



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

DISEÑO DE UN MODELO DE CARROCERÍA PARA KARTING

"TOP-KART VIPER" MEDIANTE SIMULACIÓN

COMPUTACIONAL, SEGÚN EL REGLAMENTO TÉCNICO

CATEGORÍA PROTOTIPOS FEDAK 2022

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES:

JORGE FERNANDO MOREJON AGUIRRE

LUIS MIGUEL RODRIGUEZ LEMA

Riobamba – Ecuador

2024



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

FACULTAD DE MECÁNICA

CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

**DISEÑO DE UN MODELO DE CARROCERÍA PARA KARTING
"TOP-KART VIPER" MEDIANTE SIMULACIÓN
COMPUTACIONAL, SEGÚN EL REGLAMENTO TÉCNICO
CATEGORÍA PROTOTIPOS FEDAK 2022**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTORES: JORGE FERNANDO MOREJON AGUIRRE

LUIS MIGUEL RODRIGUEZ LEMA

DIRECTOR: ING. JUAN CARLOS QUINCHUELA PAUCAR

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Jorge Fernando Morejón Aguirre & Luis Miguel Rodríguez Lema

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Nosotros, Jorge Fernando Morejón Aguirre & Luis Miguel Rodríguez Lema, declaramos que el presente Trabajo de Integración Curricular es de nuestra autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autores asumimos la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 27 de junio 2024.



Jorge Fernando Morejón Aguirre

C.I: 1004768253



Luis Miguel Rodríguez Lema

C.I: 0202175501

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE MECÁNICA
CARRERA INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DISEÑO DE UN MODELO DE CARROCERÍA PARA KARTING "TOP-KART VIPER" MEDIANTE SIMULACIÓN COMPUTACIONAL, SEGÚN EL REGLAMENTO TÉCNICO CATEGORÍA PROTOTIPOS FEDAK 2022**, realizado por: **LUIS MIGUEL RODRIGUEZ LEMA & JORGE FERNANDO MOREJÓN AGUIRRE**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

FIRMA

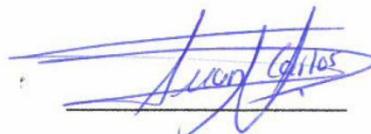
FECHA

Ing. Carlos Jose Santillan Mariño
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



2024-06-27

Ing. Juan Carlos Quinchuela Paucar
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-06-27

Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla
ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR



2024-06-27

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de investigación principalmente a mis padres Mónica Aguirre y Fernando Morejón, quienes han sido el sólido pilar a lo largo de mi carrera universitaria. A mi querida abuelita Ruth, quien incondicionalmente me ha brindado su apoyo y ha sido mi mayor inspiración para seguir adelante. Finalmente, quiero extender esta dedicación a todos mis amigos, compañeros y a todas las personas que de alguna manera han contribuido para que pueda lograr mis objetivos, por lo cual toda su experiencia compartida, ha sido vital para superar los desafíos que se presentaban en el transcurso de mi vida universitaria.

Jorge

Dedico el presente trabajo de titulación ante todo a Dios por haberme dado la fuerza, sabiduría, y paciencia para poder culminar mi carrera universitaria. A mi madre María Lema que es, y seguirá siendo un pilar fundamental para mis desarrollos tanto profesionales como personales, con sus consejos, apoyo y amor incondicional me permitió ser el profesional además de la persona con principios y valores que soy ahora.

Luis

AGRADECIMIENTO

Agradezco sinceramente a mis padres por su amor incondicional y constante apoyo en la realización de mis sueños y metas. A mi querida familia por el respaldo que me brindan para seguir adelante. A Joseline, cuyo amor y apoyo han sido mi fuerza durante este proceso. Por último, pero no menos importante, quiero expresar mi gratitud hacia mis maestros, Juan Carlos Quinchuela y Edwin Pozo, cuya dedicación y sabiduría han sido fundamentales en mi formación. Su sacrificio y rectitud en la enseñanza no solo han impartido conocimientos, sino que también han inculcado el verdadero valor del esfuerzo y la responsabilidad.

Jorge

Agradezco a Dios por brindarme la oportunidad de crecer como individuo y profesional en esta prestigiosa institución, conocer grandiosas personas con las que pude compartir momentos inolvidables, además quiero agradecer a mis padres que han sido un ejemplo de esfuerzo, sacrificio y perseverancia ante cualquier reto que se presente, sin su apoyo y consejos no podría haberlo logrado, muchas gracias por ser quien me impulsa por cumplir mis metas y sueños, espero estén orgullosos como yo lo estoy de ustedes. De igual forma agradezco a cada uno de los docentes de la carrera de Ingeniería Automotriz que me brindaron sus doctrinas y de manera especial al Ingeniero Juan Carlos Quinchuela y al Ingeniero Edwin Pozo con su asesoría permitió concluir de la mejor manera el presente trabajo de titulación.

Luis

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xvi
RESUMEN	xvii
SUMMARY	xviii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

1	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
1.1	Planteamiento del problema.....	2
1.2	Limitaciones y delimitaciones	3
1.3	Objetivos.....	3
<i>1.3.1</i>	<i>Objetivo General</i>	<i>3</i>
<i>1.3.2</i>	<i>Objetivos Específicos.....</i>	<i>3</i>
1.4	Justificación.....	4
<i>1.4.1</i>	<i>Justificación teórica.....</i>	<i>4</i>
<i>1.4.2</i>	<i>Justificación metodológica</i>	<i>4</i>
<i>1.4.3</i>	<i>Justificación practica</i>	<i>5</i>
1.5	Hipótesis	5
<i>1.5.1</i>	<i>Variables de la hipótesis</i>	<i>5</i>
1.5.1.1	Variables Independientes:	5
1.5.1.2	Variables dependientes.....	5

CAPÍTULO II

2	MARCO TEÓRICO	6
2.1	Antecedentes.....	6
2.2	Historia del karting.....	8
2.3	Reglamentación de competición FEDAK.....	9
<i>2.3.1</i>	<i>Categoría de competición.....</i>	<i>9</i>
<i>2.3.2</i>	<i>P1 hasta 2050cc</i>	<i>10</i>
<i>2.3.3</i>	<i>P2 hasta 5000cc</i>	<i>10</i>

2.3.4	<i>Pesos</i>	10
2.4	Norma de seguridad Sports Car Club of America (SCCA)	11
2.5	Reglamento CIK-FIA	11
2.6	Carrocería	12
2.7	Materiales utilizados en carrocerías	13
2.7.1	<i>Aluminio</i>	13
2.7.2	<i>Fibra de Carbono</i>	14
2.7.3	<i>Fibra de vidrio</i>	15
2.8	Material para el roll bar	16
2.9	Aerodinámica del automóvil	16
2.10	Resistencia Aerodinámica	17
2.11	Fuerzas aerodinámicas	17
2.11.1	<i>Fuerza en el eje longitudinal (Cx)</i>	18
2.11.2	<i>Fuerza en el eje transversal (Cy)</i>	18
2.11.3	<i>Fuerza en el eje vertical (Cz)</i>	18
2.12	Sustentación.....	18
2.13	Coefficientes de arrastre, sustentación y lateral	19
2.13.1	<i>Coefficiente de arrastre (CD)</i>	19
2.13.2	<i>Coefficiente de sustentación (CL)</i>	19
2.13.3	<i>Coefficiente de fuerza lateral (CY)</i>	20
2.14	Eficiencia aerodinámica	20
2.15	Principio de Bernoulli.....	21
2.16	Capa limite	21
2.17	Número de Reynolds.....	22
2.18	Número de Mach.....	23
2.19	Flujo del viento.....	24
2.19.1	<i>Flujo Laminar</i>	24
2.19.2	<i>Flujo turbulento</i>	24
2.20	Túnel de viento	25
2.21	Dinámica computacional de fluidos (CFD)	26
2.21.1	<i>Aplicaciones</i>	26
2.21.2	<i>Ventajas</i>	27
2.21.3	<i>Desventajas</i>	27
2.22	Mallado.....	27

CAPÍTULO III

3	MARCO METODOLÓGICO.....	30
3.1	Metodología a utilizar	30
3.1.1	<i>Metodología experimental</i>	<i>30</i>
3.1.2	<i>Metodología hipotético-deductivo</i>	<i>30</i>
3.2	Concepción y parámetros para el diseño del modelo de carrocería	31
3.2.1	<i>Selección del material para el modelo de carrocería.....</i>	<i>31</i>
3.2.1.1	Requerimientos del modelo	31
3.2.1.2	Requerimientos del material	32
3.3	Modelamiento del chasis de referencia.....	34
3.4	Modelamiento de los elementos del karting	34
3.4.1	<i>Neumáticos.....</i>	<i>35</i>
3.4.2	<i>Carenado</i>	<i>35</i>
3.4.3	<i>Asiento.....</i>	<i>36</i>
3.4.4	<i>Palanca y base del motor</i>	<i>36</i>
3.5	Modelamiento del roll bar	36
3.5.1	<i>Puntos de sujeción del roll bar</i>	<i>37</i>
3.6	Modelamiento de la carrocería	38
3.7	Modelamiento de la carrocería con mejoras.....	39
3.8	Ensamble de la estructura CAD completa	40
3.8.1	<i>Modelo 3D del karting “Top-Kart Viper”.....</i>	<i>40</i>
3.8.2	<i>Modelo 3D preliminar propuesto para el karting “Top-Kart Viper”.....</i>	<i>41</i>
3.8.3	<i>Modelo 3D final propuesto para el karting “Top-Kart Viper”.....</i>	<i>41</i>
3.9	Áreas: Frontal y Superior	41
3.10	Análisis estructural	42
3.10.1	<i>Especificaciones de la tubería.....</i>	<i>43</i>
3.10.2	<i>Configuración del estudio.....</i>	<i>43</i>
3.10.3	<i>Configuración del material.....</i>	<i>44</i>
3.10.4	<i>Puntos de sujeción</i>	<i>45</i>
3.10.5	<i>Mallado de la estructura</i>	<i>45</i>
3.10.6	<i>Cargas aplicadas al Roll bar.....</i>	<i>46</i>
3.10.6.1	Carga vertical en el arco principal.....	48
3.10.6.2	Carga lateral en el arco principal.....	48
3.10.6.3	Carga vertical en el arco delantero	48
3.11	Análisis de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD).....	49
3.11.1	<i>Preproceso.....</i>	<i>49</i>
3.11.1.1	<i>Piso</i>	<i>49</i>

3.11.1.2	<i>Configuración del asistente</i>	50
3.11.1.3	<i>Condiciones iniciales y de ambiente</i>	51
3.11.1.4	<i>Material</i>	51
3.11.1.5	<i>Dominio Computacional</i>	51
3.11.1.6	<i>Mallado</i>	52
3.11.1.7	<i>Refinamiento del mallado</i>	52
3.11.2	Proceso	55
3.11.2.1	Iteraciones y tiempo de resolución	56
3.11.2.2	Número de celdas	56
3.11.3	Postproceso	56
3.11.3.1	Resultados a obtener	57

CAPÍTULO IV

4	ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	58
4.1	Parámetros de contorno	58
4.1.1	<i>Propiedades físicas de los modelos</i>	58
4.1.2	<i>Condiciones iniciales para la simulación CFD</i>	59
4.2	Arrastre y Sustentación	59
4.3	Comparativa con investigaciones similares	60
4.4	Presión estática	64
4.4.1	<i>Modelo Inicial</i>	64
4.4.2	<i>Modelo 1</i>	65
4.4.3	<i>Modelo 2</i>	65
4.5	Velocidad del aire	66
4.5.1	<i>Modelo Inicial</i>	66
4.5.2	<i>Modelo 1</i>	67
4.5.3	<i>Modelo 2</i>	67
4.5.3.1	<i>Linea de flujo de la velocidad</i>	68
4.6	Turbulencia	68
4.6.1	<i>Modelo Inicial</i>	69
4.6.2	<i>Modelo 1</i>	69
4.6.3	<i>Modelo 2</i>	70
4.7	Momentos	70
4.7.1	<i>Modelo Inicial</i>	71
4.7.2	<i>Modelo 1</i>	71

4.7.3	<i>Modelo 2</i>	72
4.8	Resultados del análisis estructural	72
4.8.1	<i>Desplazamiento</i>	72
4.8.1.1	<i>Deformación vertical en el arco principal</i>	73
4.8.1.2	<i>Carga lateral en el arco principal</i>	73
4.8.1.3	<i>Deformación en el arco delantero</i>	74
4.8.2	<i>Tensiones</i>	74
4.8.3	<i>Factor de seguridad</i>	76
	CONCLUSIONES	78
	RECOMENDACIONES	80
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Categoría de competición según FEDAK.....	9
Tabla 2-2:	Pesos categoría P1	10
Tabla 2-3:	Pesos categoría P2.....	11
Tabla 2-4:	Propiedades del aluminio	13
Tabla 2-5:	Propiedades de la fibra de carbono.....	14
Tabla 2-6:	Propiedades de la fibra de vidrio	15
Tabla 2-7:	Propiedades del acero ASTM A36.....	16
Tabla 2-8:	Tipos de flujo según el número de Reynolds.....	25
Tabla 3-1:	Ponderación de requerimientos del modelo.....	32
Tabla 3-2:	Ponderación de requerimientos del material.....	33
Tabla 3-3:	Comparación entre los requerimientos del modelo y del material	33
Tabla 3-4:	Áreas frontal y superior de los modelos	41
Tabla 3-5:	Especificaciones del tubo	43
Tabla 3-6:	Configuración de los soportes del roll bar	45
Tabla 3-7:	Información de la malla.....	46
Tabla 3-8:	Cargas ejercidas sobre el Roll bar	47
Tabla 3-9:	Parámetros del dimensionamiento del dominio computacional.....	52
Tabla 3-10:	Fuerzas obtenidas mediante la simulación CFD	53
Tabla 3-11:	Fuerzas de arrastre y sustentación en función del nivel de refinamiento	54
Tabla 3-12:	Número de iteraciones y celdas de los tres modelos simulados mediante CFD ...	56
Tabla 4-1:	Propiedades físicas de los modelos.....	58
Tabla 4-2:	Condiciones iniciales.....	59
Tabla 4-3:	Fuerzas y coeficiente de arrastre, sustentación	60
Tabla 4-4:	Comparativa de las fuerzas de arrastre y sustentación	62
Tabla 4-5:	Comparativa de los coeficientes de arrastre y sustentación	62
Tabla 4-6:	Comparativa de las eficiencias aerodinámicas.....	63
Tabla 4-7:	Deformaciones del roll bar	73

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1:	Karting en la actualidad.....	7
Ilustración 2-2:	Diseño del primer kart creado	8
Ilustración 2-3:	Carrocería o carenado de un kart	12
Ilustración 2-4:	Diagrama de fuerzas aerodinámicas presentes en el vehículo	18
Ilustración 2-5:	Zonas de flujo donde se aplica la ecuación de Bernoulli	21
Ilustración 2-6:	Capa limite que se forma cerca del vehículo	22
Ilustración 2-7:	Transición entre flujo laminar y turbulento	22
Ilustración 2-8:	Esquema de un túnel de viento básico	25
Ilustración 2-9:	Dimensionamiento del túnel de viento	26
Ilustración 2-10:	Mallado de un vehículo	28
Ilustración 2-11:	Malla estructurada.....	28
Ilustración 2-12:	Malla no estructurada.....	29
Ilustración 2-13:	Malla hibrida.....	29
Ilustración 3-1:	Matriz QFD para la selección del material	34
Ilustración 3-2:	Chasis de referencia	34
Ilustración 3-3:	Neumáticos	35
Ilustración 3-4:	Carenado	35
Ilustración 3-5:	Asiento	36
Ilustración 3-6:	Palanca y base del motor	36
Ilustración 3-7:	Modelamiento del roll bar	37
Ilustración 3-8:	Puntos de sujeción frontales	37
Ilustración 3-9:	Puntos de sujeción traseros.....	38
Ilustración 3-10:	Diagrama de bloques para la modelación de la carrocería.....	38
Ilustración 3-11:	Modelo preliminar de la carrocería	39
Ilustración 3-12:	Modelo de la carrocería con mejoras.....	40
Ilustración 3-13:	Modelo 3D - "Top-Kart Viper"	40
Ilustración 3-14:	Modelo 3D preliminar - "Top-Kart Viper"	41
Ilustración 3-15:	Modelo 3D final - "Top-Kart Viper"	41
Ilustración 3-16:	Área frontal proyectada de los modelos	42
Ilustración 3-17:	Área superior proyectada de los modelos.....	42
Ilustración 3-18:	Estudio del análisis estructural del roll bar	44
Ilustración 3-19:	Material seleccionado.....	44
Ilustración 3-20:	Soportes frontales y posteriores del roll bar	45
Ilustración 3-21:	Evaluación de la malla mediante Cociente Jacobiano	46

Ilustración 3-22:	Carga vertical en el arco principal	48
Ilustración 3-23:	Carga lateral en el arco principal	48
Ilustración 3-24:	Carga vertical en el arco delantero	48
Ilustración 3-25:	Ubicación del karting con la calzada	49
Ilustración 3-26:	Sistema de unidades a trabajar	50
Ilustración 3-27:	Tipos de análisis.....	50
Ilustración 3-28:	Condiciones iniciales y de ambiente	51
Ilustración 3-29:	Dimensiones del dominio	52
Ilustración 3-30:	Nivel de refinamiento de la malla	53
Ilustración 3-31:	Fuerzas de sustentación en función del nivel de refinamiento	55
Ilustración 3-32:	Fuerzas de arrastre en función del nivel de refinamiento	55
Ilustración 4-1:	Contornos de presión del modelo inicial	64
Ilustración 4-2:	Contornos de presión del modelo 1	65
Ilustración 4-3:	Contornos de presión del modelo 2	65
Ilustración 4-4:	Trayectorias de velocidad del modelo inicial	66
Ilustración 4-5:	Trayectorias de velocidad del modelo 1	67
Ilustración 4-6:	Trayectorias de velocidad del modelo 2	67
Ilustración 4-7:	Líneas de flujo en el plano lateral proyectado	68
Ilustración 4-8:	Vórtices generados del modelo inicial en el plano lateral y planta	69
Ilustración 4-9:	Vórtices generados del modelo 1 en el plano lateral y planta	69
Ilustración 4-10:	Vórtices generados del modelo 2 en el plano lateral y planta	70
Ilustración 4-11:	Momentos generados del modelo inicial	71
Ilustración 4-12:	Momentos generados del modelo 1	71
Ilustración 4-13:	Momentos generados del modelo 2	72
Ilustración 4-14:	Deformación vertical del arco principal	73
Ilustración 4-15:	Deformación lateral en el arco principal	73
Ilustración 4-16:	Deformación en el arco delantero.....	74
Ilustración 4-17:	Tensión máxima al aplicar una carga vertical en el arco principal	75
Ilustración 4-18:	Tensión máxima al aplicar una carga lateral en el arco principal	75
Ilustración 4-19:	Tensión máxima al aplicar una carga vertical en el arco delantero.....	76

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 2-1:	Fuerza Aerodinámica	17
Ecuación 2-2:	Coeficiente de arrastre.....	19
Ecuación 2-3:	Coeficiente de sustentación	19
Ecuación 2-4:	Coeficiente de fuerza lateral	20
Ecuación 2-5:	Eficiencia aerodinámica	20
Ecuación 2-6:	Número de Reynolds.....	23
Ecuación 2-7:	Número de Mach.....	23
Ecuación 2-8:	Velocidad del sonido local	23
Ecuación 3-1:	Ecuación de la carga aplicada al arco principal	47
Ecuación 3-2:	Ecuación de la carga lateral aplicada al arco principal	47
Ecuación 3-3:	Ecuación del grafico nivel de refinamiento vs fuerzas	54
Ecuación 4-1:	Factor de seguridad	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: PLANOS DEL ROLL BAR

ANEXO B: PLANOS DE LA CARROCERÍA

RESUMEN

Los kartings no cuentan con una carrocería, lo que provoca que la resistencia al viento por el cuerpo del piloto sea mayor, convirtiéndose en una fuerza de arrastre que influye negativamente en su desempeño, provoca una mayor exigencia al motor y aumenta el consumo de combustible, por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue "Diseñar un modelo de carrocería para karting "Top-Kart Viper" mediante simulación computacional, aplicando el reglamento técnico categoría prototipos FEDAK 2022", la metodología utilizada para la selección del material de la carrocería fue "Despliegue de la Función de Calidad (QFD)", permitiendo relacionar los requerimientos la carrocería con el material, para diseñar la carrocería se utilizó una metodología experimental modificando el modelo en base al desarrollo de diagramas de bloques que detallan el proceso de modelamiento. Con el objetivo de mejorar la seguridad del piloto en base a las regulaciones de FEDAK se propuso la implementación de un roll bar que permita proteger al piloto. Para el diseño del roll bar se tomó en cuenta las directrices que sugiere las normativas, de esa forma, se determinó que el material adecuado para la carrocería es la fibra de vidrio, el modelo del roll bar cumple las especificaciones de diseño y validación teniendo deformaciones que no invaden el espacio del piloto. Los modelos propuestos de carrocería para implementar en el karting cumplen la normativa y mejoran la eficiencia aerodinámica del modelo original, bajo este contexto se concluye que la implementación de una carrocería al Karting con el material seleccionado aumenta la fuerza de arrastre, pero se compensa con la fuerza de sustentación logrando mejorar la eficiencia aerodinámica en un 17% en comparación con el modelo inicial. Se sugiere reconsiderar la investigación mejorando la potencia del motor dentro del rango de la categoría prototipos P1 de (FEDAK).

Palabras clave: < AERODINÁMICA > < MODELO DE CARRO CERÍA > < SIMULACIÓN COMPUTACIONAL > < KARTINGS DE COMPETENCIA > < SELECCIÓN DE MATERIAL > < MODELO DE ROLL BAR >

1046-DBRA-UPT-2024



SUMMARY

Karting vehicles lack a body, increasing wind resistance on the driver's body. This creates a drag force that negatively impacts performance, places greater demands on the engine, and increases fuel consumption. Therefore, this research aimed to 'Design a body model for the "Top-Kart Viper" kart through computational simulation, applying the technical regulations of the FEDAK 2022 prototype category.' The methodology used for selecting the body material was the 'Quality Function Deployment (QFD),' which allowed linking body requirements to the material. The body design followed an experimental methodology, modifying the model based on block diagrams detailing the modeling process. A roll bar implementation was proposed to enhance driver safety under FEDAK regulations. The roll bar design adhered to regulatory guidelines, determining that fiberglass is a suitable material for the body. The roll bar model met design and validation specifications, with deformations that do not encroach upon the driver's space. The proposed body models for kart implementation comply with regulations and improve the aerodynamic efficiency of the original model. In this context, it is concluded that implementing a body on the kart with the selected material increases drag force but is offset by lift force, resulting in a 17% improvement in aerodynamic efficiency compared to the initial model. It is recommended that the research reconsiders enhancing the engine power within the range of the FEDAK P1 prototype category.

Keywords: <AERODYNAMICS> <BODY MODEL> <COMPUTATIONAL SIMULATION>
<COMPETITION KARTS> <MATERIAL SELECTION> <ROLL BAR MODEL>



Lic. Patricia Moyota A. Mgs

ID number: 0603611013

EFL Teacher

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación nace con el fin de integrar mejoras al diseño aerodinámico de un karting de competición mediante el diseño de un modelo de carrocería, además, poder brindar seguridad al piloto incorporando un roll bar, dichas mejoras se implementaran al chasis del karting "Top-Kart Viper", siguiendo el reglamento técnico categoría prototipos de la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK) 2022 y su validación se demostrara mediante análisis estructural y simulación de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD), los resultados obtenidos permitirán aportar nueva información con el desarrollo enfocado al diseño para mejorar la aerodinámica de un karting y proporcionar mayor seguridad al piloto.

La problemática inicial es encontrar un material viable considerando el peso que se le agregara, las propiedades mecánicas del material, su disponibilidad en el mercado actual del país, así, como también el factor económico, buscando según nuestra concepción el mejor material, después se presenta la creación de un diseño que reducirá el área frontal, mejora la distribución del viento, y permite tener el vehículo adherido al piso mejorando así la aerodinámica y la eficiencia del karting en una competición, se utilizará una metodología experimental permitiendo modificar de manera directa el objeto de estudio en este caso la carrocería, creando las condiciones necesarias que permitan conocer sus características y su comportamiento con el flujo de viento, también se lleva a cabo una metodología hipotético-deductiva que permitirá el planteamiento de la hipótesis y una técnica documental para estructurar el desarrollo del proyecto de investigación, se presenta los objetivos que se llevaran a cabo, la justificación y la hipótesis a demostrar, seguido de un marco referencial donde se detallaran conceptos esenciales para el desarrollo de la investigación, después se expone la metodología a seguir para la selección del material mediante el Despliegue de la Función Calidad (QFD), además de, el modelado del chasis y complementos que permitirán tener un modelo que se asemeja a la estructura real de un karting "Top-Kart Viper", teniendo todos los elementos elaborados en un software de Diseño Asistido por Computadora (CAD) se realizará las simulaciones respectivas en el programa de Ingeniería Asistida por Computadora CAE, se efectúa correcciones en función de los resultados preliminares, se detallan los costos que se necesitaran para la fabricación del modelo y por último se define si la implementación del modelo de carrocería mejora la aerodinámica y la seguridad del piloto para el karting "Top-Kart Viper" cumpliendo con la hipótesis planteada.

