el prototipo 1 y 2, existe una reducción de más de 40% de ancho, lo cual es una

estrategia intencionada para minimizar el área de contacto. Esta reducción del área de contacto es crucial, ya que está destinada a disminuir el flujo turbulento que se genera entre las ruedas delanteras y posteriores. Por último, el prototipo 1 a comparación con la carrocería homologada presenta un aumento del 10.12% de alto, lo que se busca es cubrir el área de contacto de los neumáticos posteriores, por otro lado entre el homologado y el prototipo 2 existe una disminución mínima del 1.26%, donde se busca optimizar el flujo que se traslada entre las ruedas delanteras hasta las traseras.

Tabla 10

Comparación entre las mediciones de los BodyWorks

	Largo	Ancho	Alto	Unidad
Homóloga	652	287	200	mm
Prototipo 1	658.91	170.46	220.23	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	1.06%	-40.61%	10.12%	
Homóloga	652	287	200	mm
Prototipo 2	635.01	155.33	197.49	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	-2.61%	-45.88%	-1.26%	
Prototipo 1	658.91	170.46	220.23	mm
Prototipo 2	635.01	155.33	197.49	mm
Porcentaje de diferenciación de tamaño	-3.63%	-8.88%	-10.33%	
Promedio	648,64	204,26	205,91	mm

Nota. En esta tabla se muestra las medidas de los bumpers laterales de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

2.2 Estudios Aerodinámicos

Para realizar un estudio aerodinámico, es esencial seguir una serie de pasos y considerar diversos parámetros clave que afectan el rendimiento del objeto en cuestión. A continuación, se detallan los pasos y los parámetros importantes:

- Determinar las condiciones de flujo de aire bajo las cuales se realizará el estudio, como la velocidad del viento, la densidad del aire y las condiciones de temperatura.

Tabla 11

Parámetros climáticos

Descripción	Valor
Velocidad del fluido (aire)	100 km/h
Temperatura	28 °C
Densidad del fluido (aire)	1.171 kg/m ³

Nota. En esta tabla se presentan los parámetros de las condiciones climáticas que se encuentran a nivel del mar. Realizado por: Autores.

Los resultados del estudio aerodinámico que deben considerarse para evaluar los cambios entre un diseño inicial y una mejora son múltiples y detallados. Primero, se analizan las diferencias en el coeficiente de arrastre (C_d) para determinar la eficiencia aerodinámica del diseño optimizado en comparación con el original. Además, se evalúa la distribución de presión a lo largo de la superficie del objeto, identificando áreas de alta y baja presión que impactan en la estabilidad y el rendimiento. Otro factor crucial es el flujo de aire y las líneas de corriente, que revelan cómo el diseño modificado redirige el aire para minimizar la turbulencia y maximizar la eficiencia. Finalmente, se consideran las fuerzas y momentos aerodinámicos generados, asegurando que el nuevo diseño mejora no solo la velocidad y eficiencia sino también la estabilidad y el control del objeto.

Tabla 12

Parámetros por considerar en un estudio aerodinámico

Parámetro	Descripción
Numero de Reynolds (Re)	Un parámetro adimensional que indica si el flujo es laminar o turbulento. Depende de la velocidad del fluido, la densidad, la viscosidad y la dimensión característica del objeto.
Coefficiente de sustentación (C_l)	Relaciona la fuerza de sustentación generada por el objeto con la densidad del fluido y la velocidad del flujo. Es crucial para objetos como alas de aviones y perfiles aerodinámicos.
Distribución de presión	Muestra cómo varía la presión alrededor del objeto, lo que ayuda a identificar áreas de alta

	y baja presión que afectan la estabilidad y el rendimiento.
Flujo de aire y líneas de corriente	Visualizan la dirección y la velocidad del flujo de aire alrededor del objeto. Las líneas de corriente ayudan a identificar patrones de flujo turbulento y separación del flujo.
Fuerzas aerodinámicas	Incluyen la fuerza de arrastre, la fuerza de sustentación y las fuerzas laterales. Estas fuerzas determinan cómo el objeto interactúa con el flujo de aire.

Nota. En esta tabla se presentan los resultados de los estudios aerodinámicos, Adaptado de (Mesa Arango, Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula, 2019).

2.2.1 Estudio Aerodinámico del BodyWorks Homologado

Se realiza una zona de ponderación, esta zona en un estudio aerodinámico se refiere a las áreas específicas del objeto bajo análisis donde se presta especial atención durante la evaluación y optimización. Estas zonas son cruciales porque tienen un impacto significativo en el rendimiento aerodinámico global. Se define la zona de ponderación a lo largo del kart, en este caso la medida de la zona de ponderación es la siguiente:

Tabla 13

Medidas de la zona de ponderación

Descripción	Valor
Largo	5.93 m
Ancho	4.28 m
Altura	3.03 m

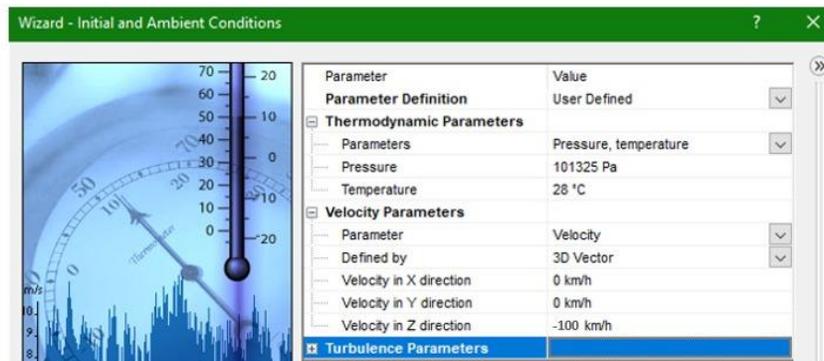
Nota. En esta tabla se presentan las medidas de la zona de ponderación que se utilizara en todos los análisis aerodinámicos, Realizado por: Autores.

A su vez, para la realización del estudio aerodinámico, se elabora un mallado con un refinamiento de 6.5. Esto permite obtener resultados más cercanos a la realidad, reduciendo el margen de error entre el análisis teórico y el análisis experimental a menos del 5%. El refinamiento del mallado es crucial para mejorar la precisión de las simulaciones, asegurando que los datos obtenidos sean más fiables y representativos de las condiciones reales de operación del kart. Con un margen de error reducido, se pueden realizar ajustes más precisos en el diseño, optimizando el rendimiento

aerodinámico y la competitividad del kart en pista. Se realiza un primer estudio a la carrocería homologada que nos proporciona los documentos de la FIA, definiendo los parámetros iniciales que son la velocidad del fluido, la temperatura ambiente, la densidad del fluido y la presión atmosférica, para empezar con el estudio.

Figura 20

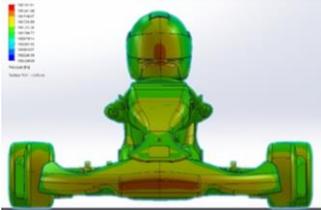
Definición de parámetros ambientales

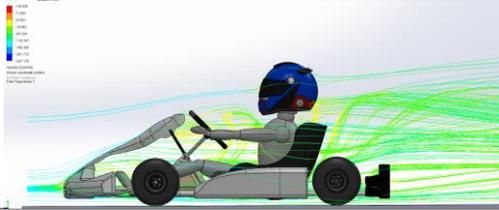


Nota. Se establecen los parámetros iniciales, especificando que la velocidad del aire se orientará a lo largo del eje Z en dirección negativa, Realizado por: Autores.

Tabla 14

Estudio aerodinámico del kart Homologado

Imágenes del estudio aerodinámico	Descripción
	Primero se diseña la zona de ponderación, en esta zona se va a visualizar el estudio aerodinámico.
	Se aprecia la distribución de las presiones en la carrocería, donde existe un aumento de presión en los neumáticos, esto causa una acumulación del flujo turbulento.



Se visualiza como se comporta el flujo a lo largo del kart, donde se presenta turbulencia en la parte delantera y posterior del kart.

Nota. En esta tabla se presentan el comportamiento del aire al realizar el estudio aerodinámico a una velocidad de 100 km/h, Realizado por: Autores.

