



**“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”**

Quiña Egas, César Esteban y Sánchez Reinoso, Ricardo Andrés

Departamento de Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Cruz Arcos, Guillermo Mauricio

3 de agosto del 2022

Latacunga

Reporte de verificación de contenido



Análisis y Estudio de la Aerodinámica y la Influencia en el Ren...

Scanned on: 15:49 August 2, 2022 UTC



Identical Words	321
Words with Minor Changes	241
Paraphrased Words	235
Omitted Words	2118



Formado electrónicamente por:
GUILLERMO
MAURICIO CRUZ
ARCOS



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "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", fue realizado por los señores Quiña Egas, César Esteban y Sánchez Reinoso, Ricardo Andrés; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Latacunga, 3 de agosto del 2022

Firma



Ing. ~~Cruz Arcoz~~, Guillermo Mauricio
C.C: 0503010555



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Responsabilidad de autoría

Nosotros Quiña Egas, César Esteban y Sánchez Reinoso, Ricardo Andrés, con cédulas de ciudadanía N° 0502937758 y N° 1715207724 declaramos que en el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación, "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", fue realizado por los señores Esteban Quiña, Ricardo Sánchez, es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Latacunga, 3 de agosto del 2022

Quiña Egas, César Esteban

C.C.: 050293775-8

Sánchez, Ricardo

C.C.: 171520772-4



DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

Autorización de Publicación

Nosotros, **Quiña Egas, César Esteban y Sánchez Reinoso, Ricardo Andrés**, con cédulas de ciudadanía N° 0502937758 y N° 1715207724 autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **"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"**, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Latacunga, 3 de agosto del 2022

Quiña Egas, César Esteban

C.C.: 0502937758

Sánchez, Ricardo

C.C.: 1715207724

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a Dios. A mis padres César y Jeannie que me apoyaron, sustentaron en este largo camino académico, a mi esposa Jenifer que la amo mucho y me apoya incondicionalmente, a mi padrino Rolando que fue la inspiración para la elección de mi carrera, además dedico este proyecto a los verdaderos amigos tanto de clase como en la institución, que fueron parte de mi camino en la universidad y espero que perdure nuestra amistad, gracias a Verónica una amiga especial que su apoyo, su consejo y la acogida que me ha dado ha sido incondicional y única. Dedico esta tesis a mi familia completamente ya que cada uno de ellos me motivaron, ayudaron y protegieron, quiero recalcar a mis abuelitas Edda y Cora.

Esteban Quiña

Dedicatoria

Este trabajo va dedicado a todas las personas que creyeron en mí, que creyeron en que podía lograrlo y no dejaron que baje los brazos nunca, esto va dedicado a las personas especiales que ya no están conmigo, abuelito “Pepe” y abuelita Elsa, desde el cielo me cuidaron y me han guiado, esto es para ustedes, sé que están orgullosos de mí, los amo y sobre todo les extraño. A mis abuelitos Trajano y Melba, Dios me ha dado la dicha de tenerlos aún conmigo, si algo no me ha faltado es su cariño y sus hermosas palabras cada vez que converso con ustedes, esto es para ustedes.

A mis papás Tommy y Lorena, todo lo que haga es para ustedes, con su amor incondicional, su infinito apoyo y todo lo que han hecho y hacen por mí, gran parte de mi lucha ha sido por ustedes, para darles esa alegría de tener un hijo Ingeniero de la ESPE, es un sueño cumplido. A mi hermana mayor, mi casi mamá, María Lorena, lo logramos ñaña, nunca me dejaste solo, siempre estuviste preocupada en todo, hasta con quien me llevo, pero todo lo has hecho con las mejores intenciones, esto va para ti.

Finalmente, este trabajo va dedicado a mí mismo, créanme que, para llegar a este punto, lo luche como no tienen idea.

Ricardo Sánchez

Agradecimiento

Quiero agradecer a Dios por guiarme con su palabra para tener este logro, a mis padres porque su sustento y paciencia en este largo camino me ha dado el respaldo que he necesitado para llegar a la meta de mi vida académica, mi padrino con sus consejos y guía en el mundo laboral y personal, a los amigos como el Ing. José que más que mi docente ha sido una persona leal, a mis amigas Karla y Pame que siempre se han mostrado a mi lado, a mi tía Ceci que siempre ha velado por mí, quiero agradecer a mis amigos de clase que me apoyaron en cada semestre, y sobre todo a mi familia mi tía, Monci, Helen y Janeth mis tíos Fernando, Carlos y Bolívar, que me ayudaron cuando más lo necesite.

Agradezco a mi tutor de tesis quien ha sido profesional, además de ser un excelente docente y persona.

No ha sido fácil esta carrera ha sido larga, esforzada además de retadora en todos los aspectos de mi vida y mi familia en Cristo ha estado ahí para darme la mano en los momentos difíciles les agradezco por todo su apoyo.

Esteban Quiña

Agradecimiento

Quiero empezar agradeciendo a Dios que me bendijo en cada momento, buenos y malos, que me trajo hasta este momento en que pude finalizar mi etapa universitaria, para los que me conocen saben cómo ha sido el camino lleno de obstáculos y nada de esto sería posible sin su protección, a pesar de que tuve golpes y caídas han sido parte de mi aprendizaje, y me ha forjado como profesional y como persona.

Sin lugar a duda mi más grande agradecimiento va para mis padres Tommy y Lorena, que día a día estuvieron ahí con un mensaje, con una llamada, pendientes que nada me falte, ayudándome si necesitaba algo, viajando de urgencia para entregarme mi terno a las 9 pm un día martes porque al siguiente día tenía defensa de proyecto y miles de ayudas como esas y más grandes, nunca me van a alcanzar las palabras para agradecerles, no los voy a defraudar. A mi hermana Lorena, tú sabes que hubo mil y una cosas que no podía conversar con mis papás y tu estuviste ahí siempre, en cada pequeño detalle, gracias por ser parte de mi vida y por ser parte de esto, sin ti nada de esto hubiera sido posible.

A todas esas personas que fueron mi apoyo en todos estos años de carrera universitaria, desde Latacunga hasta Quito, en las buenas, pero sobre todo en las malas, fueron la familia que uno puede escoger, amigos y amigas, muchas gracias.

Finalmente quiero expresar mi más grande agradecimiento al Ing. Mauricio Cruz, tutor de mi trabajo de titulación, que además de ser un gran profesional es una gran persona, la cual tengo el gusto de conocer desde segundo semestre, gracias por tantas enseñanzas y por su entereza para hacernos los mejores profesionales posibles.

Ricardo Sánchez

ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula	1
Reporte de verificación de contenido.....	2
Certificación	3
Responsabilidad de autoría	4
Autorización de Publicación	5
Dedicatoria	6
Dedicatoria	7
Agradecimiento.....	8
Agradecimiento.....	9
Índice de contenido	10
Índice de Figuras	18
Índice de Tablas	21
Índice de Ecuaciones.....	22
Resumen.....	23
Abstract	24
Capítulo I: Planteamiento del Problema de Investigación	25
Antecedentes Investigativos	25
Planteamiento del Problema.....	26
Descripción Detallada del Proyecto.....	27
Justificación e Importancia	28
Objetivos del Proyecto.....	29

<i>Objetivo General</i>	29
<i>Objetivo Específico</i>	29
Metas	30
Hipótesis	30
Variables de Investigación	30
<i>Variable dependiente</i>	31
<i>Variable Independiente</i>	32
Capítulo II: Marco Teórico	33
Karting	33
Partes del Karting	33
<i>Chasis</i>	34
<i>Ruedas</i>	35
<i>Motor</i>	36
<i>Sistema de Dirección</i>	37
<i>Carenado</i>	37
<i>Normativa del Carenado Según la CIK/FIA</i>	38
Grupo I y Grupo II.	38
Grupo III.	39
<i>Material de Carenado</i>	39
Fibra de Vidrio.	39
Plástico.	39
Categorías del Karting en el Ecuador	40

Principios de la aerodinámica	42
<i>Efecto Venturi – Principio de Bernoulli</i>	42
<i>Capa Límite</i>	43
<i>Flujo Laminar y Flujo Turbulento</i>	44
Fuerzas Aerodinámicas	44
<i>Resistencia Aerodinámica al Avance</i>	46
<i>Empuje Lateral Aerodinámico</i>	47
<i>Sustentación Aerodinámica</i>	48
<i>Definiciones Generales</i>	49
Densidad (ρ).	49
Coeficiente de Resistencia (C_x).	50
Área (A).	50
Velocidad (V).	50
Fuerza (F).	50
Momento (M).	50
Dinámica.	50
Sistemas CAD (Diseño Asistido por Computadora)	50
Sistema CAE (Ingeniería Asistida por Computadora).....	51
<i>CFD (La Dinámica de Fluidos Computacional)</i>	52
Características Técnicas de la Categoría Shifter ROK	52
Características Técnicas del Carburador de la Categoría Shifter ROK	54
Capítulo III: Modelado y Análisis del Kart Original	56

Toma de Medidas	56
<i>Dimensiones del Aro</i>	56
<i>Dimensiones del Carenado Superior Original</i>	56
<i>Dimensiones del Carenado Inferior Original</i>	57
<i>Dimensiones del Chasis</i>	57
<i>Dimensiones del Bumper</i>	58
<i>Dimensiones del Motor</i>	58
<i>Dimensiones del Escape</i>	59
<i>Dimensiones del Protector Lateral</i>	59
Modelado	60
<i>Ensamblado del Kart Completo</i>	63
Medición de Parámetros	63
<i>Velocidad Punta del Kart</i>	63
<i>Datos Meteorológicos</i>	64
<i>Densidad del aire</i>	64
Estudio Aerodinámico del Diseño Original	65
<i>Estudio Aerodinámico del Carenado Superior Original</i>	65
Simulación del Carenado Superior Original.	65
Obtención de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior Original.	66
<i>Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE.</i>	66
<i>Simulación con la Herramienta CFD del Carenado Superior Original.</i>	67
Área proyectada.	67

Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Superior	
Original.	68
<i>Estudio Aerodinámico del Carenado Inferior Original</i>	68
Simulación del Carenado Inferior Original.	69
Obtención de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior Original.....	69
<i>Ingreso de Parámetros al Sistema CAE. Ingreso de parámetros al sistema</i>	
CAE	69
<i>Simulación con la Herramienta CFD del Carenado Inferior Original.</i>	70
Área proyectada. Mediante el modelado del carenado inferior original.	70
Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior	
Original.....	71
Capitulo IV: Análisis y Estudio Aerodinámico de las Propuestas	72
Análisis y Estudio Aerodinámico de las Propuestas del Carenado Superior	72
<i>Simulación de las Propuestas del Carenado Superior</i>	72
Propuesta 1.	72
Propuesta 2.	72
Propuesta 3.	73
<i>Obtención de la Fuerza de arrastre de las Propuestas del Carenado Superior</i>	74
Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE.	74
Simulación con la Herramienta CFD en las Propuestas del Carenado Superior. ...	74
<i>Propuesta 1.</i>	74
<i>Propuesta 2.</i>	75

<i>Propuesta 3.</i>	76
<i>Obtención del Área Proyectada de las Propuestas del Carenado Superior</i>	76
Propuesta 1.	76
Propuesta 2.	77
Propuesta 3.	78
<i>Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica de las Propuestas del Carenado Superior</i>	78
Propuesta 1.	78
Propuesta 2.	79
Propuesta 3.	79
Análisis y Estudio Aerodinámico de las Propuestas del Carenado Inferior	79
<i>Simulación de las Propuestas del Carenado Inferior</i>	80
Propuesta 1.	80
Propuesta 2.	80
Propuesta 3.	81
<i>Obtención de la Fuerza de arrastre de las Propuestas del Carenado Inferior</i>	81
Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE.	81
Simulación con la Herramienta CFD en las Propuestas del Carenado Inferior.	82
<i>Propuesta 1.</i>	82
<i>Propuesta 2.</i>	82
<i>Propuesta 3.</i>	83
<i>Obtención del Área Proyectada de las Propuestas del Carenado Inferior</i>	84

Propuesta 1.	84
Propuesta 2.	84
Propuesta 3.	85
<i>Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica de las Propuestas del</i>	
<i>Carenado Inferior</i>	86
Propuesta 1.	86
Propuesta 2.	86
Propuesta 3.	86
Capítulo V: Análisis de Resultados	88
Análisis de Resultados de la Fuerza de Arrastre	88
<i>Análisis de Resultados de la fuerza de Arrastre del Carenado Superior</i>	88
<i>Análisis de Resultados de la fuerza de Arrastre del Carenado Inferior</i>	89
Análisis de los Resultados del Área Proyectada	90
<i>Análisis de Resultados del Área Proyectado del Carenado Superior</i>	90
<i>Análisis de Resultados del Área Proyectado del Carenado Inferior</i>	91
Análisis de Resultados de Coeficiente de resistencia Aerodinámica	91
<i>Análisis de Resultados del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del</i>	
<i>Carenado Superior</i>	92
<i>Análisis de Resultados del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del</i>	
<i>Carenado Inferior</i>	93
Elección de la Mejor Propuesta	95
Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones	98

Conclusiones.....	98
Recomendaciones.....	100
Bibliografía.....	102
Anexos.....	104

Índice de Figuras

Figura 1	<i>Árbol de Problemas</i>	27
Figura 2	<i>Kart Completo</i>	33
Figura 3	<i>Partes del Kart</i>	34
Figura 4	<i>Chasis del Kart</i>	35
Figura 5	<i>Llantas del Kart</i>	35
Figura 6	<i>Motor del Kart</i>	36
Figura 7	<i>Sistema de Dirección de un Kart</i>	37
Figura 8	<i>Partes del Carenado del Kart</i>	38
Figura 9	<i>Carenado de un Kart Fabricado en Fibra de Vidrio</i>	39
Figura 10	<i>Carenado de un Kart Fabricado en Plástico</i>	40
Figura 11	<i>Representación del Efecto Venturi – Principio Bernouilli</i>	43
Figura 12	<i>Representación de la Capa Límite</i>	43
Figura 13	<i>Representación del Flujo Laminar y Turbulento</i>	44
Figura 14	<i>Diagrama de Fuerzas Aerodinámicas en un Automóvil</i>	45
Figura 15	<i>Ejes Tomados para la Simulación del Presente Proyecto</i>	45
Figura 16	<i>Coeficientes de Resistencia Aerodinámica en Diferentes Cuerpos</i>	47
Figura 17	<i>Diseño en Programa CAD</i>	51
Figura 18	<i>Diseño en Programa CAE</i>	51
Figura 19	<i>Utilización de la Herramienta CFD</i>	52
Figura 20	<i>Medidas del Aro</i>	56
Figura 21	<i>Medidas del Carenado Superior Original</i>	57
Figura 22	<i>Medidas del Carenado Inferior Original</i>	57
Figura 23	<i>Medidas del Chasis</i>	58
Figura 24	<i>Medidas del Bumper</i>	58
Figura 25	<i>Medidas del Motor</i>	59

Figura 26	<i>Medias del Escape</i>	59
Figura 27	<i>Medidas del Protector Lateral</i>	60
Figura 28	<i>Ensamble Completo del Kart</i>	63
Figura 29	<i>Prueba de Velocidad del Kart</i>	64
Figura 30	<i>Datos Meteorológicos del Día de Competición</i>	64
Figura 31	<i>Cálculo de la Densidad del Aire</i>	65
Figura 32	<i>Simulación del Carenado Superior Original</i>	66
Figura 33	<i>Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE</i>	66
Figura 34	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior Original</i>	67
Figura 35	<i>Área Proyectada del Carenado Superior Original</i>	68
Figura 36	<i>Simulación del Carenado Inferior Original</i>	69
Figura 37	<i>Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE</i>	69
Figura 38	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior Original</i>	70
Figura 39	<i>Área Proyectada del Carenado Inferior Original</i>	70
Figura 40	<i>Simulación de la Primera Propuesta del Carenado Superior</i>	72
Figura 41	<i>Simulación de la Segunda Propuesta del Carenado Superior</i>	73
Figura 42	<i>Simulación de la Tercera Propuesta del Carenado Superior</i>	73
Figura 43	<i>Incorporación de Parámetros en el Sistema CAE</i>	74
Figura 44	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre de la Primera Propuesta del Carenado Superior</i>	75
Figura 45	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre de la Segunda Propuesta del Carenado Superior</i> ...75	
Figura 46	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre de la Tercera Propuesta del Carenado Superior</i>	76
Figura 47	<i>Área Proyectada de la Primera Propuesta del Carenado Superior</i>	77
Figura 48	<i>Área Proyectada de la Segunda Propuesta del Carenado Superior</i>	77
Figura 49	<i>Área Proyectada de la Tercera Propuesta del Carenado Superior</i>	78
Figura 50	<i>Simulación de la Primera Propuesta del Carenado Inferior</i>	80
Figura 51	<i>Simulación de la Segunda Propuesta del Carenado Inferior</i>	80

Figura 52	<i>Simulación de la Tercera Propuesta del Carenado Inferior.....</i>	81
Figura 53	<i>Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE</i>	81
Figura 54	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre de la Primera Propuesta del Carenado Inferior</i>	82
Figura 55	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre de la Segunda Propuesta del Carenado Inferior.....</i>	83
Figura 56	<i>Dato de la Fuerza de Arrastre de la Tercera Propuesta del Carenado Inferior</i>	83
Figura 57	<i>Área Proyectada de la Primera Propuesta del Carenado Inferior</i>	84
Figura 58	<i>Área Proyectada de la Segunda Propuesta del Carenado Inferior.....</i>	85
Figura 59	<i>Área Proyectada de la Tercera Propuesta del Carenado Inferior.....</i>	85
Figura 60	<i>Porcentajes de Mejora de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior</i>	89
Figura 61	<i>Porcentajes de Mejora de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior</i>	90
Figura 62	<i>Porcentajes de Mejora del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Superior</i>	93
Figura 63	<i>Porcentajes de Mejora del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior.....</i>	94
Figura 64	<i>Mejor Propuesta del Carenado Superior e Inferior.....</i>	95
Figura 65	<i>Porcentaje de Mejora del Kart con las Mejores Propuestas.....</i>	97

Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Variable Dependiente</i>	31
Tabla 2	<i>Variable Independiente</i>	32
Tabla 3	<i>Clasificación de Categorías de la ROK CUP en Ecuador</i>	40
Tabla 4	<i>Características Técnicas de la Categoría Shifter ROK</i>	52
Tabla 5	<i>Características Técnicas del Carburador de la Categoría Shifter ROK</i>	54
Tabla 6	<i>Modelado de los Elementos del Kart</i>	60
Tabla 7	<i>Valores de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior</i>	88
Tabla 8	<i>Valores de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior</i>	89
Tabla 9	<i>Valores del Área Proyecta del Carenado Superior</i>	91
Tabla 10	<i>Valores del Área Proyecta del Carenado Inferior</i>	91
Tabla 11	<i>Valores del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Superior</i>	92
Tabla 12	<i>Valores del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior</i>	93
Tabla 13	<i>Comparación de Datos del Kart Original y Kart con las Mejores Propuestas</i>	96

Índice de Ecuaciones

Ecuación 1	<i>Fuerza Aerodinámica</i>	46
Ecuación 2	<i>Resistencia Aerodinámica al Avance</i>	46
Ecuación 3	<i>Empuje Lateral Aerodinámico</i>	48
Ecuación 4	<i>Sustentación Aerodinámica</i>	48
Ecuación 5	<i>Densidad del Aire Húmedo</i>	49

Resumen

Para el presente proyecto de titulación, se realizó el estudio aerodinámico en la carrocería de un karting de la categoría Shifter ROK, con el fin de obtener una mejora aerodinámica del karting, mediante 3 propuestas que mejoren el coeficiente de resistencia aerodinámica al modelo original el cual es utilizado en la competencia ROK CUP ECUADOR. Esta investigación parte con la obtención de datos de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa en el Kartódromo Cotopaxi, donde se realizó la competición, los cuales son necesarios para la obtención de la densidad del aire y en conjunto con el área proyectada, permite determinar el coeficiente de resistencia aerodinámica, el cual es el índice de comparación. En las propuestas de los carenados, se diseñaron entradas de aire curvilíneas las cuales, han dado resultados favorables en la simulación del carenado superior, además, en el carenado inferior, observándolo desde una vista lateral, las propuestas se asemejan a la forma de la punta de una flecha, esta forma ha dado un resultado positivo en nuestro análisis. Se realizó el análisis aerodinámico utilizando el sistema CAE en el cual se introdujo los siguientes parámetros: 17°C, 101.8 HPa, 140 Km/h y una densidad $1.2172 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$, por consiguiente, en el carenado superior original se obtuvo un coeficiente de 0.81, en el las propuestas se obtuvo un coeficiente de 0.34; 0.25 y 0.39 el coeficiente del carenado inferior original es 0.5, y el coeficiente de las propuestas para este carenado son 0.44; 0.36 y 0.41

Palabras clave: aerodinámica - kart, coeficiente de arrastre, diseño carenado.