El tema de investigación aporta información relevante a la búsqueda de mejoras de la eficiencia aerodinámica de un karting basándose en referencias bibliográficas similares convirtiéndolo en meritorio para el desarrollo de un proyecto de investigación.

CAPÍTULO I

1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

Las competencias de karting han tomado fuerza a nivel nacional, prueba de ello, es la gran acogida que tienen las diferentes validas nacionales e internacionales que se realizan en los diferentes kartódromos que existen en el país alrededor de todo el año, también se puede notar la gran participación que tienen las escuderías de las diferentes universidades, mismas que están en la constante búsqueda de nuevos progresos para el performance de los karts de competición. La aerodinámica cumple un papel fundamental al momento de llegar a una velocidad máxima, tomar curvas o tener una adherencia al piso, dichos parámetros conllevan a un estudio del diseño aerodinámico de la carrocería que permita una distribución óptima del viento.

Los kartings convencionales son de tipo abierto, es decir, sin contar los parachoques frontal, posterior y laterales, no cuentan con una carrocería en sí, lo que provoca que la resistencia al viento por efecto del cuerpo del piloto sea mayor convirtiéndose en una fuerza de arrastre que afecta negativamente al desempeño del karting causando una mayor exigencia al motor, afectando su vida útil, desempeño y consumo de combustible que viene consecuente al incremento de la tasa de contaminación, factores determinantes a la hora de una competición. Si no existe una estructura que proteja al piloto al momento que ocurre un accidente, provoca que este quede expuesto a lesiones que pueden llegar a ser muy graves para su salud e integridad. Según una investigación desarrollada en la Facultad de Ciencias de la Salud, de la Universidad de FASTA, determino que todos los corredores han tenido un impacto con otro vehículo en alguna ocasión, y que el 63% de ellos tuvieron un choque en todas las direcciones, exhibiendo así que el karting es un deporte de alta exposición donde el piloto tiene una gran exigencia física, además, que la tasa de accidentes durante una competencia es alta (Godino, 2015, p. 36).

Tomando en cuenta los antecedentes mencionados y el hecho de que la búsqueda de nuevas mejoras al performance de un karting no ha parado se plantea un diseño de modelo de carrocería con el fin de mejorar la aerodinámica, y la implementación de un roll bar que permita tener mayor protección al piloto en caso de una colisión dentro de una competencia.

1.2 Limitaciones y delimitaciones

El proyecto de investigación tiene como alcance presentar un modelo digital 3D debido a que la construcción del modelo de carrocería exhibe limitaciones en el tiempo del estudio, necesita una previa investigación teórica, análisis estructurales, y simulaciones CFD, la finalidad de la investigación será tener una metodología que permita evaluar la aerodinámica de una carrocería para el karting "Top-Kart Viper y la seguridad pasiva que puede tener el piloto al implementar un roll bar.

Al construir el modelo de carrocería el costo del material que se seleccione también puede llegar a ser un problema para la conclusión de la investigación, generando ensayos para determinar comportamientos y deformaciones bajo diferentes cargas, incidiendo en más tiempo empleado y costos.

El proyecto se delimita a la búsqueda de mejorar las condiciones aerodinámicas del karting y seguridad del piloto mediante la implementación de un modelo de carrocería con el material seleccionado, evaluándola mediante simulación computacional.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo General

Diseñar un modelo de carrocería para karting "Top-Kart Viper" mediante simulación computacional, aplicando el reglamento técnico categoría prototipos FEDAK 2022, para mejorar la aerodinámica y la seguridad del piloto.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Identificar normativas en fuentes bibliográficas respecto al diseño y seguridad de un roll bar para la implementación al karting "Top-kart Viper".
- Esquematizar un modelo preliminar de carrocería mediante el programa SolidWorks bajo el reglamento técnico categoría prototipos FEDAK 2022.
- Seleccionar el material para la carrocería mediante investigación y ponderación en función de sus costos, pesos, disponibilidad en el mercado y facilidad de construcción.
- Calcular la resistencia mecánica del roll bar mediante el análisis estructural en función de las deformaciones mecánicas.

- Identificar mediante la dinámica de fluidos computacional en el programa SOLIDWORKS la eficiencia del modelo preliminar de carrocería para el karting "Top-kart Viper".
- Analizar el diseño del modelo de carrocería mediante el análisis estadístico de los resultados de las simulaciones computacionales para la aerodinámica del karting y el análisis estructural para la seguridad del piloto.
- Evaluar la viabilidad de la implementación de un modelo de carrocería al karting "Top-kart Viper" con el material seleccionado, mediante los resultados obtenidos en las simulaciones CFD, comprobando si se produjo mejoras en la aerodinámica del karting y seguridad del piloto.

1.4 Justificación

1.4.1 Justificación teórica

Fundamentado en los antecedentes que se presentan al momento de reducir la resistencia aerodinámica en vehículos de competición (Katz, 1995, p. 2) y la historia del karting conjuntamente con la implementación de una carrocería que pueda proteger al piloto (Fédération Internationale de l'Automobile – Karting, 2023), destacan que la búsqueda de mejoras en estos aspectos puntuales son fundamentales en el rendimiento de un karting en una competición, mejorando su velocidad máxima, la estabilidad, y el aprovechamiento al máximo de combustible (Pacheco & Rojas, 2018, p. 25).

La implementación de carrocerías tienen la finalidad de proteger al piloto de posibles choques en una carrera, donde anteriormente la seguridad en pista también era nula y los pilotos se negaban a participar porque las consideraban peligrosas, es ahí donde interviene la Comisión Internacional de Karting (CIK) reconocida por la Federación Internacional del Automóvil (FIA) que convierte en obligatorio el uso de guardachoques y conforme evoluciono el deporte también se agregaban en diferentes lugares como es la parte posterior y los laterales (Fédération Internationale de l'Automobile – Karting, 2023) teniendo estos precedentes en cuenta la implementación de una carrocería al karting se convierte en una idea de investigación interesante mejorando aspectos que se consideran importantes dentro de una carrera.

1.4.2 Justificación metodológica

El presente proyecto de investigación plantea un método experimental que permita la modificación directa del objeto de estudio, en este caso el modelo de carrocería, creando las

condiciones necesarias que permitan el conocimiento de sus propiedades y su comportamiento con el viento, también un método hipotético-deductivo que permitirá proponer una hipótesis, una técnica documental para estructurar el desarrollo de la investigación y el método Quality Function Deployment (QFD) por sus siglas en inglés para la decidir el material a utilizar (López, 2021).

1.4.3 Justificación practica

Se utilizará los conocimientos adquiridos durante el estudio de la carrera tomando énfasis en temas de aerodinámica del vehículo, ingeniería de materiales, soldadura, diseño, mallado y simulación por computadora que permitirán desarrollar la investigación de forma técnica, confiable, y certera pertinente a la formación del ingeniero automotriz.

1.5 Hipótesis

- **Hipótesis alternativa:** El diseño de un modelo de carrocería y su material seleccionado mejoran la aerodinámica y la implementación del roll bar ayuda a la seguridad del piloto para el karting "Top-Kart Viper".
- **Hipótesis nula:** El diseño de un modelo de carrocería y su material seleccionado no mejoran la aerodinámica y la implementación del roll bar no ayuda a la seguridad del piloto para el karting "Top-Kart Viper".

1.5.1 Variables de la hipótesis

1.5.1.1 Variables Independientes:

- Implementación del roll bar bajo normativa
- Implementación de Software CAD y CAE

1.5.1.2 Variables dependientes

- Análisis Estructural (seguridad)
- Análisis Aerodinámico (aerodinámica)
- Diseño del modelo de carrocería

CAPÍTULO II

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

La reducción de la resistencia aerodinámica en vehículos de competición según (Katz, 1995, p. 1), fue un aspecto que se tomó en cuenta desde inicios del siglo XX, como lo demuestra el vehículo Peugeot en 1916 con una carrocería que termina en una afilada cola de barco, tomándolo como punto de partida podemos ver que en cada competencia que existe los vehículos sufren modificaciones con el fin de tener una mínima resistencia aerodinámica, con el paso del tiempo los ingenieros centraron sus esfuerzos en mejorar el diseño aerodinámico con el fin de minimizar la resistencia al viento reduciendo el área frontal que tiene contacto con el aire, produciendo así carrocerías que tuvieran al vehículo más pegado al suelo, con una mejor estabilidad y mejoran su velocidad máxima y en su defecto el rendimiento que este puede tener en una competencia (Pacheco & Rojas, 2018, p. 25), además, con el aumento de esta disciplina se han incrementado los tipos de competencia que pueden existir según el vehículo como son Off Road, Drift, Rally, Turismo, Karting, entre otros.

El primer Karting fue creado en 1956 por Art Ingels y Lou Borelli, en el estado de California, (EE.UU), denominado como un vehículo chico sin protectores impulsado por un motor de cortadora de césped de la marca West Bend que tenía un chasis tubular, la creación de kartings tomo mucha fuerza en Estados Unidos creando así las primeras carreras rudimentarias debido a que no había protección en la pista y tampoco para el piloto, con el paso de los años esta disciplina llego a Europa siendo Francia e Inglaterra las primeras en crear federaciones nacionales. En 1962 la Federación Internacional de Automovilismo (FIA) decidio crear la Comisión Internacional de Karting (CIK) y en 1964 se presentó el primer campeonato dirigido bajo las normativas de la Comisión (Fédération Internationale de l'Automobile – Karting, 2023).

El conocimiento previo de las leyes de la física, la mecánica y la ingeniería son fundamentales para crear un kart bien diseñado. La solidez de su chasis es crucial, debido a que debe soportar tanto el peso del conductor como las fuerzas generadas del motor. La tracción adecuada también es esencial, y los neumáticos juegan un papel fundamental en una amplia gama de condiciones de la pista. Un motor óptimo debe lograr un delicado equilibrio para ser lo suficientemente potente al propulsar el vehículo, pero no demasiado pesado como para impedir el rendimiento. La aerodinámica tiene un gran impacto en la eficiencia y la velocidad del karting, por lo que la

implementación de la carrocería es crucial tanto para la protección del conductor y como para su eficiencia aerodinámica.



Ilustración 2-1: Karting en la actualidad

Fuente: FIA-KARTING, 2023

La primera implementación de una carrocería a un karting fue en 1985 tras una incorporación experimental, la CIK-FIA hace obligatoria la utilización de protectores o guardachoques laterales en las competiciones de la formula K, la implementación de carenado obligatorio se da en el año 1992 debido a que los pilotos eran sancionados en sus licencias por que se negaban a participar en carreras que ellos consideraban que eran peligrosos, el primer carenado obligatorio estaba compuesto por carenados laterales, porta número frontal y alerón delantero, los pontones laterales eran escuadrados y cubrían casi totalmente el espacio entre las ruedas delanteras y traseras, aumentando la protección para el piloto mientras que las proporciones del alerón delantero eran justas para caber en el kart (Bernardi, 2019), el año 2003 la CIK-FIA permite que se diseñe de forma libre las carrocerías como modelos y que estas estén sujetas a pruebas de colisión para su respectiva homologación, tres años después se agrega un nuevo elemento a la carrocería de los kartings que es el guardachoques trasero con el objetivo de disminuir las colisiones o accidentes que se producen al momento que un karting sobre posiciona las ruedas al que está en frente, por último en 2015 se agregaron nuevas fijaciones para los guardachoques delanteros con el fin de disminuir los accidentes que se desarrollan en la salida de la competición y mejorar el diseño aerodinámico de los kartings toda esta evolución desde 1916 hasta la actualidad ha dado como resultado el diseño de kartings tal y como lo conocemos hoy en día (Fédération Internationale de l'Automobile – Karting, 2023), además de, mostrar a la carrocería como un aspecto fundamental en la seguridad del piloto y en la eficiencia que un karting puede tener en una competición.

2.2 Historia del karting

El karting es un deporte de carreras de vehículos pequeños impulsados por un motor de combustión interna, los primeros kartings se remontan a los años 1950 cuando un mecánico de auto Racing Art Ingels construyó un pequeño automóvil de chasis tubular de acero utilizando el motor de una podadora de césped, neumáticos de goma sólida y lo llamo "Go Kart", ese fue el primer karting de la historia el mismo que fue diseñado para circuitos en carreras amateurs (Fédération Internationale de l'Automobile – Karting, 2023).



Ilustración 2-2: Diseño del primer kart creado

Fuente: FIA-KARTING, 2023

El karting se convirtió en un deporte muy popular rápidamente, teniendo así una demanda de karts y carreras que organizaban los propios creadores, en 1960 se fundó la Federación Internacional de Karting (CIK-FIA) con el fin de poder traer normas y regulaciones a las competiciones, así como al diseño y construcción de los karts (Fédération Internationale de l'Automobile – Karting, 2023).

Hoy en día, el karting sigue siendo uno de los deportes de carreras más populares del mundo. Hay miles de circuitos de carreras de karts en todo el mundo, y el deporte es practicado por personas de todas las edades y niveles de habilidad. La evolución ha sido tan grande ya ha seguido sin parar, como un pequeño ejemplo los primeros karts llegaban a velocidades no mayores de 50km/h, en la actualidad existen super karts que pueden alcanzar velocidades de hasta 200km/h siendo muy cercanas a las que alcanzan los vehículos de fórmula 1, a la par se mejoraron los diseños de chasis, los sistemas de frenos y dirección, así como la carrocería que proporciona al piloto una seguridad ante posibles choques en pista y permite al karting tener un mejor diseño aerodinámico (Quezada, 2018, p. 8). El karting es una excelente manera de aprender habilidades de conducción y de competir en un ambiente seguro y controlado.

2.3 Reglamentación de competición FEDAK

El Reglamento rige todas las competencias de circuitos supervisadas y aprobadas por la Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo (FEDAK) teniendo como base las disposiciones del Código Deportivo Internacional FIA, en ella se especifican todos los vehículos permitidos para competir en carreras, que puede ir desde karts hasta vehículos todo terreno de rally, además, se establecen normativas para las modificaciones que se permiten en el sistema de tracción, suspensión, tren motriz, especifica las modificaciones que están prohibidas, así como también los parámetros o requisitos que debe cumplir cada sistema y/o componente que llevara el vehículo que va a participar (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022).

2.3.1 Categoría de competición

Dentro del reglamento técnico "FEDAK" se presentan 7 diferentes categorías como se muestran en la tabla 2-1.

Tabla 2-1: Categoría de competición según FEDAK

Categorías de competición según "FEDAK"	
Categoría	Cilindraje
Categoría TC Promocional	0 a 1150 cc
Categoría TC Light	0 a 1300 cc
Categoría TC 1600	1301 a 1650 cc
Categoría TC 2000	1651 a 2050 cc
Categoría Gran Turismo	2051 a 4400 cc
Categoría TC Abierta	0 a 6000 cc
Categoría Prototipos P1	0 a 2500 cc
Categoría Prototipos P2	2551 a 5000 cc

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Dentro de las categorías modelos se admiten los vehículos modelos y tubulares que no son de fabricación en serie y que son construidos especialmente para competencia. En la misma sección

se aplica la norma de seguridad de la SCCA. Sports Car Club of América (FIA SPORT RACER) para el diseño de las carrocerías (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022).

2.3.2 P1 hasta 2050cc

Vehículos prototipos y tubulares de hasta 2050cc de cilindrada de motor de automóvil y 1450cc de motor de motocicleta, equipados con cualquier tipo de motor y caja de cambios y con un peso mínimo establecido en la tabla de pesos de la categoría. Se prohíben los vehículos con chasis o partes de suspensión de Fibra de Carbono (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022).

2.3.3 P2 hasta 5000cc

Vehículos prototipos y tubulares, con un límite de cilindrada hasta 5000cc. Rin de aro y llanta libre, material del chasis y sus componentes libre, motor y caja de cambios libre de conformidad con la respectiva tabla de pesos y cilindrada (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022).

2.3.4 Pesos

Se presenta los pesos máximos (sin tomar en cuenta el peso del piloto) que pueden tener los diferentes vehículos en base a la cilindrada del motor, para categoría P1; tabla 2-2 y P2; 2-3.

- **Tabla de pesos P1 (Sin piloto)**

Tabla 2-2: Pesos categoría P1

De 0 a 1000cc	480 kg
De 1001 a 1400cc	520 kg
De 1401 a 1600cc	550 kg
De 1601 a 1800cc	570 kg
De 1801 a 2050cc	590 kg

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022.

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

- **Tabla de pesos P2 (sin piloto)**

Para motores de hasta 8 cilindros

Tabla 2-3: Pesos categoría P2

De 0 a 1300cc	480 kg
De 1301 a 1400cc	530 kg
De 1401 a 1800cc	560 kg
De 1801 a 2200cc	590 kg
De 2201 a 2600cc	620 kg
De 2601 a 4500cc	650 kg

Fuente: Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022.

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

2.4 Norma de seguridad Sports Car Club of America (SCCA)

El Sports Car Club of America es un club automovilístico estadounidense sin ánimo de lucro y un organismo sancionador que apoya las carreras en carretera, los rallys el autocross. El SCCA cuenta con normas de seguridad para sus eventos, que abarcan una serie de temas, como el equipo de protección personal, la seguridad del vehículo y la seguridad de la pista. Estas normas tienen por objeto garantizar la seguridad de los participantes y espectadores en las competiciones. En la sección 9.1.8. SPORTS RACING CATEGORY se presentan especificaciones para automóviles que estén diseñados y construidos para competición en carretera, con capacidad para un conductor y un pasajero, o un conductor solo llamado también monoplaza, dentro de la misma, en el literal B se define las limitaciones para la clasificación P1, y en la sección 9.4 se especifican la normativa para las jaulas antivuelco para GT y coches de serie (Sport Car Club of America, 2022, p. 91), que se utilizara para el diseño del roll bar.

2.5 Reglamento CIK-FIA

La normativa de la Comisión Internacional de Karting (CIK) reconocida por la Federación Internacional del Automóvil (FIA), que gobierna el deporte del automovilismo y promueve la movilidad segura, sostenible y accesible para todos los usuarios de la carretera en todo el mundo, la CIK-FIA se encarga de clasificar las diferentes categorías de karts, que se dividen en tres grandes familias: karts de tracción directa, karts de caja de cambios y Superkarts. Además, de especificar los componentes que se puede utilizar y como estos deben estar fabricados y los parámetros dimensionales que deben tener (Quezada, 2018, p. 18)

2.6 Carrocería

Para el termino carrocería o carenado se presentan diferentes conceptos, la CIK-FIA nos dice que: “La carrocería debe tener un acabado impecable, en ningún caso de tipo improvisado y sin ángulos agudos. El radio mínimo de cualquier ángulo o esquina es de 5 mm.” Para todas las categorías, debe estar compuesto por dos carrocerías laterales, un carenado delantero, un kit de montaje del carenado delantero, un panel frontal y una posible protección de la rueda trasera. Ningún elemento de la carrocería puede ser utilizado como depósito de combustible o para la fijación de lastre. No se permite el corte de elementos de la carrocería (Fédération Internationale de l’Automobile – Karting, 2023).

Según (Bernardi, 2019) “Los carenados son, sin duda, los elementos que, más que ningún otro, han revolucionado la estética y la aerodinámica del kart en los últimos 30 años, Los juegos de carenados ya no son de fibra de vidrio, sino que se fabrican con plástico. El nuevo material permite optimizar la producción”.

El primer juego de carenados usado de manera experimental en los karts incluía los pontones laterales y el pequeño frontal porta número, un accesorio que anteriormente no era más que una simple tabla con el adhesivo del número, sujeta entre el volante y el depósito o directamente en el tubo frontal del chasis. Los carenados laterales escuadrados ponen de manifiesto el hecho de que la investigación en aerodinámica era todavía un argumento desconocido en el karting. El reglamento, además, no permitía salirse de determinadas medidas (Bernardi, 2019).



Ilustración 2-3: Carrocería o carenado de un kart

Fuente: TKart, 2019

2.7 Materiales utilizados en carrocerías

Los materiales más utilizados en carrocería o carenados de los kartings se presentan a continuación:

2.7.1 Aluminio

El aluminio y sus aleaciones se caracterizan por presentar una densidad relativamente baja en comparación con el acero, elevada conductividad eléctrica y térmica y una buena resistencia a la corrosión en algunos ambientes comunes, incluyendo el ambiente atmosférico. Las aleaciones de aluminio se expanden fácilmente gracias a su destacada ductilidad, esto es evidente en el aluminio puro, que se puede convertir en papel y enrollar (Callister & Reithwisch, 2018, p. 447).

Tabla 2-4: Propiedades del aluminio

ALUMINIO	
Propiedad	Magnitud
Densidad	2770 kg/m ³
Módulo de Young	76 GPa
Resistencia a la tracción	341 MPa
Resistencia a la compresión	251 MPa
Dureza (Vickers)	116 HV
Rango de temperatura de trabajo	-273 a 200 °C
Aspecto térmico	Buen conductor
Conductividad Térmica	162 $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
Aspecto eléctrico	Buen conductor
Moldeabilidad	Media
Mecanizado	Buena
Inflamabilidad	No inflamable
Reciclable	Si
Costo	2,56 USD/kg

Fuente: CES EDUPACK, 2019

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

2.7.2 Fibra de Carbono

Los materiales compuestos reforzados con fibra de carbono ofrecen mayor rigidez y resistencia ofreciendo un mayor rendimiento que cualquier otra alternativa, pero son considerablemente más caros. Las fibras son las que soportan las cargas mecánicas mientras que el material de la matriz transmite las cargas a las fibras y proporciona ductilidad y tenacidad, además protege las fibras de los daños causados por la manipulación del material o efectos del medio ambiente (CES EDUPACK, 2019).

La fibra de carbono presenta las características presentadas a continuación (Callister & Reithwisch, 2018, pp. 558-560).

1. Presentan valores elevados de módulo elástico y de resistencia específicos.
2. Conservan estos valores de módulo y alta resistencia a temperaturas elevadas; la oxidación a alta temperatura, sin embargo, puede ser un problema.
3. A temperatura ambiente, las fibras de carbono no se ven afectadas por la humedad ni por una amplia variedad de disolventes, ácidos y bases.
4. Estas fibras presentan una diversidad de características físicas y mecánicas, facilitando que los materiales compuestos que incorporan estas fibras tengan propiedades ingenieriles específicas.
5. Se han desarrollado procesos de fabricación de fibras y de compuestos relativamente baratos y rentables.

Tabla 2-5: Propiedades de la fibra de carbono

Fibra de Carbono	
Propiedad	Magnitud
Densidad	1600 kg/m ³
Módulo de Young	150 GPa
Resistencia a la tracción	1,5x10 ³ MPa
Resistencia a la compresión	840 MPa
Dureza (Vickers)	21,5 HV
Rango de temperatura de trabajo	-123 a 220 °C
Aspecto térmico	Mal Aislante
Conductividad Térmica	2,6 $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$
Aspecto eléctrico	Mal conductor

Moldeabilidad	Buena
Mecanizado	Baja - Media
Inflamabilidad	Combustión lenta
Reciclable	No
Costo	38,4 USD/kg

Fuente: CES EDUPACK, 2019

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

2.7.3 Fibra de vidrio

La fibra de vidrio es un material compuesto consistente en fibras continuas o discontinuas de vidrio embebidas en una matriz plástica; este tipo de compuestos se produce en gran cantidad. El diámetro de las fibras está comprendido, habitualmente, entre 3 y 20 μm (Callister & Reithwisch, 2018, p. 558) El vidrio se utiliza habitualmente como material de refuerzo por varias razones:

1. Se hila fácilmente en fibras muy resistentes a partir de un estado fundido.
2. Es fácil de obtener y se puede conformar económicamente mediante gran variedad de técnicas de fabricación de materiales compuestos.
3. En forma de fibra es relativamente fuerte y cuando estas fibras se utilizan embebidas en una matriz plástica, se obtiene un compuesto con una resistencia específica muy alta.
4. Cuando se combina con diversos plásticos se obtienen materiales compuestos químicamente inertes muy útiles en una gran variedad de ambientes corrosivos.

Tabla 2-6: Propiedades de la fibra de vidrio

FIBRA DE VIDRIO	
Propiedad	Magnitud
Densidad	1970 kg/m ³
Módulo de Young	28 GPa
Resistencia a la tracción	241 MPa
Resistencia a la compresión	207 MPa
Dureza (Vickers)	21,5 HV
Rango de temperatura de trabajo	-123 a 220 °C
Aspecto térmico	Mal Aislante
Conductividad Térmica	0,55 $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$

Aspecto eléctrico	Buen aislante
Moldeabilidad	Buena
Mecanizado	Media
Inflamabilidad	Combustión lenta
Costo	31,8 USD/kg

Fuente: CES EDUPACK, 2019

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

2.8 Material para el roll bar

Según la normativa (Sport Car Club of America, 2022, p. 95) en el apéndice F “TUBOS” especifica el material del roll bar, este puede ser tubo de acero dulce sin soldadura, o tubo de aleación de acero y no se permite el uso de tubos EWR.