Se definen los resultados que queremos obtener para la realización de la formula de la fuerza de aerodinámica, para poder visualizar el coeficiente de sustentación y coeficiente de arrastre que nos genera la carroceria. Los parametros son los sigueintes:

- Presión Estática
- Presión Total
- Velocidad maxima sobre el eje Z
- Fuerza de sustentación
- Fuerza de arrastre
- Presión Dinámica

Tabla 15

Resultados del estudio aerodinámico del BodyWorks Homologado

Nombre	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Presión Estática	kPa	101,32478	101,32475	101,32469	101,32479
Presión Total	kPa	101,756	101,7559	101,7554	101,7562
Velocidad (z)	km/h	95,9996	95,975	95,9356	96,008
Fuerza de arrastre (z)	N	125,6566	125,8707	124,4834	128,1232
Fuerza de sustentación (y)	N	-125,428	-125,603	-124,155	-127,9237
Presión Dinámica	Pa	742.622	742.428	741.909	743.045

Nota. Esta tabla muestra los valores obtenidos de la simulación realizada en el software

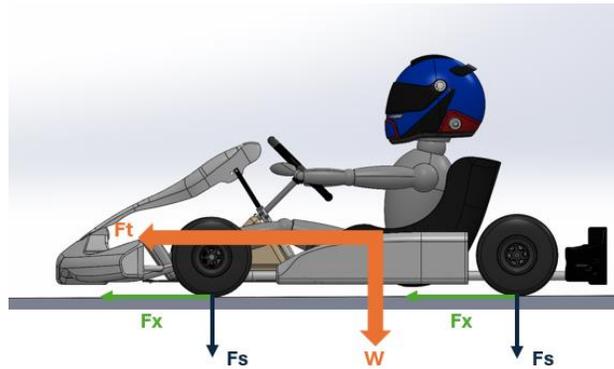
SolidWorks, Autores

Se elabora un diagrama de cuerpo libre para visualizar las fuerzas que actúan sobre el kart durante el estudio aerodinámico. Este diagrama permite identificar y analizar las diferentes fuerzas, tales como la fuerza de sustentación, la fuerza de arrastre y el peso del vehículo. Al representar estas

fuerzas, se facilita la comprensión de cómo influyen en el rendimiento del kart, permitiendo optimizar su diseño y mejorar su eficiencia aerodinámica.

Figura 21

Diagrama del cuerpo libre del kart



Nota. En el diagrama se aprecian las fuerzas que influyen en el kart en el estudio aerodinámico,

Autores

2.2.2 Estudio Aerodinámico del Prototipo BodyWorks 1

Se realiza el estudio del kart prototipo 1 con los cambios realizados en las tres carrocerías del kart, definiendo los parámetros iniciales que son la velocidad del fluido, la temperatura ambiente, la densidad del fluido y la presión atmosférica, para empezar con el estudio.

Tabla 16

Parámetros climáticos iniciales

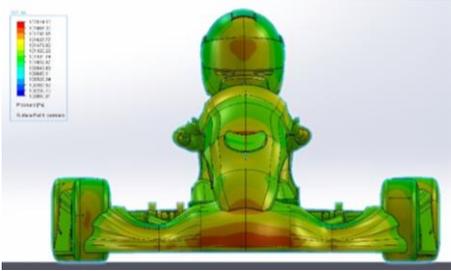
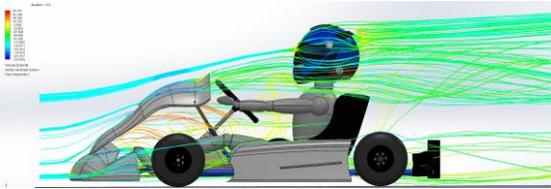
Descripción	Valor
Velocidad del fluido (aire)	100 km/h
Temperatura	28 °C
Densidad del fluido (aire)	1.171 kg/m ³
Presión Atmosférica	101.325 kPa

Nota. En esta tabla se presentan los parámetros de las condiciones climáticas que se encuentran

en la ciudad de Guayaquil, Realizado por: Autores.

Tabla 17

Estudio aerodinámico del kart Prototipo 1

Imágenes del estudio aerodinámico	Descripción
	Primero se diseña la zona de ponderación, en esta zona se va a visualizar el estudio aerodinámico.
	Se aprecia la distribución de las presiones en la carrocería, observándose una distribución más equilibrada a lo largo del kart. Esta uniformidad en la distribución de las presiones reduce las zonas de alta turbulencia y las fuerzas desequilibradas que pueden afectar la estabilidad del vehículo. Como resultado, el kart logra un mejor rendimiento aerodinámico, optimizando la eficiencia y permitiendo una mayor velocidad y control durante su funcionamiento.
	Se visualiza el comportamiento del flujo de aire a lo largo del kart, observándose una disminución del flujo turbulento en la parte posterior. Esta reducción de la turbulencia es crucial, ya que contribuye a una mejor adherencia en las curvas de la pista. Al minimizar el flujo turbulento, se reduce la resistencia aerodinámica y se mejora la estabilidad del kart, permitiendo una mayor tracción y control en las curvas.

Nota. En esta tabla se presentan el comportamiento del aire al realizar el estudio aerodinámico a una velocidad de 100 *km/h*, Realizado por: Autores.

Se establecen los resultados obtenidos para aplicar la fórmulas de la fuerza aerodinámica, con el objetivo de calcular el coeficiente de sustentación y coeficiente de arrastre producido por la carrocería. Los parámetros son los siguientes:

Tabla 18*Resultados del estudio aerodinámico del Prototipo BodyWorks 1*

Nombre	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Presión Estática	<i>kPa</i>	101,32427	101,32426	101,32422	101,32431
Presión Total	<i>kPa</i>	101,7634	101,76359	101,7633	101,76402
Velocidad (z)	<i>km/h</i>	97,005	97,0261	96,999	97,075
Fuerza de arrastre (z)	<i>N</i>	141,996	141,154	138,997	142,358
Fuerza de sustentación (y)	<i>N</i>	-141,892	-141,054	-138,86	-142,264
Presión Dinámica	<i>Pa</i>	764.627	764.693	763.979	765.11

Nota. Esta tabla muestra los valores obtenidos de la simulación realizada en el software

SolidWorks, Realizado por: Autores.

2.2.3 Estudio Aerodinámico del Prototipo BodyWorks 2

Se realiza el estudio del kart prototipo 2 con los cambios realizados en las tres carrocerías del kart, definiendo los parámetros iniciales necesarios para iniciar el análisis. Estos parámetros incluyen la velocidad del fluido, la temperatura ambiente, la densidad del fluido y la presión atmosférica. Estos valores iniciales son esenciales para establecer un entorno de referencia preciso y reproducible para el estudio aerodinámico. Al configurar estos parámetros, se garantiza que las simulaciones y pruebas proporcionen datos confiables y relevantes, permitiendo evaluar el rendimiento y la eficiencia de las diferentes carrocerías del kart bajo condiciones controladas.

Tabla 19*Parámetros climáticos iniciales*

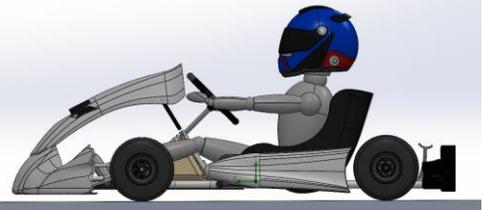
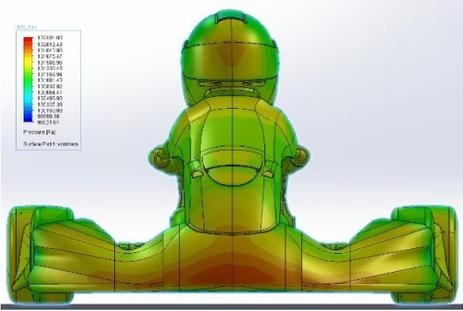
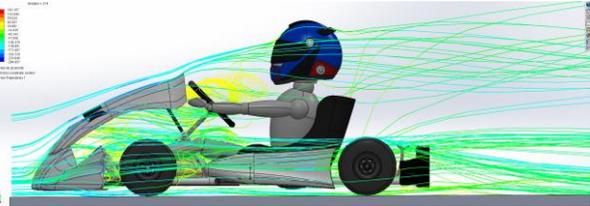
Descripción	Valor
Velocidad del fluido (aire)	100 <i>km/h</i>
Temperatura	28 °C
Densidad del fluido (aire)	1.171 <i>kg/m³</i>
Presión Atmosférica	101.325 <i>kPa</i>

Nota. En esta tabla se presentan los parámetros de las condiciones climáticas que se encuentran

en la ciudad de Guayaquil, Realizado por: Autores.

Tabla 20

Estudio aerodinámico del kart Prototipo 2

Imágenes del estudio aerodinámico	Descripción
	<p>Primero se diseña la zona de ponderación, en esta zona se va a visualizar el estudio aerodinámico.</p>
	<p>Se aprecia la distribución de las presiones en la carrocería, observándose una acumulación de presión en la parte media de la carrocería frontal inferior, que se distribuye a lo largo del bumper frontal. A su vez, se reduce la presión en los neumáticos, lo que garantiza una disminución del flujo turbulento. La reducción del flujo turbulento alrededor de los neumáticos también contribuye a una menor resistencia aerodinámica, favoreciendo una mayor velocidad y mejor manejo en las curvas.</p>
	<p>Se visualiza el comportamiento del flujo de aire a lo largo del kart, donde se puede observar que el flujo que viene de la parte inferior del kart se redirecciona hacia la parte superior del casco del piloto. A su vez, el aire que pasa alrededor del kart se vuelve más lineal, ya que el área frontal del kart cubre en gran medida al piloto. Esta redirección y linealidad del flujo de aire contribuyen a una mejora en la aerodinámica del vehículo, reduciendo las turbulencias y la resistencia al avance. Además, al proteger al piloto del impacto directo del flujo de aire, se optimiza la estabilidad y el control del kart, proporcionando un rendimiento más eficiente y consistente en la pista.</p>

Nota. En esta tabla se presentan el comportamiento del aire al realizar el estudio aerodinámico

a una velocidad de 100 *km/h*, Realizado por: Autores.