Abstract

For this degree project, an aerodynamic study was carried out on the bodywork of a karting of the ROK Shifter category, in order to obtain an aerodynamic improvement of the karting, through 3 proposals to improve the aerodynamic drag coefficient to the original model which is used in the ROK CUP ECUADOR competition. This research starts with obtaining data on atmospheric pressure, temperature, relative humidity at the Cotopaxi Kartódromo, where the competition was held, which are necessary to obtain the air density and, together with the projected area, allow us to determine the aerodynamic resistance coefficient, which is the comparison index. In the proposals of the fairings, curvilinear air inlets were designed, which have given favorable results in the simulation of the upper fairing, in addition, in the lower fairing, observing it from a lateral view, the proposals resemble the shape of the tip of an arrow, this shape has given a positive result in our analysis. The aerodynamic analysis was performed using the CAE system in which the following parameters were introduced: 17°C, 101.8 HPa, 140 Km/h and a density 1.2172 Kg/m³, consequently, in the original upper fairing a coefficient of 0.81 was obtained, in the proposals a coefficient of 0.34; 0.25 and 0.39 was obtained the coefficient of the original lower fairing is 0.5, and the coefficient of the proposals for this fairing are 0.44; 0.36 and 0.41.

Keywords: aerodynamics - kart, drag coefficient, carenade design.

Capítulo I

Planteamiento del Problema de Investigación

Antecedentes Investigativos

Para el diseño y construcción del karting, se realiza en función de normativas CIK/FIA, desde finales del año 2006, la CIK/FIA ha dispuesto por reglamentación diversas categorías válidas para todos los campeonatos internacionales de karting, estas se encuentran divididas en grupos según la cilindrada y las prestaciones de los motores a usar (Quezada, 2018, pág. 17).

El primer karting construido data del año 1956 en el mes de marzo en Estados Unidos en una base militar de California, en el cual se usó partes de aviones sin uso, como son las llantas, volantes, de igual manera se usó el motor de una cortadora de césped, la construcción fue realizada por los soldados, este modelo alcanzó una velocidad máxima de 50 km/h (Salazar, 2011, pág. 5).

La creación de este vehículo fue tan exitosa que, tres años después de su creación, ya existían 300 marcas distintas que fabricaban distintos modelos de karting, en los años 60, se introdujo en Europa ya como disciplina deportiva, de tal manera que en el año 1962 se crea mediante la Federación Internacional de Automovilismo (FIA), la Comisión Internacional de Karting (CIK/FIA) (Salazar, 2011, pág. 6).

La primera vez que se conoció la implementación de la aerodinámica en un automóvil de carreras fue cuando se implementó en un Porsche Spider en el año 1956, por el ingeniero suizo Michael May, este fue un alerón implementado en la parte superior de la cabina del piloto, tuvo un movimiento de -3° a -17° (Pacheco & Rojas, 2018, pág. 25).

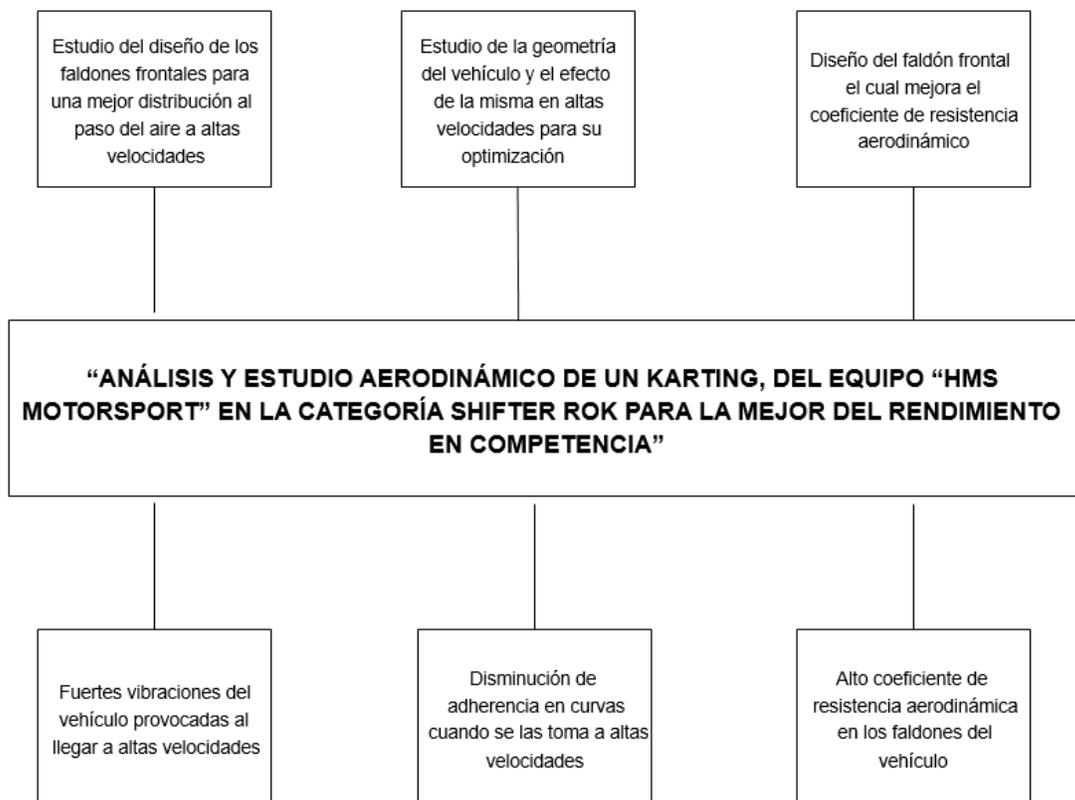
Es así que, en la década de los años 60, ingenieros pusieron todo su esfuerzo en reducir la resistencia al avance que se genera sobre el cuerpo minimizado al área frontal en contacto con el aire, gracias a los resultados se obtuvo un nuevo diseño de carrocería, con ello mejoró la velocidad máxima en rectas (Pacheco & Rojas, 2018, pág. 25).

Planteamiento del Problema

Los kartings de competición buscan una constante mejora en cada aspecto que interviene en el funcionamiento dentro de pista, desde el punto de vista aerodinámico, el vehículo presenta diseños que provocan flujos turbulentos, afectando así, su rendimiento. Al crear turbulencia con el paso del vehículo, se genera un aumento de presión, la cual, gracias al principio de Bernoulli, establece que, a mayor presión menor velocidad.

Antes de cualquier estudio de la geometría del vehículo, se debe determinar el tipo de falencias que puede presentar dentro de la competencia. Altos niveles de vibración, falta de adherencia, o alta resistencia aerodinámica, son las principales causas por las cuales se desarrollará este proyecto, con el fin de mejorar estos aspectos dentro de la pista.

Dentro de las normativas establecidas por la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK), no hay ninguna restricción establecida para la modificación de los carenados del karting, esto permite realizar además de un estudio, una propuesta de mejora en el diseño del faldón delantero.

Figura 1*Árbol de Problemas*

Nota. Árbol de problemas existentes en el presente proyecto

Descripción Detallada del Proyecto

El proyecto “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” consiste en la realización del análisis aerodinámico y presentación de propuestas de distintos diseños de carenado frontal superior e inferior, mismo que cumplen con la normativa establecida por CIK/FIA 2021 de la cual obtenemos parámetros máximos y mínimos para las diferentes medidas utilizadas en la construcción de un kart.

El proyecto inicia mediante el uso de planos obtenidos de CIK/FIA, mismo que dan paso para el modelado de las partes necesarias para el ensamble del kart. El cual tendrá las dimensiones originales utilizadas actualmente en el campeonato ROK CUP ECUADOR, de esta manera se pretende tener una proyección real para el estudio inicial.

Una vez obtenidos los valores de velocidad punta, humedad relativa, temperatura, densidad y presión atmosférica, requeridas para la elaboración del simulado en el software CAE, utilizando la herramienta CFD, se pretende recrear las condiciones de funcionamiento del karting en pista y estudiar el comportamiento aerodinámico del mismo.

Posterior al estudio realizado, se pretende modificar la parte frontal del vehículo (carenado), para determinar el impacto generado en la aerodinámica del kart debido a una modificación en su estructura.

Para lo cual se diseña tres propuestas del carenado frontal superior e inferior y de esta manera se desea determinar el coeficiente de resistencia aerodinámica utilizando las herramientas de diseño computacional conjuntamente con cálculos matemáticos mediante los cuales se pretenden encontrar el índice de comparación que permita optar por la mejor propuesta de carenado superior e inferior en conjunto con su respectivo análisis.

Justificación e Importancia

Se realizará el estudio de varios modelos de carenado usados actualmente en el Kartódromo situado en la ciudad de Latacunga, estos son usados en la categoría Shifter ROK, con lo cual obtendremos datos base del estudio aerodinámico, para posteriormente comparar el impacto aerodinámico con los modelos propuestos en este estudio, con el fin de mejorar la aerodinámica del carenado para una buena aplicación en competición

La aplicación del estudio aerodinámico es fundamental, ya que, al aprovechar la fuerza producida por el choque del kart con el viento, ayuda a la movilidad de este en la pista teniendo mayor adherencia al suelo como también el evitar el desplazamiento lateral (derrapamiento) del

monoplaza ya que pierde velocidad, disminuye el tiempo por vuelta y mayor confort en el manejo.

Al hacer un estudio aerodinámico es importante tomar en cuenta los parámetros que influyen durante la etapa, pronosticando el clima en base a ellos logramos obtener la velocidad del viento que tendrá la pista, enfocarse en el reglamento de la competencia en la cual va a participar, además de saber cómo usar todos estos factores a favor del concursante ya que el fin de competir es lograr el primer lugar en la etapa y aspirar al campeonato, por ello el estudio aerodinámico es esencial ya que con ello lograría dar un paso adelante en comparación a los contendientes.

Objetivos del Proyecto

Objetivo General

- Realizar el análisis y el estudio aerodinámico computacional del karting, perteneciente al kartódromo Cotopaxi para mejorar su rendimiento en pista.

Objetivo Específico

- Investigar información bibliográfica del diseño y construcción de vehículos monoplazas karting.
- Identificar las Normativas vigentes del kartismo en Ecuador, específicamente en el Kartódromo de la ciudad de Latacunga.
- Realizar la medición a detalle de la geometría de un kart correspondiente a la categoría Shifter.
- Identificar los distintos materiales usados en las protecciones de un kart aprobados por la FIA.

- Modelar la estructura de un kart en software CAD, bajo los parámetros establecidos por la FIA para la categoría Shifter.
- Establecer los cálculos necesarios para la correcta elaboración de la simulación aerodinámica de un vehículo monoplace.
- Realizar el estudio aerodinámico del monoplace simulado, usando parámetros reales en pista.
- Proponer tres alternativas de carenado dentro de las normas establecidas, que influyan el rendimiento del vehículo en la competencia.

Metas

- Elaborar un correcto modelado del vehículo mediante software CAD, basándose en normas establecidas por la FIA dentro de la categoría Shifter.
- Realizar el estudio aerodinámico de las protecciones del kart, mediante el cual se obtienen parámetros, los mismos que ayudarán de base, para la elaboración de la propuesta de diseño.
- Definir tres propuestas de carenados que influyan en el rendimiento del kart en pista para la categoría Shifter, estas propuestas serán puestas en comparación para así demostrar la mejoría.

Hipótesis

¿Cuál es la relación existente entre la aerodinámica de un kart y el rendimiento del vehículo en un Kartódromo?

Variables de Investigación

Para el presente proyecto de investigación se aplicará las variables las cuales son: variables dependientes y variables independientes.

Variable dependiente

Es el efecto o el resultado de las condiciones aplicadas en la investigación.

Tabla 1

Variable Dependiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Rendimiento	Fenómenos físicos	Flujo turbulento	Re	Cálculo	Calculadora
		Flujo laminar	Re	Cálculo	Calculadora
		Efecto Venturi	-	Cálculo	Calculadora
		Efecto capa límite	Mm	Cálculo	Calculadora

Nota. Variables dependientes del presente proyecto.

Variable Independiente

Es la explicación de los fenómenos manipulados por el investigador.

Tabla 2

Variable Independiente

Concepto	Categoría	Indicadores	Ítem	Técnicas	Instrumentos
Aerodinámica	Parámetros de medición	Presión atmosférica	bar	Medición	Barómetro
		Velocidad del viento	Km/h	Medición	Anemómetro
		Temperatura ambiente	° C	Medición	Termómetro
	Datos del vehículo	Velocidad	Km/h	Medición	Micrón
		Peso	kg	Medición	Báscula
		Dimensión	Cm	Medición	Flexómetro Pie de rey

Nota. Variables independientes del presente proyecto.

Capítulo II

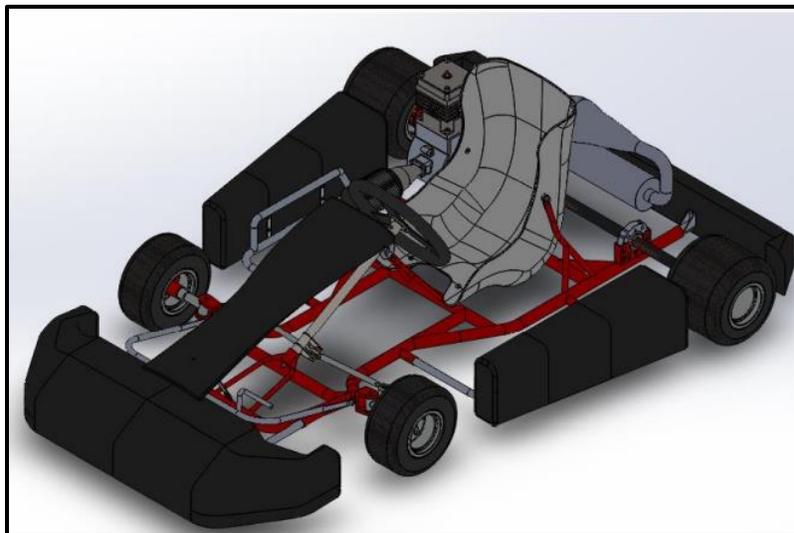
Marco Teórico

Karting

Un kart es un vehículo terrestre monoplaza sin techo, sin suspensiones y con o sin elementos de carrocería, con 4 ruedas no alineadas que están en contacto con el suelo, las llantas delanteras ejercen el control de dirección y las llantas traseras las cuales se conectan por un eje el cual es una pieza, transmiten potencia. Sus partes principales son: El chasis (comprendida la carrocería) los neumáticos, el motor, la dirección y la transmisión (Salazar, 2011).

Figura 2

Kart Completo



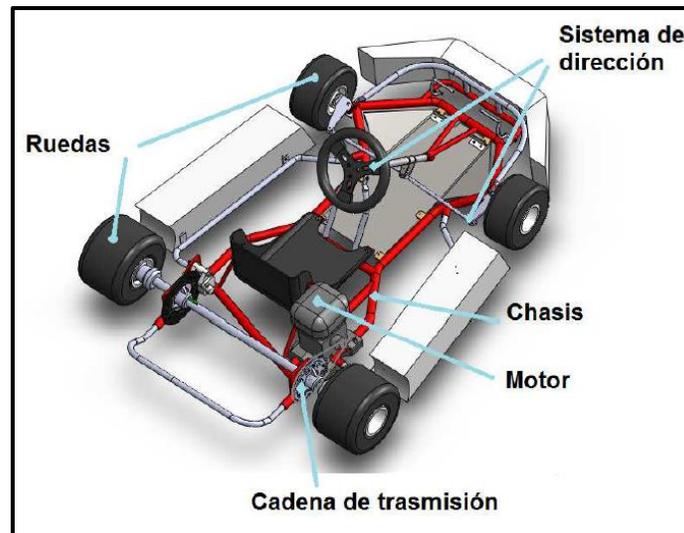
Nota. La figura muestra kart de competición. Tomada de: (Lizarra & Marcelino, 2019)

Partes del Karting

(Lizarra & Marcelino, 2019) Analizan que, dentro de la composición de un kart, encontramos las partes de las que se subdivide, tal como lo muestra la figura 3. En la cual se consideran las ruedas, sistema de dirección, chasis, motor y carenados.

Figura 3

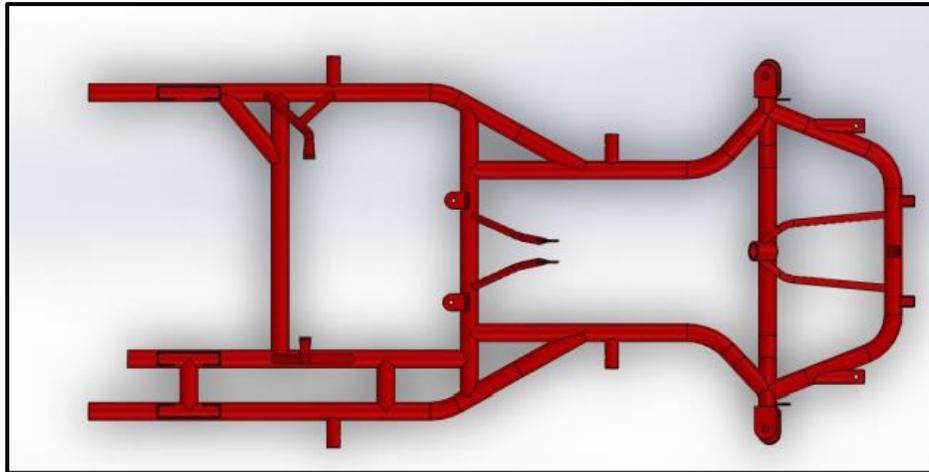
Partes del Kart



Nota. La figura muestra partes del kart. Tomada de: (Salazar, 2011)

Chasis

(Salazar, 2011) Define al chasis como estructura del conjunto del kart que ensambla las partes mecánicas y la carrocería, comprendida cualquier pieza solidaria de dicha estructura. El kart se conforma por tubos de acero los cuales están soldados estos no son atornillados, la estructura del kart es rígida.

Figura 4*Chasis del Kart*

Nota. La figura muestra el chasis del kart. Tomada de: (Lizarra & Marcelino, 2019)

Ruedas

(Salazar, 2011) manifiesta que la rueda está definida por la llanta con el neumático, que sirve para la dirección y/o propulsión del Kart.

Figura 5*Llantas del Kart*

Nota. La figura muestra las llantas del kart. Tomada de: (Salazar, 2011)

Estas son algunas características:

- El número de ruedas se establece en cuatro, dos delanteros y dos traseros, así como el número de neumáticos.
- Sólo los neumáticos pueden entrar en contacto con el suelo cuando el piloto esté a bordo.

- Las ruedas y neumáticos de un kart son mucho más pequeñas que las usadas en un coche normal.
- Las llantas están hechas de aleaciones de magnesio o de aluminio.
- Las ruedas pueden llegar a soportar fuerzas mayores a veinte metros sobre segundo al cuadrado ($20 \frac{m}{s^2}$) en las curvas, dependiendo del chasis, del motor, y de su configuración.