El material seleccionado fue el acero ASTM A36, es un acero con bajo contenido de carbono que cumple con las propiedades mecánicas de aceros recomendados por la norma como es el acero SAE 1020, teniendo más disponibilidad en el mercado del país el acero ASTM A36. A continuación se presentan las propiedades mecánicas del material.

Tabla 2-7: Propiedades del acero ASTM A36

Acero ASTM A36	
Propiedad	Magnitud
Densidad	7850 kg/m ³
Módulo de Young	200 GPa
Coefficiente de Poisson	0,26
Módulo cortante	79,3 GPa
Límite de tracción	400 MPa
Límite elástico	250 MPa
Soldabilidad	Buena
Costo	0,455 USD/Kg

Fuente: (Dassault Systèmes & SolidWorks Corporation, 2002)

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

2.9 Aerodinámica del automóvil

La aerodinámica dentro de la mecánica de fluidos estudia el movimiento del aire y otros fluidos gaseosos y como estos interactúan sobre cuerpos sólidos en movimiento, la disminución de la

resistencia aerodinámica es un aspecto muy importante de tomar en cuenta en el diseño y fabricación de vehículos de competencia que se relaciona de forma directa con la velocidad y potencia máxima que puede llegar a tener un vehículo (Artés, 2020).

En el libro de la Aerodinámica de los coches de carrera escrita por (Katz, 1995, p. 4), nos dice que para un vehículo de competencia es importante reducir la resistencia aerodinámica y la sustentación, o incluso crear una sustentación negativa, esto conduce a importantes mejoras en el rendimiento de los coches de carreras, especialmente en pistas con numerosas curvas de alta velocidad sin peralte.

2.10 Resistencia Aerodinámica

La resistencia aerodinámica es la fuerza que se resiste el movimiento experimentado por un objeto que se mueve a través del aire. Cuando el auto se mueve hacia adelante, hay una diferencia significativa de presión entre la parte delantera del auto (donde golpea el aire) y la parte trasera del auto, cuanto mayor sea la rapidez, mayor es la succión (Artés, 2020).

La ecuación que define la resistencia o fuerza aerodinámica se define a continuación:

$$F_A = \frac{1}{2} * \rho * A_F * Cd * V_r^2$$

Ecuación 2-1: Fuerza Aerodinámica

Donde:

F_A = Fuerza Aerodinámica [N]

ρ = Densidad del aire [$\frac{Kg}{m^3}$]

A_F = Área frontal [m^2]

Cd = Coeficiente aerodinámico [Adimensional]

V_r = Velocidad resultante (Velocidad del vehículo \pm Velocidad del aire) [$\frac{m}{s}$]

2.11 Fuerzas aerodinámicas

Basado en el sistema coordenado se pueden definir tres fuerzas y tres coeficientes de momento, sin embargo, el análisis se basa en las dos fuerzas más comunes que son la fuerza de arrastre y sustentación, la fuerza lateral es importante en casos de fuertes vientos cruzados y al adelantar (Katz, 1995, p. 45), las fuerzas aerodinámicas se definen a continuación:

2.11.1 Fuerza en el eje longitudinal (C_x)

Representa el arrastre del vehículo (definido como “drag” en inglés) frente al viento en comparación con el arrastre de un objeto teórico capaz de detener el aire cuyo coeficiente sería 1 y para un vehículo que no tendría resistencia alguna su coeficiente sería igual a 0, dentro de ese rango se presentarían los diferentes coeficientes, los vehículos normales tienen coeficientes aerodinámicos que van de entre los 0,20 hasta los 0,40 (Artés, 2020).

2.11.2 Fuerza en el eje transversal (C_y)

Mide el efecto del aire aplicado de forma lateral (definido como “side” en inglés) al vehículo mismo que interviene de diferentes formas en el vehículo (Álvarez, 2021, p. 24).

2.11.3 Fuerza en el eje vertical (C_z)

También llamado coeficiente de sustentación (definido como “lift” en inglés), depende directamente del ángulo de ataque del perfil aerodinámico respecto de la dirección del viento relativo (Pacheco & Rojas 2018, p. 28).

En la ilustración 2-4 se puede apreciar los momentos y las componentes de la fuerza aerodinámica que están presentes en el vehículo.

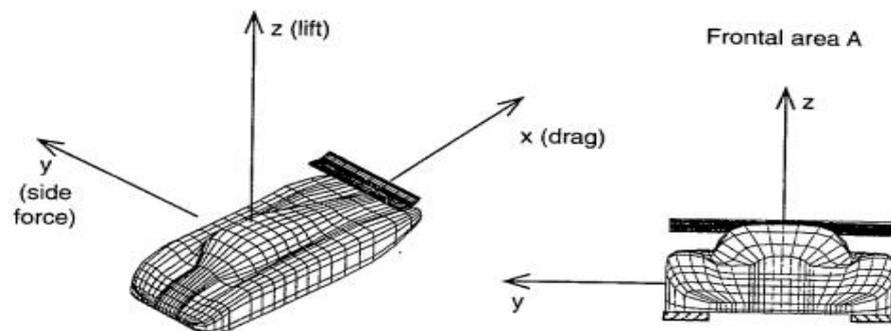


Ilustración 2-4: Diagrama de fuerzas aerodinámicas presentes en el vehículo

Fuente: Katz, 1995

2.12 Sustentación

En una componente fundamental que incide en la resultante de la fuerza aerodinámica, siendo la fuerza normal resultante respecto a la dirección del flujo que tiende a mover al objeto en dirección

normal al flujo, representa la suma de las componentes de presión y fuerzas de corte (Pacheco & Rojas, 2018, pp. 27-28).

Dicho de otra manera, en un vehículo hay una diferencia de presiones, bajo el coche existe una alta presión y sobre el mismo hay una presión menor, generando una fuerza de sustentación, de esa forma cuanto más rápido circula un vehículo más tiende a levantarse del suelo, este efecto es muy pequeño en comparación al peso del automóvil, pero afecta el comportamiento aerodinámico que puede tener al llegar a alta velocidades (Artés, 2020).

2.13 Coeficientes de arrastre, sustentación y lateral

Cada una de las fuerzas antes presentadas tienen sus coeficientes de momento, los coeficientes que se obtienen son adimensionales y dependerán de variables que se definen a continuación:

2.13.1 Coeficiente de arrastre (C_D)

$$C_D = \frac{F_D}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

Ecuación 2-2: Coeficiente de arrastre

Donde:

C_D = Coeficiente de arrastre [Adimensional]

F_D = Fuerza de arrastre [N]

ρ = Densidad del aire [$\frac{Kg}{m^3}$]

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

A = Área

2.13.2 Coeficiente de sustentación (C_L)

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

Ecuación 2-3: Coeficiente de sustentación

Donde:

C_L = Coeficiente de sustentación [Adimensional]

F_D = Fuerza de sustentación [N]

ρ = Densidad del aire [$\frac{Kg}{m^3}$]

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

A = Área

2.13.3 Coeficiente de fuerza lateral (C_Y)

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

Ecuación 2-4: Coeficiente de fuerza lateral

Donde:

C_Y = Coeficiente de fuerza lateral [Adimensional]

F_Y = Fuerza lateral [N]

ρ = Densidad del aire [$\frac{Kg}{m^3}$]

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

A = Área

Para aplicaciones en vehículos de competición, la variable definida como área se utiliza habitualmente como área de referencia, es decir, será el área proyectada en el eje que actúa cada fuerza siendo la frontal, superior y lateral las que se usaran respectivamente también cabe mencionar que por tema explicativo se establece las coordenadas presentadas anteriormente, las fuerzas y coeficientes dependerán del eje coordenado que maneje el objeto de estudio.

2.14 Eficiencia aerodinámica

La eficiencia aerodinámica se define como la relación entre la fuerza de sustentación y la fuerza de resistencia. El objetivo de la eficiencia aerodinámica es maximizar la carga aerodinámica y minimizando el arrastre para conseguir la máxima eficiencia (Errea, 2019, p. 54), es decir, cuan menor sea el valor del coeficiente aerodinámico menor será la resistencia que tenga el vehículo al avance, teniendo una mejor prestación.

$$f = \frac{C_L}{C_D}$$

Ecuación 2-5: Eficiencia aerodinámica

f = Eficiencia aerodinámica

C_L = Coeficiente de sustentación

C_D = Coeficiente de arrastre

Se toma en cuenta que estos valores son adimensionales.

2.15 Principio de Bernoulli

La ecuación de Bernoulli representa una relación entre la velocidad, la presión y la elevación producida por el contacto entre un fluido y un objeto, ésta, es válida en regiones donde el flujo es estacionario e incompresible. La ecuación de Bernoulli es aplicable en ciertas partes de un flujo debido a que la viscosidad será despreciable en comparación con los efectos que se producen de las fuerzas de inercia, presión y gravitación, las regiones no viscosas permiten que el principio de Bernoulli se cumpla dado que representan lugares donde las fuerzas viscosas o de fricción netas son despreciablemente pequeñas en comparación con las fuerzas anteriormente mencionadas que actúan sobre cada partícula del fluido en cuestión (Pacheco & Rojas, 2018, p. 31)

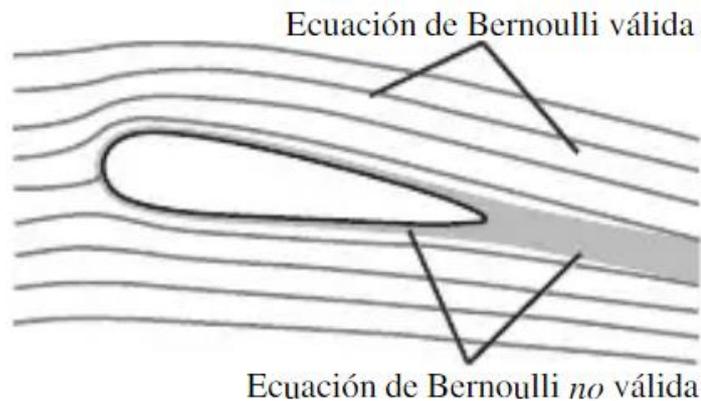


Ilustración 2-5: Zonas de flujo donde se aplica la ecuación de Bernoulli

Fuente: Pacheco & Rojas, 2018

2.16 Capa límite

Según (Álvarez, 2021, p. 39) la capa límite es una zona muy cercana a la superficie del cuerpo, con una relativa velocidad de flujo nula justo en la superficie, dicha capa aparece en los fluidos viscosos, también se menciona que la velocidad de flujo se incrementa lentamente hasta un punto que alcanza la velocidad exterior a esta.

El espesor de la capa límite puede definirse como la distancia desde la superficie donde el gradiente de velocidad es cero, hasta llegar al punto de flujo principal en el borde exterior. Un perfil de velocidad típico dentro de esta capa se describe en el recuadro de la ilustración 2-6.

Además, un aumento demasiado pronunciado de este espesor puede provocar la separación del flujo, lo que se traduce en una resistencia adicional y una pérdida de la carga aerodinámica creada por los alerones de un coche de carreras (Katz, 1995, p. 31).

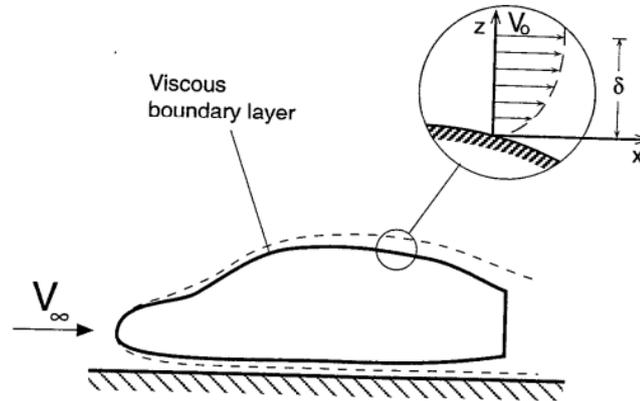


Ilustración 2-6: Capa límite que se forma cerca del vehículo

Fuente: Katz, 1995

La ilustración 2-7 indica donde tiene lugar la transición, es decir, donde el flujo laminar se empieza a hacer inestable y comienza a desarrollarse la turbulencia en el interior de la capa límite.

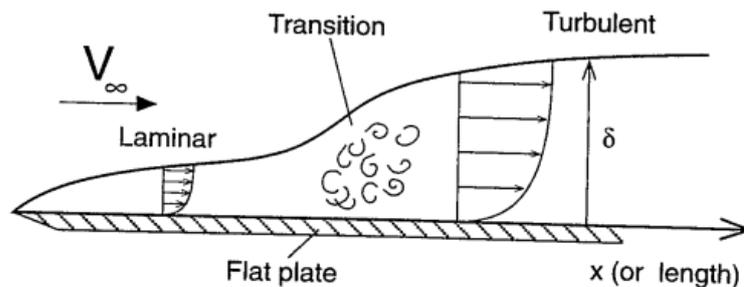


Ilustración 2-7: Transición entre flujo laminar y turbulento

Fuente: Katz J., 1995

2.17 Número de Reynolds

El número de Reynolds es el cociente entre la fuerza de inercia y el esfuerzo viscoso ejercido sobre el cuerpo de estudio. Para el flujo laminar la relación es menor debido a una viscosidad alta y velocidades bajas, sin embargo, en el flujo turbulento el número de Reynolds es mayor debido a las altas velocidades y la baja viscosidad. El tránsito de régimen laminar a régimen turbulento es un fenómeno que depende en gran medida de la viscosidad, y repercute en la resistencia de la placa, se verifica para un número determinado de Reynolds (Errea, 2019, p. 30)

$$Re = \frac{\rho VL}{\mu}$$

Ecuación 2-6: Numero de Reynolds

Donde:

Re = Número de Reynolds

ρ = Densidad del fluido [$\frac{Kg}{m^3}$]

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

L = Longitud del solido a estudio [m]

μ = Viscosidad dinámica del fluido [$\frac{Kg}{m s}$]

2.18 Número de Mach

Es la relación entre la velocidad real del fluido (o la de un objeto en el fluido en reposo) y la velocidad del sonido en el mismo fluido en el mismo estado, es un parámetro importante en el análisis de flujo de fluidos compresibles. El número de Mach de un automóvil que circula a una velocidad invariable fija puede cambiar en distintas situaciones dependiendo de factores como la temperatura o altura con respecto al nivel del mar (Errea, 2019, p. 23).

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

Ecuación 2-7: Número de Mach

Donde:

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

V_s = Velocidad del sonido a las condiciones del fluido [$\frac{m}{s}$]

Para calcular la velocidad del sonido se utilizará el calor específico, la constante de gases y la temperatura local (Pacheco & Rojas, 2018, p. 114) como se muestra en la ecuación 2-8, cuando se trabaja con valores inferiores a 0.3 se considera que el flujo es incompresible.

$$V_s = \sqrt{RT\gamma}$$

Ecuación 2-8: Velocidad del sonido local

Donde:

$R = \text{Constante de los gases } (286,9 \frac{J}{Kg \cdot K})$

$T = \text{Temperatura [K]}$

$\gamma = \text{Relación de calor específico}$

2.19 Flujo del viento

El estudio del movimiento de un fluido en el interior de un contorno (tubería, canal) o alrededor de un contorno (coche, ala de avión, barco) es el problema central de la mecánica de fluidos (Errea, 2019, p. 26)

Los factores que influyen en la resistencia aerodinámica total son el tamaño, forma, tipo de superficie de la carrocería, determina el rozamiento con la capa de aire al estar en contacto (Álvarez, 2021, pp. 20–21) donde este último puede fluir de dos formas:

2.19.1 Flujo Laminar

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 (Quiña & Sánchez, 2022, p. 44).

2.19.2 Flujo turbulento

El flujo turbulento es el movimiento de un fluido el cual tiene un movimiento caótico, es este sus partículas se agitan desordenadamente y sus partículas forman pequeños remolinos aperiódicos (Quiña & Sánchez, 2022, p. 44).

En la tabla 2-8 se presenta cuando un fluido es laminar y cuando es turbulento, esto basándonos en el número de Reynolds teniendo valores menores a 2000 para un fluido laminar y mayores a 4000 para flujo turbulento, en el rango comprendido entre 2000 y 4000 es imposible predecir qué tipo de flujo existe, por lo tanto, a este rango se le llama región crítica (Mott & Untener, 2015, p. 182), como adicional se toma en cuenta que es este valor es adimensional.

Tabla 2-8: Tipos de flujo según el número de Reynolds

Tipos de flujo	
< 2000	Flujo laminar
2000 – 4000	Región crítica
> 4000	Flujo turbulento

Fuente: Mott & Untener, 2015, p. 182

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

2.20 Túnel de viento

Los túneles de viento son destinados para la ejecución de las pruebas tentativas de experimentación en el vehículo o un modelo del mismo, principio que se puede utilizar para experimentaciones en karts, en estas instalaciones se simulan las condiciones para el recorrido y se comprueba la reacción de la carrocería durante el transcurso de este procedimiento (Álvarez, 2021, pp. 37–38). La idea básica de un túnel de viento es sencilla: En lugar de perseguir un avión en vuelo o un coche en movimiento con todos los instrumentos de medición, el modelo de ensayo permanece inmóvil mientras el aire se mueve con respecto a él, algunos constan de un ventilador gigante que aspira y expulsa aire y otras de varios ventiladores pequeños y de tal forma obtener las prestaciones requeridas (Katz, 1995, p. 64).

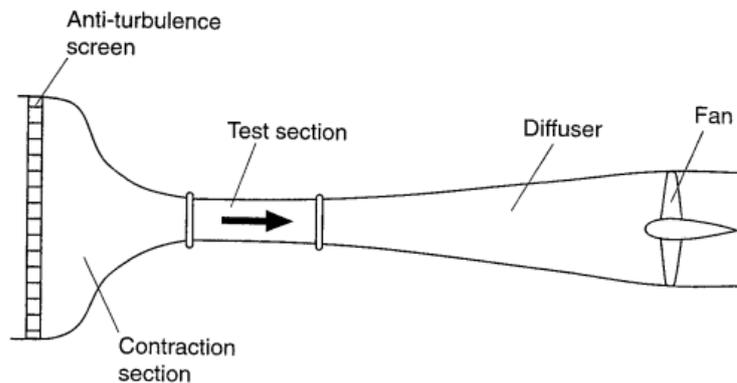


Ilustración 2-8: Esquema de un túnel de viento básico

Realizado por: Katz, 1995

Para el dimensionamiento del túnel de viento se tomó como referencia lo descrito en (Errea, 2019, p. 66), creando así una relación respecto a la longitud del karting con el túnel de viento.

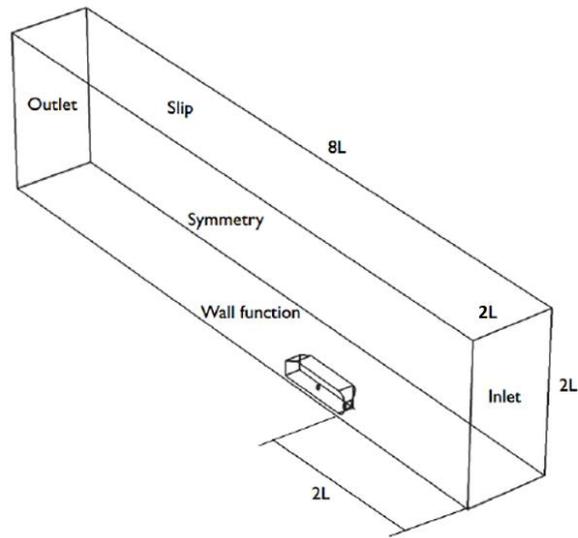


Ilustración 2-9: Dimensionamiento del túnel de viento

Fuente: Errea, 2019, p. 66

2.21 Dinámica computacional de fluidos (CFD)

La dinámica de fluidos computacional, es un conjunto de metodologías que permiten analizar fenómenos relacionados con el flujo de un fluido mediante el uso de computadores; para ello, las ecuaciones fundamentales son expresadas de manera diferencial o integral, para luego ser traducidas de manera algebraica y así obtener un resultado numérico (Pacheco & Rojas, 2018, p. 34).

2.21.1 Aplicaciones

La utilización de softwares dirigidos a la dinámica computacional de fluidos presenta un sinnúmero de características que ayudan a la hora de simular diferentes condiciones para observar el comportamiento del elemento (Pacheco & Rojas, 2018, p. 34), las aplicaciones que nos ofrece son:

- Aerodinámica de aviones y vehículos.
- Hidrodinámica de barcos
- Central eléctrica: combustión en motores de combustión interna y turbinas de gas.
- Ingeniería eléctrica y electrónica: enfriamiento de equipos, incluidos los microcircuitos.
- Ingeniería de procesos químicos: mezclas y separación, moldeo de polímeros.
- Entorno externo e interno de los edificios: carga de viento y calefacción o ventilación.
- Ingeniería ambiental: distribución de contaminantes.
- Hidrología y oceanografía: flujos en ríos, estuarios y océanos.

- Meteorología: predicción del clima.

2.21.2 Ventajas

- Las principales ventajas que presenta el CFD (Álvarez, 2021, p. 32) son:
- Reducción de tiempos y costes en nuevos diseños
- Posibilidad de analizar sistemas y condiciones como velocidades, altas temperaturas y componentes en movimientos relativo
- Capacidad de estudiar sistemas en condiciones peligrosas y límites de funcionamiento
- Obtención de grandes resultados sin costos extras
- Facilidad de interpretación de gráficos

2.21.3 Desventajas

- Las principales desventajas que presenta el CFD (Álvarez, 2021, p. 32) son:
- Se ocasionan errores significativos si se efectúan simplificaciones durante el proceso que afectan al resultado
- La asimilación e interpretación de los resultados

2.22 Mallado

Una malla no sólo proporciona las ubicaciones específicas en el espacio donde debe calcularse la solución, sino también la información necesaria sobre las conexiones entre los puntos que se utilizarán en el solucionador de fluidos. La malla no sólo abarca todo el volumen de fluido, sino que también se extiende a todas las superficies expuestas del volumen y puede visualizarse rápidamente en una "malla de superficie". Es importante que la malla tenga un número suficiente de puntos agrupados en regiones en las que será necesario resolver características clave del flujo (Sullivan, 2021).

Generar una buena malla es una actividad imprescindible al momento de simular, debido a que afecta directamente a la precisión de resultados, convergencia de la solución y consumo de recursos computacionales.

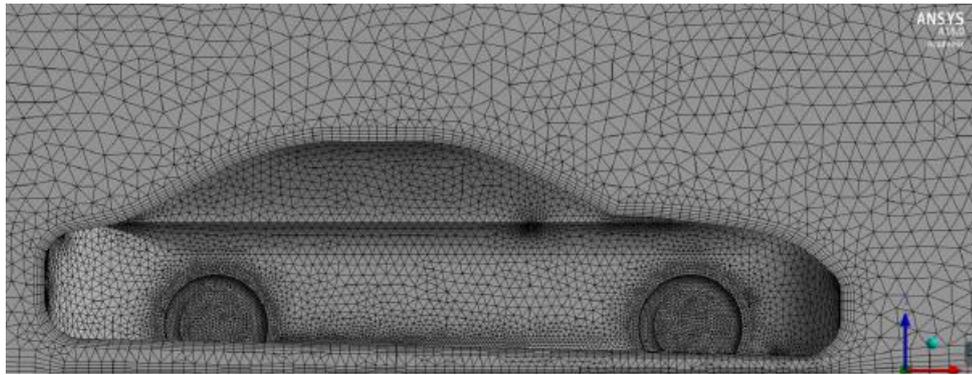


Ilustración 2-10: Mallado de un vehículo

Realizado por: Errea, 2019

En función de los métodos que se utilizan para linealizar las ecuaciones dentro de las celdas, las mallas se dividen en tres tipos; estructuradas, no estructuradas e híbridas.