Se establecen los resultados obtenidos para aplicar la fórmulas de la fuerza aerodinámica, con el objetivo de calcular el coeficiente de sustentación y coeficiente de arrastre producido por la carrocería. Los parámetros son los siguientes:

Tabla 21*Resultados del estudio aerodinámico del Prototipo BodyWorks 2*

Nombre	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Presión Estática	<i>kPa</i>	101,32363	101,32363	101,32361	101,32365
Presión Total	<i>kPa</i>	101,7655	101,7654	101,7653	101,76557
Velocidad (z)	<i>km/h</i>	97,274	97,2715	97,2566	97,2842
Fuerza de arrastre (z)	<i>N</i>	171,6898	171,388	170,2564	172,7424
Fuerza de sustentación (y)	<i>N</i>	-171,5329	-171,2758	-170,107	-172,609
Presión Dinámica	<i>Pa</i>	764.627	764.693	763.979	765.11

Nota. Esta tabla muestra los valores obtenidos de la simulación realizada en el software

SolidWorks, Realizado por: Autores

2.2.4 Coeficientes Aerodinámicos

Con los resultados obtenidos, se realiza la fórmula de los coeficientes aerodinámicos, para obtener el coeficiente de arrastre, donde se busca encontrar un menor valor del coeficiente, para obtener una mayor velocidad en recta.

Ecuación 8

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

Tabla 22

Datos para la obtención del coeficiente de arrastre

Kart Homologado	Kart Prototipo 1	Kart Prototipo 2
$F_{xh} = 125.6566 \text{ N}$	$F_{x1} = 141.996 \text{ N}$	$F_{x2} = 171.6898 \text{ N}$
$\rho = 1.171 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 1.171 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 1.171 \text{ kg/m}^3$
$V = 36.111 \text{ m/s}$	$V = 36.111 \text{ m/s}$	$V = 36.111 \text{ m/s}$
$A_h = 0.33 \text{ m}^2$	$A_1 = 0.425 \text{ m}^2$	$A_2 = 0.505 \text{ m}^2$

Nota. Esta tabla muestra los datos a utilizar en la fórmula del coeficiente de arrastre, Realizado por: Autores

El coeficiente de arrastre es una medida adimensional que refleja la resistencia aerodinámica que experimenta un vehículo debido al flujo de aire. Cuanto menor sea el coeficiente de arrastre, menor

será la resistencia que enfrenta el vehículo al avanzar a través del aire. Esto se traduce en una mayor eficiencia aerodinámica y, por ende, en una mayor velocidad alcanzada para una misma potencia de motor. En resumen, un coeficiente de arrastre bajo es deseable ya que contribuye a mejorar la velocidad y la eficiencia energética del vehículo, optimizando su rendimiento en términos de consumo de combustible y capacidad de aceleración.

Tabla 23

Resultados del coeficiente de arrastre C_x

Prototipos	Valor
Kart Homologado	$C_{xh} = 0.52$
Kart Prototipo BodyWorks 1	$C_{x1} = 0.438$
Kart Prototipo BodyWorks 2	$C_{xh} = 0.445$

Nota. En esta tabla se ven los resultado del coeficiente de arrastre, Realizado por: Autores

A su vez en relación con la adherencia del kart, se busca que el coeficiente de sustentación sea mayor al coeficiente de arrastre, ya que al obtener un mayor valor del coeficiente de sustentación vamos a tener mayor adherencia en curvas.

Ecuación 9

$$C_l = \frac{2 F_l}{\rho V^2 A}$$

Tabla 24

Datos para la obtención del coeficiente de arrastre

Kart Homologado	Kart Prototipo 1	Kart Prototipo 2
$F_{lh} = 125.428 N$	$F_{l1} = 141.892 N$	$F_{l2} = 171.5329 N$
$\rho = 1.171 kg/m^3$	$\rho = 1.171 kg/m^3$	$\rho = 1.171 kg/m^3$
$V = 27.778m/s$	$V = 27.778 m/s$	$V = 27.778 m/s$
$A_h = 0.33 m^2$	$A_1 = 0.425 m^2$	$A_2 = 0.505 m^2$

Nota. Esta tabla muestra los datos a utilizar en la formula del coeficiente de sustentación,

Realizado por: Autores.

El valor del coeficiente de sustentación es una medida adimensional que indica la capacidad de un vehículo para generar fuerza de sustentación a partir del flujo de aire. Cuanto más elevado sea el

coeficiente de sustentación, mayor será el agarre aerodinámico que el vehículo experimentará. Esto significa que la fuerza vertical hacia abajo que empuja el vehículo hacia el suelo será más grande, mejorando su adherencia y estabilidad en la pista. Un coeficiente de sustentación alto es esencial para optimizar el rendimiento aerodinámico, permitiendo al vehículo mantener altas velocidades en las curvas.

Tabla 25

Resultados del coeficiente de sustentación C_l

Prototipos	Valor
Kart Homologado	$C_{lh} = 0.754$
Kart Prototipo BodyWorks 1	$C_{l1} = 0.739$
Kart Prototipo BodyWorks 2	$C_{l2} = 0.85$

Nota. En esta tabla se ven los resultado del coeficiente de sustentación, Realizado por: Autores.

CAPITULO III

3. Análisis de los resultados

Se lleva a cabo una comparación exhaustiva de los resultados obtenidos en el estudio aerodinámico de los tres karts, analizando detalladamente cada valor medido y presentando diversas gráficas para visualizar las diferencias. Se examinan parámetros clave como el coeficiente de arrastre, el coeficiente de sustentación, la distribución de presiones y el comportamiento del flujo de aire. Las gráficas ilustran claramente cómo cada prototipo se desempeña en términos de eficiencia aerodinámica y estabilidad. Al finalizar el análisis, se concluye cuál de los tres prototipos es la opción más adecuada para utilizar en las competencias, basándose en su capacidad para minimizar la resistencia al avance, maximizar la carga aerodinámica y ofrecer un rendimiento superior en diversas condiciones de carrera.

3.1 Presión Estática

Uno de los resultados obtenidos, es la presión estática donde se distribuye a lo largo de la carrocería del kart para optimizar su rendimiento. Lo que buscamos es una menor presión estática en áreas donde la reducción de la resistencia al avance sea prioritaria, sin comprometer la estabilidad y el control del kart, es decir establecer un equilibrio entre el coeficiente de arrastre y el coeficiente de sustentación.

Tabla 26

Comparación de las presiones estáticas de los tres Karts

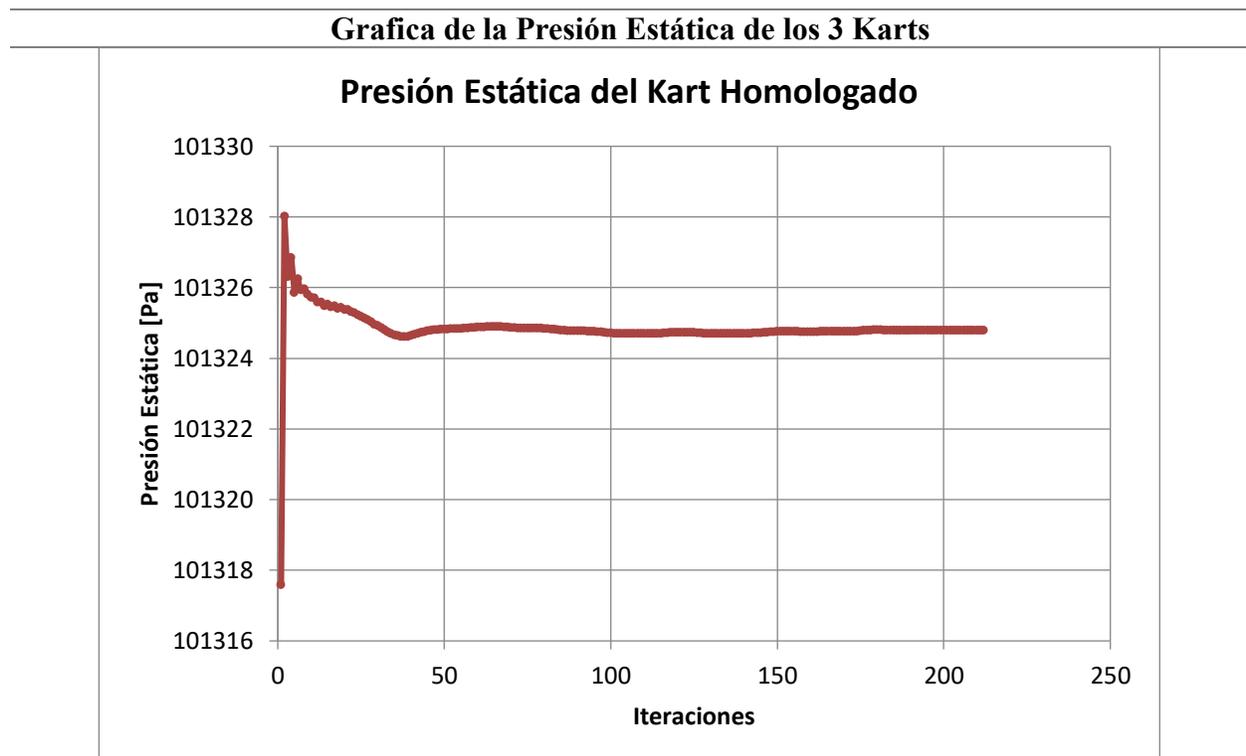
	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Kart Homologado	<i>kPa</i>	101,32478	101,32475	101,32469	101,32479
Kart Prototipo 1	<i>kPa</i>	101,32427	101,32426	101,32422	101,32431
Porcentaje de Diferencia		-0,00050 %	-0,00048 %	-0,00046 %	-0,00047 %
Kart Homologado	<i>kPa</i>	101,32478	101,32475	101,32469	101,32479
Kart Prototipo 2	<i>kPa</i>	101,32363	101,32363	101,32361	101,32365
Porcentaje de Diferencia		-0,0011 %	-0,0011 %	-0,0011 %	-0,0011 %
Kart Prototipo 1	<i>kPa</i>	101,32427	101,32426	101,32422	101,32431
Kart Prototipo 2	<i>kPa</i>	101,32363	101,32363	101,32361	101,32365
Porcentaje de Diferencia		-0,00063 %	-0,00062 %	-0,00060 %	-0,00065 %
Promedio	<i>kPa</i>	101,3242	101,3242	101,3242	101,3243