Motor

Por motor se entiende el conjunto motor propulsor del vehículo en estado de marcha, comprendiendo un bloque de cilindros, carters, eventualmente caja de velocidades, un sistema de encendido, uno o varios carburadores (no posee sistema de inyección) y un tubo de escape silencioso (Salazar, 2011).

Figura 6

Motor del Kart



Nota. La figura muestra el motor del kart. Tomada de: (Salazar, 2011)

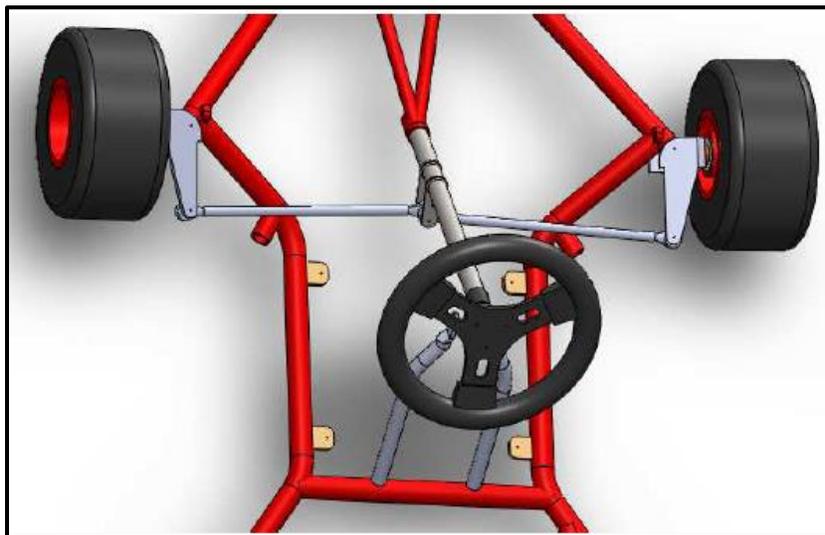
Las partes más importantes en el motor de un kart son: el sistema de admisión, el carburador, la bujía y el escape en un concepto muy general.

Sistema de Dirección

(Salazar, 2011) Describe al sistema de dirección como el conjunto de mecanismos que componen el sistema de dirección tiene la misión de orientar las ruedas delanteras para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor. Está formado por: volante, columna de dirección, barras de dirección y puntas de dirección.

Figura 7

Sistema de Dirección de un Kart



Nota. La figura muestra el sistema de dirección del kart. Tomada de: (Salazar, 2011)

Carenado

Para (Aguado, 2014) la misión principal de la carrocería es disminuir la resistencia aerodinámica que ofrece el aire al avance del kart. Esto es posible mediante un carenado cuyo diseño logra afectar el coeficiente aerodinámico del kart (C_x), cuando se afecta al coeficiente aerodinámico ayuda en el aumento de la velocidad punta del kart, en su aceleración y en la reducción del combustible en cuanto a su consumo.

Figura 8

Partes del Carenado del Kart



Nota. La figura muestra las partes del carenado del kart. Tomada de: (Aguado, 2014)

Normativa del Carenado Según la CIK/FIA

Grupo I y Grupo II. Excepto Superkart. (FIA, 2021) El carenado delantero debe comprender en su lado frontal una superficie vertical (con una tolerancia de $\pm 10^\circ$ medida en el centro del carenado delantero en relación con el plano vertical teórico) con una longitud mínima de doscientos milímetros (200 mm) y una altura mínima de setenta milímetros (70 mm). ubicado inmediatamente por encima de la distancia al suelo. Dentro de esta superficie vertical (200 mm - 70 mm), en ambas direcciones se acepta una esquina, pero ningún punto de la esquina debe tener un radio inferior a 250 mm. (FIA, 2021)

Grupo III. El carenado delantero debe comprender en su lado frontal una superficie vertical (con una tolerancia de +/- 10 ° medida en el centro del carenado delantero en relación con el plano vertical teórico) con una longitud mínima de ciento ochenta milímetros (180 mm) y una altura mínima de cincuenta milímetros (50 mm), situado inmediatamente por encima de la distancia al suelo. Dentro de esta superficie vertical (180 mm - 50 mm) en ambas direcciones se acepta una esquina, pero ningún punto de la esquina debe tener un radio menor de 200 mm. (FEDAK, 2021)

Material de Carenado

Fibra de Vidrio. En 1985 fue el principio de la historia de los carenados este fue hecho en fibra de vidrio de una forma artesanal. (TKart, 2019).

Figura 9

Carenado de un Kart Fabricado en Fibra de Vidrio



Nota. La figura muestra al carenado de un kart en fibra de vidrio. Tomada de: (TKart, 2019)

Plástico. De 1992 en adelante, los juegos de carenados ya no son de fibra de vidrio, sino que se fabrican con plástico la cual es tomada como materia prima. El nuevo material permite optimizar la producción (TKart, 2019).

Figura 10

Carenado de un Kart Fabricado en Plástico.



Nota. La figura muestra al carenado de un kart fabricado en plástico. Tomada de: (TKart, 2019)

Categorías del Karting en el Ecuador

Esta tabla hace referencia a todas las categorías admitidas en la ROK CUP ECUADOR, en el presente proyecto nos enfocamos netamente en la categoría SHIFTER ROK

Tabla 3

Clasificación de Categorías de la ROK CUP en Ecuador

Categoría	Edad	Número	Peso
Baby ROK categoría promocional que no tiene ganadores. Enseña a los pilotos condiciones a discreción del instructor	4-6 o discreción del instructor (carrera exhibición motor comer c50, catalina 80)	Libre	--
MICRO ROK	7-9 (no puede cumplir 10 años durante el campeonato vigente). Piloto que haya corrido en Mini ROK puede acceder a la categoría Micro ROK si su edad lo permite)	2 al 99	105 Kg

Categoría	Edad	Número	Peso
MINI ROK	8-12 (no puede cumplir 13 años durante el campeonato vigente)	100 al 199	110 Kg
JUNIOR ROK	12 – 15	200 al 299	145 Kg
SENIOR ROK	16+	300 al 399	160 kg si compite en una manga solo senior separada, si corre fusionada con expert el peso será 175kg.
SHIFTER SENIOR	15+	400 al 499	180 Kg.
SHIFTER MASTER	32 + piloto con peso de más de 90 kg puede competir en esta categoría sin haber cumplido la edad (se puede cumplir 32 años durante el campeonato)	500 al 599	180 kg.
EXPERT ROK	32+ (es permitido si durante el campeonato se cumple los 32 años y es permitido pilotos +90 kg con	600 al 699	175 kg.

Categoría	Edad	Número	Peso
toda su indumentaria sin importar edad)			
EXPERT PLUS			
	44+ (es permitido si durante el campeonato se cumple los 44 años)	700 al 799	175 Kg.
BRIGG KART CHAMPIONSHIP			
	16+	800 al 899	160 Kg.

Nota: La siguiente tabla se establece las diferentes categorías que hay en la competencia ROK CUP ECUADOR, la cual utiliza el motor Vortex como único permitido, esta competición se categoriza tanto por peso como edad (FEDAK, 2021).

Principios de la aerodinámica

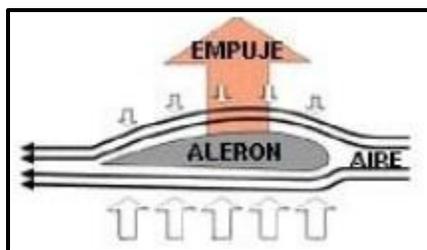
Según (Santamaría & Calero, 2012) La aerodinámica es una subclase de la mecánica de fluidos la cual estudia los cuerpos sólidos en comportamiento con el fluido que los rodea.

Efecto Venturi – Principio de Bernoulli

La energía en su totalidad permanece constante. El presente principio explica, la presión es inversamente proporcional a la velocidad, si aumenta una disminuye la otra (Santamaría & Calero, 2012).

Figura 11

Representación del Efecto Venturi – Principio Bernouilli



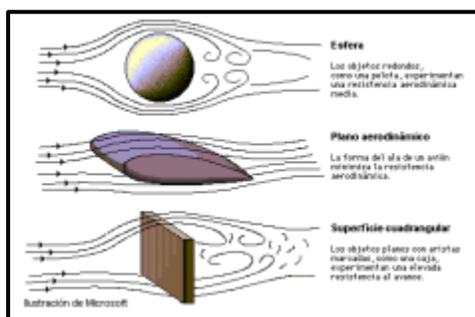
Nota. La figura muestra la representación del efecto Venturi – principio Bernouilli. Tomada de: (Santamaría & Calero, 2012)

Capa Límite

(Santamaría & Calero, 2012) Establece que, en la evolución del aire alrededor de un cuerpo cualquiera, impacta sobre el mismo, logrando formar una capa muy fina de moléculas. Esta capa fina contiene moléculas del mismo aire, por causa de la viscosidad, estas moléculas mantienen su velocidad, ya que fluyen sobre otras moléculas, así este procedimiento se repite hasta formar una capa de moléculas de aire.

Figura 12

Representación de la Capa Límite



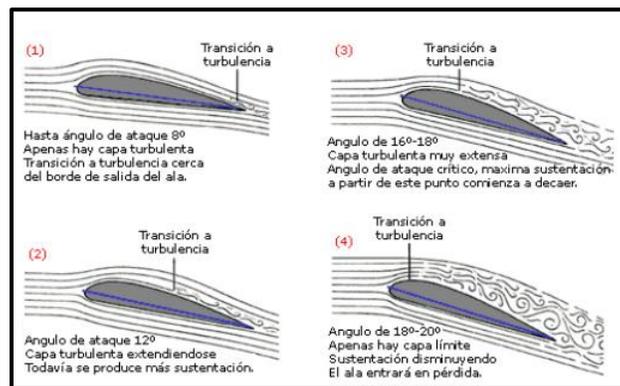
Nota. La figura muestra la representación de la capa límite. Tomada de: (Santamaría & Calero, 2012)

Flujo Laminar y Flujo Turbulento

(Santamaría & Calero, 2012) nos indica que, el flujo laminar es el impulso de un fluido cuando éste es ordenado. En un flujo laminar el fluido se mueve en capas paralelas sin mezclarse entre ellas y cada partícula de fluido mantiene una trayectoria tranquila y establecida, llamada línea de corriente. El flujo turbulento es el movimiento de un fluido el cual tiene un movimiento caótico, es decir sus partículas se agitan desordenadamente y sus partículas forman pequeños remolinos aperiódicos.

Figura 13

Representación del Flujo Laminar y Turbulento



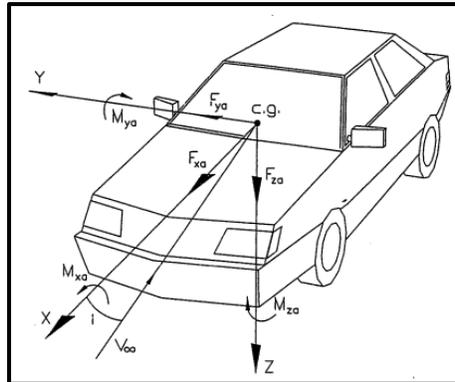
Nota. La figura muestra la representación del flujo turbulento y laminar. Tomada de: (Santamaría & Calero, 2012)

Fuerzas Aerodinámicas

Las acciones aerodinámicas que actúan sobre el monoplaza pueden representarse por una resultante general de las fuerzas y de un momento resultante, aplicados ambos al centro de gravedad del monoplaza, estos vectores pueden estudiarse a través de sus componentes en las direcciones longitudinal, transversal y vertical (Aparicio et al., 2001)

Figura 14

Diagrama de Fuerzas Aerodinámicas en un Automóvil



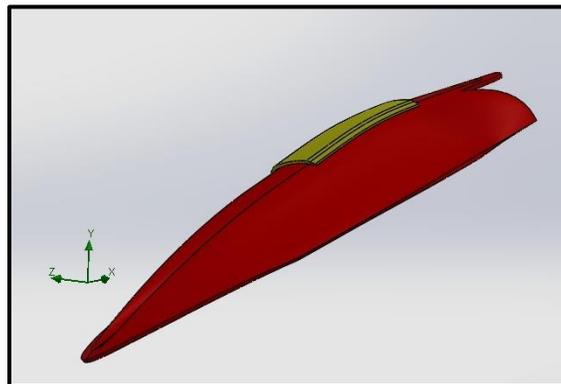
Nota. La figura muestra el diagrama de fuerzas aerodinámicas de un auto. Tomada de:

(Aparicio et al., 2001)

Para el presente Proyecto por facilidad de diseño se ha modificado los ejes de la figura 14 los cuales están designados de la siguiente manera.

Figura 15

Ejes Tomados para la Simulación del Presente Proyecto



Nota. En la figura se muestra los ejes en los cuales se diseña en el modelado

Las fuerzas aerodinámicas pueden expresarse en función de la presión dinámica y una superficie característica mediante un coeficiente adimensional de proporcionalidad, determinando experimentalmente, que se conserva prácticamente constante para los valores

del número de Reynolds suficientemente altos, los cuales se representan en condiciones operativas normales del monoplaza (Aparicio et al., 2001).

Ecuación 1

Fuerza Aerodinámica

$$F_A = \frac{1}{2} * \rho * C_x * A_f * V^2$$

Donde:

F_A = Fuerza aplicada [N]

ρ = densidad [Kg/m^3]

C_x = coeficiente aerodinámico

V = Velocidad [$\frac{m}{s}$]

A = Área [m^2]

Resistencia Aerodinámica al Avance

Es la fuerza resultante que afecta al vehículo específicamente en el eje x como se muestra en la figura 14 para este proyecto se va a tomar como referencia el eje z, su ecuación es la siguiente:

Ecuación 2

Resistencia Aerodinámica al Avance

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

Donde:

F_z = Resistencia Aerodinámica al Avance [N]

ρ = densidad [Kg/m^3]

C_z = coeficiente aerodinámico

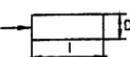
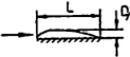
V = Velocidad [$\frac{m}{s}$]

A = Área [m^2]

Para tener una base en cuanto a los valores de coeficiente de resistencia aerodinámico se muestra en la figura 16, la cual esta referenciada en el eje x sin embargo en el presente proyecto se lo toma en el eje z por facilidad de diseño

Figura 16

Coeficientes de Resistencia Aerodinámica en Diferentes Cuerpos.

Cuerpo	Orientacion del flujo	Cx
Placa circular		1.17
Esfera		0.47 *
Semiesfera		0.42 *
Cono (60°)		0.5
Cubo		1.05 *
Cilindro ($l/D > 2$)		0.82
Cilindro ($l/D < 1$)		1.15
Cuerpo currentilíneo $l/D = 2.5$		0.04
Medio cuerpo currentilíneo sobre el suelo		0.09

Nota. La figura muestra los coeficientes de resistencia aerodinámica en base a la forma del cuerpo. Tomada de: (Aparicio et al., 2001)

Empuje Lateral Aerodinámico

Es la fuerza resultante que afecta al vehículo específicamente en el eje y como se muestra en la figura 14, sin embargo, en el presente proyecto se va a tomar como referencia el eje x, su ecuación es la siguiente:

Ecuación 3*Empuje Lateral Aerodinámico*

$$F_X = \frac{1}{2} * \rho * C_X * A_f * V^2$$

Donde:

 F_X = Empuje Lateral Aerodinámico [N] ρ = densidad [Kg/m^3] C_X = coeficiente aerodinámicoV = Velocidad [$\frac{m}{s}$]A = Área [m^2]**Sustentación Aerodinámica**

Es la fuerza resultante que afecta al vehículo específicamente en el eje z como se muestra en la figura 14, sin embargo, para este proyecto se va a tomar como referencia el eje y, su ecuación es la siguiente:

Ecuación 4*Sustentación Aerodinámica*

$$F_Y = \frac{1}{2} * \rho * C_Y * A_f * V^2$$

Donde:

 F_Y = Empuje Lateral Aerodinámico [N] ρ = densidad [Kg/m^3] C_Y = coeficiente aerodinámicoV = Velocidad [$\frac{m}{s}$]A = Área [m^2]

Definiciones Generales

Densidad (ρ). “Magnitud que expresa la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

Su unidad en el Sistema Internacional es el kilogramo por metro cúbico (kg/m³)” (Real Academia Española , 2021).

Para obtener la densidad del aire húmedo se utiliza la siguiente formula: (Picard, Davis, GLÄSER, & Fujii, 2008)

Ecuación 5

Densidad del Aire Húmedo

$$\rho_a = \frac{P * M_a}{Z * R * T} \left[1 - x_v * \left(1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right]$$

Donde:

P = Presión Pa

T = Temperatura del aire °K

x_v = fracción molar de vapor de agua

M_a = masa molar del aire seco g/mol

M_v = masa molar del agua g/mol

Z = factor de compresibilidad

R = constante molar de los gases $\frac{J}{mol * ^\circ K}$

Coefficiente de Resistencia (Cx). El coeficiente de resistencia aerodinámica adopta el área mayor de la sección transversal del cuerpo respecto a la dirección del fluido **(Aparicio et al., 2001)**

Área (A). “Espacio de tierra comprendido entre ciertos límites” (Real Academia Española , 2021).

Velocidad (V). “Magnitud física que expresa el espacio recorrido por un móvil en la unidad de tiempo, y cuya unidad en el sistema internacional es el metro por segundo (m/s)”. (Real Academia Española , 2021).

Fuerza (F). “Vigor, robustez y capacidad para mover algo o a alguien que tenga peso o haga resistencia” (Real Academia Española , 2021).

Momento (M). Es una fuerza multiplicada por una distancia establecida.

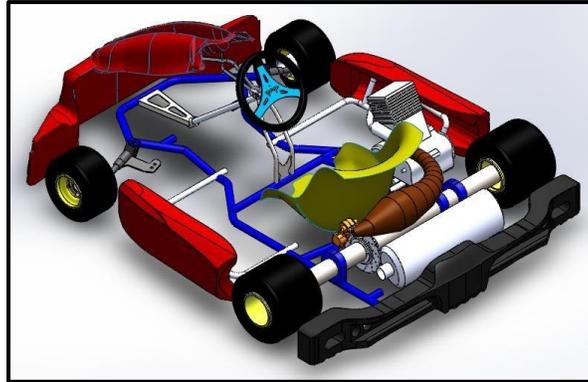
Dinámica. “Pertenece o relativo a la fuerza cuando produce movimiento” **(Real Academia Española , 2021).**

Sistemas CAD (Diseño Asistido por Computadora)

Este sistema permite el diseño de objetos por computadora, presentando varias ventajas como es ser interactivo, además, da una facilidad para la creación de nuevos diseños, la ventaja que brinda esta opción es el evitar la construcción ya que podemos prevenir esa posibilidad con nuestros diseños y simulaciones tanto en 2D como en 3D, esto nos ayuda poder modificarlas e ir perfeccionándolas para tener una base sólida para la futura realización de nuestro proyecto (Rojas & Salas, 1999).

Figura 17

Diseño en Programa CAD



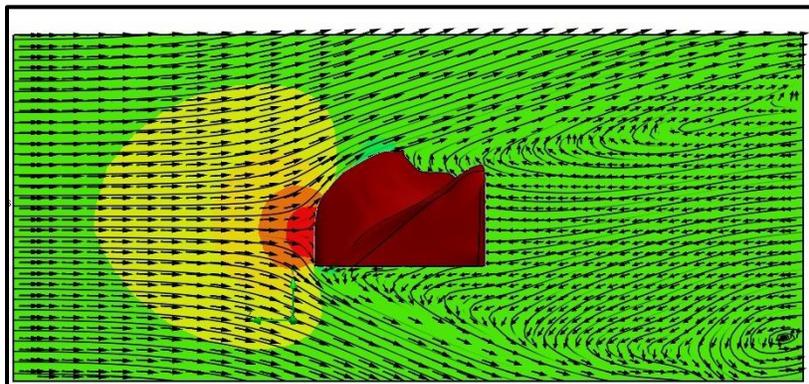
Nota. Ejemplo de uso del sistema CAD.