Malla Estructurada. – Este tipo de malla se caracteriza por presentar divisiones regulares y pueden expresarse como una matriz de dos y tres dimensiones, restringiendo las opciones de mallado en 2D a cuadriláteros y en 3D a hexaedros reduciendo los recursos computacionales (Álvarez, 2021, p. 41)

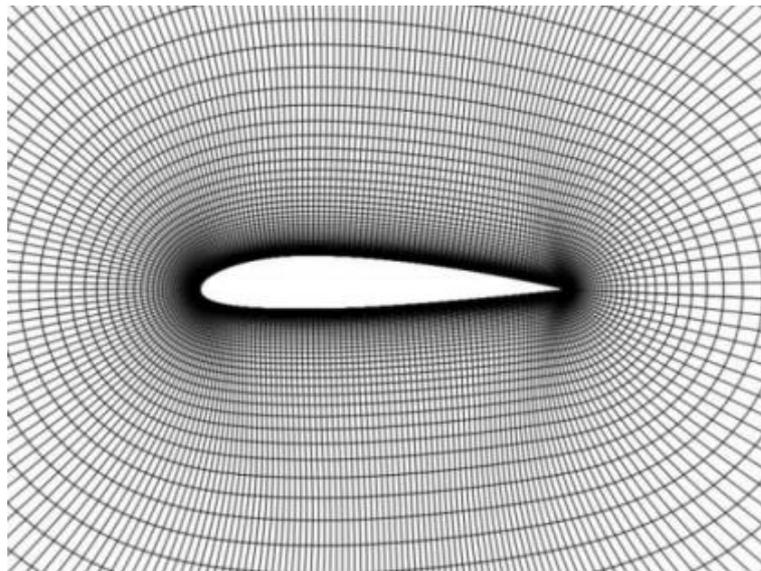


Ilustración 2-11: Malla estructurada

Realizado por: Álvarez, 2019

Malla no estructurada. – La malla no estructurada se diferencia por una división irregular teniendo diferentes números de nodos en cada celda, su solución se realiza mediante los métodos y volúmenes finitos debido a que permiten fácilmente refinamientos locales para resoluciones

altas en regiones de interés, esto sin perder precisión en el resto del dominio (Álvarez, 2021, pp. 41-42)

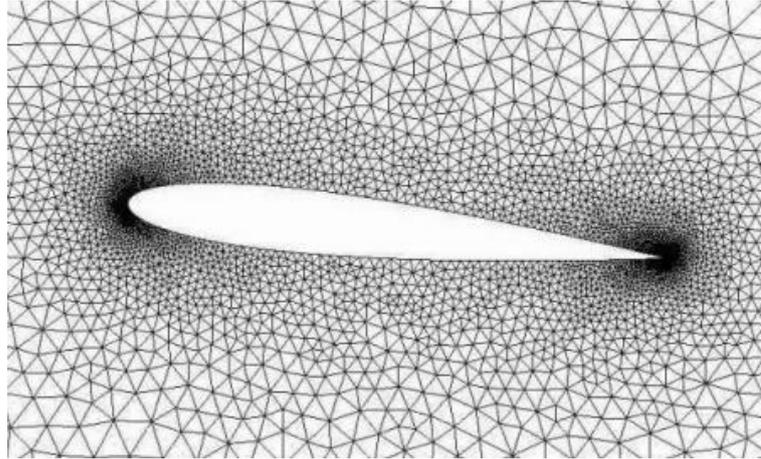


Ilustración 2-12: Malla no estructurada

Realizado por: Álvarez, 2019

Malla híbrida. - Consta de la combinación de secciones estructuradas y no estructuradas en toda la malla

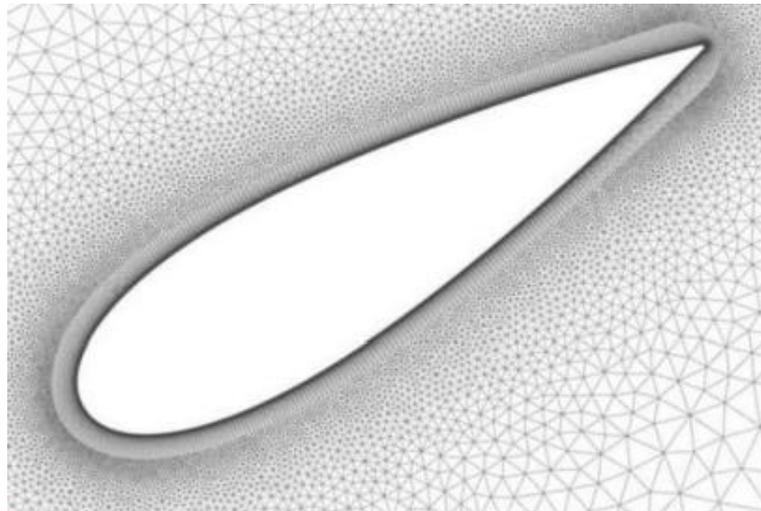


Ilustración 2-13: Malla híbrida

Realizado por: Álvarez, 2019

CAPÍTULO III

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Metodología a utilizar

Se utilizará una metodología experimental permitiendo modificar de manera directa el objeto de estudio en este caso la carrocería, creando las condiciones necesarias que permitan conocer sus características y su comportamiento con el flujo de viento, también se lleva a cabo una metodología hipotético-deductiva que permitirá el planteamiento de la hipótesis y una técnica documental para estructurar el desarrollo del proyecto de investigación, dichas metodologías se detallan a continuación:

3.1.1 *Metodología experimental*

Este método consiste en modificar de manera directa o indirecta un fenómeno natural, también denominado objeto de estudio, creando las condiciones necesarias que permitan conocer sus características y sus relaciones con el entorno. Este método de investigación necesita la comprensión del significado del concepto variable. Una variable es cualquier elemento que comprenda un fenómeno u objeto de estudio, para la simulación de la carrocería se comprende de la velocidad del viento, tipo de flujo, coeficiente aerodinámico, y coeficiente de sustentación. De esta forma se modifica las variables para comprender mejor el mecanismo a partir del cambio de condiciones (Monroy & Nava, 2018, pp. 96–97)

3.1.2 *Metodología hipotético-deductivo*

Se toma elementos de los dos razonamientos el hipotético y el deductivo. Es el método más utilizado y, justamente por eso, el más debatido también. Se lo ha tratado de diferentes maneras según la época, según la rama de la ciencia, según el objeto de estudio y entre otros. Par el desarrollo de la investigación se utiliza los siguientes pasos: conocimiento del fenómeno que se puede observar, se formula una hipótesis, se deduce las consecuencias que se derivan de la hipótesis (aquí entra el razonamiento deductivo), se valida la hipótesis antes planteada con los resultados de las simulaciones (Perez et al., 2020, pp. 17–21).

3.2 Concepción y parámetros para el diseño del modelo de carrocería

3.2.1 Selección del material para el modelo de carrocería

Para el proceso de diseño y con el objetivo de optimizar los recursos necesarios al momento de proponer el modelo para una futura construcción, se utiliza el despliegue de la función de calidad o Quality Function Deployment (QFD) por sus siglas en inglés para la selección del material, esta herramienta permite diseñar productos nuevos o existentes trasladando las necesidades del cliente a las necesidades del diseño, de esta forma se permite tener una mejor relación entre los requerimientos que se busca obtener en el modelo de carrocería con los requerimientos del material, teniendo un criterio técnico para la etapa de diseño (López, 2021).

3.2.1.1 Requerimientos del modelo

El modelo de carrocería necesita satisfacer parámetros aerodinámicos y estructurales, con el fin de mejorar el rendimiento en una competición y teniendo la suficiente resistencia para diferentes condiciones ambientales, como resultantes al momento de una carrera, siguiendo esta premisa se presentan los siguientes requerimientos:

1. **Peso.** - El agregar un elemento más a la estructura del karting producirá que el mismo aumente su peso, por esta razón se busca encontrar una carrocería que sea ligera y resistente a la presión que tendrá el flujo de aire
2. **Resistencia.** – Se necesita un modelo que permita junto con el roll bar garantizar la integridad del conductor
3. **Facilidad de manufactura.** – Se busca obtener un modelo que sea fácil de fabricar sin utilizar muchos recursos
4. **Desmontable.** – Con el fin de poder ampliar las categorías en las cuales se pueda participar, se necesita tener puntos de sujeción móviles permitiendo una fácil instalación y desmontaje en cualquier karting que tenga un chasis “Top - Kart Viper” homologado
5. **Aerodinámico.** – El modelo debe seguir el enfoque de mejorar el rendimiento aerodinámico

Con los requerimientos ya definidos se realiza la primera ponderación para relacionar la importancia que tienen entre ellos, teniendo como 0 una relación nula y 1 cuando existe algún tipo de relación y se calificará cada requerimiento según su importancia, donde 0 es que es

irrelevante alcanzar el requerimiento y 5 que es muy importante de alcanzar, siguiendo el método de calificación presentado en la matriz que expone (López, 2021).

Tabla 3-1: Ponderación de requerimientos del modelo

Requerimientos del modelo	1	2	3	4	5	6	Sumatoria	Porcentaje (%)	Ponderación
1. Peso	-	1	1	1	1	1	5	31,25	5
2. Resistencia	1	-	0	1	0	0	2	12,5	3
3. Manufactura	1	1	-	0	1	1	4	25	4
4. Desmontable	1	0	1	0	-	0	2	12,5	4
5. Aerodinámico	1	0	1	1	0	-	3	18,75	5
Sumatoria							16	100	

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.2.1.2 *Requerimientos del material*

El material de la carrocería también debe poseer propiedades mecánicas, térmicas que ayuden a mejorar la eficiencia aerodinámica y permitan resistir diferentes condiciones tanto ambientales como resultantes de una competición, los diferentes requerimientos se presentan a continuación:

- a. **Peso.** - El peso que debe tener el material es un aspecto importante para que la carrocería sea ligera, afectando lo menos posible al peso total.
- b. **Rigidez.** - El material necesita tener una resistencia a la tensión que puede ejercer el flujo del viento sobre ella
- c. **Maleabilidad.** – El material que se seleccione debe ser fácil de moldear al diseño que se presentara
- d. **Costo.** – Un aspecto que se debe tomar en cuenta para el modelo de la carrocería
- e. **Disponibilidad.** - El material debe estar disponible en los mercados de país permitiendo su fácil obtención
- f. **Inflamabilidad.** – Un aspecto que considera la seguridad al momento que se produzca una combustión y el piloto necesite tiempo para salir del karting

Estos requerimientos van a una ponderación igual a la tabla 3-1 donde se definirá como se relacionan entre ellos siguiendo el mismo método de calificación

Tabla 3-2: Ponderación de requerimientos del material

Requerimientos del material	a	b	c	d	e	f	Sumatoria	Porcentaje (%)	Ponderación
a. Peso	-	1	1	1	0	0	3	25	5
b. Rigidez	1	-	1	0	0	0	2	16,67	4
c. Maleabilidad	1	1	-	0	0	0	2	16,67	4
d. Costo	1	0	1	-	1	0	3	25	4
e. Disponibilidad	0	0	0	1	-	0	1	8,33	3
f. Inflamabilidad	1	0	0	0	0	-	1	8,33	3
Sumatoria							12	100	

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

A continuación, se realiza una tabla que relacione los requerimientos de la carrocería con los requerimientos del material, usando una analogía al método de (López, 2021) para la medición de relación, para nuestro análisis se utilizara números siendo “9” una alta relación que en el diagrama final se representara con el símbolo “▲”, el número “3” para una relación media representada por el símbolo “⊙” y el número “1” cuando la relación sea baja que se representa con el símbolo “○”.

Tabla 3-3: Comparación entre los requerimientos del modelo y del material

Requerimientos Carrocería/Requerimientos Material	a	b	c	d	e	f
1. Peso	9	3	3	-	-	-
2. Resistencia	3	9	9	3	3	1
3. Manufactura	3	9	9	9	-	-
4. Área frontal	-	9	3	-	-	-
5. Desmontable	9	1	3	-	-	-
6. Aerodinámico	-	3	3	3	1	-

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Luego de saber los requerimientos importantes para la carrocería y el material, además de la respectiva comparación entre ellos se realiza la matriz QFD permitiéndonos escoger la fibra de carbono como el material más viable para el desarrollo de las simulaciones.

Fila	Max. Relación en la Fila	Peso relativo	Peso / Importancia	Características de carrocería (Requerimientos del modelo)	Columna					Análisis del diseño				
					1	2	3	4	5	Aluminio	Fibra de carbono	Fibra de vidrio		
Direc de mejora: Minimizar (-), Maximizar (+), o Objetivo (x)					-	+	-	X	X					
					Peso	Resistencia	Manufactura	Desmontable	Aerodinámico					
1	9	20,69		Peso	⊖	⊖	⊖	⊖		3	5	4		
2	9	28,45		Rigidez	⊖	⊖	⊖	⊖		4	5	3		
3	9	24,14		Maleabilidad	▲	⊖	⊖	⊖	⊖	3	4	4		
4	9	21,55		Costo	⊖	⊖	⊖	▲	⊖	3	2	5		
5	3	4,31		Disponibilidad		⊖			▲	4	3	5		
6	1	0,86		Inflamabilidad		▲				5	3	3		
Dificultad										22	22	24	Calificación	
Max Relación Columna					9	9	9	9	9					
Peso / Importancia					5	3	4	4	5					
Peso Relativo					31,25	12,50	25,00	12,50	18,75					

Ilustración 3-1: Matriz QFD para la selección del material

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.3 Modelamiento del chasis de referencia

El chasis que se utilizó como referencia es homologado permitiendo tener una carrocería que pueda adaptarse a múltiples kartings con el mismo chasis permitiendo cumplir uno de los requisitos que sea desmontable, el modelado de chasis se muestra en la ilustración 3-2 realizado en el programa SolidWorks.

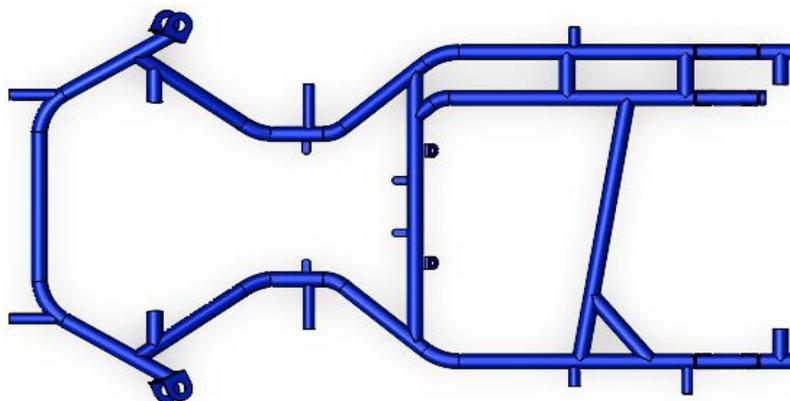


Ilustración 3-2: Chasis de referencia

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.4 Modelamiento de los elementos del karting

Para el modelamiento de los elementos se siguió las medidas originales del karting, además, del diseño con la finalidad que el modelo sea semejante al karting real a continuación se presentan los elementos que influirán en las simulaciones computacionales.

3.4.1 *Neumáticos*

Los neumáticos siguen las dimensiones originales teniendo un diseño igual a los reales que posteriormente se simplifico para reducir recursos computacionales.



Ilustración 3-3: Neumáticos

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

3.4.2 *Carenado*

El carenado del karting es fundamental para las simulaciones a realizar debido a que nos proporciona información de la distribución del viento, área frontal, coeficiente de arrastre y sustentación, resultados que nos servirán para la comparativa con la implementación de la carrocería.



Ilustración 3-4: Carenado

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

3.4.3 *Asiento*



Ilustración 3-5: Asiento

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.4.4 *Palanca y base del motor*

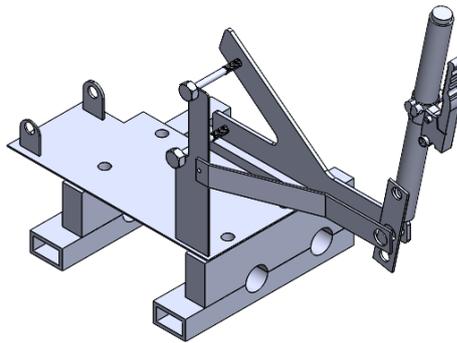


Ilustración 3-6: Palanca y base del motor

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.5 **Modelamiento del roll bar**

El modelo del roll bar se diseñó siguiendo la sección 9.4 “ROLL CAGES FOR GT AND PRODUCTION BASED CARS”, de la normativa SCCA, acatando las dimensiones de la tubería, así como de la estructura y puntos de sujeción (Sport Car Club of America, 2022, p. 91), para el modelamiento del elemento se utilizará como material el ASTM A36

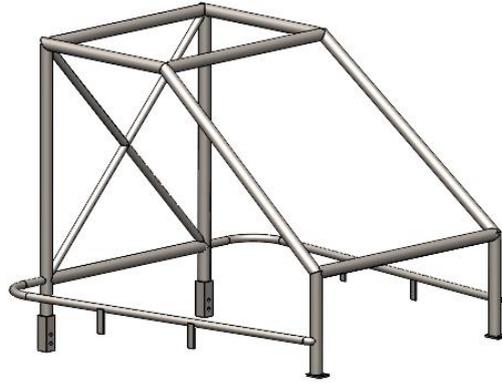


Ilustración 3-7: Modelamiento del roll bar

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.5.1 *Puntos de sujeción del roll bar*

Para los puntos de sujeción se utilizó el segundo literal del apéndice E “PUNTOS DE FIJACIÓN DE LA JAULA ANTIVUELCO” de la normativa (Sport Car Club of America, 2022, pp. 94-95), permitiéndonos tener los puntos de sujeción que consideremos necesarios, se presentan 2 puntos frontales en los soportes de los ejes para sujetar los neumáticos como se aprecia en la ilustración 3-8.

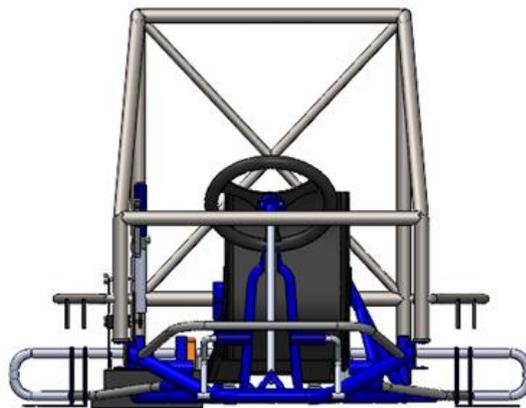


Ilustración 3-8: Puntos de sujeción frontales

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Los 2 puntos de sujeción traseros van acoplados a los soportes que sujetan el disco de freno y la catalina de transmisión que conecta el motor con el eje trasero, estos 4 puntos se sujetaran al chasis mediante pernos permitiendo un montaje fácil y rápido.



Ilustración 3-9: Puntos de sujeción traseros

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.6 Modelamiento de la carrocería

Teniendo los elementos antes detallados ensamblados, se realizará la modelación de la carrocería que se adapte a la estructura y cumpla con las normativas que permitan su aceptación en una carrera, el proceso para el modelamiento se detalla en el diagrama de bloques presentado en la ilustración 3-10.

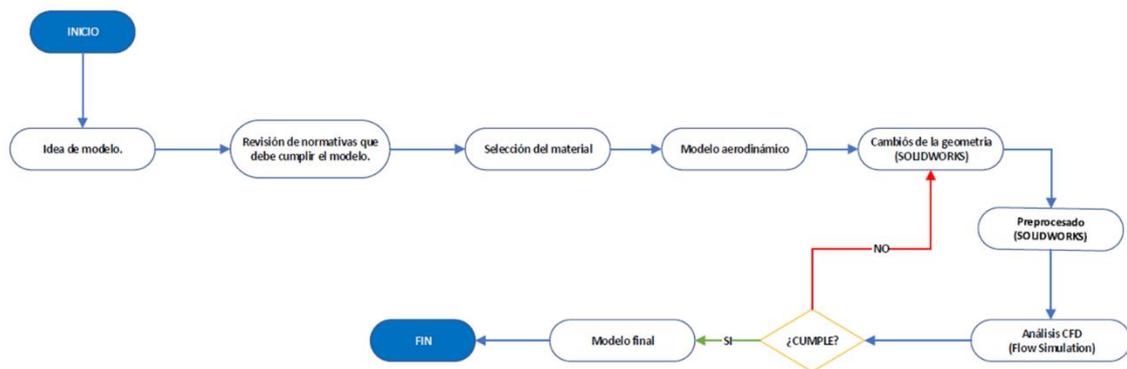


Ilustración 3-10: Diagrama de bloques para la modelación de la carrocería

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

En el modelo se simplifica los neumáticos, se agrega el parabrisas, y cumple la normativa de la (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022) que nos dice:

“La carrocería vista desde el costado y desde la parte superior (sobre) el vehículo debe cubrir íntegramente todos los componentes mecánicos excepto la admisión y el escape, las llantas no deben verse desde sobre el

vehículo y solo las llantas posteriores se pueden observar desde la parte posterior del vehículo. (Guardafangos tipo moto que cubren las ruedas pero que no son parte integral de la carrocería y se mueven con la Dirección de las ruedas delanteras están prohibidos).”

Adicional a la normativa el modelo necesitaba cumplir con las dimensiones para acoplarlo al chasis y componentes del karting, así como el roll bar, sin incluir difusores, alerones o entradas de aire que permitan la recirculación del mismo, mediante las herramientas de SolidWorks se calculó la masa que tendrá la carrocería la cual es de 71,286 Kg.

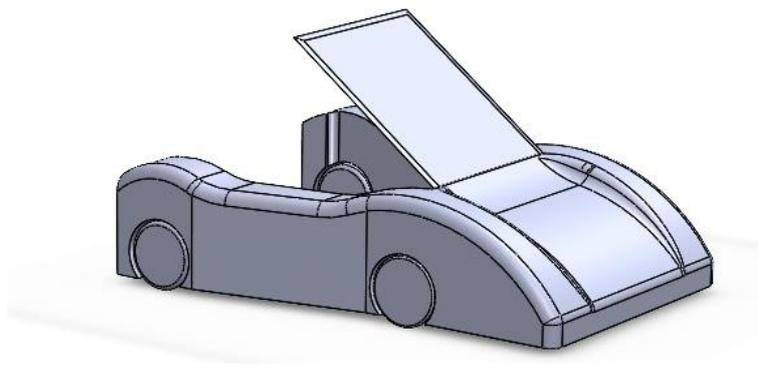


Ilustración 3-11: Modelo preliminar de la carrocería

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.7 Modelamiento de la carrocería con mejoras

Para el diseño del modelo final se tomó en cuenta el flujo del viento de forma gráfica y los coeficientes de arrastre y sustentación de forma analítica, agregando entradas de aire como son los difusores permitiendo una mayor circulación del aire, enfriando de una manera eficiente los neumáticos y el motor, se agregó un alerón con la finalidad de tener al karting más adherido al piso para mejorar la eficacia al tomar una curva o reducir el efecto de la fuerza de sustentación a altas velocidades, dichos cambios se aprecian en la ilustración 3-12, la masa total del modelo es de 77,328 Kg, valor que nos ayudara a determinar las cargas que se necesitan para el análisis estructural del karting.

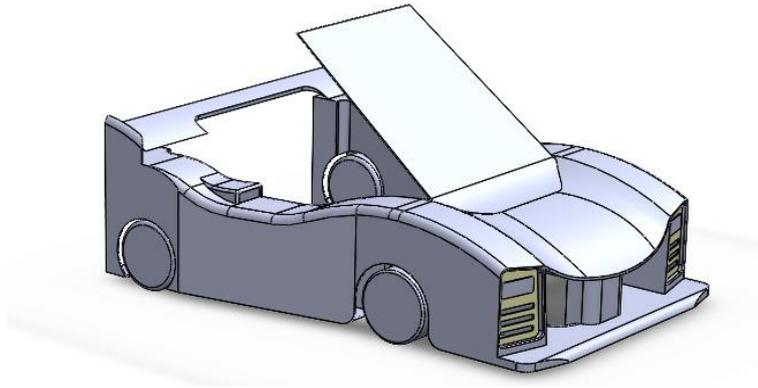


Ilustración 3-12: Modelo de la carrocería con mejoras

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.8 Ensamble de la estructura CAD completa

Con todos los componentes del karting, roll bar y carrocerías modelados se realiza un ensamble donde se ubicarán cada uno de estos elementos permitiendo una perspectiva más clara de la evolución que tuvo la carrocería basada en la información recopilada y analizada de las simulaciones computacionales.

3.8.1 Modelo 3D del karting “Top-Kart Viper”



Ilustración 3-13: Modelo 3D - "Top-Kart Viper"

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023

3.8.2 Modelo 3D preliminar propuesto para el karting "Top-Kart Viper"



Ilustración 3-14: Modelo 3D preliminar - "Top-Kart Viper"

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.8.3 Modelo 3D final propuesto para el karting "Top-Kart Viper"



Ilustración 3-15: Modelo 3D final - "Top-Kart Viper"

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.9 Áreas: Frontal y Superior

Para los cálculos de coeficiente de arrastre y sustentación se necesitará el área frontal y superior respectivamente de cada uno de los modelos a analizar, a continuación, se detalla lo valores de las áreas.

Tabla 3-4: Áreas frontal y superior de los modelos

	Modelo Inicial	Modelo 1	Modelo 2
Área frontal [cm ²]	5739,69	10071,54	9215,60
Área frontal [cm ²]	2322,14	16872,89	17133,95

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Se puede evidenciar una mayor área en los modelos propuestos debido a la implementación del parabrisas por normativa.