Nota. En esta tabla se muestra las presiones de los bumpers de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

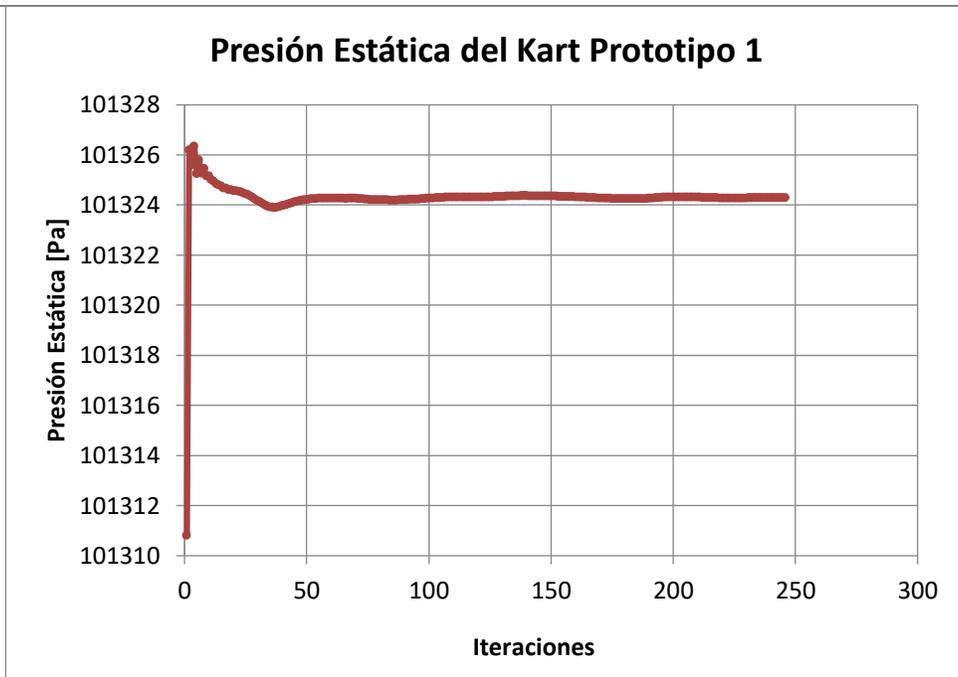
Se realiza el análisis de los resultados de la presión estática de los tres prototipos, observándose que el kart con las carrocerías homologadas presenta una mayor presión que los otros dos prototipos. Entre el kart homologado y el kart prototipo 1, existe una disminución del 0.0005%, la cual, aunque mínima, afecta al coeficiente aerodinámico. En cambio, entre el kart homologado y el kart prototipo 2, se observa una mayor disminución del 0.0011%. Esta reducción más significativa influye considerablemente en el coeficiente aerodinámico, ya que al tener una mayor área frontal, la presión se distribuye de manera más uniforme. Por esta razón, el prototipo 2 presenta una menor presión estática, lo que implica un impacto importante en la eficiencia aerodinámica del kart.

Tabla 27

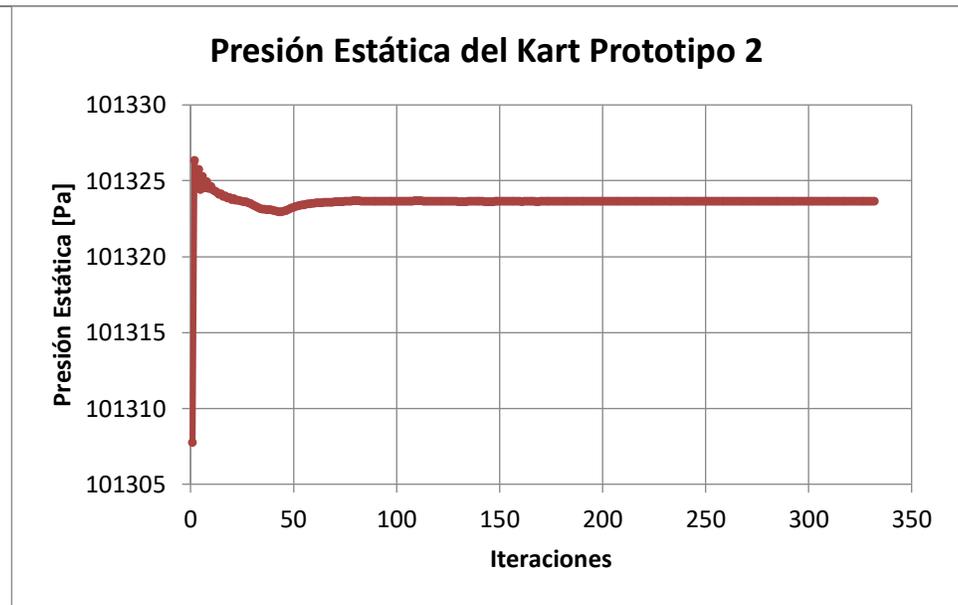
Grafica de la Presión Estática de los tres Prototipos de Kart



Nota. Esta gráfica proviene de los estudios aerodinámicos realizados con el software SolidWorks, mostrando los resultados de la presión estática, Realizado por: Autores.



Nota. Esta gráfica proviene de los estudios aerodinámicos realizados con el software SolidWorks, mostrando los resultados de la presión estática, Realizado por: Autores.



Nota. Esta gráfica proviene de los estudios aerodinámicos realizados con el software SolidWorks, mostrando los resultados de la presión estática, Realizado por: Autores.

Nota. En esta tabla se muestra las graficas de las presiones estáticas de los bumpers de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

Las tres gráficas presentan una notable similitud, ya que a partir de la iteración cincuenta muestran una presión equilibrada, lo que indica una distribución uniforme de la presión en los BodyWorks delanteros. En contraste, la presión del kart homologado, que es de 101,328 *kPa* en la iteración dos (momento en el que el aire impacta contra la carrocería), alcanza su pico más alto de presión estática. En la misma iteración, los otros dos prototipos presentan presiones menores, con el prototipo 1 registrando 101,3261 *kPa* y el prototipo 2, 101,3263 *kPa*. Estas diferencias se deben a que la carrocería frontal inferior de los prototipos tiene una forma más cóncava, lo que permite una mejor disipación del flujo de aire. Esta característica aerodinámica reduce la presión estática inicial en comparación con el kart homologado, optimizando así la eficiencia del flujo de aire alrededor de la carrocería del kart.

3.2 Presión Total

Uno de los resultados obtenidos es la presión total, que es la suma de la presión estática y la presión dinámica. Este valor es un indicador de la energía total del flujo de aire. Lo que buscamos es una mayor presión total para generar un flujo de aire con más energía, lo cual puede ser utilizado para producir mayores fuerzas aerodinámicas, tanto de sustentación como de arrastre. Con una mayor presión total, podemos optimizar la carga aerodinámica del kart, mejorando su agarre y estabilidad en las curvas, así como su rendimiento general en condiciones de alta velocidad.