Sistema CAE (Ingeniería Asistida por Computadora)

El modelo geométrico de un producto es el componente central dentro del concepto de la CAE y radica en la representación de este en la memoria de la computadora. Todos los elementos restantes de la CAE manejan esta representación geométrica como punto de inicio (Rojas & Salas, 1999).

Figura 18

Diseño en Programa CAE



Nota. Ejemplo de uso del sistema CAE.

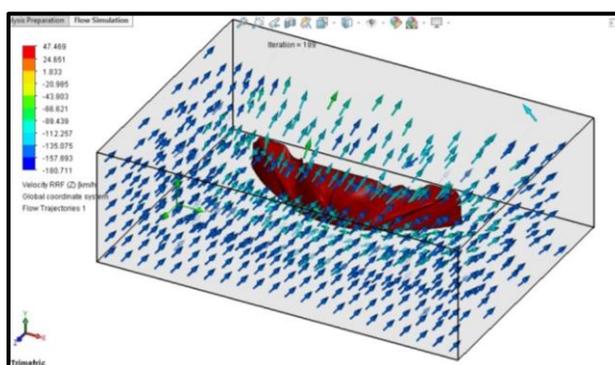
CFD (La Dinámica de Fluidos Computacional)

Es el estudio de flujos de fluidos el cual usa métodos de solución numérica. Utilizando esta herramienta tiene la capacidad para estudiar problemas que implican la interacción fluido-fluido, fluido-sólido o fluido-gas. Esta herramienta se la utiliza en estudios de aerodinámica como es el caso de esta tesis. (Carrera & Proaño, 2019)

Esta herramienta esta asistida mediante parámetros físicos en el caso de este trabajo como son humedad, temperatura, presión, densidad para realizar la simulación como lo la fuerza de arrastre, área proyectada.

Figura 19

Utilización de la Herramienta CFD



Nota. Ejemplo del uso de la herramienta CFD.

Características Técnicas de la Categoría Shifter ROK

En esta tabla se observa cuáles son los requerimientos obligatorios para poder participar en la ROK CUP ECUADOR.

Tabla 4

Características Técnicas de la Categoría Shifter ROK

Parámetro	Requerimiento
Características Generales	Pilotos de 90 kg o más de peso corporal que no cumplan la edad de master (32+), pueden competir en esa categoría.

Parámetro	Requerimiento
	Catalina: 24
	Piñón: 17 original Vortex
	Reeds: original Vortex nuevo modelo en todas sus partes.
	Peso mínimo: 180 kg
	Trocha máxima: 140 cm
	Trocha mínima: 134 cm.
	Aros traseros: libres
	Aros delanteros: libres
	Cámara de combustión: volumen mínimo de la cámara de combustión 13 cm ³ de acuerdo con el punto 7 o 7,1 de regulaciones técnicas 2020
	Tiempo: 1,6 mm +/- 0,2 mm
	Bujía: b10 EG NGK (prohibido modificar largo de la rosca)
	Opcional: Filtro de combustible.
	Chasis: homologación CIK-FIA
	Accesorios de motor: box stock
	Ficha técnica del motor: https://www.vortex-rok.com/download/italy/2020/fiche_ROK_SHIFTER_2020.pdf
	No es permitido llaves de paso de combustible en categoría Shifter
	Es permitido solamente un filtro de combustible

Parámetro	Requerimiento
	Protección de cuello: obligatorio a pilotos menores de 18 años

Nota. La siguiente tabla identifica los requerimientos necesarios para que el kart entre en los parámetros necesarios para poder ser participe del campeonato ROK CUP ECUADOR (FEDAK, 2021).

Características Técnicas del Carburador de la Categoría Shifter ROK

En esta tabla se observa los requerimientos específicos en el carburador utilizado en la ROK CUP Ecuador.

Tabla 5

Características Técnicas del Carburador de la Categoría Shifter ROK

Parámetro	Requerimiento
Características del carburador	Chicler: Marca Dellorto libre
	Pilot jet: b45
	Flotador: 4 gr, el nivel del flotador libre
	Porta aguja: 250
	Emulsor: 268 dp
	Inner jet: 45
	Outer pilot: 60
	Guillotina: 40
	Aguja: k98
	Chicler encendido:60

Parámetro	Requerimiento
	Carburador: modelo VSH 30 DELLORTO Box stock prohibido cualquier modificación y todas sus partes marca <i>Dellorto</i> .

Nota. La siguiente tabla identifica los requerimientos necesarios del carburador del kart para ser autorizado para la competición ROK CUP ECUADOR (FEDAK, 2021).

Capítulo III

Modelado y Análisis del Kart Original

Toma de Medidas

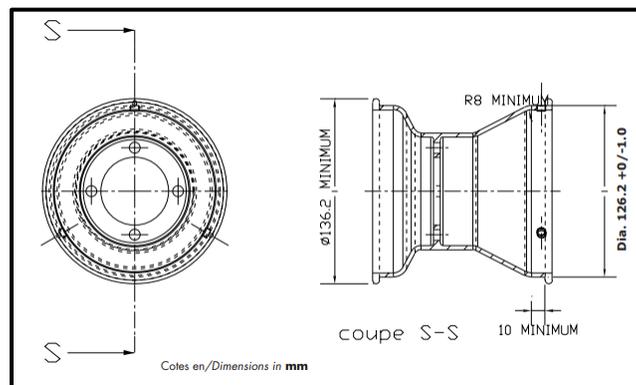
Se obtiene las medidas en base a la homologación establecida por CIK / FIA con ello se partió para el diseño del modelado CAD.

Dimensiones del Aro

Se establece las dimensiones del aro en la homologación número 044-TO-87, el cual se encuentra en el anexo 1_B.

Figura 20

Medidas del Aro



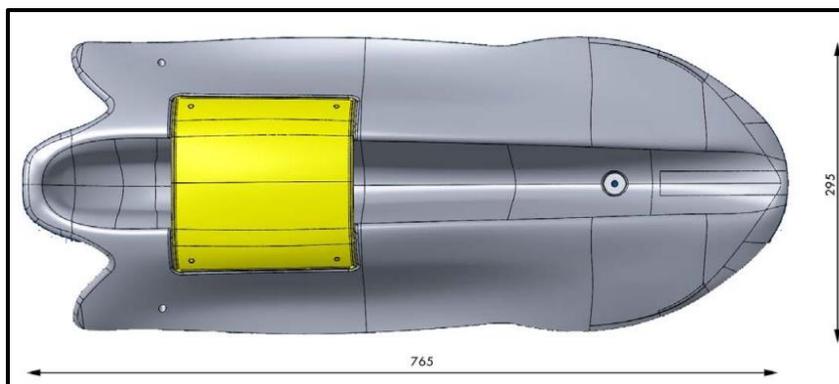
Nota. La figura muestra las medidas del Aro. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Carenado Superior Original

Se establece las dimensiones del carenado superior en la homologación número 012-BP-31, el cual se encuentra en el anexo 2.

Figura 21

Medidas del Carenado Superior Original



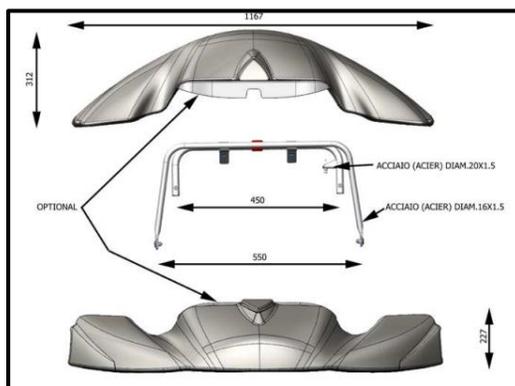
Nota. La figura muestra las medidas del carenado superior original. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Carenado Inferior Original

Se establece las dimensiones del carenado inferior en la homologación número 9-CA-20, el cual se encuentra en el anexo 3.

Figura 22

Medidas del Carenado Inferior Original



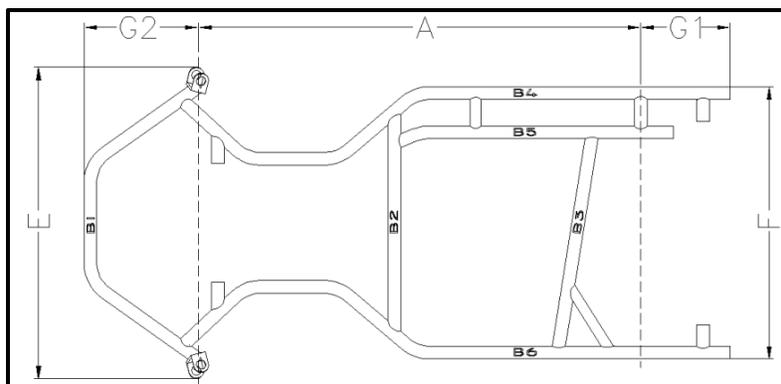
Nota. La figura muestra las medidas del carenado inferior original. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Chasis

Se establece las dimensiones del chasis en la homologación número 49-CH-14, el cual se encuentra en el anexo 4.

Figura 23

Medidas del Chasis



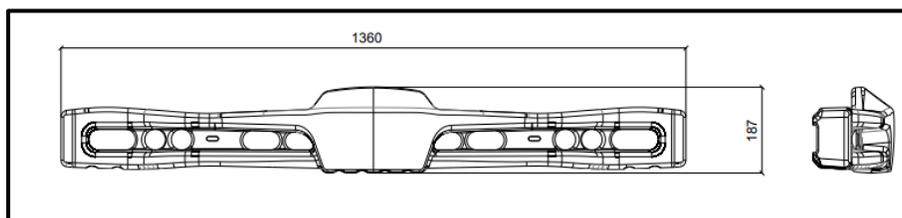
Nota. La figura muestra las medidas del chasis. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Bumper

Se establece las dimensiones del bumper en la homologación número 003-BR-48, el cual se encuentra en el anexo 5.

Figura 24

Medidas del Bumper



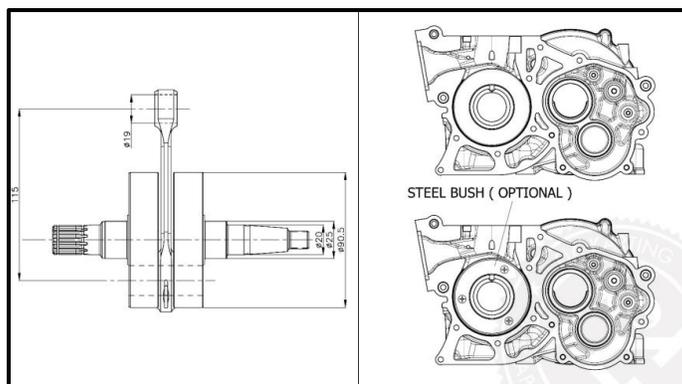
Nota. La figura muestra las medidas del bumper. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Motor

Se establece las dimensiones del motor en la homologación número 19-M-24, el cual se encuentra en el anexo 6.

Figura 25

Medidas del Motor



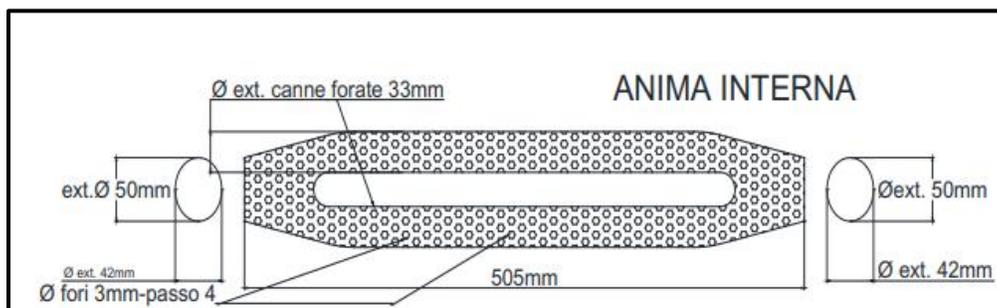
Nota. La figura muestra las medidas del motor. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Escape

Se establece las dimensiones del escape en la homologación número 4-EXSI-22, el cual se encuentra en el anexo 7.

Figura 26

Medias del Escape



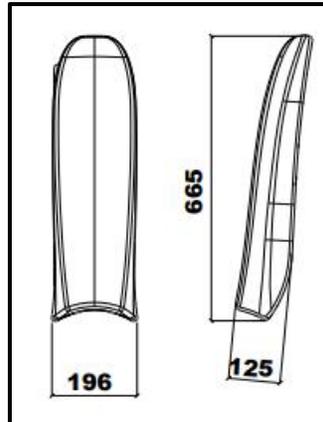
Nota. La figura muestra las medidas del escape. Tomada de: (FIA, 2022)

Dimensiones del Protector Lateral

Se establece las dimensiones del protector lateral en la homologación número 003-BS-54, el cual se encuentra en el anexo 8.

Figura 27

Medidas del Protector Lateral



Nota. La figura muestra las medidas del protector lateral. Tomada de: (FIA, 2022)

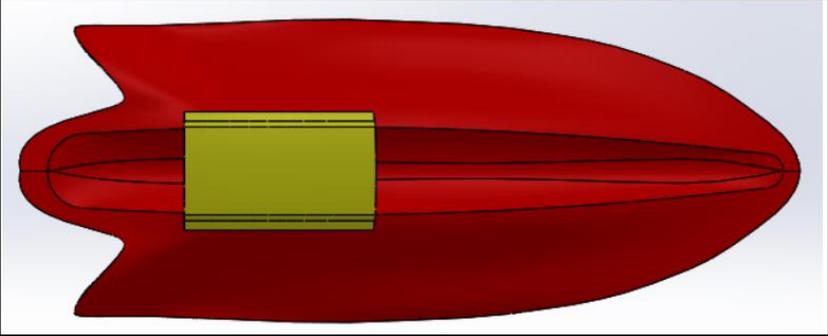
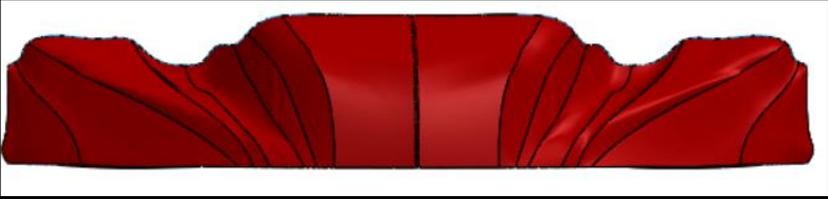
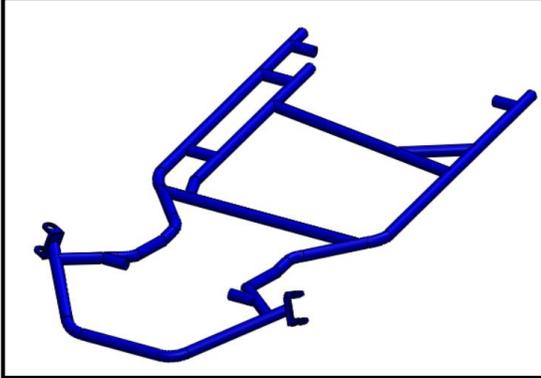
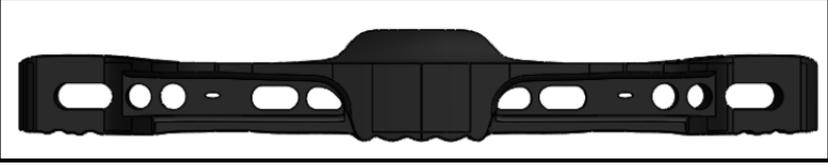
Modelado

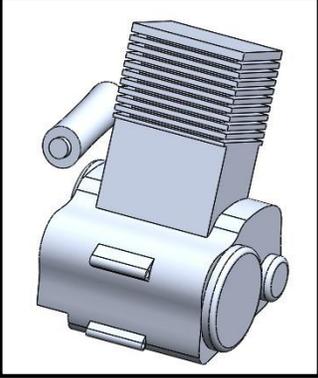
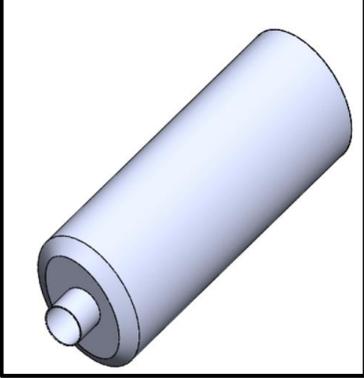
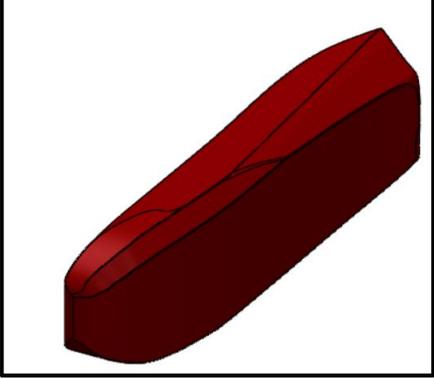
En base a las medidas representadas en los anexos correspondientes y mediante la utilización del software CAD, se llega al modelado de cada una de las partes del Kart, necesarias para realizar el ensamble y más adelante el análisis computacional.

Tabla 6

Modelado de los Elementos del Kart

Nombre	Modelado
Aro	

Nombre	Modelado
<i>Carenado Superior Original</i>	
<i>Carenado Inferior Original</i>	
<i>Chasis</i>	
<i>Bumper</i>	

Nombre	Modelado
<i>Motor</i>	 A 3D CAD model of a motor, shown in a light blue color. It features a cylindrical base with a circular port on the side, a central shaft extending from the top, and a series of horizontal cooling fins or blades on top.
<i>Escape</i>	 A 3D CAD model of a cylindrical component, shown in a light blue color. It has a central shaft protruding from one end and a slightly larger diameter section at the other end.
Protector Lateral	 A 3D CAD model of a lateral protector, shown in a dark red color. It is a curved, wedge-shaped component with a flat top surface and a rounded bottom edge.

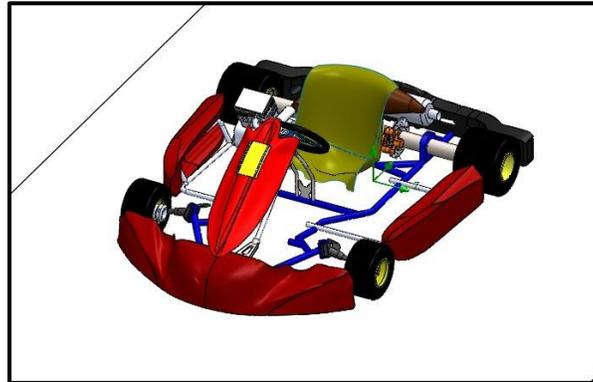
Nota. En la presente tabla se observa el modelado en 3D de cada uno de los elementos del kart en estudio.

Ensamblado del Kart Completo

Se ensambla todos los componentes hechos con el propósito de tener una visión general del kart original, el ensamble se muestra en la figura 28.

Figura 28

Ensamble Completo del Kart



Nota. La figura muestra el ensamble completo del kart.

Medición de Parámetros

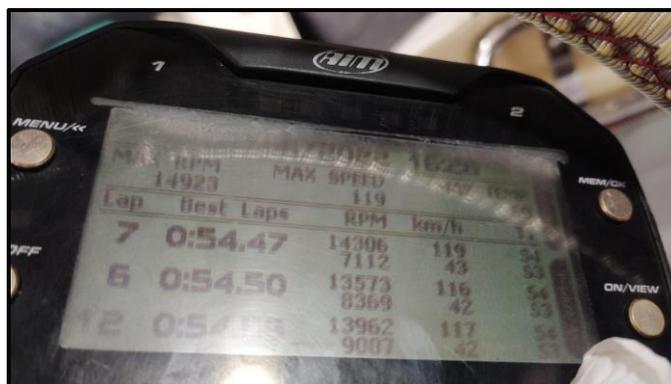
Se ha tomado medidas de los factores externos que afectan al kart.