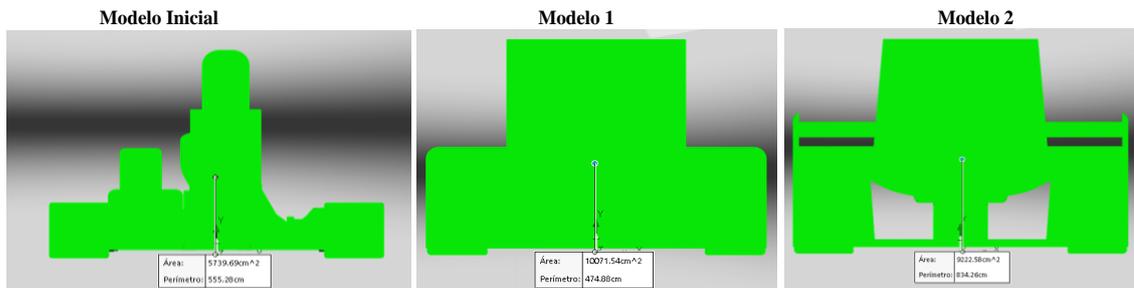


Ilustración 3-16: Área frontal proyectada de los modelos

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

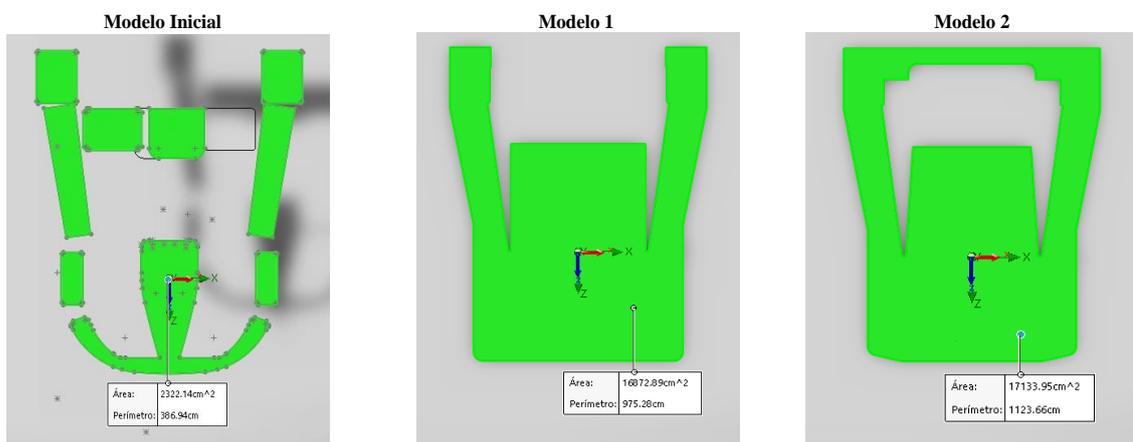


Ilustración 3-17: Área superior proyectada de los modelos

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10 Análisis estructural

Para el análisis estructural se configuro el material ASTM A36 siguiendo las especificaciones de tubería que se muestran en la tabla 3-5 y se agregó los puntos de sujeción donde se conectará el roll bar al chasis como se muestra en la ilustración 3-20, también se tomó en cuenta las pruebas estáticas y dinámicas para la validación del roll bar; la estructura de la jaula antivuelco debe resistir una carga vertical de 7.5 veces el peso del karting aplicada en la parte superior del arco principal, esta se detallada en la ecuación 3-1, no se debe producir ninguna fisura en la jaula de seguridad y la deformación máxima debe ser de 50mm bajo la aplicación de esta carga (López, 2018, p. 21).

Para pruebas estáticas en el arco delantero la jaula de seguridad debe soportar una carga de 3.5 veces el peso del karting, ecuación 3-2, en esta prueba la estructura de la jaula de seguridad no debe presentar rupturas ni fisuras y es permitida una deformación máxima de 100mm en el punto de la carga (López, 2018, p. 22).

Para la prueba de carga lateral al arco principal se debe seguir las disposiciones de las pruebas para el arco delantero siguiendo la ecuación 3-2, esta prueba es necesaria para vehículos con o sin copiloto no debe haber ninguna fisura y la deformación máxima al aplicarse esta carga no debe exceder los 50mm (López, 2018, p. 23).

3.10.1 Especificaciones de la tubería

Solo se permite tubería de sección circular que cumplan los siguientes parámetros:

Tabla 3-5: Especificaciones del tubo

Material	Resistencia mínima a la tracción	Dimensiones mínimas [mm]	Utilización
Acero al carbono no aleado estirado en frío sin soldadura con un contenido máximo de carbono del 0,3	$350 \frac{N}{mm^2}$	45 x 2.5 (1.75"x0.095") or 50 x 2.0 (2.0"x0.083")	Barra antivuelco principal o barras antivuelco laterales y travesaño trasero
		38 x 2.5 (1.5"x0.095") or 40 x 2.0 (1.6"x0.083")	Semiarcos laterales y otras partes de la estructura de seguridad

Fuente: López, 2018, p. 20

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10.2 Configuración del estudio

Para realizar el análisis estructural nos dirigimos a complementos y seleccionamos SolidWorks Simulation, este nos permite usar herramientas de análisis estructural que utiliza el Análisis de Elementos Finitos (FEA) para predecir el comportamiento físico real de un producto mediante la prueba virtual de modelos CAD, puede simular casos de análisis dinámico, estático lineal y no

lineal (Dassault Systèmes & SolidWorks Corporation, 2023). Entramos a nuevo estudio y seleccionamos análisis estático.

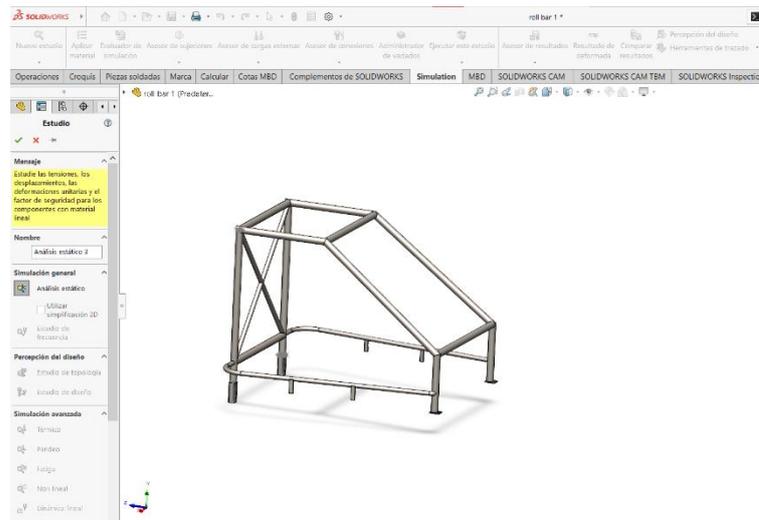


Ilustración 3-18: Estudio del análisis estructural del roll bar

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10.3 Configuración del material

Para aplicar el material del modelo nos dirigimos a la sección ubicada en el lado izquierdo donde estará la pieza, buscamos en la librería de materiales que nos ofrece SolidWorks el acero ASTM A36 revisamos las propiedades, tipo de modelo o estudio, el sistema de unidades y lo aplicamos.

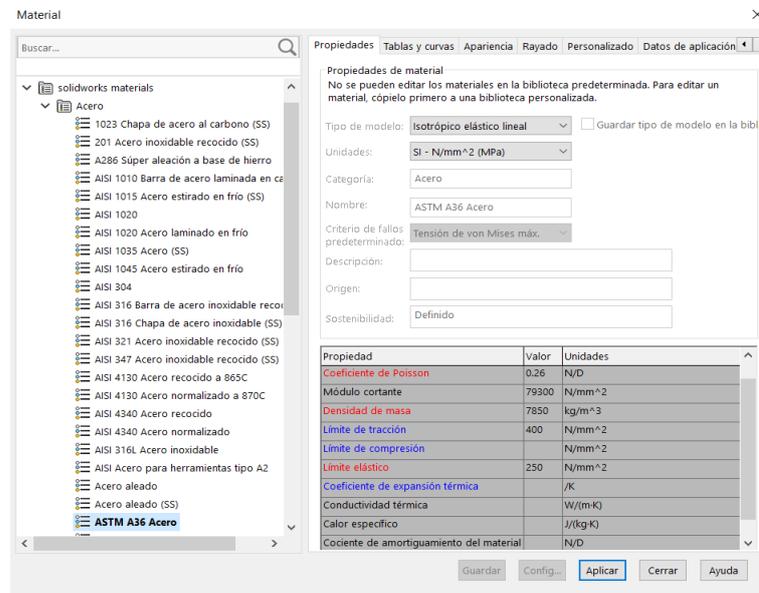


Ilustración 3-19: Material seleccionado

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10.4 Puntos de sujeción

Se ubico los soportes en las perforaciones donde se ubicarán los pernos que fijarán el roll bar con el chasis con la configuración presentada en la siguiente tabla.

Tabla 3-6: Configuración de los soportes del roll bar

Sujeciones				
Nombre	Tipo	Traslación (mm)	Rotación (rad)	Entidades
Sujeciones frontales	Sobre caras cilíndricas	0; 0; 0	0; libre; 0	2 caras
Sujeciones posteriores	Geometría de referencia	0; 0; libre	0; 0; 0	4 nodos

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

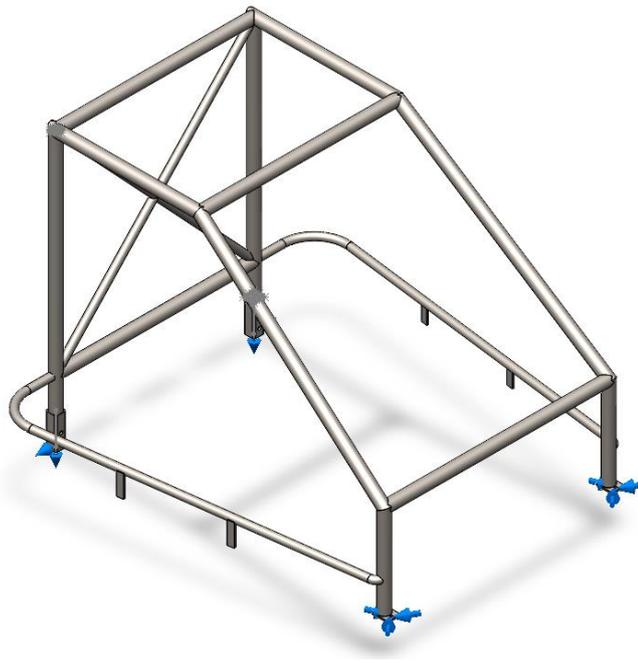


Ilustración 3-20: Soportes frontales y posteriores del roll bar

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10.5 Mallado de la estructura

SolidWorks ofrece una configuración básica que permite tener un mallado general y un control de mallado para las zonas donde se requiere una mejor precisión de resultados y donde se efectuara las cargas externas que se le agregara posteriormente, adicional permite valorar la

calidad de malla mediante dos métodos el “Cociente de Aspecto” que evalúa los elementos tetraédricos perfectos y uniformes y el “Cociente Jacobiano” que mide la deformación de un elemento a partir de un elemento perfecto, es decir, con aristas de longitudes iguales sin distorsiones, para los dos métodos se considera una buena calidad de mallado un valor cercano al 1, mientras el valor este más alejado la calidad de la malla decrece (Dassault Systèmes, 2023, p. 2) los principales parámetros de la malla se especifican en la tabla 3-7, cambiando solamente la magnitud de las cargas y su ubicación.

Tabla 3-7: Información de la malla

Información de la malla	
Tipo de malla	Malla mixta
Mallado utilizado	Malla basada en curvatura de combinado
Método de evaluación	Cociente Jacobiano
Calidad de malla	Elementos cuadráticos de alto orden
Evaluación de la malla	(1 – 1,238)
Número total de nodos	33806
Número total de elementos	21046

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

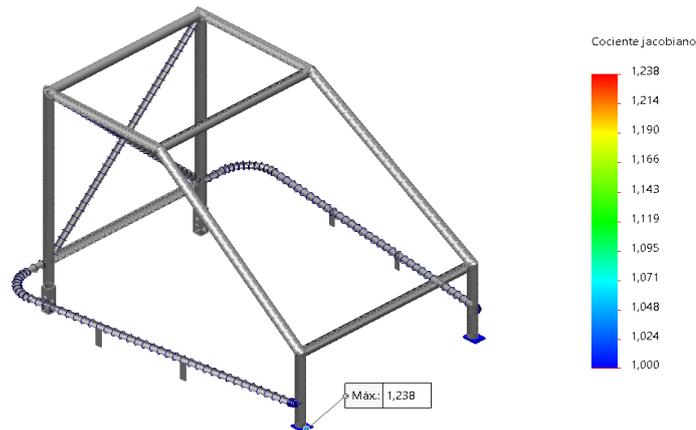


Ilustración 3-21: Evaluación de la malla mediante Cociente Jacobiano

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10.6 Cargas aplicadas al Roll bar

Para cuantificar las cargas que necesitará soportar el roll bar utilizaremos la ecuación 3-1 para la carga vertical en el arco principal, y la ecuación 3-2 para la carga lateral en el arco principal y la misma nos servirá para la carga vertical en el arco delantero.

$$F_{ap} = 7,5 * w_v$$

Ecuación 3-1: Ecuación de la carga aplicada al arco principal

Fuente: López, 2018, p. 21

Donde:

F_{ap} = Carga vertical aplicada en el arco principal [N]

w_v = Peso del vehículo [Kg] + 150 Kg

$$F_{cl} = 3,5 * w_v$$

Ecuación 3-2: Ecuación de la carga lateral aplicada al arco principal

Fuente: López, 2018, p. 22

Donde:

F_{cl} = Carga lateral aplicada en el arco principal [N]

w_v = Peso del vehículo [Kg] + 150 Kg

Para la carga en el arco delantero esta debe estar dirigida hacia el exterior y hacia abajo con un ángulo de 25° +/- 1° con respecto a la horizontal, dividiendo la fuerza en componentes (López, 2018, p. 23), adicional a esto se considera el peso de la carrocería con mejoras para determinar las cargas en el arco principal y delantero, el peso del chasis, motor, carrocería y cargas utilizadas para los análisis estructurales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 3-8: Cargas ejercidas sobre el Roll bar

Cargas ejercidas sobre el Roll bar	
Peso del chasis [Kg]	49,04
Peso del motor [Kg]	28,2
Peso total del karting [Kg]	77,24
Peso ocupacional [Kg]	150
Peso de la carrocería [Kg]	77,33
Carga vertical en el arco principal [N]	2284,26
Carga lateral en el arco principal [N]	1065,99
Carga vertical en el arco delantero [N]	Eje z: 1056,62
	Eje y: 141,09

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.10.6.1 Carga vertical en el arco principal

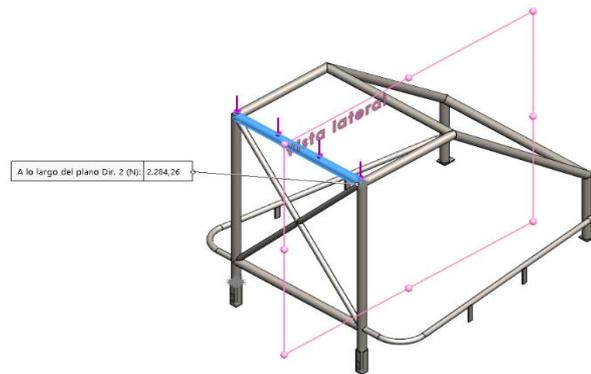


Ilustración 3-22: Carga vertical en el arco principal

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

3.10.6.2 Carga lateral en el arco principal

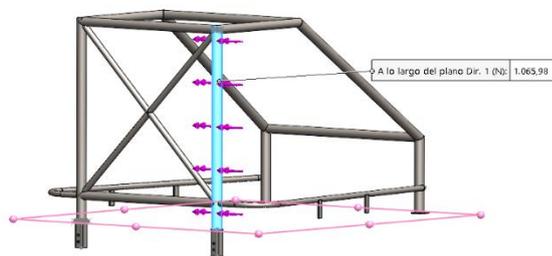


Ilustración 3-23: Carga lateral en el arco principal

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

3.10.6.3 Carga vertical en el arco delantero

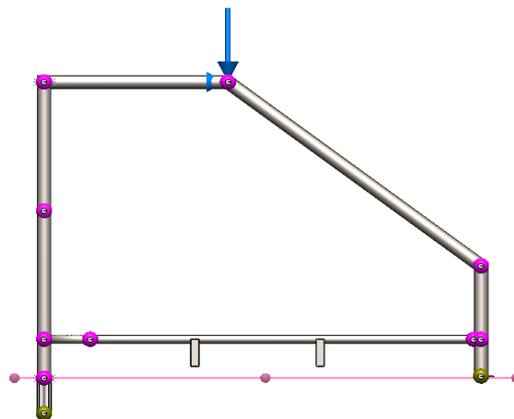


Ilustración 3-24: Carga vertical en el arco delantero

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

3.11 Análisis de Dinámica de Fluidos Computacional (CFD)

Para el desarrollo de las simulaciones computacionales se utilizó el programa SOLIDWORKS con ayuda de “Flow Simulation” complemento que se ofrece en el paquete de SOLIDWORKS FLOW SIMULATION, permitiendo tener simulaciones CFD de forma fácil y rápida, aplicada a los flujos de líquidos y gases a través y alrededor de sus diseños para calcular el rendimiento y las capacidades del producto (Dassault Systèmes, SolidWorks Corporation, 2023), dividiéndolo en tres partes principales que son:

- Preproceso
- Proceso
- Postproceso

3.11.1 Preproceso

En esta sección se define el planteamiento del problema, comprende la construcción de la región del dominio computacional donde se caracteriza en un número finito de elementos llamado malla que permite definir las propiedades del flujo previo al análisis del modelo matemático, así como también la descripción de las condiciones iniciales, definiendo el material, puntos de fijación y cargas (Gascon et al., 2002, p.93).

3.11.1.1 Piso

Para la simulación se modela un área rectangular que asemejará la calzada donde se moverá el karting y mediante relaciones de posición se logra una ubicación óptima como se muestra en la siguiente ilustración.

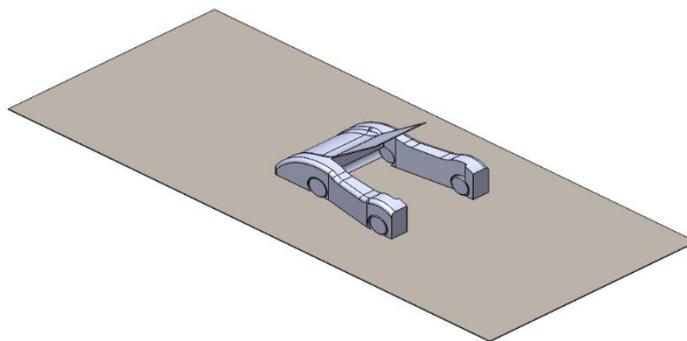


Ilustración 3-25: Ubicación del karting con la calzada

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.11.1.2 Configuración del asistente

El asistente o “wizard” en inglés es la herramienta que nos ayudara a definir parámetros iniciales para la simulación como es el sistema de unidades con el cual se va a trabajar, para nuestro análisis se eligió el Sistema Internacional (SI).

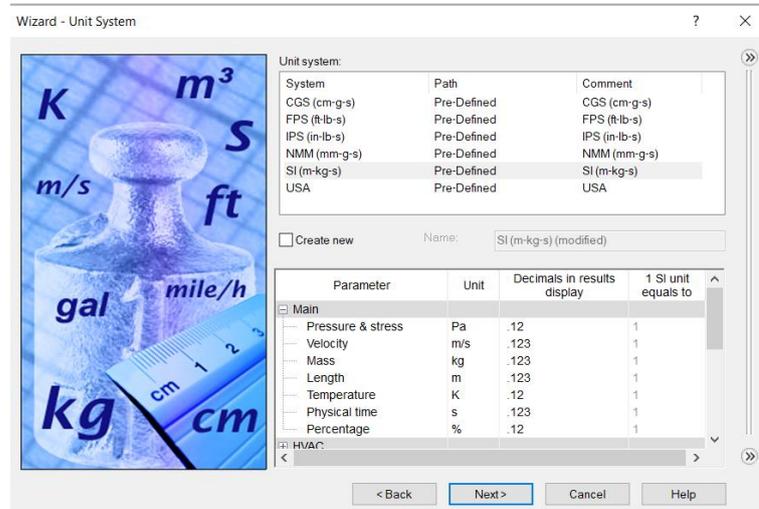


Ilustración 3-26: Sistema de unidades a trabajar

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Para el tipo de análisis escogemos tipo externo sin excluir las cavidades y espacios internos esto debido que será el flujo del aire recorriendo en torno al vehículo, seleccionamos flujo de fluidos en las características físicas, posteriormente como fluido se selecciona el aire y dentro de las características del fluido seleccionamos de tipo laminar y turbulento.

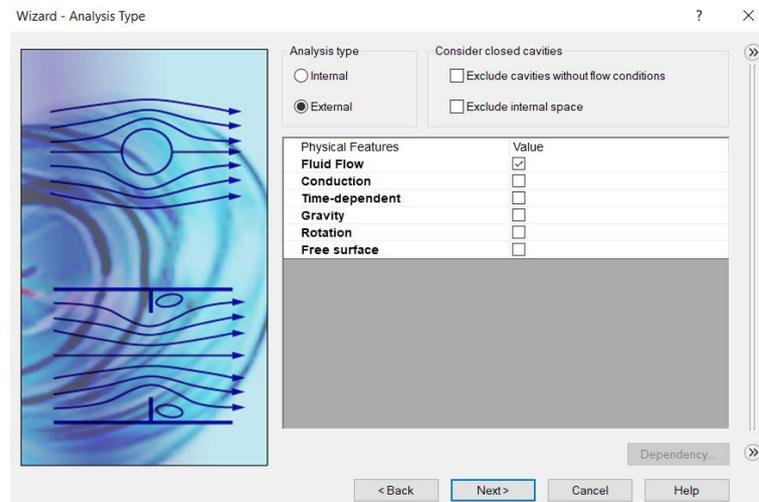


Ilustración 3-27: Tipos de análisis

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.11.1.3 Condiciones iniciales y de ambiente

Se selecciona los parámetros mostrados en la figura 3-25, teniendo una presión de 102700 Pa, una temperatura media de 18°C (Aucatoma & Medina, 2018, p. 35) y una velocidad de 19,44 m/s esta velocidad se obtuvo en el “Autódromo Internacional José Tobar Tobar” de Yahuarcocha – Ibarra, en la competencia “Dia Motor UTN” siendo la velocidad pico de 70 Km/h alcanzada por el karting además se configuro el flujo como laminar y turbulento basándonos en el número de mach que es de 0,057 sabiendo que para valores menores a 0,3 el flujo se considera incompresible.

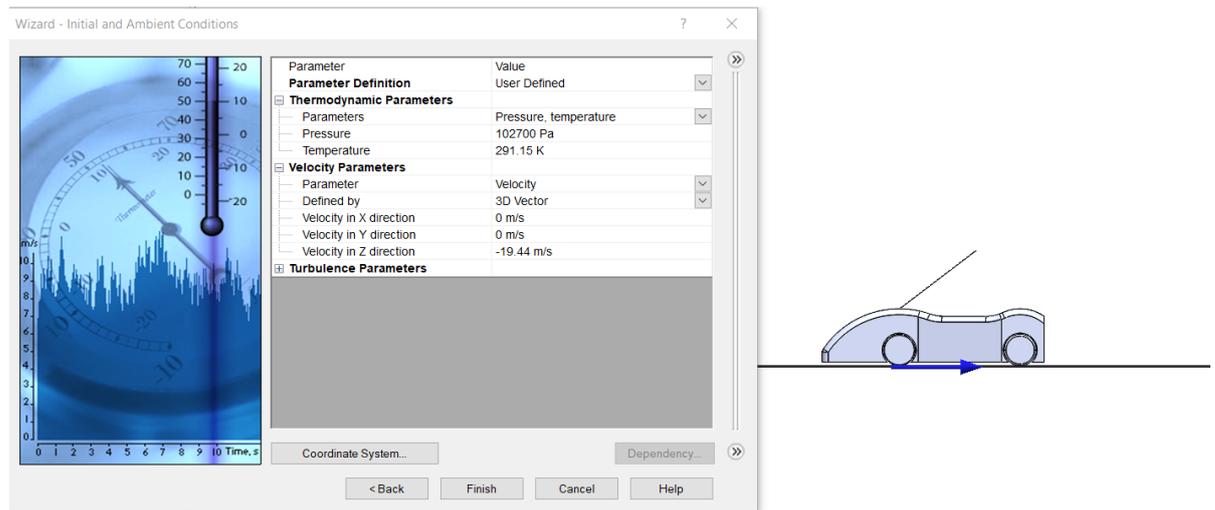


Ilustración 3-28: Condiciones iniciales y de ambiente

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.11.1.4 Material

La fibra de vidrio se configuro como el material de la carrocería, seleccionado mediante la matriz QFD proporcionando los mejores requerimientos en aspectos importantes para la simulación, las propiedades del material están especificadas en la tabla 2-6.

3.11.1.5 Dominio Computacional

Para las simulaciones CFD se necesita configurar un “túnel de viento” el cual encerrara el karting adherido a la superficie inferior, para dicho proceso se debe tomar en cuenta las dimensiones necesarias para que el fluido que pasa por alrededor del karting se desarrolle y obtengamos los resultados necesarios para su análisis.