Tabla 28

Comparación de la presión total de los tres Karts

	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Kart Homologado	<i>kPa</i>	101,756	101,7559	101,7554	101,7562
Kart Prototipo 1	<i>kPa</i>	101,7634	101,76359	101,7633	101,76402
Porcentaje de Diferencia		0,00727 %	0,00756 %	0,00776 %	0,00769 %
Kart Homologado	<i>kPa</i>	101,756	101,7559	101,7554	101,7562
Kart Prototipo 2	<i>kPa</i>	101,7655	101,7654	101,7653	101,76557
Porcentaje de Diferencia		0,0093 %	0,0093 %	0,0097 %	0,0092 %
Kart Prototipo 1	<i>kPa</i>	101,7634	101,76359	101,7633	101,76402
Kart Prototipo 2	<i>kPa</i>	101,7655	101,7654	101,7653	101,76557
Porcentaje de Diferencia		0,00206 %	0,00178 %	0,00197 %	0,00152 %

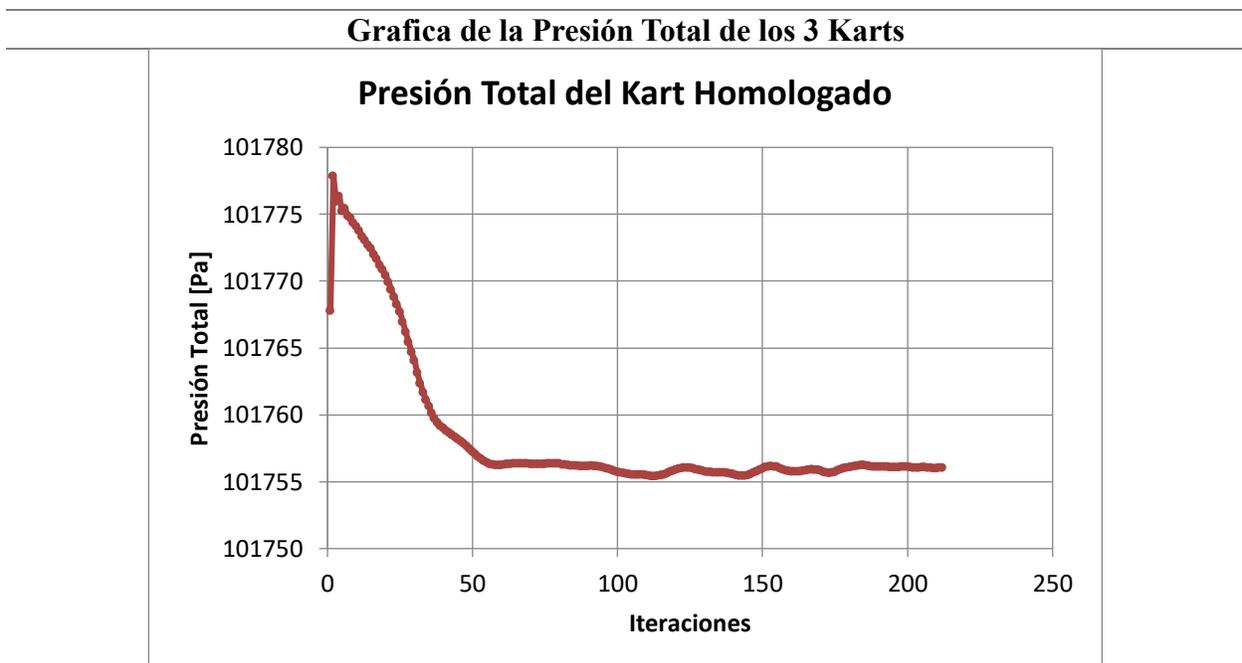
Promedio	<i>kPa</i>	101,7616	101,7616	101,7613	101,7619
----------	------------	----------	----------	----------	----------

Nota. En esta tabla se muestra las presiones de los bumpers de los tres diseños realizados,
Realizado por: Autores.

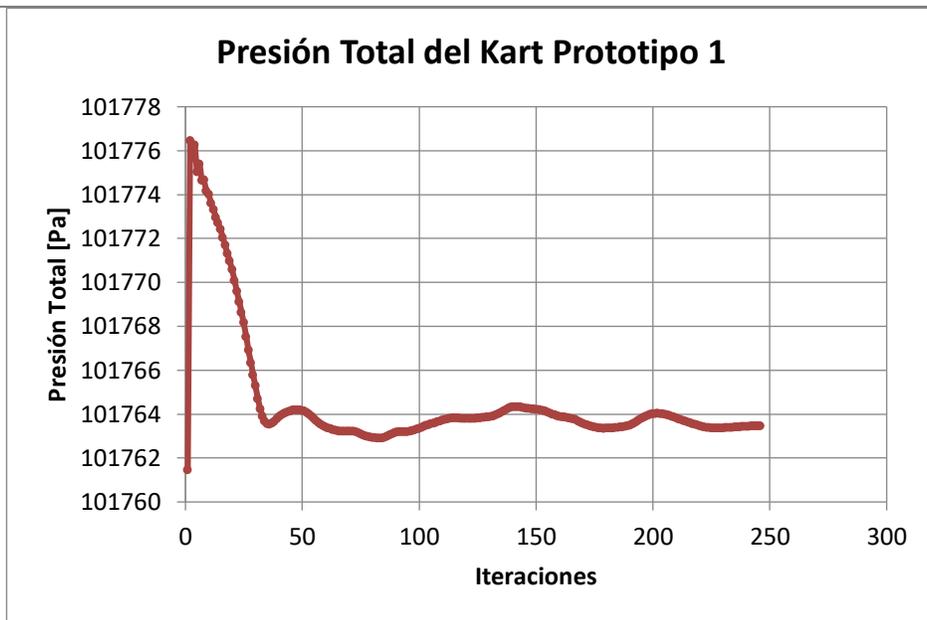
Al comparar los resultados de los tres prototipos, se puede observar que la presión total aumenta en función del área frontal de cada kart. Por ejemplo, entre el kart homologado y el kart prototipo 1, hay un aumento del 0.00727 % en la presión total debido a una mayor área frontal. Este incremento en el área frontal ayuda a disipar mejor el flujo de aire a lo largo del bumper frontal, reduciendo así el flujo turbulento y mejorando la estabilidad aerodinámica. En el caso del kart homologado y el prototipo 2, el aumento es más significativo, del 0.093 %, debido a una mayor área frontal, lo que también favorece la disipación del flujo de aire y reduce la turbulencia. Además, al comparar el prototipo 1 con el prototipo 2, hay un aumento del 0.002 % en la presión total, lo que afecta positivamente el coeficiente de sustentación, proporcionando una mayor adherencia en las curvas y mejorando el rendimiento general del kart en condiciones de carrera.

Tabla 29

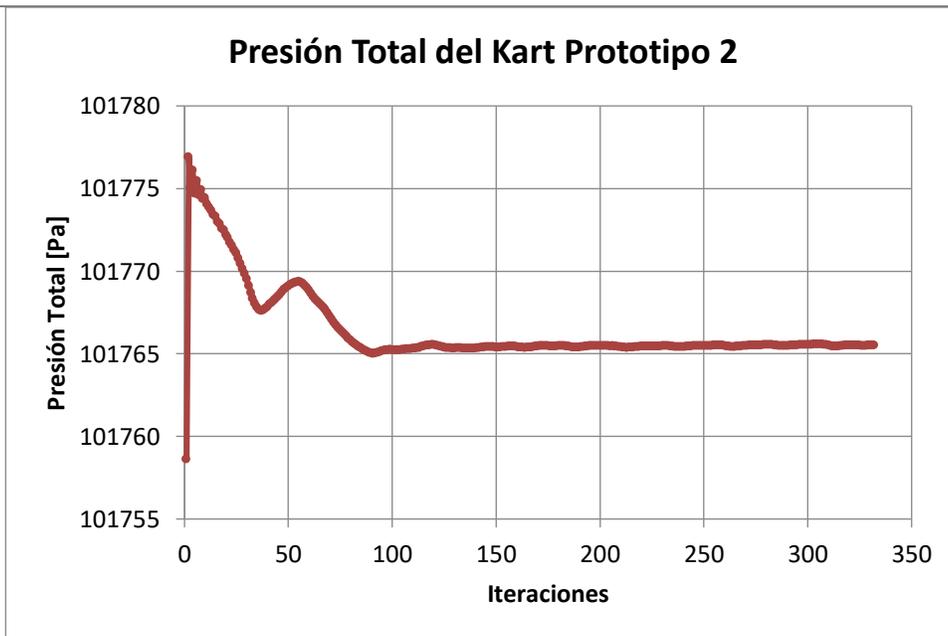
Grafica de la Presión Total de los tres Prototipos de Kart



Nota. Esta gráfica proviene de los estudios aerodinámicos realizados con el software SolidWorks, mostrando los resultados de la presión estática, Realizado por: Autores.



Nota. Esta gráfica proviene de los estudios aerodinámicos realizados con el software SolidWorks, mostrando los resultados de la presión estática, Realizado por: Autores.