Velocidad Punta del Kart

En base a los datos obtenidos en el kartódromo Cotopaxi en la etapa cuatro del campeonato ROK CUP ECUADOR se otorgó información con respecto a la velocidad punta la cual nos da como resultado un valor de 119 Km/h.

Figura 29

Prueba de Velocidad del Kart



Nota. En la figura se muestra la velocidad punta del Kart.

Datos Meteorológicos

Para obtener los datos meteorológicos se utiliza la herramienta de MSN tiempo, en la cual visualizamos que la temperatura ambiental es de 17°C, la humedad relativa es de 63 % y presión atmosférica de 1018 hPa.

Figura 30

Datos Meteorológicos del Día de Competición

11.00 h		17°	↙ 12 km/h	0,1 mm	91%	25%	63%	1019 hPa
12.00 h		17°	↙ 14 km/h	1,6 mm	91%	44%	63%	1018 hPa
13.00 h		17°	↑ 17 km/h	1,7 mm	96%	64%	66%	1017 hPa
14.00 h		16°	↑ 16 km/h	0,7 mm	82%	59%	72%	1016 hPa

Nota. La figura muestra los datos meteorológicos para la obtención de la densidad del aire.

Tomada de: (tiempo, 2012)

Densidad del aire

La densidad relativa se encuentra utilizando la herramienta meteorológica proporcionada por la CENAM la cual se la encuentra de forma online.

Figura 31

Cálculo de la Densidad del Aire

Magnitud	Valor	
Temperatura, t :	<input type="text" value="17"/>	°C
Presión, p :	<input type="text" value="101800"/>	Pa
Humedad Relativa, h :	<input type="text" value="63"/>	%
<input type="button" value="Realizar Cálculo"/>		
Resultado		
Densidad del aire:	<input type="text" value="1.2172269"/>	kg/m ³

Nota. La figura muestra el cálculo de la densidad del aire en la pista de competición. Tomada de: (CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA, 2003)

En base a esta interfaz se logra obtener una densidad de 1,217 Kg / m³

Estudio Aerodinámico del Diseño Original

Se realiza el estudio aerodinámico con los valores previamente calculados de temperatura, presión atmosférica y densidad del aire.

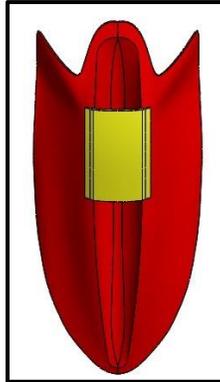
Estudio Aerodinámico del Carenado Superior Original

Se realiza el análisis aerodinámico del carenado superior original en el cual se obtendrá el coeficiente de resistencia aerodinámico.

Simulación del Carenado Superior Original. Se procede con la simulación en el programa CAE para obtener el coeficiente de resistencia aerodinámico.

Figura 32

Simulación del Carenado Superior Original



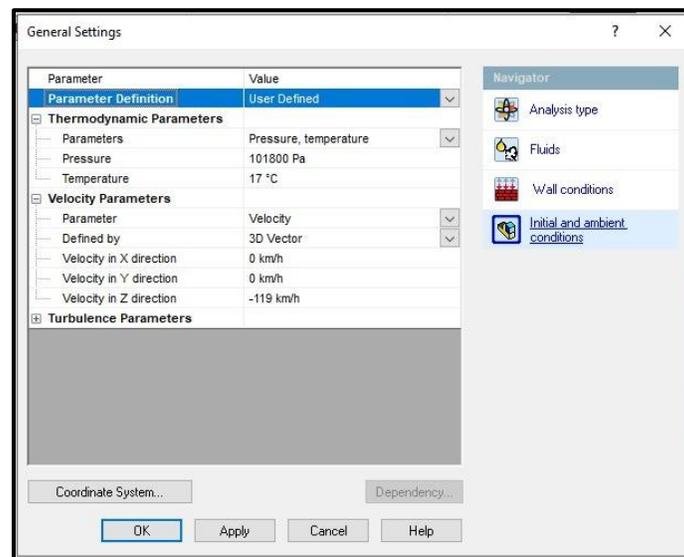
Nota. La figura muestra simulación del carenado superior original.

Obtención de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior Original

Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE. Para obtener la fuerza de Arrastre se ingresa los parámetros antes vistos para tener un entorno constante, lo cual nos ayuda a la comparación de resultados.

Figura 33

Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE

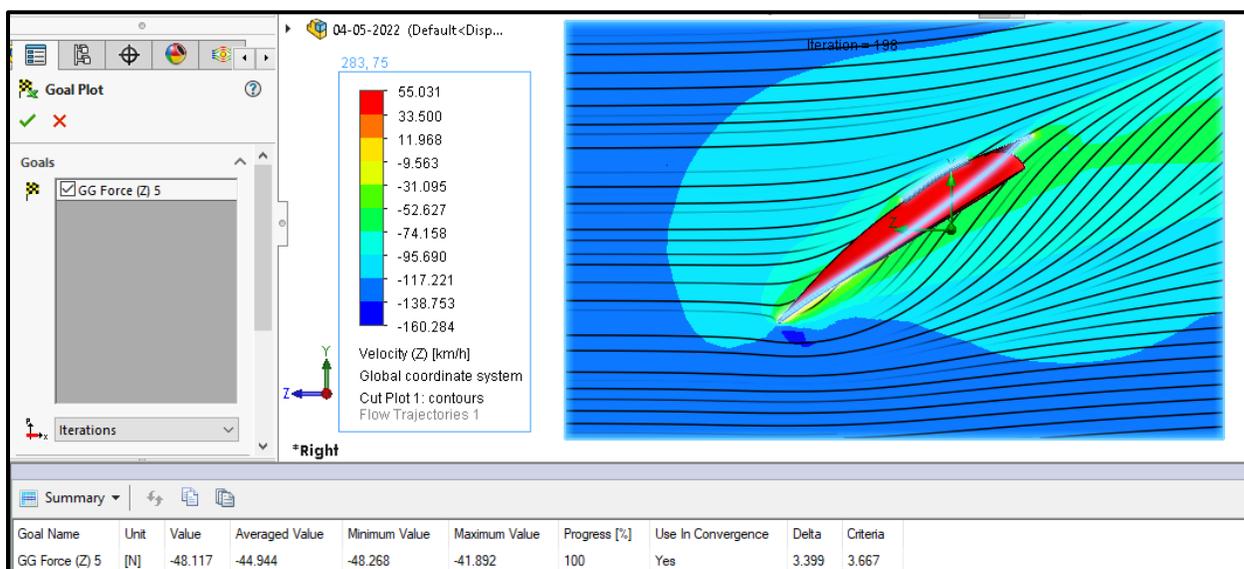


Nota. En la figura se muestra el ingreso de los parámetros necesarios para la simulación en el sistema CAE con la herramienta CFD

Simulación con la Herramienta CFD del Carenado Superior Original. Una vez utilizada la herramienta CFD se obtiene el siguiente dato de fuerza de arrastre, la cual es 48.12 N.

Figura 34

Dato de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior Original

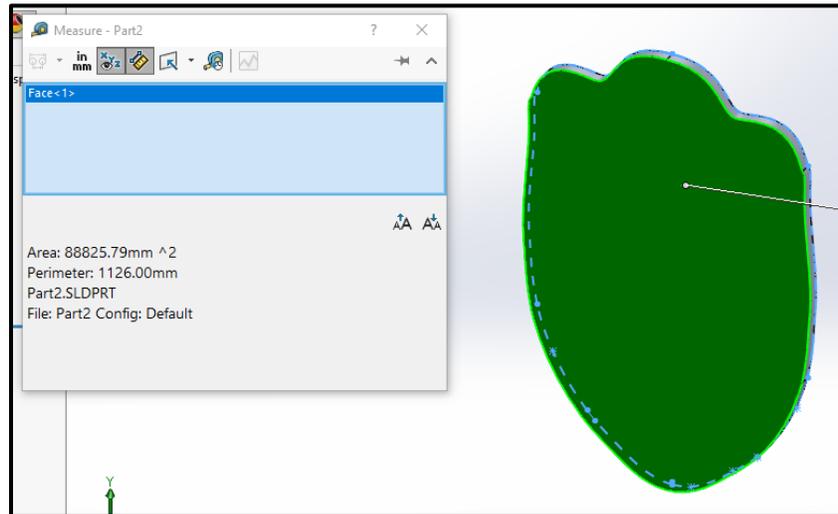


Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre del carenado superior original.

Área proyectada. El área proyectada es la superficie perpendicular al vector de aire de entrada, esta se obtiene al encontrar la superficie que está en contacto con el aire, en este caso el carenado superior original tiene un valor de 88825.9 mm^2 .

Figura 35

Área Proyectada del Carenado Superior Original



Nota. La figura muestra el área proyectada del carenado superior original.

Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado

Superior Original. Se calcula el coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado superior original con la ecuación dos la cual se despeja C_z utilizando los datos anteriormente obtenidos.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_z}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 48,12 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,09 \text{ m}^2 * (33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_z = 0,81$$

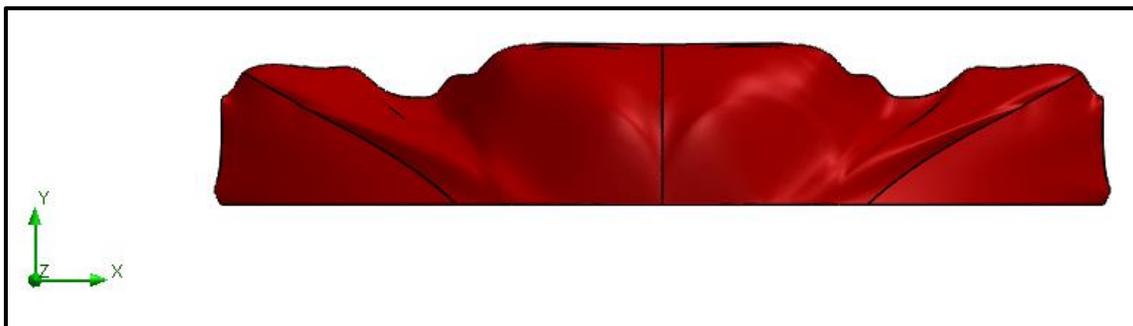
Estudio Aerodinámico del Carenado Inferior Original

Se realiza el análisis aerodinámico del carenado inferior original en el cual se obtiene el coeficiente de resistencia aerodinámico.

Simulación del Carenado Inferior Original. Para la obtención del coeficiente de resistencia aerodinámico se procede a simular el carenado inferior original.

Figura 36

Simulación del Carenado Inferior Original



Nota. La figura muestra simulación del carenado inferior original.

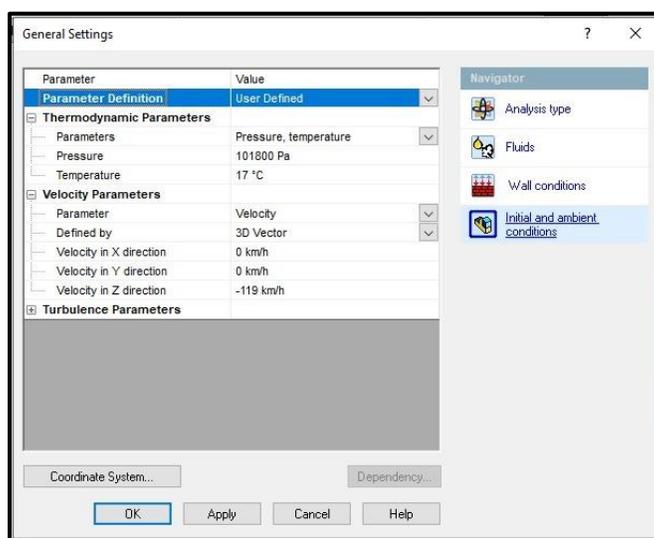
Obtención de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior Original

Ingreso de Parámetros al Sistema CAE. Ingreso de parámetros al sistema

CAE

Figura 37

Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE.



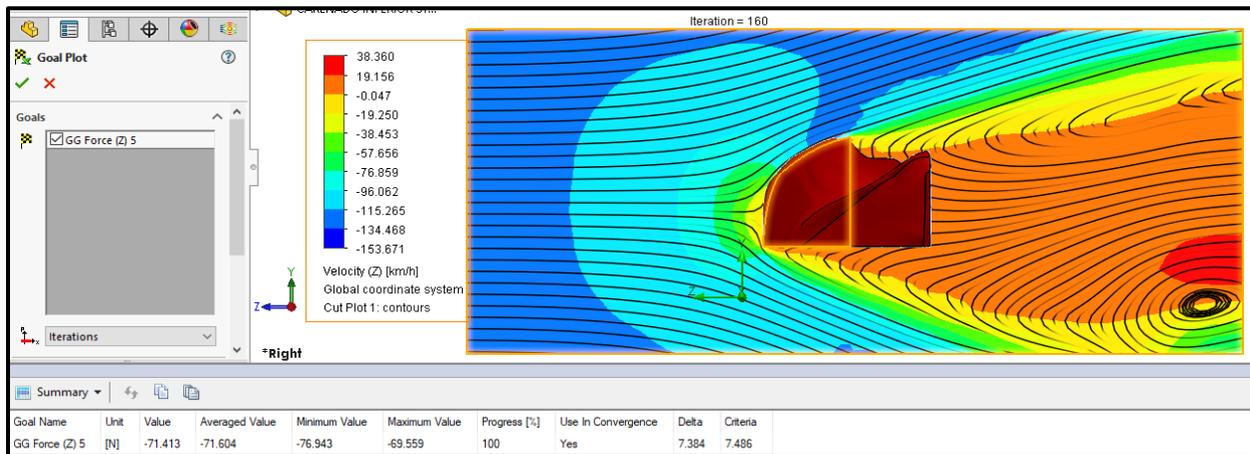
Nota. En la figura se muestra el ingreso de los parámetros necesarios para la simulación en el Sistema CAE con la herramienta CFD

Simulación con la Herramienta CFD del Carenado Inferior Original.

Mediante el uso de la herramienta CFD, se obtiene que la fuerza de arrastre es de 71.41 N

Figura 38

Dato de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior Original

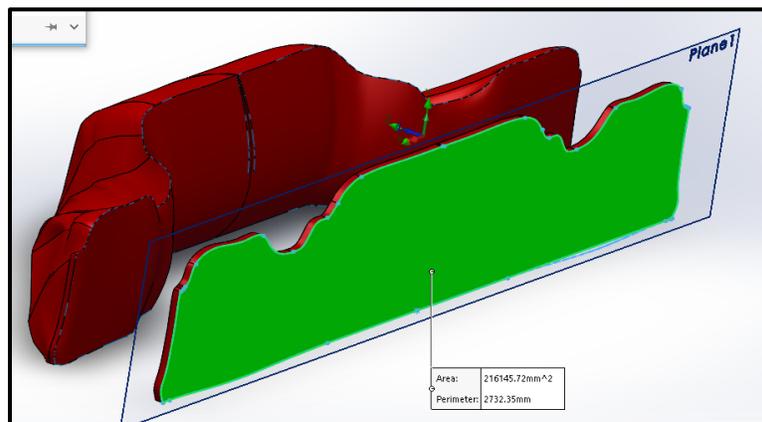


Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre del carenado inferior original.

Área proyectada. Mediante el modelado del carenado inferior original se obtiene un valor de 216145.72 mm^2 .

Figura 39

Área Proyectada del Carenado Inferior Original



Nota. La figura muestra el área proyectada del carenado inferior original.

Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior

Original. Para el cálculo del coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado inferior original se despeja C_z utilizando los datos previamente obtenidos.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 71,41 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,22 \text{ m}^2 * (33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}$$

$$C_z = 0,5$$

Capítulo IV

Análisis y Estudio Aerodinámico de las Propuestas

Análisis y Estudio Aerodinámico de las Propuestas del Carenado Superior

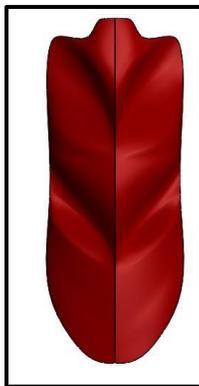
En el presente proyecto se simula tres propuestas para el carenado superior, las cuales se han diseñado con el fin de mejorar el coeficiente de resistencia aerodinámico, este valor entrega un punto de referencia, para la comparación entre propuestas con la meta de encontrar la mejor.

Simulación de las Propuestas del Carenado Superior

Propuesta 1. En la primera propuesta del carenado superior, se toma como base la geometría del carenado superior original, en la cual se adiciona dos entradas de aire en forma de V.

Figura 40

Simulación de la Primera Propuesta del Carenado Superior

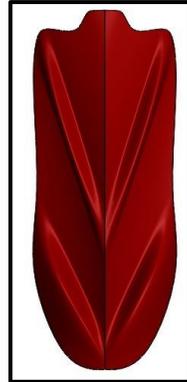


Nota. La figura muestra la simulación de la primera propuesta del carenado superior.

Propuesta 2. En la segunda propuesta del carenado superior, se toma como base la geometría del carenado superior original, se rebaja la curvatura del eje principal, se configura dos aletas en forma de V con un ángulo más pronunciado y una longitud mayor en comparación a la propuesta uno.

Figura 41

Simulación de la Segunda Propuesta del Carenado Superior

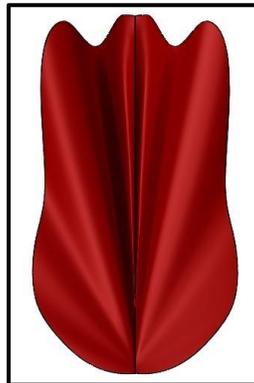


Nota. La figura muestra la simulación de la segunda propuesta del carenado superior.

Propuesta 3. En la tercera propuesta del carenado superior, se toma como base la geometría del carenado superior original, donde su base es más ancha, sus extremos inferiores implementan una curvatura sutil, el eje central posee tres entradas, en las cuales su longitud se prolonga cerca del límite inferior del carenado, la entrada central tiene una abertura pequeña con ángulos cerrados en comparación a las entradas que la acompañan a cada lado.

Figura 42

Simulación de la Tercera Propuesta del Carenado Superior



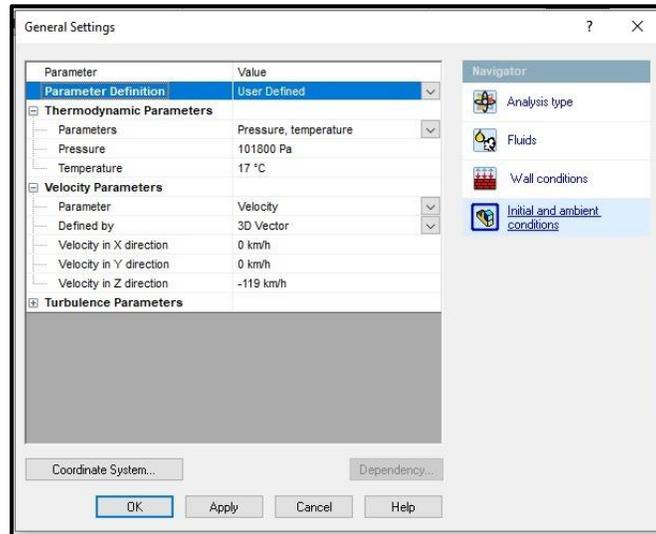
Nota. La figura muestra la simulación de la tercera propuesta del carenado superior.

Obtención de la Fuerza de arrastre de las Propuestas del Carenado Superior

Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE. Incorporación de parámetros al sistema CAE para la obtención de la fuerza de arrastre del carenado superior.