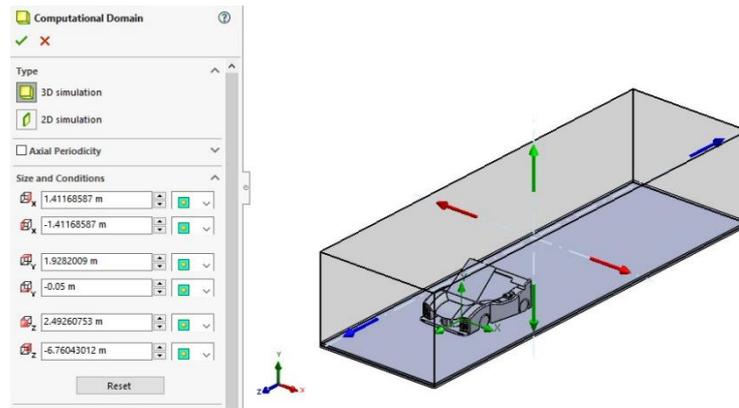


Ilustración 3-29: Dimensiones del dominio

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

En la siguiente tabla se detallan los parámetros de cómo se determinó las dimensiones del dominio computacional en función de la longitud del modelo para posteriormente realizar las simulaciones CFD, esto se realizó para cada uno de los modelos.

Tabla 3-9: Parámetros del dimensionamiento del dominio computacional

Volumen principal	Parámetro del dimensionamiento
Flujo incidente	1 x Longitud del kart
Flujo saliente	3 x Longitud del kart
Ancho del volumen principal	0.5 x Ancho del kart
Alto del volumen principal	1 x Alto del kart

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

3.11.1.6 Mallado

Como primer paso se realizará un mallado general o global en el que intervienen todos los elementos de la carrocería con un nivel 7 referente a la calidad de mallado siendo este el nivel máximo para tener mejores resultados

3.11.1.7 Refinamiento del mallado

Para tener un mejor control en la eficacia que tendrán nuestros resultados se realiza un refinamiento local en las superficies que son de mayor contacto con el fluido, al igual que en la malla global esta tiene diferentes niveles de calidad.

Se realizará un refinamiento del nivel 0 al nivel 3 y se extrapolara para “predecir” los valores que tendrán las fuerzas de arrastre y sustentación con el fin de reducir recursos computacionales y tiempo, en la ilustración 3-30 se aprecia de forma gráfica los niveles en la parte frontal, parabrisas y los neumáticos.

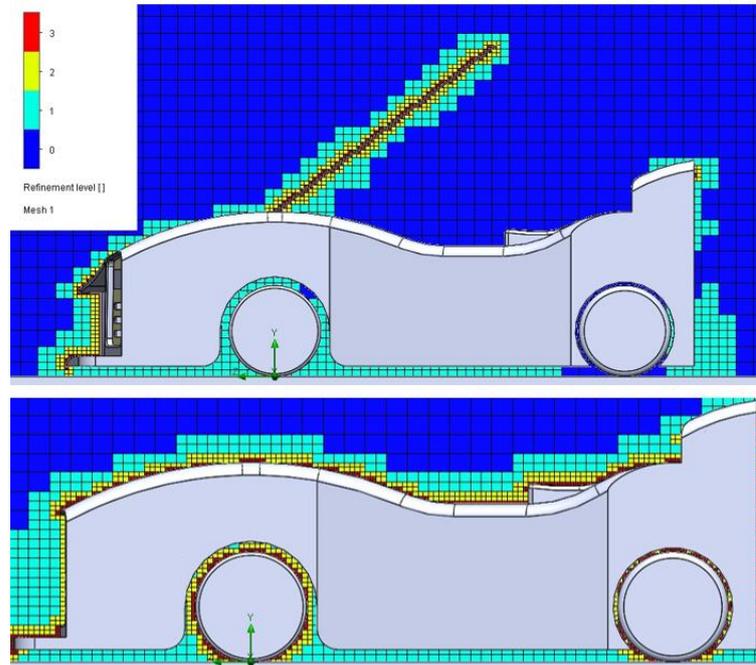


Ilustración 3-30: Nivel de refinamiento de la malla

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

En la tabla 3-10 se notan las fuerzas obtenidas mediante la simulación y en la tabla 3-11 las fuerzas obtenidas mediante extrapolación lineal, denotando que el signo negativo es porque la dirección de las fuerzas están en el eje z negativo.

Tabla 3-10: Fuerzas obtenidas mediante la simulación CFD

FUERZAS OBTENIDAS MEDIANTE LA SIMULACIÓN CFD		
Nivel de refinamiento	Fuerza de arrastre [N]	Fuerza de sustentación [N]
0	-97,290218	-165,977538
1	-97,449991	-166,565826
2	-90,427187	-174,247136
3	-90,667647	-175,708849

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Al haber encontrado estos resultados se realiza una gráfica donde se encontrará la ecuación representativa que permitirá extrapolar los valores de las fuerzas en función del nivel de refinamiento.

$$y = -3,6875x - 165,09$$

Ecuación 3-3: Ecuación del grafico nivel de refinamiento vs fuerzas

Donde:

y = Fuerzas de arrastre y sustentación [N]

x = Nivel de refinamiento

En la tabla 3-10 se aprecian los valores del nivel 4 hasta el nivel 9 (es el máximo nivel) obtenidos mediante la ecuación 3-3:

Tabla 3-11: Fuerzas de arrastre y sustentación en función del nivel de refinamiento

FUERZAS OBTENIDAS MEDIANTE EXTRAPOLACIÓN LINEAL		
Nivel de refinamiento	Fuerza de sustentación [N]	Fuerza de arrastre [N]
0	-97,290218	-165,977538
1	-97,449991	-166,565826
2	-90,427187	-174,247136
3	-90,667647	-175,708849
4	-87,235600	-179,840000
5	-84,546500	-183,527500
6	-81,857400	-187,215000
7	-79,168300	-190,902500
8	-76,479200	-194,590000
9	-73,790100	-198,277500

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

Se aprecia en la ilustración 3-31 los valores obtenidos por la simulación CFD y por extrapolación lineal para las fuerzas de sustentación y en la ilustración 3-32 para las fuerzas de arrastre.

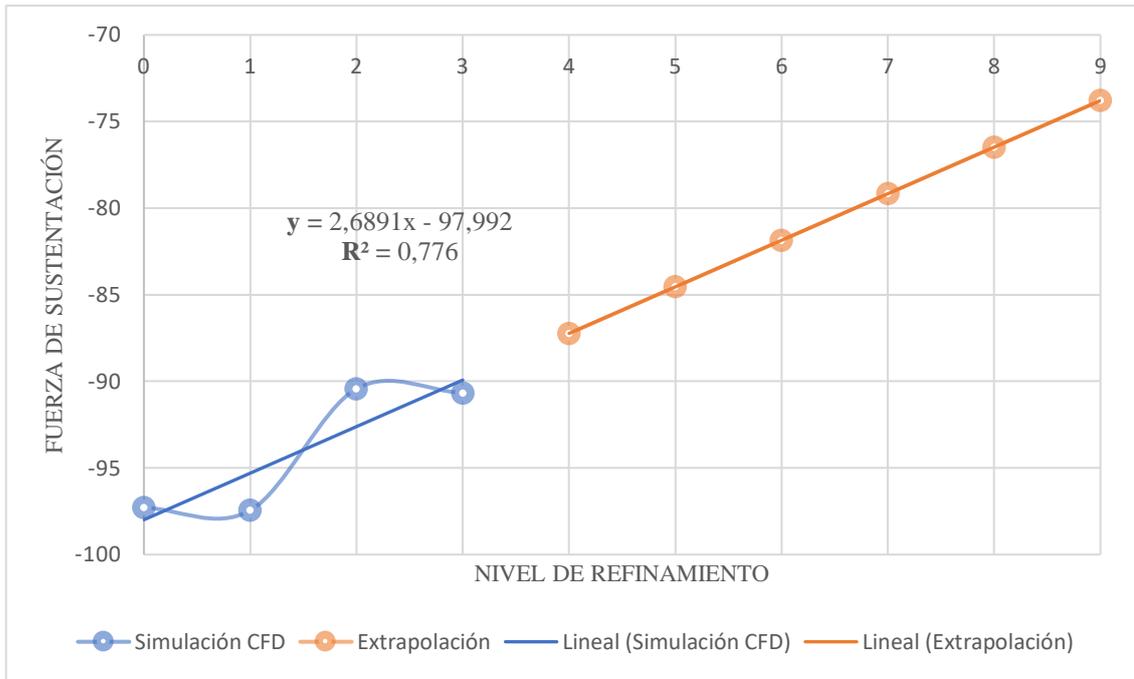


Ilustración 3-31: Fuerzas de sustentación en función del nivel de refinamiento

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

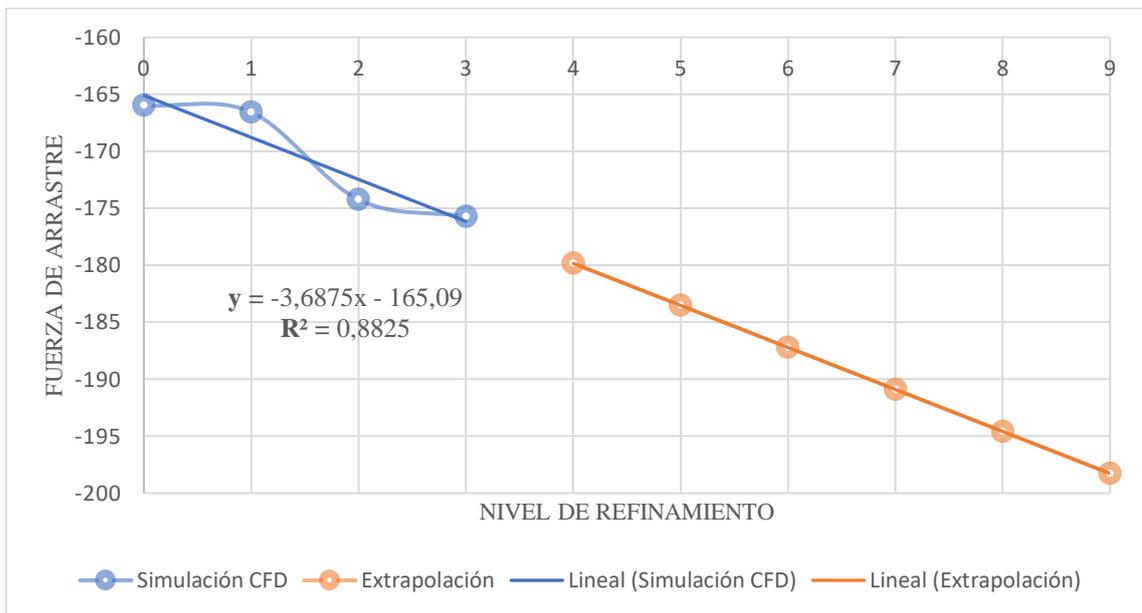


Ilustración 3-32: Fuerzas de arrastre en función del nivel de refinamiento

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.11.2 Proceso

Es un proceso importante para el comportamiento de las cargas sobre el roll bar y el fluido sobre la geometría de la carrocería se resuelve el problema mediante la aplicación de modelos

matemáticos y el uso de volúmenes finitos, se discretiza el sistema de ecuaciones generando una convergencia para encontrar soluciones iterativas para un mayor grado de exactitud en los resultados (Gascon et al., 2002, p.93).

3.11.2.1 Iteraciones y tiempo de resolución

Las iteraciones son los procesos que la computadora utiliza para encontrar valores más reales y correctos (Cartagenova et al., 2023, p. 46), es decir, que mientras más iteraciones tenga la resolución mayor precisión tendrá el resultado, el tiempo de resolución será mayor y se consumirá más recursos a la computadora, las iteraciones y tiempo de resolución para los tres modelos se ven especificados en la tabla 3-12.

3.11.2.2 Número de celdas

Al momento de realizar el mallado este divide a la carrocería en varias formas simples llamados elementos o celdas en aspectos de simulación CFD, estas celdas se conectan por medio de puntos comunes o nodos, el análisis de elementos finitos considera el modelo como una red de elementos discretos interconectados (Dassault Systèmes & SolidWorks Corporation, 2023).

En la siguiente tabla se detallan las iteraciones y número total de celdas de los tres modelos analizados mediante CFD.

Tabla 3-12: Número de iteraciones y celdas de los tres modelos simulados mediante CFD

	Modelo Inicial	Modelo 1	Modelo 2
Iteraciones	252	643	743
Número total de celdas	501,657	518,129	800,071

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

3.11.3 Postproceso

Se refiere al tratamiento visual de los resultados computacionales del algoritmo e incluye conjunto de vectores, líneas, puntos y colores (Gascon et al., 2002, p.93), permitiendo observar esfuerzos y deformaciones que tendrán implicaciones para las mejoras del diseño, se puede utilizar herramientas para ver los datos de forma analítica o mediante graficas mapeadas con colores según la magnitud de los resultados.

3.11.3.1 Resultados a obtener

Para los resultados definimos variables que tienen impacto en la aerodinámica de un vehículo de competencia tomando como referencia trabajos investigativos similares al nuestro, de esa forma se configuro encontrar resultados como la fuerza de arrastre y sustentación, presión estática, la velocidad en el eje z, las turbulencias generadas con el aire al chocar con la carrocería y los momentos generados.

CAPÍTULO IV

4 ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Parámetros de contorno

En esta sección se definirán los parámetros que se utilizó para la simulación CFD, estos se dividen en condiciones del medio (temperatura, presión), tipo de flujo utilizado (laminar, turbulento), velocidad, propiedades físicas de los modelos (dimensiones, pesos, áreas), condiciones de frontera, entre otros que ayudan al proceso de las simulaciones computacionales y al análisis e interpretación de los resultados obtenidos de los mismos, para fines explicativos definimos a la carrocería preliminar propuesta como modelo 1, la carrocería final propuesta para el karting “Top-Kart” Viper como modelo 2 y la carrocería normal como modelo inicial.

4.1.1 Propiedades físicas de los modelos

Con la información recolectada mediante el programa CAD podemos notar la gran diferencia esperada con respecto a el área frontal y el peso total que va a tener el karting con la implementación del roll bar y la carrocería llegando a duplicar el peso del modelo inicial, sin embargo, no se excede el peso máximo que especifica la normativa de la (Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo, 2022) para la categoría P1 el cual es de 480 Kg para motores con una cilindrada de 0 a 1000cc especificada en la tabla 2-2, esto es importante debido a que si incumple el peso establecido al final de una manga, o de una competencia implica la descalificación automática y pérdida de los puntos obtenidos.

Tabla 4-1: Propiedades físicas de los modelos

	Modelo Inicial	Modelo 1	Modelo 2	
Propiedad				Unidad
Longitud	1850,61	1850,61	1850,61	[mm]
Ancho	1411,69	1411,69	1411,69	[mm]
Altura	934	964	964	[mm]
Altura (respecto al piso)	30	30	30	[mm]
Área frontal	5739,69	10071,54	9222,58	[cm ²]

Peso carrocería	8,66	71,29	77,33	[Kg]
Peso Roll bar	-	26,12	26,12	[Kg]
Masa chasis y motor	77,24	77,24	77,24	[Kg]
Peso total	85,90	175,65	180,69	[Kg]

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.1.2 Condiciones iniciales para la simulación CFD

Tabla 4-2: Condiciones iniciales

Parámetros	Dimensión	Unidad
Presión atmosférica	102,7	KPa
Temperatura	291,15	K
Velocidad	70	Km/h
Densidad del aire	1,22	Kg/m ³
Flujo	Aire	
Tipo de flujo	Laminar y Turbulento	

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.2 Arrastre y Sustentación

Con la literatura investigada y los conocimientos aprendidos durante la carrera podemos interpretar los valores obtenidos de las simulaciones CFD permitiendo realizar una comparativa bajo los criterios de la fuerzas, coeficientes y eficiencia aerodinámica, podemos notar que la fuerza de arrastre aumenta con la implementación de la carrocería y el roll bar en los modelos 1 y 2, contrario a eso la fuerza de sustentación logro aumentar permitiendo mejorar la adherencia a la pista, consecuente a esto se puede sugerir que mejoro las prestaciones que pueda tener dentro de una competencia como es el consumo de combustible, la estabilidad a altas velocidades y curvas.

La mejor eficiencia aerodinámica se encuentra en el modelo 2, en el que aumenta la resistencia al avance, pero es contrarrestada con la fuerza de sustentación permitiendo así mejorar la eficiencia que se tenía con el carenado (carrocería) del modelo inicial.

A continuación, se detallan los valores de las fuerzas resultado de las simulaciones de los tres modelos, los coeficientes calculados mediante las ecuaciones 2-2 y 2-3 y la eficiencia aerodinámica calculada con la ecuación 2-5, mismas que se detallan en el capítulo 2.

Tabla 4-3: Fuerzas y coeficiente de arrastre, sustentación

	Fuerza de arrastre (F_D)		Fuerza de sustentación (F_L)		Coeficiente de arrastre (C_D)	Coeficiente de sustentación (C_L)	Eficiencia aerodinámica (f)
Modelo Inicial	98,79	N	4,06	N	0,75	0,08	0,1016
Modelo 1	191,78	N	73,03	N	0,8253	0,19	0,2273
Modelo 2	175,71	N	90,67	N	0,8264	0,23	0,2775

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Para el modelo 1 se puede notar una fuerza de arrastre de 191,78 N con un coeficiente de 0,8273 existe una similitud con el modelo 2 con un valor de 175,71 N y un coeficiente que varía con el primero por milésimas siendo este de 0,8264, a diferencia del modelo inicial con un valor de 98,79 N y un coeficiente de 0,75.

Para la fuerza de sustentación ocurre lo contrario el valor del modelo inicial es de 4,06 N mientras que en el modelo 1 aumenta a 73,03 y en el modelo 2 llega a ser más del doble con un valor de 90,67 N, al igual los coeficientes tienen una gran variación con respecto al modelo inicial de 0,08 con el modelo 1 de 0,19 y el modelo 2 de 0,23.

Para la eficiencia podemos notar que el modelo 2 al cual se le agrego entradas de aire, difusores y un alerón, esto en base a los resultados del modelo 1 que fue el preliminar, mejoro notablemente que pasándolo a un valor porcentual es del 27,75% respecto al modelo inicial que tiene una eficiencia mínima del 10,16%, y el modelo 2 con una eficiencia del 22,73%, lo que se traduce a un aumento de la eficiencia del 17,59% con el modelo inicial y un 5,03% con el modelo preliminar.

4.3 Comparativa con investigaciones similares

Dentro de estos análisis se pudo notar que la velocidad del karting y el área proyectada tienen una gran influencia en la aerodinámica, como lo demuestra (Quiña & Sánchez, 2022, p. 96) en el trabajo

“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”, realizando cambios en el área de la carrocería obtuvo una mejora del 14,93% con respecto al modelo de karting original, la velocidad con la que trabajo fue de 120 Km/h, resultados similares a los presentados en este proyecto de investigación son los de (Errea, 2019, pp. 75–76) “Simulación del comportamiento aerodinámico de un automóvil sometido a la acción del viento” donde se aumentó la resistencia aerodinámica pero mejora la fuerza de sustentación teniendo fuerzas de 249,29 N para el arrastre y 133,94 N para la sustentación con una velocidad de aproximadamente 144 Km/h realizando un cálculo rápido podemos notar una eficiencia de 16,85% con respecto al modelo original, también podemos evidenciar que al enfocarnos solamente en elementos que generen una presión mayor al vehículo manteniéndolo sobre la calzada también mejora la eficiencia aerodinámica como lo es un alerón, en la investigación “Diseño de un alerón delantero para un kart de competencia mediante CFD” realizado por (Pacheco & Rojas, 2018, pp. 103–104) la mejora en el diseño de un alerón aumento la eficiencia en un 18,46% con respecto al original la velocidad utilizada fue de 75 Km/h, se muestra a continuación las tablas con la comparativa de los diferentes estudios investigados que se relacionan con el trabajo de investigación presentado.

Tabla 4-4: Comparativa de las fuerzas de arrastre y sustentación

Fuerzas [N]	Trabajo investigativo (Morejón & Rodríguez, 2023)		Trabajo investigativo (Quiña & Sánchez, 2022)		Trabajo investigativo (Errea, 2019)		Trabajo investigativo (Pacheco & Rojas, 2018)	
	Modelo original	Modelo propuesto	Modelo original	Modelo propuesto	Modelo original	Modelo propuesto	Modelo original	Modelo propuesto
Arrastre	98,79	175,71	48,11	20,17	228,15	249,295	56,317	50,195
Sustentación	4,06	90,67	-	-	84,597	133,949	20,431	27,477
Velocidad [Km/h]	70		120		144		75	

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Tabla 4-5: Comparativa de los coeficientes de arrastre y sustentación

Coefficientes	Trabajo investigativo (Morejón & Rodríguez, 2023)		Trabajo investigativo (Quiña & Sánchez, 2022)		Trabajo investigativo (Errea, 2019)		Trabajo investigativo (Pacheco & Rojas, 2018)	
	Modelo original	Modelo propuesto	Modelo original	Modelo propuesto	Modelo original	Modelo propuesto	Modelo original	Modelo propuesto
Arrastre	0,75	0,8264	0,67	0,57	0,253	0,287	1,41	1,297
Sustentación	0,08	0,23	-	-	0,094	0,155	-0,528	-0,688
Velocidad [Km/h]	70		120		144		75	

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

Tabla 4-6: Comparativa de las eficiencias aerodinámicas

	Trabajo investigativo (Morejón & Rodriguez, 2023)	Trabajo investigativo (Quiña & Sánchez, 2022)	Trabajo investigativo (Errea, 2019)	Trabajo investigativo (Pacheco & Rojas, 2018)
Mejora de la eficiencia aerodinámica [%]	17,59	14,93	16,85	18,46
Velocidad [km/h]	70	120	144	75

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

4.4 Presión estática

En la ilustración 4-1 se puede visualizar que el impacto de la presión es mayor en el parachoques frontal y los “*cuerpos*” que simulan ser el piloto y motor provocando una resistencia al flujo del aire concordando con lo especulado en el planteamiento del problema, se pudo encontrar un valor máximo de presión de 271 Pa, mientras el modelo inicial en general se mantiene entre los (16 a 101) Pa.

Para el modelo 1 se evidencia que la parte más afectada es la frontal, teniendo valores máximos de 241 Pa en la parte inferior frontal de la carrocería y el parabrisas específicamente, mientras el modelo en general se mantiene con presiones entre los (-80 a 85) Pa, como se denota en la ilustración 4-2 teniendo en cuenta que el signo negativo nos indica que la dirección en que actúa la presión es contraria.

Para el modelo 2 se destaca que las presiones más altas no están presentes en la parte frontal de la carrocería, sino en puntos específicos de las entradas de aire encontrando un valor máximo de 533 Pa, el modelo en general se mantiene en un rango de (-182 a 185) Pa como se aprecia en la ilustración 4-3. Se puede observar que las presiones de forma general aumentan en los modelos 1 y 2 a comparación del modelo inicial y el modelo 2 tiene presiones menores en la parte frontal de la carrocería.