Nota. Esta gráfica proviene de los estudios aerodinámicos realizados con el software SolidWorks, mostrando los resultados de la presión estática, Realizado por: Autores.

Nota. En esta tabla se muestra las graficas de las presiones totales de los bumpers de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

Las tres gráficas presentan diferencias significativas en la distribución de la presión total. En el kart homologado y el prototipo 1, la presión total disminuye más que en el kart prototipo 2, y esta disminución no es regular. En comparación, el prototipo 2 muestra una presión total equilibrada ($101,7654 \text{ kPa}$) a partir de la iteración ochenta, sin variaciones posteriores, lo que genera un flujo laminar estable. En contraste, el kart homologado y el prototipo 1 presentan una presión total irregular a lo largo del estudio. Esto se debe a que el bumper frontal inferior de ambos no cubre los neumáticos delanteros de manera efectiva, lo que ocasiona un flujo de aire turbulento. La presencia de flujo turbulento en estos karts afecta negativamente su eficiencia aerodinámica y estabilidad, mientras que el flujo laminar del prototipo 2 contribuye a un mejor rendimiento aerodinámico y una mayor consistencia en las condiciones de carrera.

Por otro lado, en la iteración dos, cuando el flujo de aire impacta con la carrocería, se observa la presión total máxima en los tres karts. En el kart homologado, la presión total máxima es de $101,7562 \text{ kPa}$; en el prototipo 1, es de $101,76402 \text{ kPa}$; y en el prototipo 2, alcanza los $101,76557 \text{ kPa}$. Esta diferencia muestra que el prototipo 2 tiene una mayor presión total inicial, lo que sugiere que tiene un mejor rendimiento aerodinámico. La mayor presión total en el prototipo 2 indica que puede generar fuerzas aerodinámicas más efectivas, mejorando su comportamiento en pista al proporcionar mayor estabilidad y adherencia, especialmente en las curvas y durante la aceleración. Esto resalta la ventaja del diseño del prototipo 2 en términos de eficiencia aerodinámica y rendimiento general en competición.

3.3 Velocidad

Se realiza el análisis de las velocidades obtenidas en el estudio aerodinámico, con el objetivo de identificar el prototipo que pueda generar una mayor velocidad sin comprometer la carga aerodinámica. El análisis se centra en encontrar un equilibrio óptimo entre la velocidad máxima alcanzada y la carga aerodinámica necesaria para mantener la estabilidad y adherencia del kart en las curvas. Los resultados comparativos de los tres prototipos proporcionan información valiosa para determinar cuál de ellos ofrece el mejor rendimiento aerodinámico, permitiendo alcanzar altas velocidades sin sacrificar la eficacia de la carga aerodinámica. Esta evaluación es crucial para optimizar el diseño aerodinámico del kart y mejorar su rendimiento en competencias.

Tabla 30*Comparación de las velocidades de los tres Karts*

	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Kart Homologado	<i>km/h</i>	95,9996	95,975	95,9356	96,008
Kart Prototipo 1	<i>km/h</i>	97,005	97,0261	96,999	97,075
Porcentaje de Diferencia		1,04730 %	1,09518 %	1,10845 %	1,11137 %
Kart Homologado	<i>km/h</i>	95,9996	95,975	95,9356	96,008
Kart Prototipo 2	<i>km/h</i>	97,274	97,2715	97,2566	97,2842
Porcentaje de Diferencia		1,3275 %	1,3509 %	1,3770 %	1,3293 %
Kart Prototipo 1	<i>km/h</i>	97,005	97,0261	96,999	97,075
Kart Prototipo 2	<i>km/h</i>	97,274	97,2715	97,2566	97,2842
Porcentaje de Diferencia		0,27731 %	0,25292 %	0,26557 %	0,21550 %
Promedio	<i>km/h</i>	96,7595	96,7575	96,7304	96,7891

Nota. En esta tabla se muestra las velocidades de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

Al realizar el análisis, se observa que entre el kart homologado y los prototipos 1 y 2, hay un aumento de más del 1.04% en la velocidad final en rectas, lo que representa un incremento de 2.013 km/h sin perder carga aerodinámica. Adicionalmente, entre el prototipo 1 y el prototipo 2, se registra un aumento del 0.27% en la velocidad final. Esto sugiere que el prototipo 2 logra un equilibrio óptimo entre carga aerodinámica y velocidad. Este equilibrio es crucial para mejorar el rendimiento en pista, ya que permite mantener una alta velocidad en las rectas sin comprometer la adherencia y estabilidad en las curvas. Por lo tanto, se concluye que el prototipo 2 ofrece una ventaja competitiva significativa al combinar velocidad y carga aerodinámica de manera eficiente.

3.4 Fuerza de arrastre

Al analizar las fuerzas de cada kart, se observa un aumento de más del 20% entre el kart homologado y los prototipos 1 y 2, lo cual se atribuye al área frontal de cada kart. El área frontal del kart homologado es menor en comparación con los prototipos 1 y 2, lo que resulta en una menor fuerza de arrastre para el kart homologado. Sin embargo, entre los prototipos 1 y 2, hay un aumento del 20.91% en la fuerza de arrastre, dado que el área frontal del prototipo 1 es menor que

la del prototipo 2. Este aumento en la fuerza de arrastre es beneficioso para evitar una pérdida de carga aerodinámica. A pesar de que el área frontal mayor podría sugerir un incremento en la resistencia, en este caso, el coeficiente de arrastre no aumenta, sino que disminuye, logrando así un equilibrio entre velocidad y carga aerodinámica. Esta optimización permite que el kart mantenga una alta velocidad sin comprometer la adherencia y estabilidad, lo cual es crucial para un rendimiento superior en pista.

Tabla 31

Comparación de las fuerzas de arrastre de los tres Karts

	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Kart Homologado	<i>N</i>	125,6566	125,8707	124,4834	128,1232
Kart Prototipo 1	<i>N</i>	141,996	141,154	138,997	142,358
Porcentaje de Diferencia		13,00322 %	12,14206 %	11,65906 %	11,11024 %
Kart Homologado	<i>N</i>	125,6566	125,8707	124,4834	128,1232
Kart Prototipo 2	<i>N</i>	171,6898	171,388	170,2564	172,7424
Porcentaje de Diferencia		36,6341 %	36,1620 %	36,7704 %	34,8252 %
Kart Prototipo 1	<i>N</i>	141,996	141,154	138,997	142,358
Kart Prototipo 2	<i>N</i>	171,6898	171,388	170,2564	172,7424
Porcentaje de Diferencia		20,91172 %	21,41916 %	22,48926 %	21,34365 %
Promedio	<i>N</i>	146,4475	146,1376	144,5789	147,7412

Nota. En esta tabla se muestra las fuerzas de arrastre de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

Al calcular el coeficiente de arrastre (C_x), se obtiene un valor menor en el prototipo 1 en comparación con el kart homologado que tiene una disminución del 15.769%, y con el prototipo 2 presenta una disminución del 1.573%. Sin embargo, el coeficiente de arrastre del prototipo 2 es aún menor que el del kart homologado presentando una disminución del 14.423%.

Tabla 32*Resultados del coeficiente de arrastre C_x*

Prototipos	Valor
Kart Homologado	$C_{xh} = 0.52$
Kart Prototipo BodyWorks 1	$C_{x1} = 0.438$
Kart Prototipo BodyWorks 2	$C_{xh} = 0.445$

Nota. En esta tabla se ven los resultado del coeficiente de arrastre, Realizado por: Autores

3.5 Fuerza de sustentación

Al observar detenidamente los resultados de las fuerzas obtenidas, se puede destacar un significativo aumento en la fuerza de sustentación, lo cual conlleva a una mejora en la adherencia del kart en las curvas. Al comparar las fuerzas de sustentación, se observa que el prototipo 1 muestra un incremento del 13.12% respecto al kart homologado. Este aumento significa que el prototipo 1 genera una mayor carga aerodinámica durante las curvas, lo que potencialmente mejora su capacidad para mantenerse pegado al suelo y mejorar la estabilidad en las curvas cerradas. Por otro lado, el prototipo 2 exhibe un aumento aún más notable del 36.75% en comparación con el kart homologado. Esta considerable mejora en la fuerza de sustentación asegura un rendimiento superior del kart en términos de manejo y estabilidad en las curvas, proporcionando al piloto una mayor confianza y control en condiciones de competencia. Estos resultados destacan la eficacia del diseño aerodinámico del prototipo 2 para optimizar la fuerza de sustentación sin comprometer otros aspectos clave del rendimiento del kart, lo que lo posiciona como una opción destacada para competencias donde la precisión y la velocidad en las curvas son cruciales.