Figura 43

Incorporación de Parámetros en el Sistema CAE



Nota. En la figura se muestra el ingreso de los parámetros necesarios para la simulación en el sistema CAE con la herramienta CFD

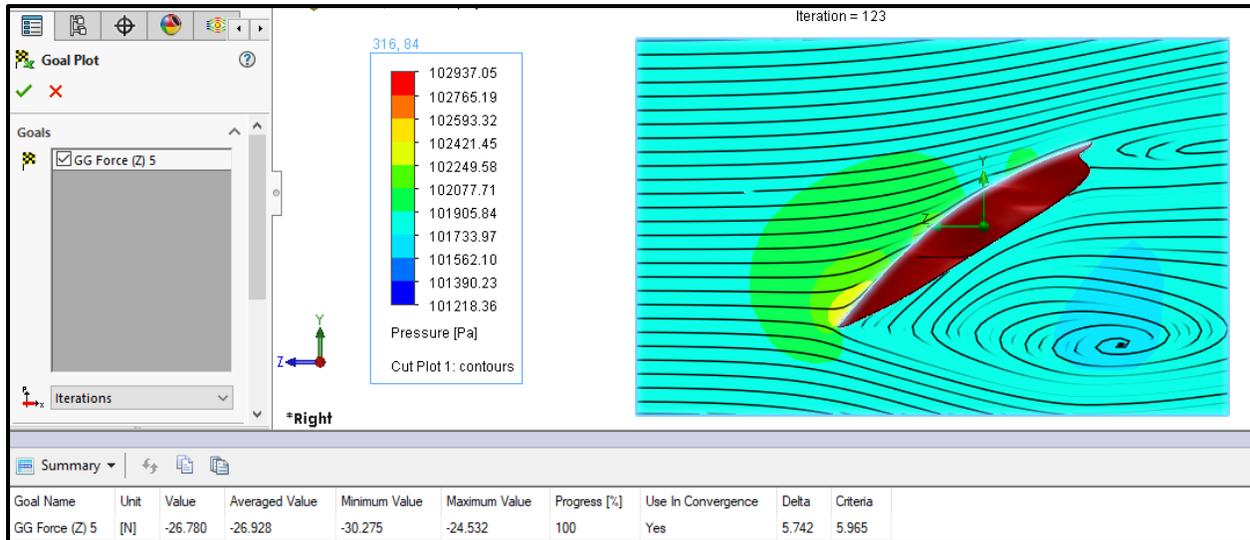
Simulación con la Herramienta CFD en las Propuestas del Carenado

Superior. Mediante el uso del programa CAE en conjunto de la herramienta CFD se procede a aplicar a cada propuesta planteada para el carenado superior.

Propuesta 1. El dato obtenido para la primera propuesta del carenado superior es de 26.78 N.

Figura 44

Dato de la Fuerza de Arrastre de la Primera Propuesta del Carenado Superior

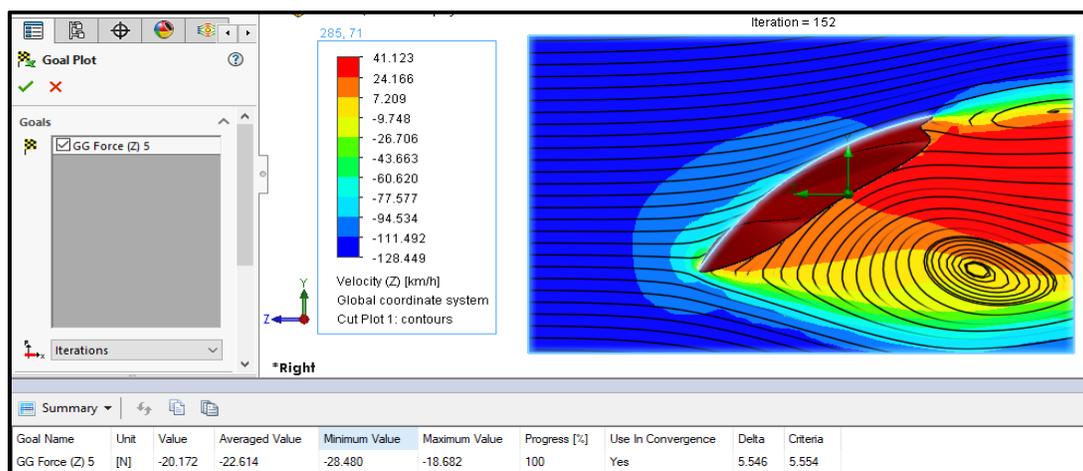


Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre de la primera propuesta del carenado superior.

Propuesta 2. Para la segunda propuesta del carenado superior se obtuvo un dato de 20.17 N.

Figura 45

Dato de la Fuerza de Arrastre de la Segunda Propuesta del Carenado Superior

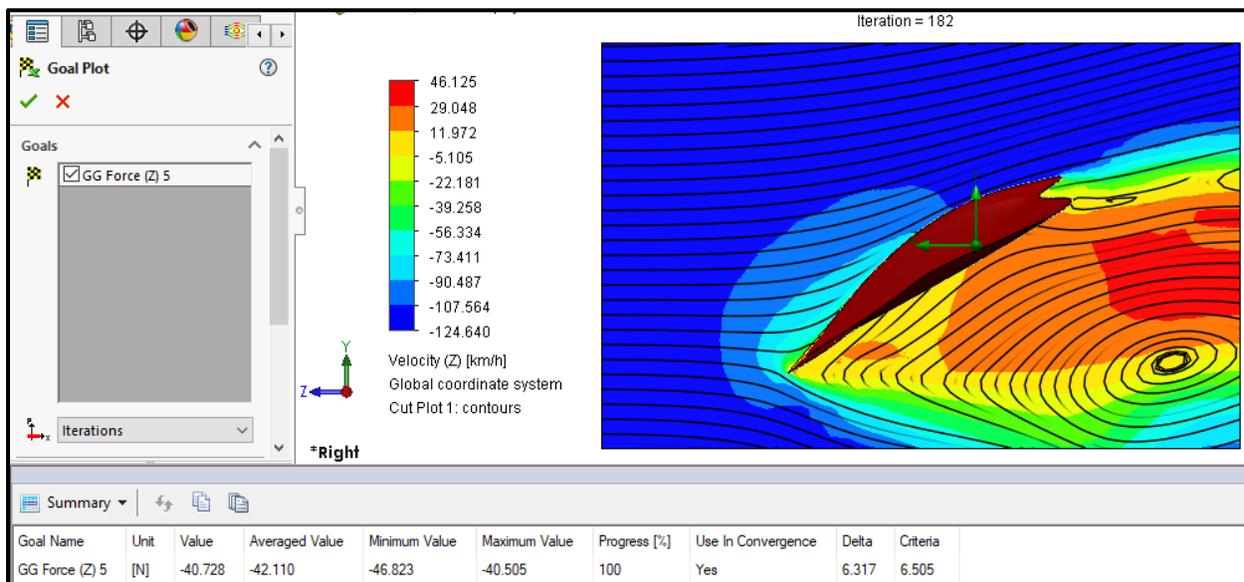


Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre de la segunda propuesta del carenado superior.

Propuesta 3. Finalmente, para la tercera propuesta del carenado superior se obtuvo un valor de 40.73 N.

Figura 46

Dato de la Fuerza de Arrastre de la Tercera Propuesta del Carenado Superior



Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre de la tercera propuesta del carenado superior.

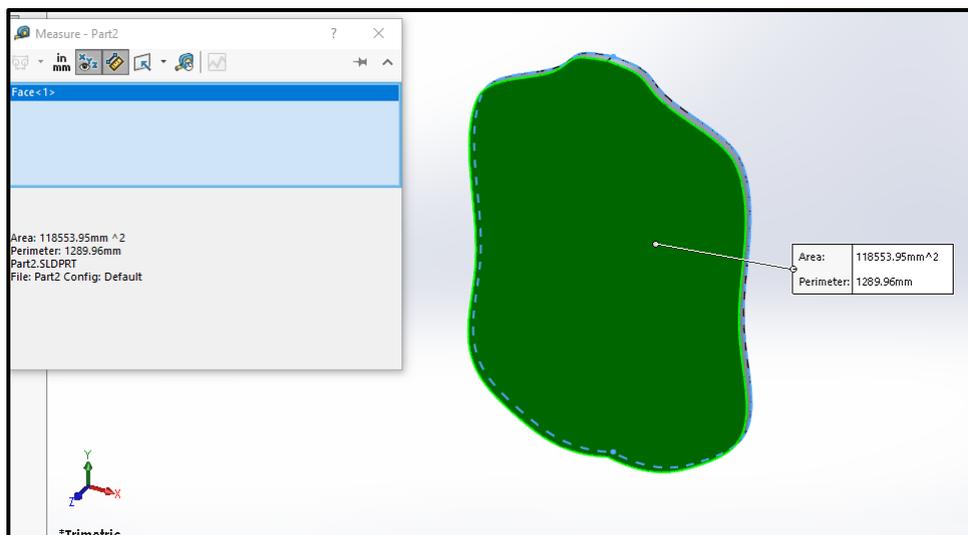
Obtención del Área Proyectada de las Propuestas del Carenado Superior

Para el cálculo del área proyectada, la cual fue explicada en el capítulo III, se obtiene los siguientes resultados del carenado superior.

Propuesta 1. Para la primera propuesta del carenado superior se obtiene un valor de 118553.95 mm^2 .

Figura 47

Área Proyectada de la Primera Propuesta del Carenado Superior

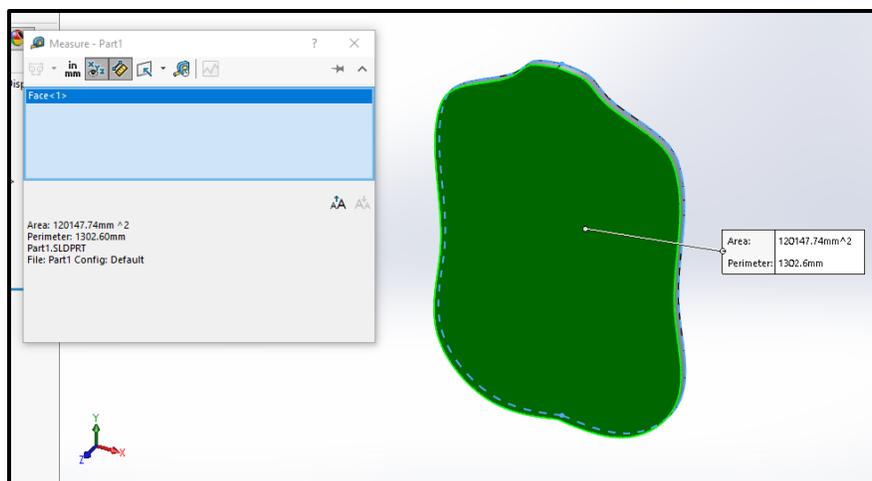


Nota. La figura muestra el área proyectada de la primera propuesta del carenado superior.

Propuesta 2. El valor del área proyecta de la segunda propuesta del carenado superior es 120147.74 mm^2 .

Figura 48

Área Proyectada de la Segunda Propuesta del Carenado Superior

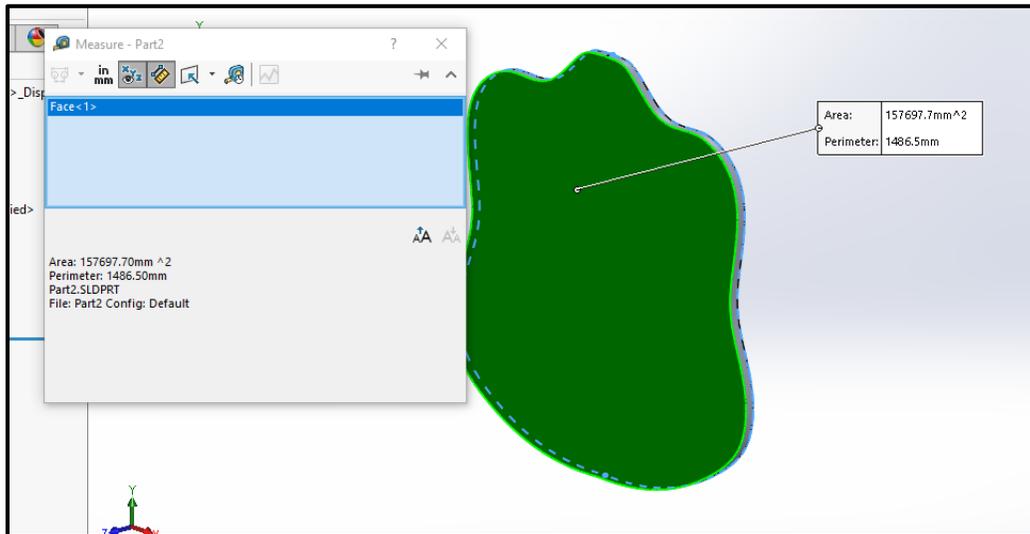


Nota. La figura muestra el área proyectada de la segunda propuesta del carenado superior.

Propuesta 3. Por otro lado, el área proyectada de la tercera propuesta del carenado superior es 157697.70 mm^2 .

Figura 49

Área Proyectada de la Tercera Propuesta del Carenado Superior



Nota. La figura muestra el área proyectada de la tercera propuesta del carenado superior.

Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica de las Propuestas del Carenado Superior

A continuación, se visualiza los resultados del coeficiente de resistencia aerodinámica (C_z), de las tres propuestas del carenado superior.

Propuesta 1. El coeficiente de resistencia aerodinámica de la primera propuesta del carenado superior es 0.34.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 26,78 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,12\text{m}^2 * 33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$C_z = 0,34$$

Propuesta 2. Para la segunda propuesta del coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado superior se obtiene un valor de 0.25.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 20,17 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,12 \text{m}^2 * 33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$C_z = 0,25$$

Propuesta 3. Finalmente, para la tercera propuesta del carenado superior el coeficiente de resistencia aerodinámica es 0.39.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 40,73 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,16 \text{m}^2 * 33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$C_z = 0,39$$

Análisis y Estudio Aerodinámico de las Propuestas del Carenado Inferior

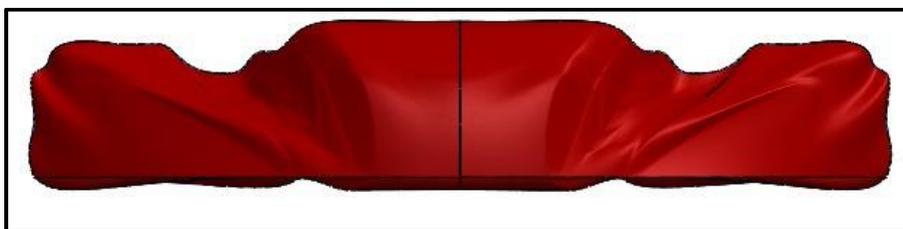
En el presente proyecto se simula tres propuestas para el carenado inferior, las cuales se han diseñado con el fin de mejorar el coeficiente de resistencia aerodinámico, este valor entrega un punto de referencia, para la comparación entre propuestas con la meta de encontrar la mejor.

Simulación de las Propuestas del Carenado Inferior

Propuesta 1. En la primera propuesta del carenado inferior se toma como base la geometría del carenado inferior original, en la cual se ensancha la parte central del carenado, acompañada de dos desniveles más pronunciados en comparación al carenado principal, además, tiene a sus extremos pequeñas entradas de aire con una forma oblicua con ángulos cerrados.

Figura 50

Simulación de la Primera Propuesta del Carenado Inferior

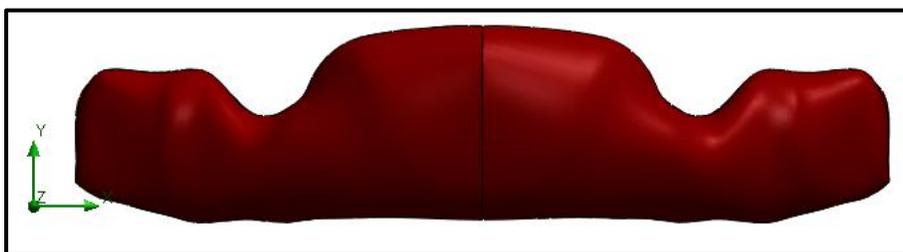


Nota. La figura muestra la simulación de la primera propuesta del carenado inferior.

Propuesta 2. En la segunda propuesta del carenado inferior, se toma como base la geometría del carenado inferior original, donde la parte central del carenado es más ancha y alta en comparación a sus extremos, además, viéndola en una vista lateral la parte superior tiene un mayor ancho, el cual disminuye hasta el límite inferior.

Figura 51

Simulación de la Segunda Propuesta del Carenado Inferior

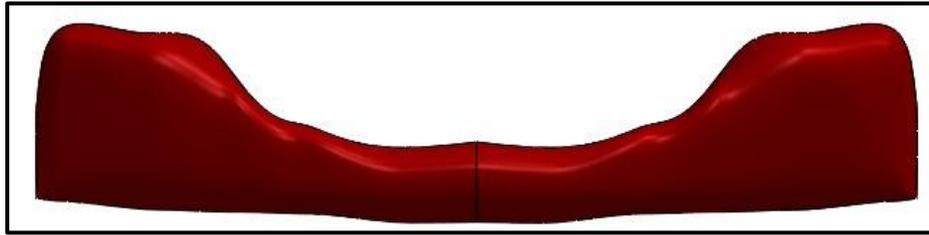


Nota. La figura muestra la simulación de la segunda propuesta del carenado inferior.

Propuesta 3. En la tercera propuesta del carenado Inferior, se toma como base la geometría del carenado inferior original, donde se configura la parte central del carenado para lograr una forma de U, se diseña el carenado para que, en su vista lateral, se asemeje a la forma de la punta de una flecha.

Figura 52

Simulación de la Tercera Propuesta del Carenado Inferior



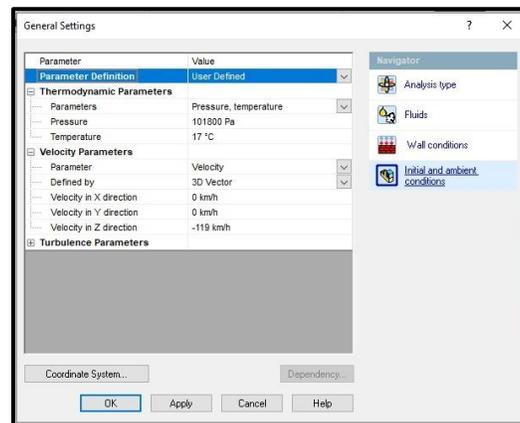
Nota. La figura muestra la simulación de la tercera propuesta del carenado inferior.

Obtención de la Fuerza de arrastre de las Propuestas del Carenado Inferior

Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE. Se ingresa los siguientes parámetros al programa CAE.