4.4.1 Modelo Inicial

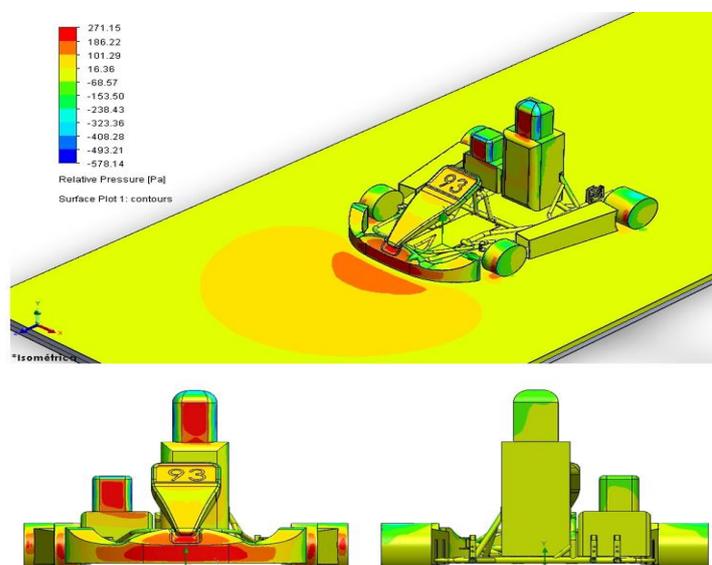


Ilustración 4-1: Contornos de presión del modelo inicial

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.4.2 Modelo 1

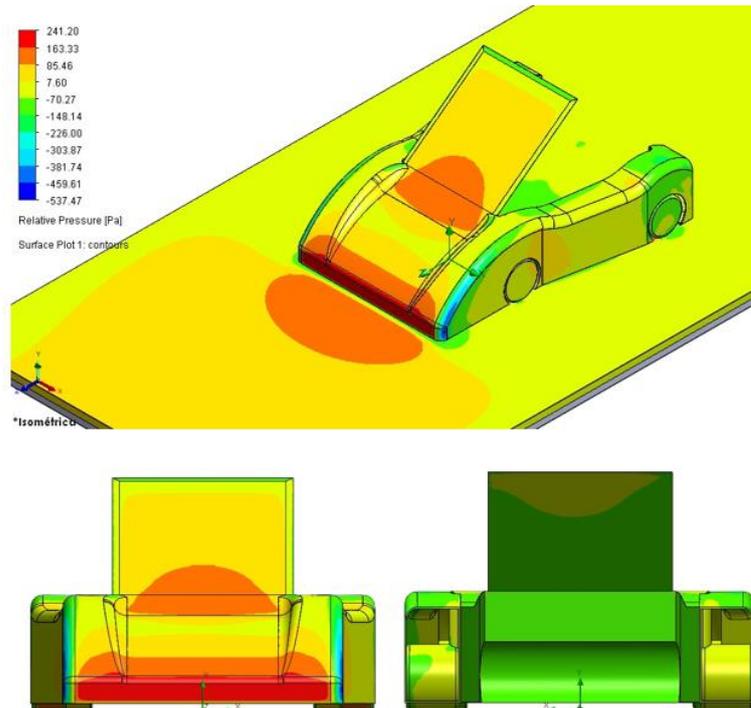


Ilustración 4-2: Contornos de presión del modelo 1

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.4.3 Modelo 2

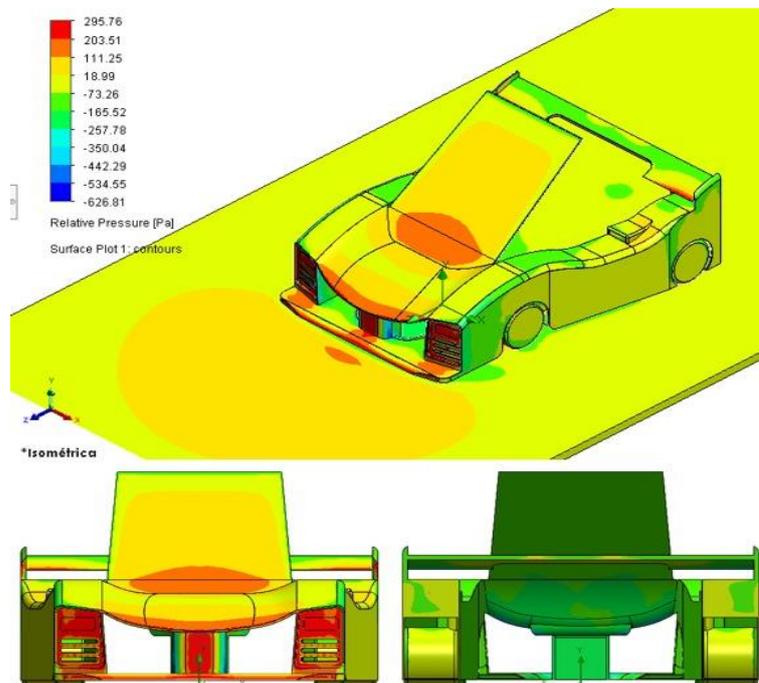


Ilustración 4-3: Contornos de presión del modelo 2

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.5 Velocidad del aire

En las siguientes ilustraciones se expone la trayectoria de velocidad del aire que recorren los modelos y su comportamiento alrededor de los mismos, para el modelo inicial podemos ver que existe una reducción de velocidad considerable en los “cuerpos” que simulan ser el piloto y el motor, teniendo velocidades que se dirigen en sentido contrario al flujo siendo la máxima de 32 Km/h creando así remolinos o también llamados vórtices, también se aprecian en la parte posterior del karting y en los neumáticos traseros.

Para el modelo 1 se puede apreciar que la implementación del parabrisas permite que el flujo del aire se mueva hacia arriba y salga de la carrocería, la velocidad máxima en sentido contrario al flujo es de 41 Km/h desarrollada después del parabrisas, como se denota en la ilustración 4-5.

Para el modelo 2 la velocidad máxima en sentido contrario es de 50 km/h notándose que este tipo de líneas no son apreciables y flujo del are que pasa en torno a la carrocería se mantiene entre los 12 a 44 Km/h, podemos destacar que la implementación del parabrisas dentro de la carrocería, así como las entradas de aire permiten que el flujo se desplace de una manera más libre en comparación con el modelo inicial.

4.5.1 Modelo Inicial

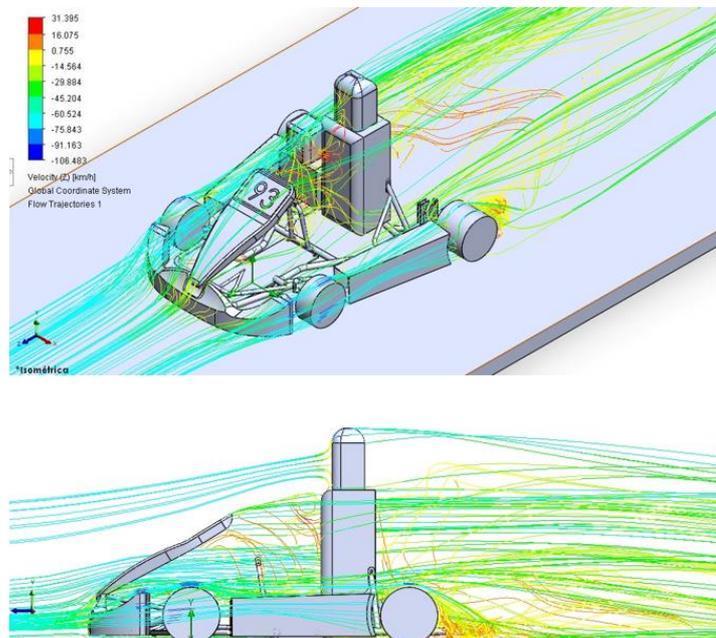


Ilustración 4-4: Trayectorias de velocidad del modelo inicial

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.5.2 Modelo 1

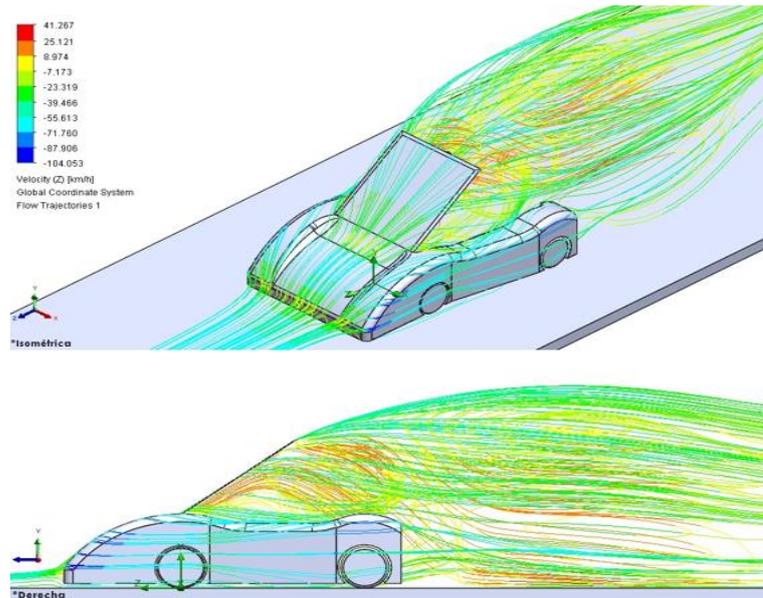


Ilustración 4-5: Trayectorias de velocidad del modelo 1

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.5.3 Modelo 2

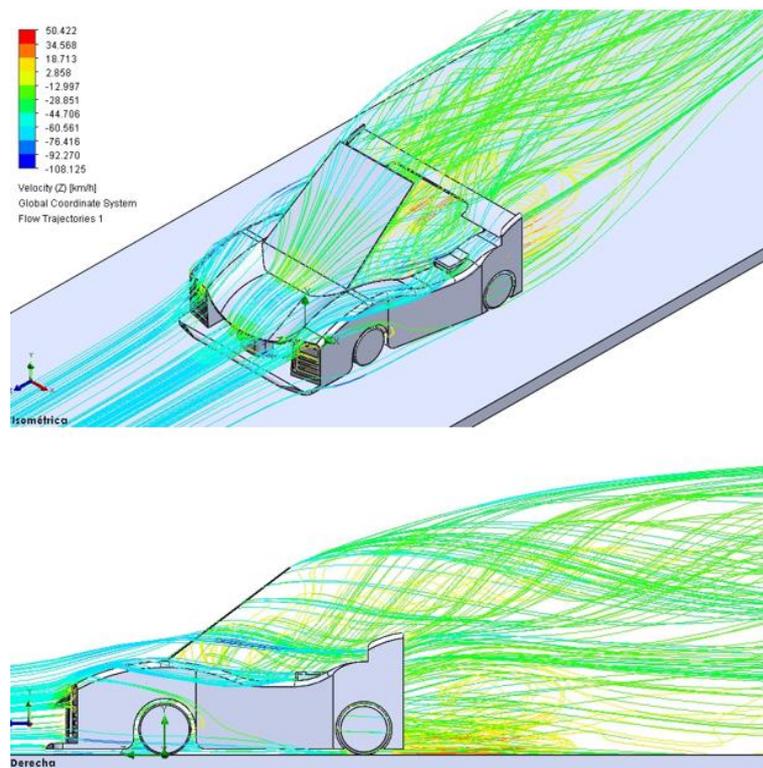


Ilustración 4-6: Trayectorias de velocidad del modelo 2

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.5.3.1 Línea de flujo de la velocidad

Con las líneas de flujo podemos notar como el aire actúa con los neumáticos al momento de ingresar por la parte frontal permitiendo enfriarlos para mejorar su desempeño en una competición esto debido a que si existe un calentamiento excesivo de los neumáticos afecta al momento de frenar y disminuye la presión con la que fueron inflados afectando su comportamiento.

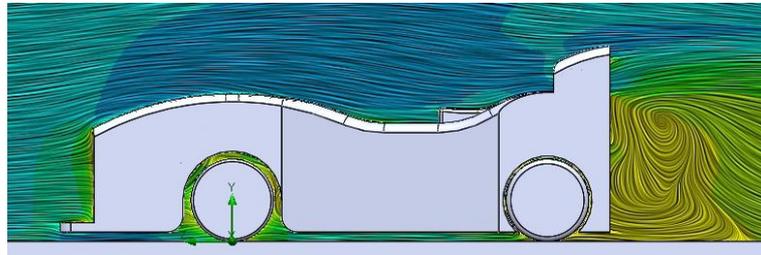


Ilustración 4-7: Líneas de flujo en el plano lateral proyectado

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.6 Turbulencia

En la ilustración 4-8 se aprecian una mayor inestabilidad de la trayectoria de flujo del aire generando así los vórtices en el modelo inicial, podemos notar que se producen en la parte frontal y posterior del piloto al igual que en la parte posterior del karting.

Para la ilustración 4-9, el modelo 1 notamos que los vórtices se forman en los neumáticos traseros y luego del espacio de la carrocería, en el modelo 2 se aprecian pequeños remolinos en el espacio del piloto y en la parte final de la carrocería como podemos apreciar en la ilustración 4-10.

4.6.1 *Modelo Inicial*

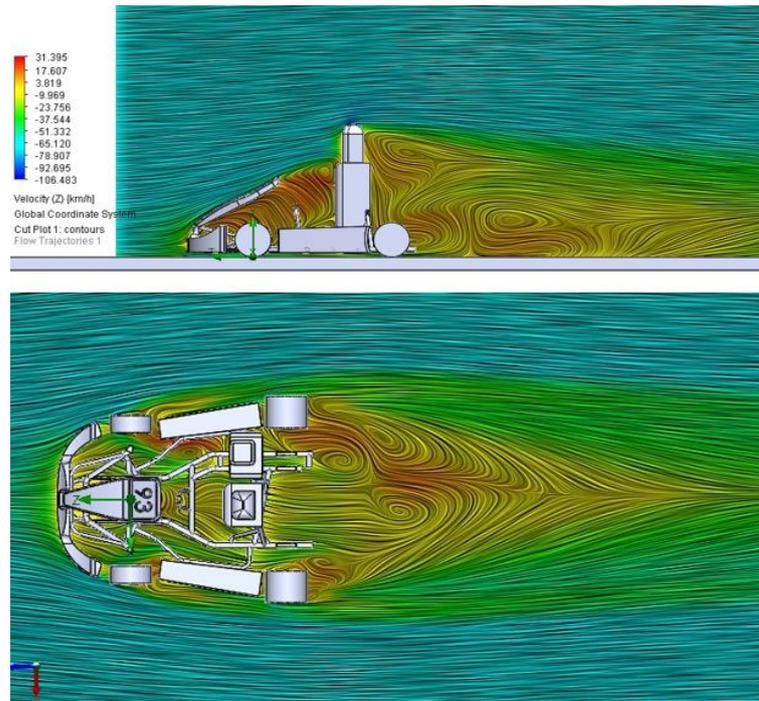


Ilustración 4-8: Vórtices generados del modelo inicial en el plano lateral y planta

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

4.6.2 *Modelo 1*

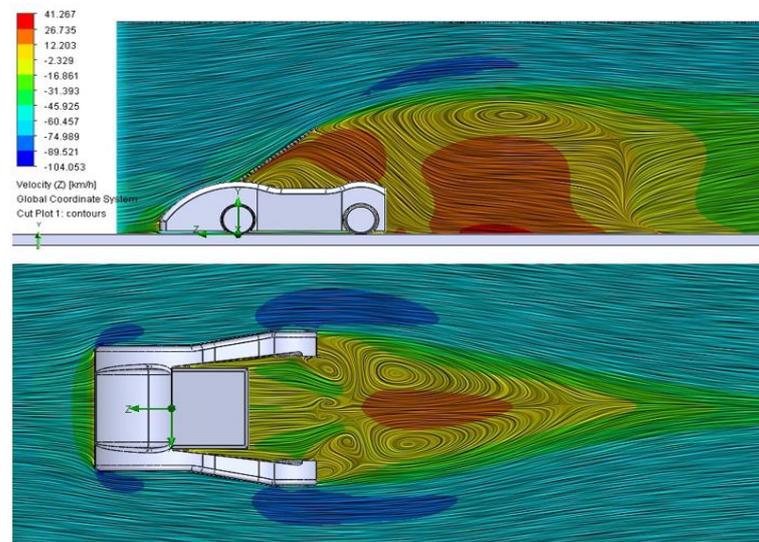


Ilustración 4-9: Vórtices generados del modelo 1 en el plano lateral y planta

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

4.6.3 Modelo 2

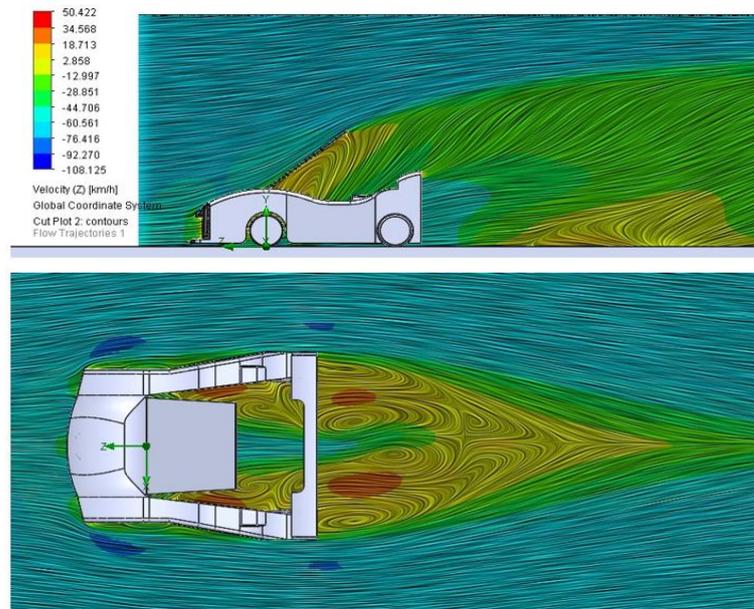


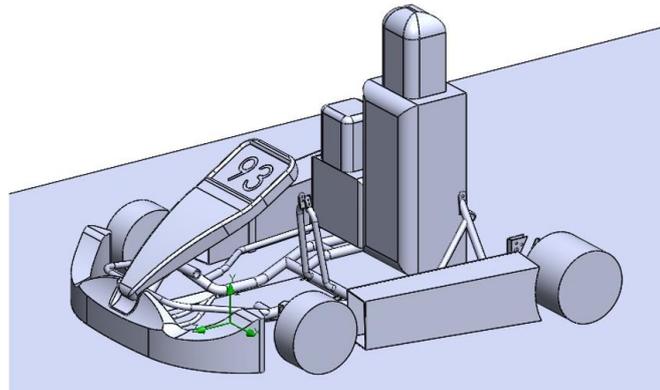
Ilustración 4-10: Vórtices generados del modelo 2 en el plano lateral y planta

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.7 Momentos

Para los momentos que se generan en los tres modelos, el valor más notorio es el generado en el modelo 1 con un momento en el eje x de -55 Nm, permitiéndonos concluir que en velocidad altas la carrocería puede empezar a elevarse en la parte posterior, podemos agregar que no se toma en cuenta la incorporación del roll bar que permitiría contrarrestar a que se produzca la elevación de la carrocería.

4.7.1 Modelo Inicial



Modelo Inicial.SLDASM [modelo inicial [Predeterminado]]

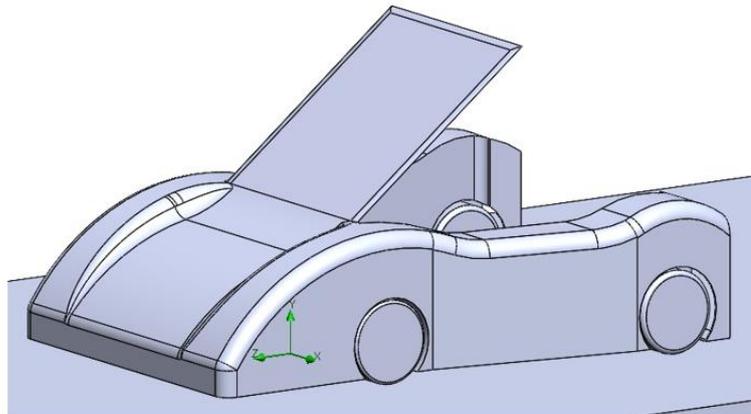
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Torque (X) 11	[N*m]	1,929542459	1,64889421	1,256347693	2,001671074	100	Yes	0,091527581	0,575800871
GG Torque (Y) 12	[N*m]	7,54321938	7,483203864	7,589186934	7,413411403	100	Yes	0,153755531	0,410273421
GG Torque (Z) 13	[N*m]	3,22130811	3,030260062	4,039854908	3,74930511	100	Yes	0,270535894	0,275503493

Iterations []: 252
Analysis Interval: 76

Ilustración 4-11: Momentos generados del modelo inicial

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.7.2 Modelo 1



Carrocería modelo 1.SLDPRT [Carrocería modelo 1 [Predeterminado]]

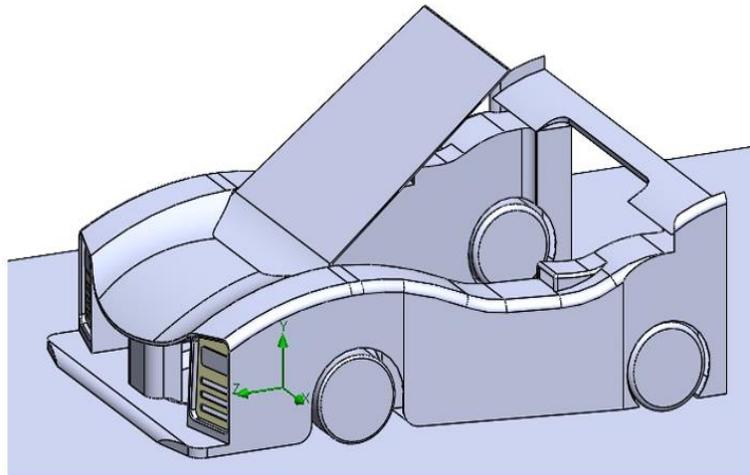
Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use In Convergence	Delta	Criteria
GG Torque (X) 11	[N*m]	55,0420749	55,03201333	-55,38930186	54,92746602	100	Yes	0,129570699	4,2871392
GG Torque (Y) 12	[N*m]	0,41978107	0,28440154	0,180907059	0,41978107	10,9	Yes	0,154193016	0,047661156
GG Torque (Z) 13	[N*m]	0,35445868	0,279511758	0,091600486	0,369299487	21,2	Yes	0,138741765	0,029434021

Iterations []: 643
Analysis Interval: 81

Ilustración 4-12: Momentos generados del modelo 1

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.7.3 Modelo 2



Carroceria modelo 2 simulacion.SLDPRT [carroceria modelo 2 [Predeterminado]]

Goal Name	Unit	Value	Averaged Value	Minimum Value	Maximum Value	Progress [%]	Use in Convergence	Delta	Criteria
GG Torque (X) 9	[N*m]	-1.8118946	-1.669989978	-2.011321675	-1.277541566	100	Yes	0.314714261	0.957302972
GG Torque (Y) 10	[N*m]	0.004658423	0.166705733	0.004658423	0.361408906	100	Yes	0.03544994	0.082434618
GG Torque (Z) 11	[N*m]	0.131505244	0.153547055	0.054400709	0.312865092	100	Yes	0.041873251	0.042034934

Iterations []: 743
Analysis Interval: 90

Ilustración 4-13: Momentos generados del modelo 2

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.8 Resultados del análisis estructural

Para el análisis estructural se partió de la premisa que la deformación del roll bar no debe llegar al espacio ocupacional del piloto logrando así la seguridad planteada en el presente trabajo de investigación y validando la hipótesis planteada, a continuación se presentan los resultados de los desplazamientos al aplicar la cargas para las pruebas especificadas en la normativa, además los lugares de tensión máxima para posteriormente encontrar un factor de seguridad que permita encontrar riesgos de fallas o roturas.

4.8.1 Desplazamiento

Para la prueba de carga vertical en el arco principal se encontró una deformación máxima de 0,381 mm en la parte central de la barra principal donde se ubicó la fuerza como se muestra en la ilustración 4-14, la deformación máxima que puede tener un componente sobre esta prueba es de 100 mm, para la carga lateral es de 50 mm teniendo una deformación máxima de 0,193 mm ubicado en la barra donde se aplicó la fuerza; ilustración 4-15, y para la carga vertical en el arco delantero la deformación máxima permitida es 50 mm teniendo una deformación de 1,406 mm ubicada en la barra ilustración 4-16, de esta forma se puede concluir que las deformaciones cumplen con la normativa y no llegan a invadir el espacio del piloto.

Tabla 4-7: Deformaciones del roll bar

	Deformación permitida	Deformación encontrada	Cumple con la normativa
Carga vertical en el arco principal	100 mm	0,381 mm	Si
Carga lateral en el arco principal	50 mm	0,193 mm	Si
Carga vertical en el arco delantero	50 mm	1,406 mm	Si

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

4.8.1.1 Deformación vertical en el arco principal

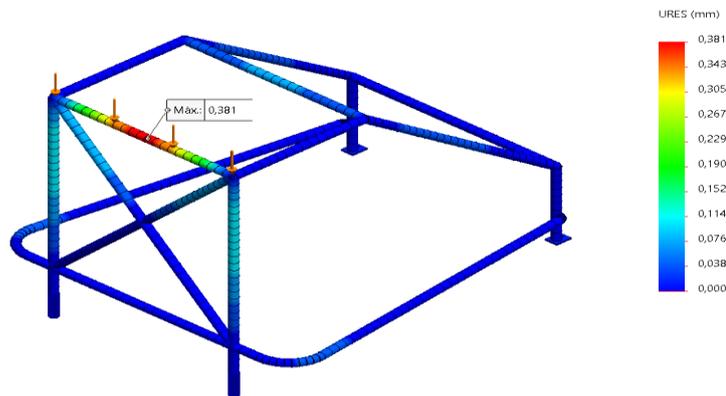


Ilustración 4-14: Deformación vertical del arco principal

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

4.8.1.2 Carga lateral en el arco principal

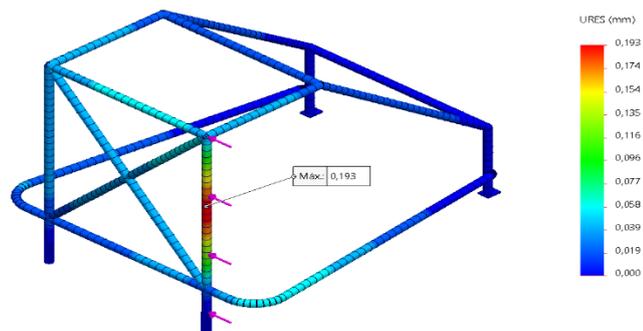


Ilustración 4-15: Deformación lateral en el arco principal

Realizado por: Morejón J. & Rodriguez L., 2023.