Tabla 33*Comparación de las fuerzas de sustentación de los tres Karts*

	Unidad	Valor	Valor Promedio	Mínimo Valor	Máximo Valor
Kart Homologado	<i>N</i>	125,428	125,603	124,155	127,9237
Kart Prototipo 1	<i>N</i>	141,892	141,054	138,86	142,264
Porcentaje de Diferencia		13,12626 %	12,30146 %	11,84407 %	11,21004 %
Kart Homologado	<i>N</i>	125,428	125,603	124,155	127,9237
Kart Prototipo 2	<i>N</i>	171,5329	171,2758	170,107	172,609
Porcentaje de Diferencia		36,7581 %	36,3628 %	37,0118 %	34,9312 %

Kart Prototipo 1	<i>N</i>	141,996	141,154	138,997	142,358
Kart Prototipo 2	<i>N</i>	171,5329	171,2758	170,107	172,609
Porcentaje de Diferencia		20,80122 %	21,33967 %	22,38178 %	21,24995 %
Promedio	<i>N</i>	146,2843	145,9776	144,3740	147,5989

Nota. En esta tabla se muestra las fuerzas de sustentación de los tres diseños realizados, Realizado por: Autores.

Al calcular el coeficiente de sustentación (C_l), se obtiene un valor menor en el prototipo 1 en comparación con el kart homologado que tiene una disminución del 1.98 %, y con el prototipo 2 presenta una disminución del 13.05%, en el kart prototipo 1 vamos a tener una disminución de carga aerodinámica. Sin embargo, el coeficiente de arrastre del prototipo 2 es aún menor que el del kart homologado presentando un aumento del 12.73%, los que nos ayuda ganar velocidad en curvas.

Tabla 34

Resultados del coeficiente de sustentación C_l

Prototipos	Valor
Kart Homologado	$C_{lh} = 0.754$
Kart Prototipo BodyWorks 1	$C_{l1} = 0.739$
Kart Prototipo BodyWorks 2	$C_{l2} = 0.85$

Nota. En esta tabla se ven los resultado del coeficiente de sustentación, Realizado por: Autores.

Al realizar la comparación en cada uno de los resultados obtenidos vamos a obtener las siguientes conclusiones:

- El prototipo 1 y el prototipo 2 están diseñados para generar una mayor disipación de presión a lo largo del área frontal del kart. Este diseño tiene como objetivo reducir el flujo turbulento en la parte posterior del vehículo. Al optimizar la distribución de la presión a lo largo del bumper frontal y otros elementos aerodinámicos, se logra dirigir el flujo de aire de manera más eficiente alrededor del kart. Esto no solo minimiza la turbulencia detrás del vehículo, sino que también mejora la estabilidad general y la aerodinámica del kart. En resumen, el diseño aerodinámico de los prototipos 1 y 2 mejora la eficiencia energética y optimizá la dinámica de fluidos para proporcionar un rendimiento superior en competiciones de karting.

- El prototipo 2 se destaca por su capacidad para alcanzar mayores velocidades en comparación con los otros karts evaluados. Esta ventaja se debe a su diseño aerodinámico optimizado, que permite una mejor gestión del flujo de aire alrededor del vehículo. A pesar de tener una mayor área frontal, el prototipo 2 logra mantener un equilibrio óptimo entre carga aerodinámica y velocidad. Esto significa que no sacrifica la estabilidad ni la adherencia en las curvas a cambio de velocidad máxima. En resumen, el prototipo 2 representa una elección ideal para quienes buscan un kart que ofrezca tanto velocidad como un manejo preciso y efectivo en las condiciones exigentes de las pistas de competición.

CONCLUSIÓN

La información documentada sobre estudios aerodinámicos revela que hay acceso a los datos proporcionados por la FIA, lo que facilita la comprensión de los procesos de homologación y categorización en competiciones de karting. Este acceso es crucial, ya que permite a los investigadores y diseñadores asegurar que sus prototipos cumplan con los estándares establecidos, lo que es fundamental para la participación en competencias oficiales. Además, las simulaciones presentadas en veinticinco investigaciones de pregrado, posgrado y artículos científicos han permitido obtener resultados que se alinean con los parámetros esperados. Estas simulaciones son herramientas vitales en el desarrollo de diseños aerodinámicos, ya que permiten probar y optimizar diferentes configuraciones sin la necesidad de construir múltiples prototipos físicos. Uno de los factores clave en la realización de este proyecto fue desarrollar un diseño que cumpliera con las medidas de homologación, manteniendo un equilibrio entre estabilidad y velocidad. Este equilibrio es esencial para garantizar que el kart no solo sea rápido en las rectas, sino también manejable en las curvas, lo que puede ser decisivo en una carrera. El acceso a datos de la FIA y a múltiples estudios académicos ha sido crucial para el desarrollo de un kart competitivo y homologado. Este enfoque basado en la investigación permitió, no solo cumplir con los estándares necesarios, sino también avanzar en el rendimiento aerodinámico y la maniobrabilidad, aspectos esenciales para el éxito en las competiciones de karting. La combinación de teoría y práctica, respaldada por datos precisos y simulaciones detalladas, asegura que el prototipo final no solo sea viable en términos de reglamentación, sino también altamente eficiente en pista.

En búsqueda de una mejora continua de los prototipos, se realizaron tres diseños con mejoras acordes a los parámetros definidos y establecidos en esta investigación. Estos diseños fueron sometidos a análisis exhaustivos, cuyos datos comparativos incluyen el coeficiente de arrastre donde la carrocería homologada presenta un coeficiente de arrastre $C_{xh} = 0.52$, mientras que el prototipo 1 muestra un $C_{x1} = 0.438$ y el prototipo 2 tiene un $C_{x2} = 0.445$. Estas diferencias reflejan las modificaciones realizadas en los diseños, considerando un aumento en las dimensiones de los tres BodyWorks instalados en un kart de competencia. La diferencia cualitativa indica que el prototipo 1, en comparación con el homologado, logra una reducción significativa en el coeficiente de arrastre, lo que permite alcanzar mayores velocidades. Sin embargo, esto afecta la adherencia en pista, ya que se reduce la longitud del BodyWorks frontal inferior del prototipo 1 en

un 3.14% en comparación con el bumper homologado. Este ajuste busca minimizar la resistencia al avance, aunque compromete la estabilidad en las curvas debido a la menor carga aerodinámica generada en la parte frontal del vehículo. Por otro lado, el prototipo 2 fue diseñado con un enfoque en equilibrar la velocidad y la adherencia. Su coeficiente de arrastre es mayor que el del prototipo 1 debido a un aumento del 5.64% en la longitud del Bumper Frontal inferior. Este incremento está diseñado para evitar la formación de flujo turbulento en la parte delantera del kart, cubriendo mejor la cara del neumático que hace contacto con el aire. Esta configuración permite un rendimiento óptimo en circuitos con muchas curvas, donde la estabilidad en giros es crucial. La velocidad reducida en rectas se compensa con una mejor adherencia en las curvas, lo que mejora el desempeño general del vehículo en condiciones de competencia.

Al revisar los resultados obtenidos, se observa que la presión total aumenta en relación con el área frontal de cada kart. El kart homologado presenta un área frontal de 0.33 m², mientras que el prototipo 1 tiene un área frontal de 0.425 m², lo que representa un incremento del 28.78% en el área frontal. Este aumento, aunque pequeño en términos porcentuales (0.00727% en la presión total), permite una mejor disipación del flujo de aire a lo largo del bumper frontal. Esto reduce la turbulencia y mejora la estabilidad aerodinámica del kart.

Por otro lado, el prototipo 2 tiene un área frontal de 0.505 m², lo que representa un incremento del 48.6% en comparación con el kart homologado y el prototipo 1. Este aumento significativo en el área frontal resulta en un incremento del 0.093% en la presión total, facilitando también la disipación del flujo de aire y minimizando la turbulencia. A pesar de tener una mayor área frontal, el diseño del prototipo 2 no repercute negativamente en la velocidad del kart. Esto se debe a que el diseño incluye aristas pronunciadas en las esquinas del bumper frontal inferior y una mayor longitud en comparación con los otros dos prototipos, lo que permite disipar el flujo de manera laminar.

La mayor área frontal del prototipo 2 contribuye a una mejor gestión del flujo aerodinámico, evitando la formación de zonas de alta turbulencia que podrían afectar negativamente el rendimiento del kart. El diseño optimizado del bumper frontal inferior permite que el aire fluya suavemente alrededor del kart, mejorando tanto la estabilidad aerodinámica como la velocidad

final. Este equilibrio entre área frontal y diseño aerodinámico es crucial para maximizar el rendimiento en pista, asegurando que el kart mantenga altas velocidades sin comprometer la estabilidad en curvas y rectas.