Figura 53

Ingreso de Parámetros en el Sistema CAE



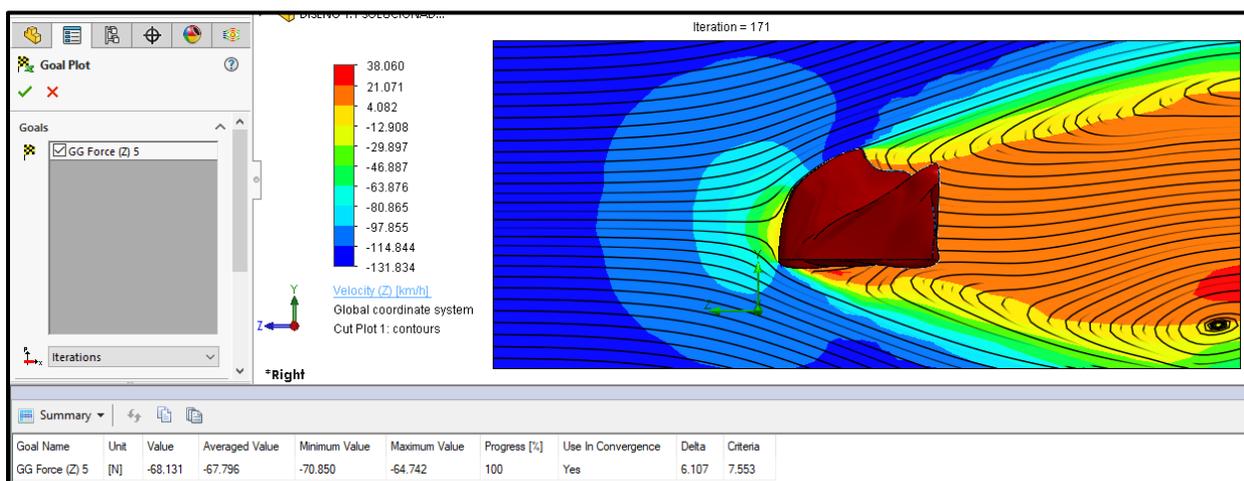
Nota. En la figura se muestra el ingreso de los parámetros necesarios para la simulación en el sistema CAE con la herramienta CFD

Simulación con la Herramienta CFD en las Propuestas del Carenado Inferior. Tal y como se lo hizo en el modelado anterior se procede a utilizar el programa CAE, así como la herramienta CFD para las tres propuestas planteadas.

Propuesta 1. Se visualiza un valor de fuerza de arrastre de 68,13 N en la primera propuesta del carenado inferior.

Figura 54

Dato de la Fuerza de Arrastre de la Primera Propuesta del Carenado Inferior

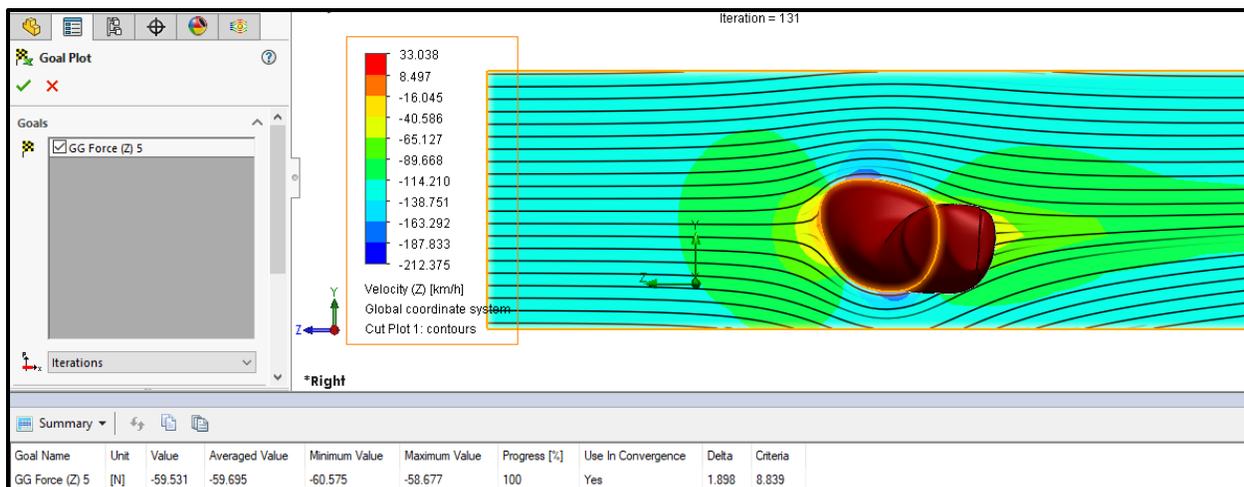


Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre de la primera propuesta del carenado inferior.

Propuesta 2. En la segunda propuesta podemos observar una fuerza de arrastre de 59.53 N.

Figura 55

Dato de la Fuerza de Arrastre de la Segunda Propuesta del Carenado Inferior

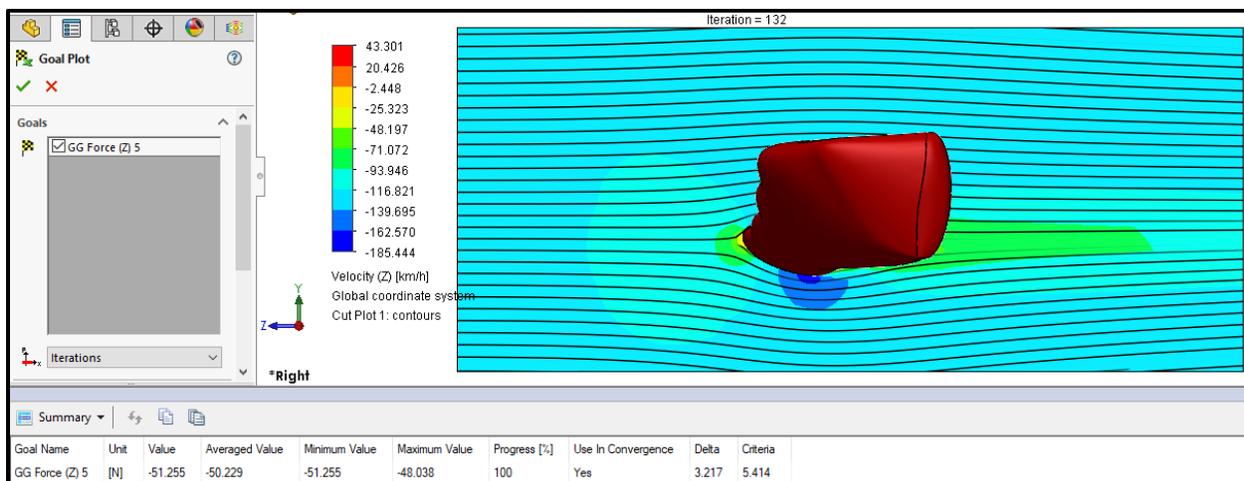


Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre de la segunda propuesta del carenado inferior.

Propuesta 3. Con respecto a la tercera propuesta del carenado inferior la fuerza de arrastre se obtiene un valor de 52.26 N.

Figura 56

Dato de la Fuerza de Arrastre de la Tercera Propuesta del Carenado Inferior



Nota. La figura muestra del resultado de la fuerza de arrastre de la tercera propuesta del carenado inferior.

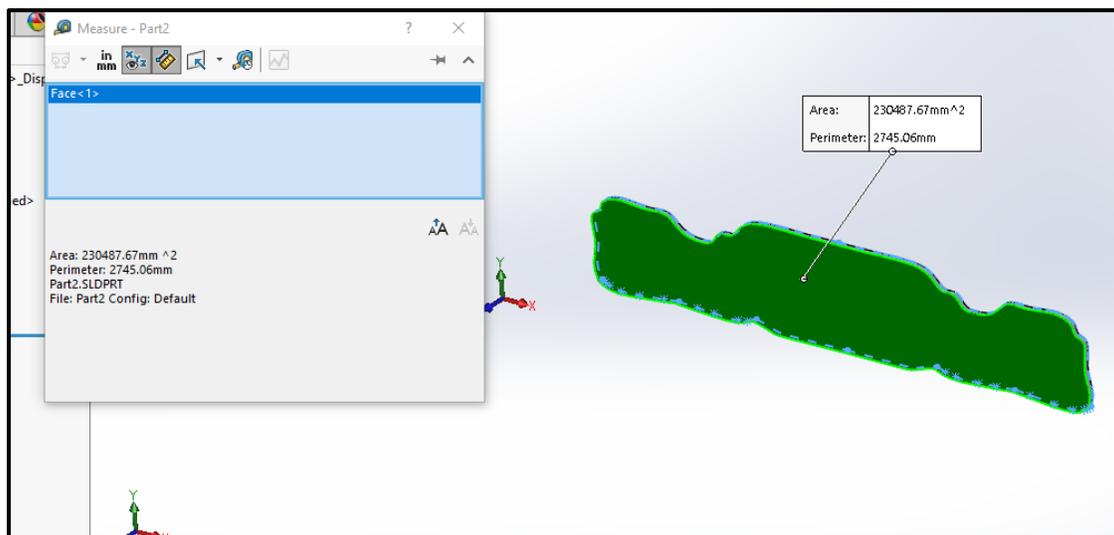
Obtención del Área Proyectada de las Propuestas del Carenado Inferior

Continuando el proceso realizado para el carenado superior obtenemos los siguientes datos.

Propuesta 1. En la primera propuesta del carenado inferior se obtiene un valor de 230487.67 mm^2 .

Figura 57

Área Proyectada de la Primera Propuesta del Carenado Inferior

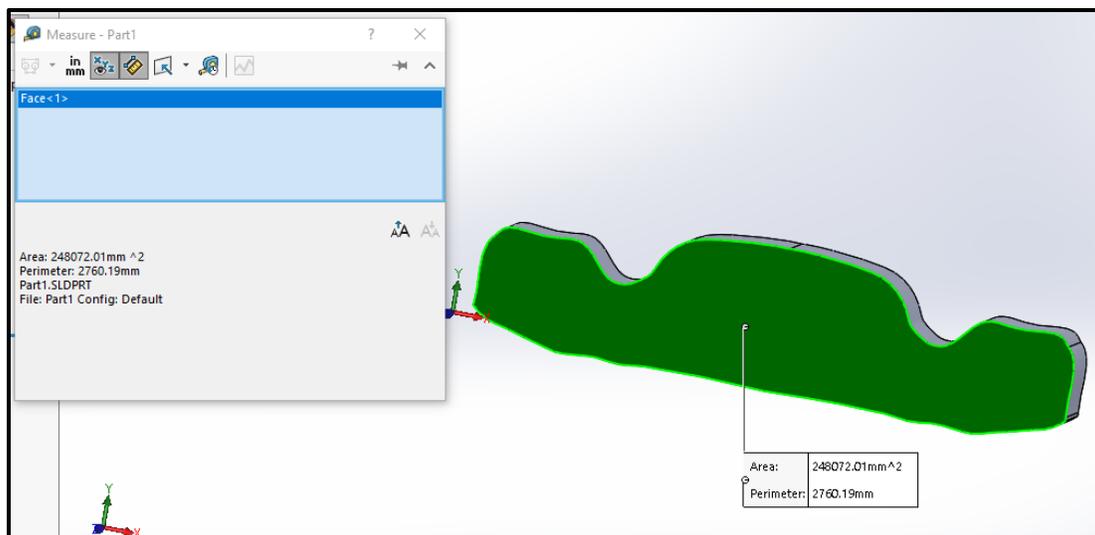


Nota. La figura muestra el área proyectada de la primera propuesta del carenado inferior.

Propuesta 2. Como segunda obtenemos un área proyectada de 248072.01 mm^2 .

Figura 58

Área Proyectada de la Segunda Propuesta del Carenado Inferior

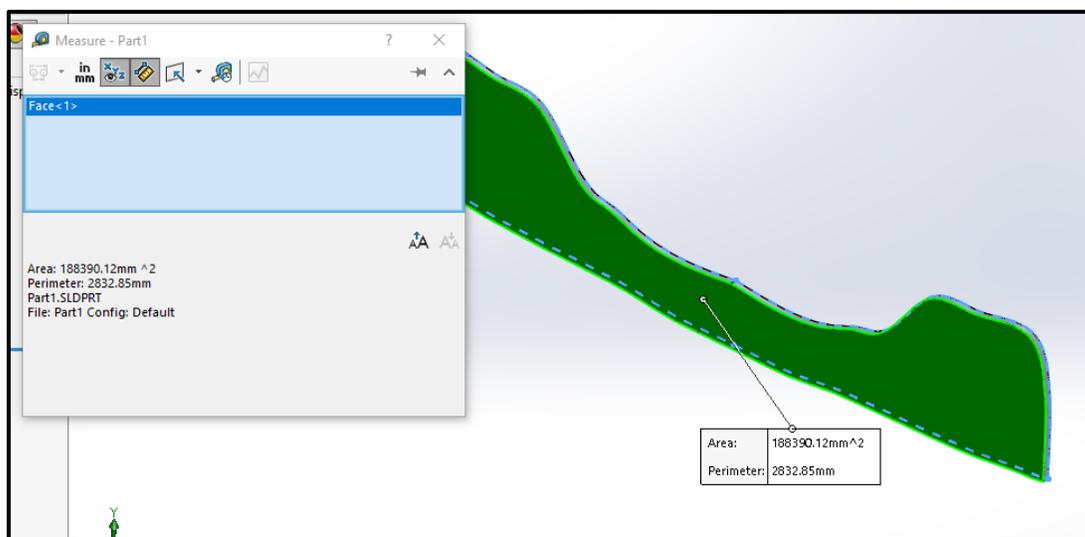


Nota. La figura muestra el área proyectada de la segunda propuesta del carenado inferior.

Propuesta 3. Y como tercer dato visualizamos que el área proyecta de la tercera propuesta del carenado inferior es 188390.12 mm^2 .

Figura 59

Área Proyectada de la Tercera Propuesta del Carenado Inferior



Nota. La figura muestra el área proyectada de la tercera propuesta del carenado inferior.

Cálculo del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica de las Propuestas del Carenado Inferior

Tal y como se efectuó en el carenado superior se obtiene el coeficiente de resistencia aerodinámica para las tres propuestas del carenado inferior.

Propuesta 1. Se concluye que el coeficiente de resistencia aerodinámica de la primera propuesta del carenado inferior es 0.44.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 68,13 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,23 \text{ m}^2 * 33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$C_z = 0,44$$

Propuesta 2. El valor obtenido del coeficiente de resistencia aerodinámica de la segunda propuesta tiene un valor de 0.36.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 59,53 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,25 \text{ m}^2 * 33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$C_z = 0,36$$

Propuesta 3. El coeficiente de resistencia aerodinámica de la tercera propuesta del carenado inferior es igual a 0.41.

$$F_z = \frac{1}{2} * \rho * C_z * A_f * V^2$$

$$C_z = \frac{2 * F_x}{\rho * A_f * V^2}$$

$$C_z = \frac{2 * 51,26 \text{ N}}{1,22 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0,19 \text{ m}^2 * 33,06 \frac{\text{m}}{\text{s}}}$$

$$C_z = 0,41$$

Capítulo V

Análisis de Resultados

Análisis de Resultados de la Fuerza de Arrastre

En el presente proyecto se obtiene la fuerza de arrastre mediante la herramienta CFD, del diseño original del carenado superior e inferior y sus tres propuestas correspondientes.

Análisis de Resultados de la fuerza de Arrastre del Carenado Superior

En la tabla 7 se visualiza la fuerza de arrastre del carenado superior original y de sus tres propuestas.

Tabla 7

Valores de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior

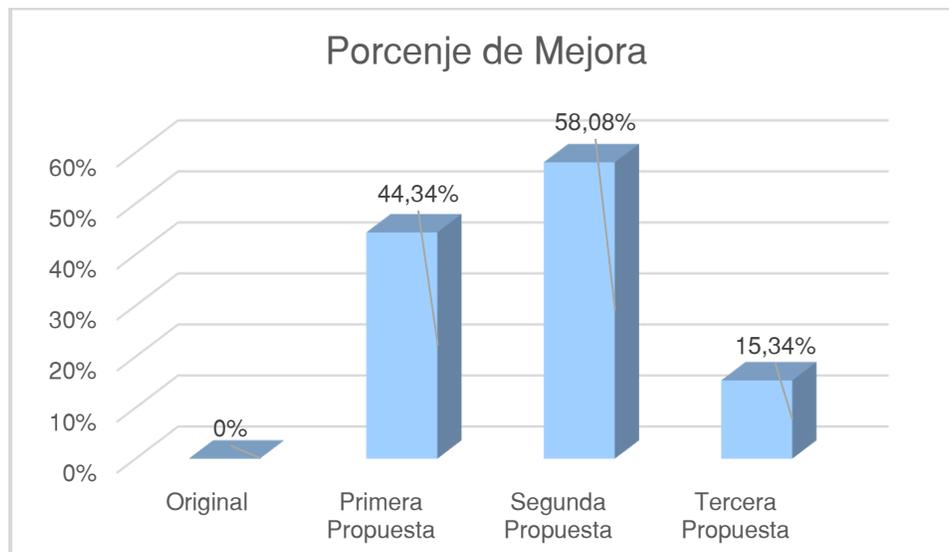
Carenado Superior	Fuerza de Arrastre (N)
Original	48,11 N
Primera Propuesta	26,78 N
Segunda Propuesta	20,17 N
Tercera Propuesta	40,73 N

Nota. Valores de la fuerza de arrastre del carenado superior original y sus propuestas.

En la figura 60 se visualiza el porcentaje, el cual debe ser menor la fuerza de arrastre en comparación al diseño original, para evidenciar una mejora, la primera propuesta tiene cuarenta y cuatro coma treinta y cuatro por ciento (44,34%) de mejora, la segunda propuesta tiene cincuenta y ocho coma cero ocho por ciento (58,08%) de mejora y en la tercera propuesta tiene quince coma treinta y cuatro por ciento (15,34%) de mejora.

Figura 60

Porcentajes de Mejora de la Fuerza de Arrastre del Carenado Superior



Nota. Porcentaje de mejora de las tres propuestas del carenado superior y original en cuanto a la fuerza de arrastre.

Análisis de Resultados de la fuerza de Arrastre del Carenado Inferior

En la tabla 8 se visualiza las fuerzas de arrastre del carenado inferior original y de sus tres propuestas.

Tabla 8

Valores de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior

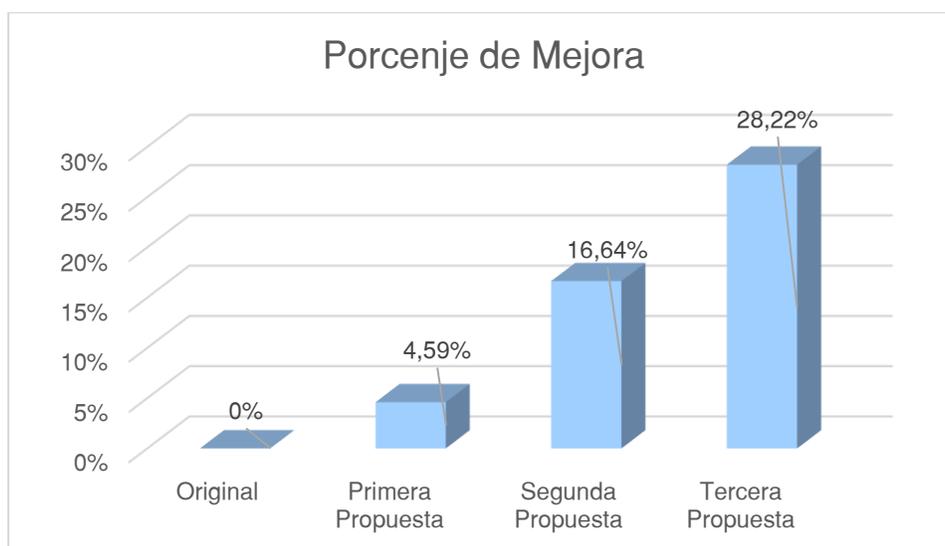
Carenado Inferior	Fuerza de Arrastre (N)
Original	71.41 N
Primera Propuesta	68.13 N
Segunda Propuesta	59.53 N
Tercera Propuesta	51.26 N

Nota. Valores de la fuerza de arrastre del carenado inferior original y sus propuestas.

En la figura 61 se visualiza el porcentaje, el cual debe ser menor la fuerza de arrastre en comparación al diseño original, para evidenciar una mejora, la primera propuesta tiene cuatro coma cincuenta y nueve por ciento (4,59%) de mejora, la segunda propuesta tiene dieciseis coma sesenta y cuatro por ciento (16,64%) de mejora y en la tercera propuesta tiene veinte y ocho coma veinte y dos por ciento (28,22%) de mejora.

Figura 61

Porcentajes de Mejora de la Fuerza de Arrastre del Carenado Inferior



Nota. Porcentaje de mejora de las tres propuestas del carenado inferior y el original en cuanto a la fuerza de arrastre.

Análisis de los Resultados del Área Projectada

En el presente proyecto se obtiene el área proyectada del diseño original del carenado superior e inferior y de sus tres propuestas correspondientes.

Análisis de Resultados del Área Projectado del Carenado Superior

En la tabla 9 se visualiza el área proyectada del carenado superior original y sus tres propuestas.

Tabla 9

Valores del Área Proyecta del Carenado Superior

Carenado Superior	Área Proyectada (m^2)
Original	0,09 m^2
Primera Propuesta	0,12 m^2
Segunda Propuesta	0,12 m^2
Tercera Propuesta	0,16 m^2

Nota. Valores del Área Proyecta del carenado superior original y sus propuestas.

Análisis de Resultados del Área Proyectado del Carenado Inferior

En la tabla 10 se visualiza el área proyectada del carenado inferior original y sus tres propuestas correspondientes.

Tabla 10

Valores del Área Proyecta del Carenado Inferior

Carenado Inferior	Área Proyectada (m^2)
Original	0,22 m^2
Primera Propuesta	0,23 m^2
Segunda Propuesta	0,25 m^2
Tercera Propuesta	0,19 m^2

Nota. Valores del área proyecta del carenado inferior original y sus propuestas.

Análisis de Resultados de Coeficiente de resistencia Aerodinámica

En el presente proyecto se calcula el coeficiente de resistencia aerodinámica del diseño original del carenado superior e inferior y de sus tres propuestas correspondientes.

Análisis de Resultados del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Superior

En la tabla 11 se visualiza el coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado superior y sus tres propuestas correspondientes.

Tabla 11

Valores del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Superior

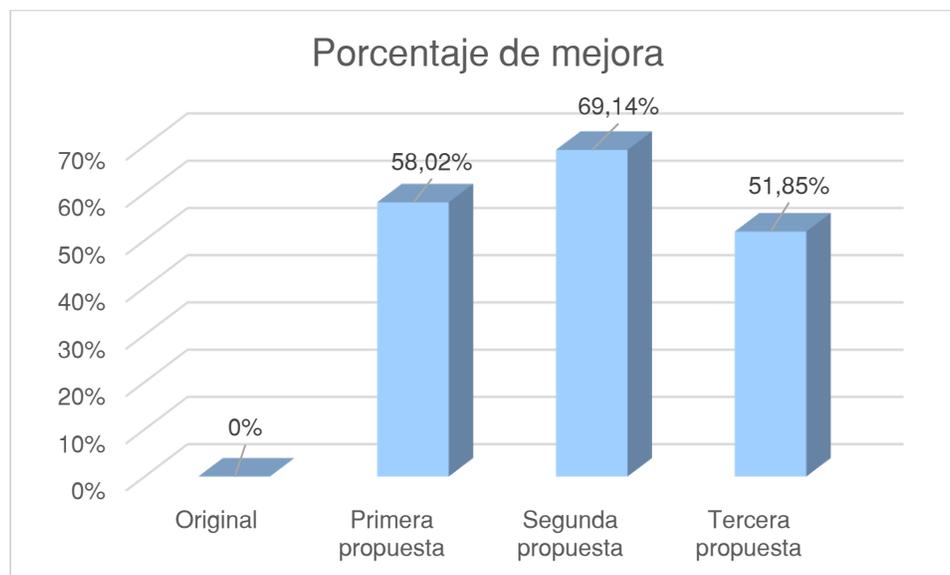
Carenado Superior	Coeficiente de Resistencia Aerodinámica
Original	0,81
Primera Propuesta	0,34
Segunda Propuesta	0,25
Tercera Propuesta	0,39

Nota. Valores del coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado superior original y sus propuestas.

En la figura 62 se visualiza el porcentaje de mejora del coeficiente de resistencia aerodinámica los cuales deben ser menores en las propuestas en comparación al carenado superior original, para evidenciar una mejora, la primera propuesta tiene cincuenta y ocho coma cero dos por ciento (58,02%) de mejora, la segunda propuesta tiene sesenta y nueve coma catorce por ciento (69,14%) de mejora y en la tercera propuesta tiene cincuenta y uno coma ochenta y cinco por ciento (51,85%) de mejora.

Figura 62

Porcentajes de Mejora del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Superior



Nota. Porcentaje de mejora del coeficiente de resistencia aerodinámica de las tres propuestas del carenado superior y del diseño original.

Análisis de Resultados del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior

En la tabla 12 se visualiza el coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado inferior y sus tres propuestas correspondientes.

Tabla 12

Valores del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior

Carenado Inferior	Coeficiente de Resistencia Aerodinámica
Original	0,5
Primera Propuesta	0,44
Segunda Propuesta	0,36

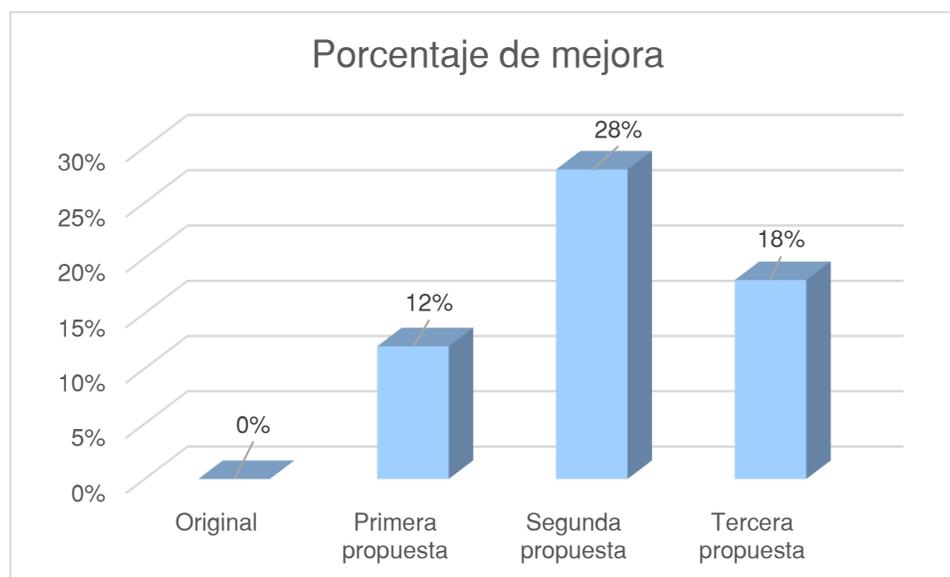
Carenado Inferior	Coefficiente de Resistencia Aerodinámica
Tercera Propuesta	0,41

Nota. Valores del coeficiente de resistencia aerodinámica del carenado inferior original y sus propuestas.

En la figura 63 se visualiza el porcentaje de mejora del coeficiente de resistencia aerodinámica los cuales deben ser menores en las propuestas en comparación al carenado inferior original, para evidenciar una mejora, la primera propuesta tiene doce ciento (12%) de mejora, la segunda propuesta tiene veinte y ocho por ciento (28%) de mejora y en la tercera propuesta tiene dieciocho por ciento (15,34%) de mejora.

Figura 63

Porcentajes de Mejora del Coeficiente de Resistencia Aerodinámica del Carenado Inferior



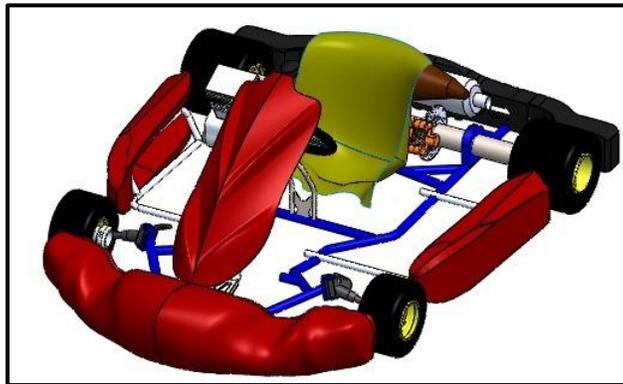
Nota. Porcentaje de mejora del coeficiente de resistencia aerodinámica de las tres propuestas del carenado inferior y del diseño original.

Elección de la Mejor Propuesta

Acorde con la tabla 11 se encuentra que la segunda propuesta del carenado superior con el coeficiente de resistencia aerodinámica de cero coma veinte y cinco (0,25) es la mejor opción y en la tabla 12 se visualiza que la segunda propuesta del carenado inferior es la mejor opción con un coeficiente de resistencia aerodinámico de cero coma treinta y seis (0,34).

Figura 64

Mejor Propuesta del Carenado Superior e Inferior



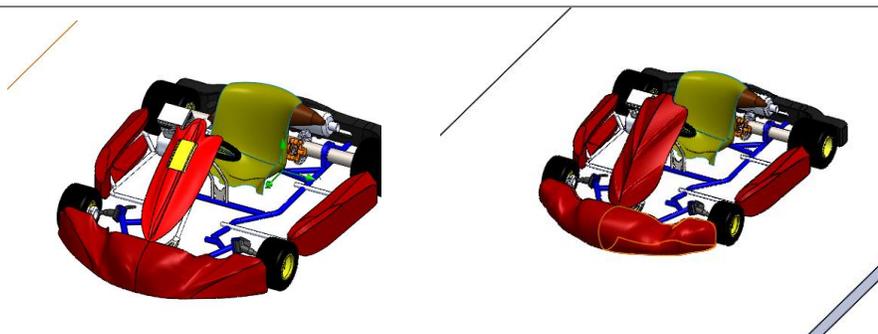
Nota. En la presente figura se muestra la mejor propuesta de carenado superior e inferior.

Para la visualizar el comportamiento tanto del kart original y el kart con las mejores propuestas en la tabla 13 encontramos la comparación de datos aerodinámicos los cuales nos ayudan a evidenciar la mejora planteada en el presente proyecto

Tabla 13

Comparación de Datos del Kart Original y Kart con las Mejores Propuestas

	Kart Original	Kart con Mejores Propuestas
Fuerza de arrastre (N)	208.66	178.53
Área Proyectada (m^2)	0.47	0.47
Coefficiente de Resistencia Aerodinámica	0.67	0.57

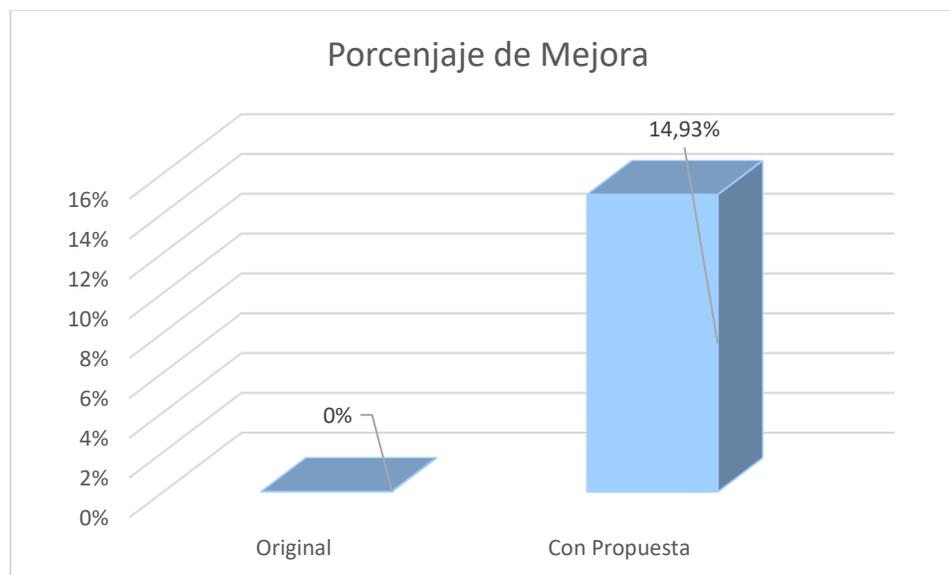


Nota. En la presente tabla se visualiza los datos aerodinámicos comparativos entre el kart original y el kart con las mejores propuestas.

En la figura 65 se logra apreciar la mejora del kart con las mejores propuestas de manera porcentual, el cual obtuvo un catorce coma noventa y tres por ciento (14,93%) mayor de eficiencia con respecto al coeficiente de resistencia aerodinámica, con respecto al kart original, esto sirve como indicativo de que las propuestas cumplen su propósito mejorando aerodinámicamente al carenado.

Figura 65

Porcentaje de Mejora del Kart con las Mejores Propuestas



Nota. Porcentaje de mejora del coeficiente de resistencia aerodinámica del kart original y del kart con las mejores propuestas.

Capítulo VI

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- Mediante el empleo del libro “Teoría de los vehículos automóviles”, el cual ha permitido conocer los recursos para el cálculo del coeficiente de resistencia aerodinámica, gracias a esto se encontró el punto base para la comparación de las propuestas, para la elección de la más óptima para su posible aplicación.
- Se identificó en la normativa del campeonato ROK CUP ECUADOR, ciertas especificaciones, la cual indica que ningún carenado puede presentar orificios en su estructura, además, establece parámetros límites en su geometría, necesarios para entrar en la categoría SHIFTER ROK, la cual es estudiada en el presente proyecto.
- Se realizó el modelado del kart en donde se pudo obtener dimensiones exactas de cada pieza que conforma el monoplaça, las mismas presentan una homologación aprobada por la CIK/FIA.
- El ensamble de estas piezas son la base fundamental para la construcción del kart, así como del planteamiento de las propuestas del presente estudio en donde se pudo evidenciar un resultado de mejora del 14,92%, unificando la segunda propuesta de carenado superior e inferior.
- Se pudo determinar que los materiales que se utilizan para la construcción de un kart son la fibra de vidrio y el plástico, debido a que estos compuestos son de fácil adquisición.
- Se comprobó que el coeficiente de resistencia aerodinámica es el factor fundamental para la evaluación de las propuestas de mejora planteadas en el presente estudio, debido a que esto nos permite llegar a un análisis en donde podemos evidenciar y

comparar los diferentes resultados obtenidos, llegando así a determinar la mejor opción dentro del estudio planteado.

- El presente estudio tomó como base la modelación de tres propuestas tanto para carenado superior como para el carenado inferior en el sistema CAD, con el fin de evidenciar la mejor propuesta para el monoplaza diseñado. Donde se obtuvo que la segunda propuesta genera una disminución en el coeficiente de resistencia aerodinámica lo cual desencadena en la mejora del 69,14% y un 28% respectivamente.
- Se simuló cada una de las tres propuestas del carenado superior e inferior y sus diseños originales bajo los mismos parámetros de pista como son temperatura, humedad, densidad además de la velocidad punta, en donde se pudo apreciar que las segundas propuestas tanto del carenado superior e inferior son las más óptimas debido a que en base a los coeficientes de resistencia aerodinámica analizados anteriormente permite afirmar que los diseños propuestos tiene un mejor paso de aire cuando estos están en movimiento.

Recomendaciones

- Una opción para mejorar un elemento en el aspecto aerodinámico, es mediante la implementación de alerones o aletas en la o las superficies que mayor contacto posean con el aire, esto ayuda a un mejor flujo de aire y un mejor direccionamiento del mismo.
- Al proceder con el modelado en el programa CAD de los diseños es necesario tener presente la normativa establecida por la competencia ROK Cup Ecuador, por consiguiente, de la CIK/FIA, con respecto a las dimensiones permitidas de las propuestas las cuales se van a elaborar.
- Para la utilización de la herramienta CFD, es necesario encontrar los parámetros adecuados del entorno en el cual se va simular el modelado para óptimos resultados.
- En el cálculo del coeficiente de resistencia aerodinámica es necesario tener claro los parámetros y las fórmulas requeridas para la obtención del resultado el cual va a estar basado de un correcto modelado
- Para el estudio de los resultados del coeficiente de resistencia aerodinámica, es necesario hacer el uso de tablas comparativas, las cuales nos ayudan a saber los datos de una forma más gráfica.
- Para el análisis aerodinámico en el sistema CAE, se recomienda crear un mallado de cada prototipo, con un mayor refinamiento, ya que, al ser poco refinado, detalla con poca precisión la geometría de los diseños, esto genera resultados distorsionados además de poco exactos.
- Al momento de realizar el estudio aerodinámico en CAE, se sugiere seleccionar los resultados a obtener netamente necesarios, esto debido a que mientras más sean los resultados a determinar, mayor va a ser el tiempo del análisis computacional.

- Al realizar el modelado CAD de los diseños, de preferencia se lo debe realizar con la herramienta de superficies, esta herramienta permite elaborar prototipos con una estructura y una geometría más compleja.

Bibliografía

- Aguado, S. (2014). *Diseño y análisis de un chasis de kart de Competición [Tesis de Ingeniería, Universisa Carlos III de Madrid]*. Repositorio Institucional. <https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/23229>
- Aparicio, F., Vera, C., & Díaz, V. (2001). *Teoría de los vehículos automóviles* (Segunda ed.). Selección de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales.
- Carrera, L., & Proaño, E. (2019). *Estudio paramétrico y simulación de dinámica de fluidos computacionales (CFD) para el reactor de lecho empaquetado del Laboratorio de Termodinámica de la Facultad de Ingeniería Química y Agroindustria de la EPN. [Tesis de Maestría, EPN]*. Repositorio Institucional. <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/20096>
- CENTRO NACIONAL DE METROLOGÍA. (20 de abril de 2003). *CENAM*. calculo de la densidad del aire: <https://www.cenam.mx/publicaciones/cdensidad.aspx>
- FEDAK. (2021). *Reglamento Particular*. FEDAK. <file:///C:/Users/cesar/OneDrive/Desktop/tesis/bibliografia/REGLAMENTO%204TA%20V A%CC%81LIDA%20ROK%20CUP%20ECUADOR%202021.docx.pdf>
- FIA. (1 de Febrero de 2021). *HOMOLOGATION REGULATIONS*. fiakarting.com
- FIA. (14 de junio de 2022). *Equipos Homologados*. FIA KARTING: <https://www.fiakarting.com/page/homologated-equipment>
- Lizarra, A., & Marcelino, S. (2019). *Diseño de un kart y sus componentes [Tesis de Ingeniería, Universidad publica de Navarra]*. Repositorio Institucional. <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/34846>
- Pacheco, K., & Rojas, O. (2018). *DISEÑO DE UN ALERON DELANTERO PARA UN KART DE COMPETENCIA [tesis de Ingeniería, FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES]*. Repositorio Institucional. <https://repository.libertadores.edu.co/handle/11371/1776>

- Picard, A., Davis, R., GLÄSER, M., & Fujii, K. (2008). REVISED FORMULA FOR THE DENSITY OF MOIST AIR. *Metrologia* 45, 45(2), 14.
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0026-1394/45/2/004>
- Quezada, P. (2018). *Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA [Tesis de Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana]*. Repositorio Institucional. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15766>
- Real Academia Española . (2021). *Diccionario de la Lengua Española*.
<https://dle.rae.es/velocidad>
- Rojas, O., & Salas, J. (1 de Febrero de 1999). *Industrial Data*. SISBIB Sistema de Bibliotecas:
https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/v02_n1/produccion.htm
- Salazar, F. (2011). *Análisis de un kart de competición y de sus componentes [tesis de Ingeniería, Universidad de Zaragoza]*. Repositorio Institucional.
<https://zaguán.unizar.es/record/5673?ln=en>
- Santamaría, J., & Calero, J. (Diciembre de 2012). Análisis de las propiedades aerodinámicas, efecto suelo y su aplicación en vehículos convencionales específicamente en el Chevrolet Aveo sedán como forma para aumentar la seguridad activa. *AUTOMOTRÍZ / LATACUNGA*, 1(1), 9. <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/6380>
- tiempo, M. (29 de febrero de 2012). *MSM el tiempo*. <https://www.msn.com/es-mx/el-tiempo>
- TKart. (7 de febrero de 2019). *La evolución de los juegos de carenados para kart*. Tkart:
<https://tkart.it/es/magazine/informe/evolucion-juegos-carenados-para-kart/#1>

Anexos