En resumen, los resultados obtenidos indican que, aunque un aumento en el área frontal podría sugerir una mayor resistencia al avance, el diseño aerodinámico optimizado de los prototipos 1 y 2 permite gestionar eficazmente el flujo de aire. Esto no solo mejora la estabilidad y reduce la turbulencia, sino que también mantiene o incluso mejora la velocidad del kart. La investigación destaca la importancia de considerar tanto el área frontal como el diseño detallado de los componentes aerodinámicos para lograr un rendimiento superior en condiciones de competencia. Al comparar los análisis realizados con la realidad, siempre existirá una variación que puede llegar hasta el 15%. Para minimizar este margen, en las simulaciones se optimizó el mallado del estudio aerodinámico y los niveles de refinamiento al máximo, optando por un refinamiento del 6.5. Esta optimización permitió reducir la brecha en un 8.89%, asegurando que no haya cambios significativos al probar los karts en una pista real. Uno de los datos importantes obtenidos dentro del análisis es que tanto el kart homologado como los prototipos 1 y 2 muestran mejoras significativas en la velocidad final en rectas. Los prototipos 1 y 2, en comparación con el kart homologado, logran aumentos del 1.04% y 2.013 km/h en la velocidad final, respectivamente, sin comprometer la carga aerodinámica. Este incremento en la velocidad se debe a la mejor disipación de las presiones presentes en el kart, lograda mediante la reducción más efectiva del flujo turbulento. Además, entre el prototipo 1 y el prototipo 2, se observa un incremento adicional del 0.27% en la velocidad final. Esto indica que el prototipo 2 ha conseguido un equilibrio óptimo entre carga aerodinámica y velocidad, lo que es crucial para un rendimiento eficiente tanto en rectas como en curvas en un circuito de karting estándar. La capacidad del prototipo 2 para mantener una velocidad alta sin comprometer la estabilidad en las curvas sugiere que este diseño podría ofrecer ventajas significativas en competiciones, donde la combinación de velocidad y maniobrabilidad es esencial para el éxito. Los ajustes realizados en los prototipos 1 y 2 no solo han demostrado mejoras en la velocidad final en rectas, sino también en la gestión del flujo aerodinámico. Las mejoras en la simulación y refinamiento del mallado han sido fundamentales para obtener resultados más precisos y aplicables a la realidad, subrayando la relevancia de la aerodinámica en el desarrollo de vehículos de alto rendimiento.

RECOMENDACIONES

- Al diseñar las carrocerías, es fundamental asegurarse de que el diseño cumpla con las medidas y regulaciones establecidas por las entidades de homologación, como la FIA. Esto implica adherirse a dimensiones específicas, restricciones de peso y materiales permitidos. Cumplir con estas normas no solo garantiza la legalidad del kart en competiciones oficiales, sino que también asegura la seguridad y el rendimiento óptimo del vehículo. La conformidad con las regulaciones es esencial para participar en competiciones, evitar descalificaciones y asegurar la competitividad en el karting profesional.
- Se pueden incorporar deflectores y alerones que guíen el flujo de aire de manera eficiente, mejorando la estabilidad del kart y aumentando la carga aerodinámica. Estos elementos deben estar diseñados para optimizar la dirección del aire sin añadir una resistencia excesiva, lo que permitirá mantener la velocidad y mejorar el rendimiento general del kart en la pista. La correcta implementación de deflectores y alerones contribuirá a un mejor manejo y control, especialmente en curvas y durante maniobras a alta velocidad.

BIBLIOGRAFÍA

1. Adrián, A. (2020). “*RECONSTRUCCIÓN DE UN VEHÍCULO TIPO GO-KART KODI KART 2012 CHASIS MOTOR YAMAHA 100 cc*” [Tesis de grado, Universidad Internacional del Ecuador]. Repositorio institucional.
2. Aparicio Izquierdo, F., Vera Alvarez, C., & Díaz Lopez, V. (2020). *Teoría de vehículos automóviles*. Madrid.
3. Arias Parada, A., & Cediél Urrea, M. (2019). *Estudio práctico de la aerodinámica en un automóvil deportivo utilizando el programa de dinámica de fluidos computacional Flow de Solidworks*. Bucaramanga .
4. Colette Mesanza, P. (2021). *Estudio Experimental del flujo alrededor de modelos de automóvil en un túnel de viento*. Barcelona - España.
5. Correa, A. M. (2022). *Guía de diseño para un chasis Kart KF según la normativa CIK/FIA como iniciativa de homologación durante periodo Abril-Octubre 2022*. Loja.
6. Covini, G. (6 de Marzo de 2023). *Aerodinamica de un Kart*. Obtenido de <https://tkart.it/es/magazine/tecnica%20/aerodinamica-del-kart-kg-otk-spoiler-drag-cx#7>
7. Departamento de Ingeniería Mecánica. (2019). *Modelling and Analysis of Go-Kart Chassis*. Telangana, India: Instituto Tecnológico Guru Nanak.
8. Dipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica, U. (2018). *Multi-body Elastic Simulation of a Go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance*. Catania, Italia.

9. Dipartimento di Ingegneria Industriale e Meccanica, U. (2020). *Multi-body Elastic Simulation of a Go-kart: Correlation between frame stiffness and dynamic performance*. Catania, Italia.
10. DomoDesk. (Mayo de 2024). *DomoDesk*. Obtenido de <https://www.domodesk.com/1204-rollo-pla-175mm-para-impresoras-3d-1kg.html#:~:text=El%20poli%C3%A1cido%20l%C3%A1ctico%20o%20PLA,envasado%20de%20los%20productos%20alimenticios>.
11. Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo. (2018). *Reglamento General deportivo de Karting*. Quito, Ecuador.
12. FIA. (2023). *2023 TECHNICAL REGULATIONS (UPDATED ON 8 MARCH 2023)*. Paris: FIA.
13. Font Mezquita, J., & Dols Ruiz, J. (2006). *Tratado sobre los Automoviles. Tomo IV. La Dinámica del Automovil*.
14. Jácome Guevara, I. A. (2021). *Diseño del proceso de manufactura del bastidor de un vehículo de competición Go Kart aplicando técnicas de optimización*. Ambato, Ecuador.
15. Kumar Malla, R., Kotha, N., Radhakrishnan, V., Tharun, S., & Kashyap, S. (2022). *Design, analysis and manufacturing of GO-KART*. Hyderabad, India: Departamento de Ingeniería Mecánica (Universidad de Anurag).
16. Lizarraga Ganuza, A., & Marcelino Sabada, S. (2019). *Diseño de un kart y sus componentes*. Pamplona - España: UPNA.
17. Mesa Arango, A. (2014). *Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Formula*. Medellín.

18. Mesa Arango, A. (2019). *Análisis del efecto suelo en el alerón delantero de un Vehículo tipo Fórmula*. Medellín.
19. Mohamad Azri Haziq, M., Shahrul Hisyam, M., Muhammad Khairudin , M., & Nurul Damia, M. (2018). *Finite Element Analysis of Go-kart Chassis*. Terengganu, Malasia .
20. Narváez Burbano, L. A. (s.f.). *Diseño y Construcción de un vehículo GO-KART de estructura tubular mediante el empleo de un programa de Análisis por Elementos Finitos*. Latacunga.
21. Narváez Cordoba , J. A., Acevedo Aguirre, J. C., Avila Lopez, J. F., & Zapata Oviedo, Y. E. (2018). *Proceso de Ensamblaje de un vehículo Go-Kart*. Bogota, Colombia .
22. Nilawar, A., singh Nannade, H., Selokar, N., & Pohankar, A. (2020). *Design of Go-Kart*. Maharashtra, India: IJFEAT.
23. Ochoa Gregorio, D. (2014). *Diseño y análisis de un vehiculo tipo Kart*. Zaragoza.
24. Quazi, T., Jalvi, O., Shinde, S., Kamble, R., & Sargar, T. (2019). *A Review on Design and Analysis of Go-Kart*. IJRESM.
25. Quezada Poma, P. A. (2018). *Diseño y fabricación del Chasis para un Kart KF4 según la normativa CIK/FIA*. Cuenca.
26. Quiña Egas, C. E., & Sanchez Reinoso, R. A. (2022). *Análisis y Estudio de la Aerodinámica y la Influencia en el Rendimiento en Competencia de un Karting de la Categoría Shifter ROK en el Kartódromo de Cotopaxi*. Latacunga.
27. Rivas Pérez, O. (2022). *Estudio de la Evolución Aerodinámica de los Coches de Formula I*. Barcelona.

28. Sampayo, D., Luque, P., Mantaras, D., & Rodriguez, E. (2021). *Go-Kart Chassis design using Finite element analysis and multibody Dynamic Simulation*. Gijón, España: Universidad Oviedo.
29. SPECIFICATIONS, (. R. (2020). karting. *revolution.com*, version 2.0.
30. Student, Department of Mechanical Engineering of, D. (2021). *Design and Analysis of a Go-Kart Chassis*. Mumbai: International Journal of Applied Engineering Research.
31. Taipe Quispe, A. R. (2021). *Construcción de la carrocería de un go-kart eléctrico mediante la utilización de materiales compuestos reforzados con fibra para la carrera de Tecnología Superior en Mecánica Automotriz de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE*. Latacunga - Ecuador.
32. Wibisana , Y., & Ariatedja, J. (2019). *Analisis Torsional Rigidity, Efek Jacking, dan Kekuatan Chassis Go-Kart Akibat Beban Belok*.