4.8.1.3 Deformación en el arco delantero

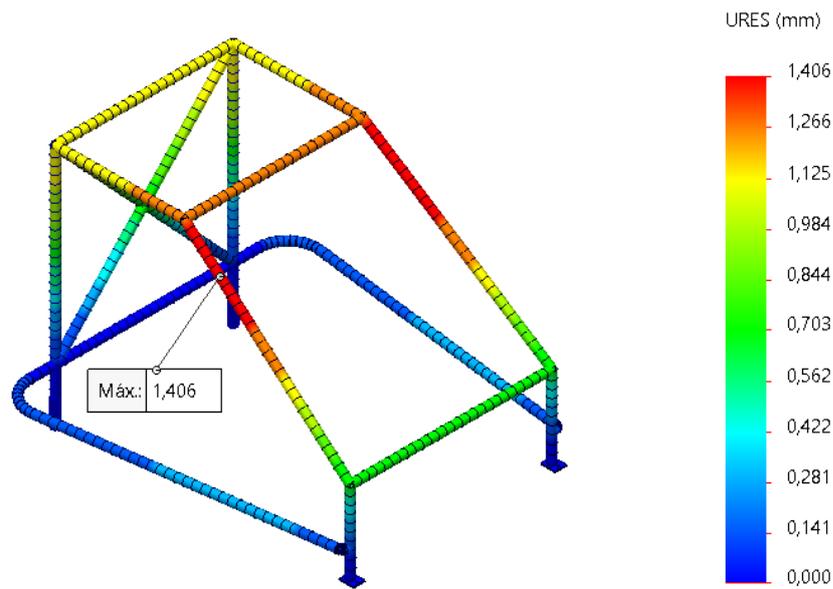


Ilustración 4-16: Deformación en el arco delantero

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

4.8.2 Tensiones

Las tensiones resultantes de cada prueba permiten determinar el lugar donde se produce el esfuerzo máximo y si este es menor al que puede resistir el material verificando si existen riesgos de ruptura o fallo, el límite elástico del material es de 250 MPa este valor no se debe exceder en ningún punto del roll bar, para la prueba de carga vertical en el arco principal se determinó una tensión máxima de 3,86 MPa; ilustración 4-17, para la prueba de carga lateral en el arco principal la tensión fue de 1,10 MPa; ilustración 4-18, y para la carga aplicada al arco delantero la tensión fue de 143,6 MPa; ilustración 4-19, siendo esta la máxima tensión resultante de las pruebas realizadas podemos notar que no supera el límite elástico del material, todas estas tensiones en las sujeciones delanteras que se unirán al chasis por medio de pernos más específicamente en donde se une la platina con el tubo.

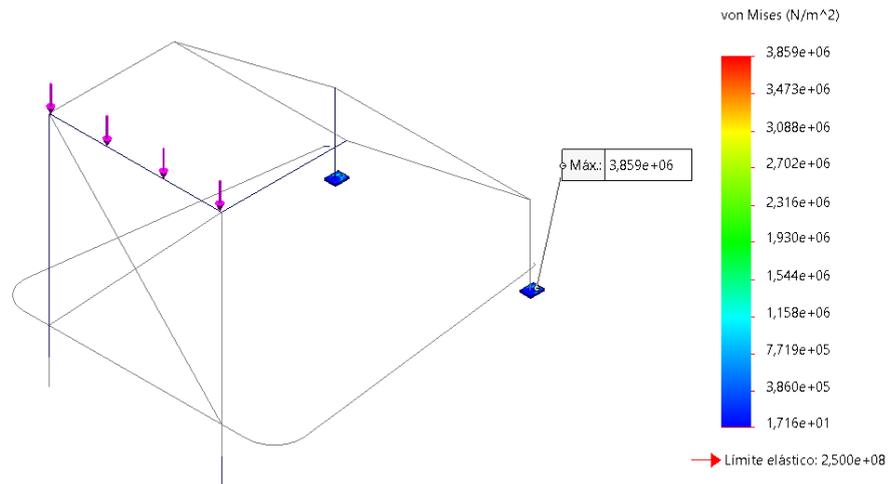


Ilustración 4-17: Tensión máxima al aplicar una carga vertical en el arco principal

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

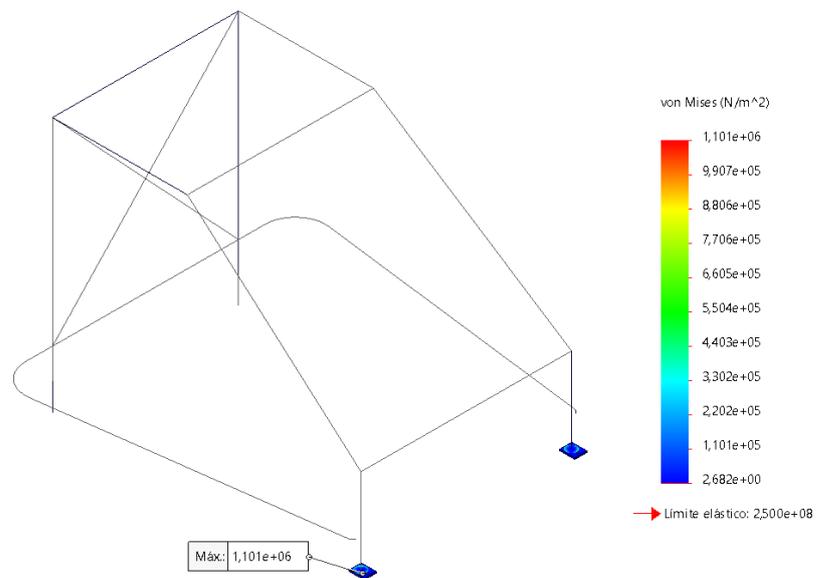


Ilustración 4-18: Tensión máxima al aplicar una carga lateral en el arco principal

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

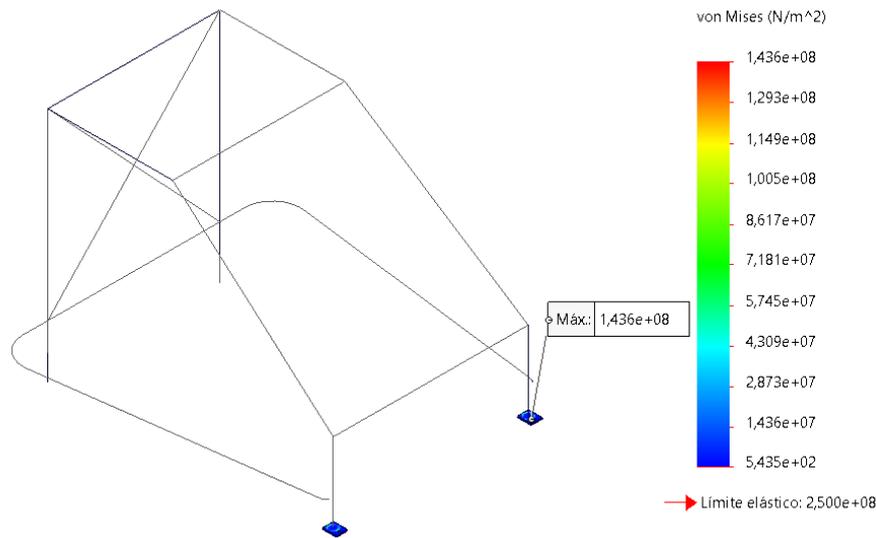


Ilustración 4-19: Tensión máxima al aplicar una carga vertical en el arco delantero

Realizado por: Morejón J. & Rodríguez L., 2023.

De forma adicional y a criterio personal de los autores se determinó la tensión en el mismo punto de la otra sujeción delantera teniendo valores cercanos a la tensión máxima encontrada siendo de 1,86 MPa, 9,67 MPa y 2,99 MPa para la carga vertical, lateral en el arco principal y vertical en el arco delantero respectivamente.

4.8.3 Factor de seguridad

Para determinar el factor de seguridad debemos saber que el límite elástico de un material siempre deberá ser mayor que la tensión máxima producida por las cargas aplicadas esta relación debe ser mayor a 1 para que el roll bar tenga un margen de seguridad, de esa forma se realizó los cálculos presentados a continuación:

- **Carga vertical en el arco principal**

$$F_s = \frac{\sigma_E}{\sigma_C}$$

Ecuación 4-1: Factor de seguridad

$$F_s = \frac{250 \text{ MPa}}{3,86 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 64,76 > 1$$

- **Carga lateral en el arco principal**

$$F_s = \frac{\sigma_E}{\sigma_C}$$

$$F_s = \frac{250 \text{ MPa}}{11,10 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 22,5 > 1$$

- **Carga vertical en el arco delantero**

$$F_s = \frac{\sigma_E}{\sigma_C}$$

$$F_s = \frac{250 \text{ MPa}}{143,6 \text{ MPa}}$$

$$F_s = 1,74 > 1$$

Podemos observar que el mínimo valor del factor de seguridad al haberse realizado las pruebas estáticas es de 1,74 siendo este mayor a 1, de esa forma se demuestra que el roll bar es capaz de soportar las cargas sin fallar.

CONCLUSIONES

- Se identifico las normativas para el diseño de la carrocería y el roll bar, la “Federación Ecuatoriana de Automovilismo y Kartismo” (FEDAK) dentro de la categoría prototipos sugiere basarse en la normativa “Sport Car Club of America” (SCCA) para el diseño del roll bar, en la sección 9.4 “ROLL CAGES FOR GT AND PRODUCTION BASED CARS” especifica los diferentes parámetros a tomar en cuenta como son las dimensiones de la tubería, sujeciones, material, y condiciones de diseño.
- Se esquematizo el diseño de la carrocería preliminar manejando el programa SolidWorks siendo uno de los más versátiles y utilizados en el transcurso de la carrera, se consideró desarrollar un modelo “simplista” que cumpla con la normativa, las dimensiones y sujeciones necesarias para acoplarse al chasis del karting “Top Kart – Viper”. Para el diseño de la carrocería se consideró la normativa “Sport Car Club of America” (SCCA) capítulo 17 literal G, donde se especifica que la carrocería y sus tomas de aire son libres, con materiales únicamente sólidos y debe proveer confort y seguridad para el piloto; vista desde el costado y desde la parte superior la carrocería debe cubrir íntegramente todos los componentes mecánicos excepto la admisión y el escape, las llantas no deben verse desde la parte superior del vehículo y únicamente las llantas traseras se pueden observar desde la parte posterior.
- Se seleccionó el material de la carrocería utilizando la metodología “Quality Function Deployment” (QFD) que permite relacionar los requerimientos del material con los del modelo, estableciendo una ponderación estadística de los diferentes requerimientos encontrando los de mayor importancia con un criterio técnico, de esa forma se logró establecer que el material para la carrocería es la fibra de vidrio cumpliendo de forma satisfactoria con aspectos tales como el precio, peso, disponibilidad en el mercado y manufactura.
- Se calculó la resistencia mecánica del roll bar verificando las deformaciones producidas por las cargas aplicadas, teniendo como resultado para la carga vertical en el arco principal una deformación de 0,381 mm siendo la máxima permisible de 100mm, para una carga lateral en el arco principal de 0,144 mm y 1,406 mm para la carga vertical aplicada al arco delantero teniendo como referencia para los dos casos una deformación máxima de 50mm.
- Se identificó parámetros fundamentales para el análisis aerodinámico del primer modelo de la carrocería, obteniendo un coeficiente de arrastre 0,825 teniendo un aumento de 0,075 con

respecto al modelo inicial, en cuanto a, el coeficiente de sustentación de 0,19 aumento un 0,11 en comparación al 0,08 del modelo inicial, como resultado se aumentó la eficiencia aerodinámica en un 12,6%

- Se analizó el diseño del segundo modelo obteniendo los siguientes resultados, para los coeficientes de arrastre y sustentación existe poca variación con respecto al modelo uno y un aumento de 0,076 para el arrastre y de 0,15 para la sustentación en relación al modelo inicial, para la eficiencia aerodinámica se encontró un valor de 27,75% con un aumento del 5,03% y del 17,6% en relación del modelo uno y el modelo inicial respectivamente, además, se realizó una comparativa en relación a trabajos de investigación similares dirigidos a mejorar la eficiencia aerodinámica teniendo valores semejantes a la investigación presentada.
- Se evaluó satisfactoriamente la viabilidad de la implementación de un modelo de carrocería de fibra de vidrio para el karting “Top-Kart Viper”, mediante simulaciones computacionales se obtuvo un incremento en la eficiencia aerodinámica del 17,6% en comparación con el modelo inicial, mediante la adición de nuevas entradas para el flujo de aire y la incorporación de un alerón.
- Se mejoro la seguridad mediante el diseño e implementación de un roll bar, el cual después del análisis estático estructural arrojó una deformación máxima de 1,4mm, concluyendo de esta manera que el habitáculo del piloto no llega a ser invadido por el roll bar, brindando las garantías necesarias al momento de un accidente.

RECOMENDACIONES

- Se debe considerar criterios de simplificación de diseño en el modelamiento de los elementos que deben ser analizados en la simulación de flujo (CFD) tomando en cuenta que la calidad de detalles que posea el diseño dificultará la obtención de resultados e incluso impedirá la resolución de la misma
- Se sugiere reconsiderar nuevas investigaciones aumentando el cilindraje del motor bajo las especificaciones de la normativa tomando en cuenta el aumento del peso con la implementación del modelo de carrocería propuesto.
- Se recomienda investigar la implementación de nuevos materiales alternativos no contaminantes que permite una reducción al peso total del modelo de carrocería propuesto.
- Buscar nuevas alternativas de diseño para mejorar la eficiencia aerodinámica acorde a la normativa vigente
- Se recomienda el desarrollo de estándares que permitan una mejor evaluación en sistemas de seguridad del piloto en kartings

BIBLIOGRAFÍA

1. **ÁLVAREZ RIVERA, Angie Belén.** Análisis Comparativo de Molduras que Influyen en la Eficiencia Aerodinámica Sobre un Chasis de Karting por Medio de Simulación Computacional. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Internacional del Ecuador, Guayaquil, Ecuador. 2021. págs. 15-43. [Consulta: 2023-04-10]. Disponible en: <https://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/4524?mode=full>
2. **ARTÉS, David. G.** *Aerodinámica del automóvil: principios básicos*. [En línea]. España. Diariomotor. 2020. [Consulta: 2023-05-19]. Disponible en: <https://www.diariomotor.com/que-es/mecanica/aerodinamica/>
3. **AUCATOMA JIBAJA, Ricardo Fabian & MEDINA QUINTERO, Eduardo Harry.** Diseño e implementación del sistema DRS en el prototipo fórmula SAE de la carrera de ingeniería automotriz variando la posición de los alerones mediante la dinámica de fluidos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica De Chimborazo, Riobamba, Ecuador. 2018. págs. 35-83. [Consulta: 2023-07-19]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/9967>
4. **BERNARDI, Max.** *La evolución de los juegos de carenados para kart*. [En línea]. Milán. TKART 2019. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <https://tkart.it/es/magazine/informe/evolucion-juegos-carenados-para-kart/#td-outer-wrap>
5. **CALLISTER, William & REITHWISCH, David.** *Ciencia e ingeniería de materiales*. [En línea]. Barcelona-España: Editorial Reverté. 2a Edición. ISBN 978-84-291-9549-1. 2018. [Consulta: 2023-05-23]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/esPOCH/titulos/170298>
6. **CARTAGENOVA ARBELAEZ, Michael Alberto; et al.** “Diseño y comparación de datos mediante una simulación fluido dinámica en diversas geometrías de una tobera de admisión”. *Revista Científica y Tecnológica UPSE*. [En línea]. 2023, (Ecuador), Vol. 10, págs. 41–46. [Consulta: 2023-07-25]. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1390-76972023000100041
7. **CES EDUPACK,** *Material compuesto CFRP isotrópico*. Cambridge. Granta. 2019
8. **DASSAULT SYSTÈMES y SOLIDWORKS CORPORATION.** *SolidWorks 2022*. Massachusetts. 2022.
9. **DASSAULT SYSTÈMES Y SOLIDWORKS CORPORATION.** SOLIDWORKS Simulation. *SOLIDWORKS* [En línea]. 2023. [Consulta: 2023-07-09]. Disponible en:

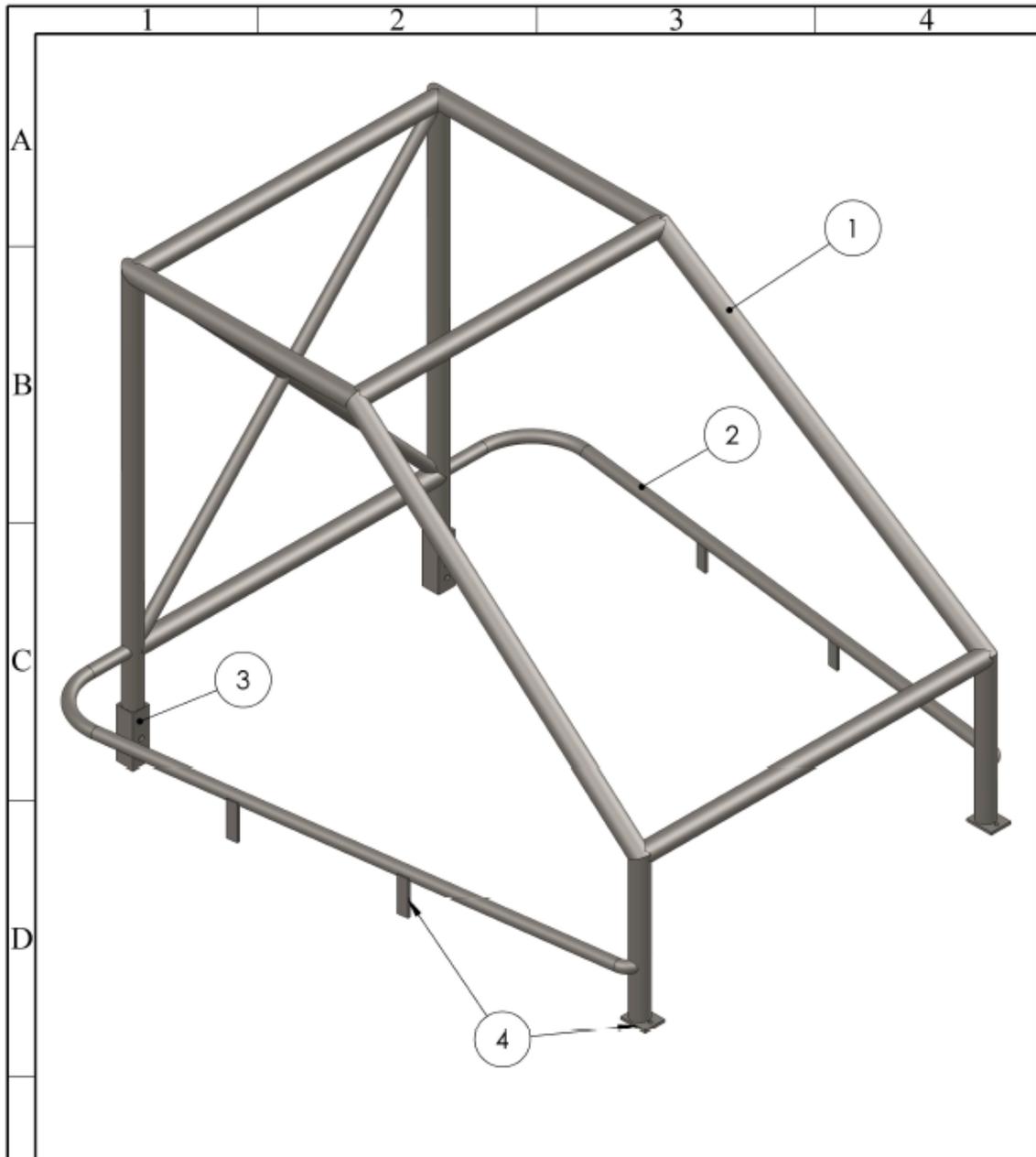
<https://www.solidworks.com/product/solidworks-simulation>

10. **DASSAULT SYSTÈMES**. Verificaciones de calidad de malla. *Mallado*. [En línea]. 2023. [Consulta: 2023-06-19]. Disponible en: https://help.solidworks.com/2023/spanish/SolidWorks/cworks/c_Mesh_Quality_Checks.htm?format=P&value=1
11. **ERREA SAIZ, Fernando**. Simulación del comportamiento aerodinámico de un automóvil sometido a la acción del viento. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Cantabria, Cantabria, España. 2019. págs. 26-38. [Consulta: 2023-06-27]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/10902/17024>
12. **FEDERACIÓN ECUATORIANA DE AUTOMOVILISMO Y KARTISMO FEDAK**. *REGLAMENTO TÉCNICO CAMPEONATO NACIONAL DE CIRCUITOS 2022*.
13. **FÉDÉRATION INTERNATIONALE DE L'AUTOMOBILE – KARTING**. *Historia del kart*. [En línea]. Suiza. 2023. [Consulta: 2023-04-20]. Disponible en: <https://www.fiakarting.com/history>
14. **GODINO, Paola**. Lesiones más frecuentes en karting. [En línea]. (Trabajo de licenciatura). Universidad FASTA, Mar del Plata, Argentina. 2015. págs. 2-44. [Consulta: 2023-04-10]. Disponible en: <http://redi.ufasta.edu.ar:8082/jspui/handle/123456789/213>
15. **KATZ, Joseph**. *Race Car Aerodynamics: designing for speed*. [En línea]. Massachusetts-USA: Bentley Publishers. 1st Edition. 1995. [Consulta: 2023-04-20]. Disponible en: https://porsche-car-history.com/wp-content/old/Books/Joseph%20Katz/Race_Car_Aerodynamics-Joseph%20Katz-1st%20Edition.pdf
16. **LÓPEZ MONTALVO, Andrés Marcelo**. Diseño, simulación y construcción de una estructura de roll bar para un vehículo de competición modalidad rally, según normativa FIA artículo 253-2014, mediante análisis computacional por el método de elementos finitos. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. 2018. págs. 21-28. [Consulta: 2023-06-30]. Disponible en: <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/28775>
17. **LÓPEZ PIZA, Jimmy Alejandro**. Diseño de la estructura de un vehículo de bajo consumo para la competencia Shell Eco Maratón América para la implementación de materiales compuestos. [En línea]. (Trabajo de Pregrado). Universidad Libre de Colombia, Bogotá, Colombia. 2021. [Consulta: 2023-05-03]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/10901/19840>
18. **MONROY MEJÍA, María Ángeles de los & NAVA SANCHEZLLANES, Nelisahuel**. *Metodología de la investigación* [En línea]. Ciudad de Mexico-Mexico: Grupo Editorial Éxodo. 1a

- Edición. ISBN 9786078543397. 2018. [Consulta: 2023-05-06]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/172512>
19. **MOTT, Robert & UNTENER, Joseph.** *Mecánica de fluidos*. México: Pearson Educación. Séptima Edición. ISBN 978-607-32-3288-3. 2015. págs. 181-216
 20. **PACHECO MARTÍNEZ, Karen Gisell & ROJAS SARMIENTO, Oscar Daniel.** Diseño de un alerón delantero para un kart de competencia mediante CFD. [En línea]. (Trabajo de titulación). Fundación Universitaria los Libertadores, Bogotá, Colombia. 2018. págs. 25-114. [Consulta: 2023-04-20]. Disponible en: <http://hdl.handle.net/11371/1776>
 21. **PEREZ, Luciano; et al.** *Metodología de la investigación científica*. [En línea]. Ituzaingó-Argentina: Maipue. 1º Edición. ISBN 9789878321578. 2020. págs. 17-21. [Consulta: 2023-05-26]. Disponible en: <https://elibro.net/es/lc/epoch/titulos/138497>
 22. **QUEZADA POMA, Pablo Andrés.** Diseño y fabricación del chasis para un kart KF4 según la normativa CIK/FIA. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador. 2018. págs. 6-16. [Consulta: 2023-04-23]. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15766>
 23. **QUIÑA EGAS, César Esteban & SÁNCHEZ REINOSO, Ricardo Andrés.** 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 línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de las Fuerzas Armadas, Latacunga, Ecuador. 2022. págs. 43-48. [Consulta: 2023-05-17]. Disponible en: <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/33204/1/T-ESPEL-MAI-0763.pdf>
 24. **SPORT CAR CLUB OF AMERICA.** General competition rules. *Road Racing* [En línea]. 2022. págs. 91–100. [Consulta: 2023-06-12]. Disponible en: https://cdn.connectsites.net/user_files/scca/downloads/000/060/626/GCR%20-%20February%20Updated.pdf?1643646094
 25. **SULLIVAN, Bryson.** *Introducción a CFD para F1*. [En línea]. Italia. FUnoanalisiitcnica. 2021 [Consulta: 2023-06-02]. Disponible en: https://www.funanalisiitcnica.com/2021/09/f1-cfd-navier-stokes.html?refresh_ce=1

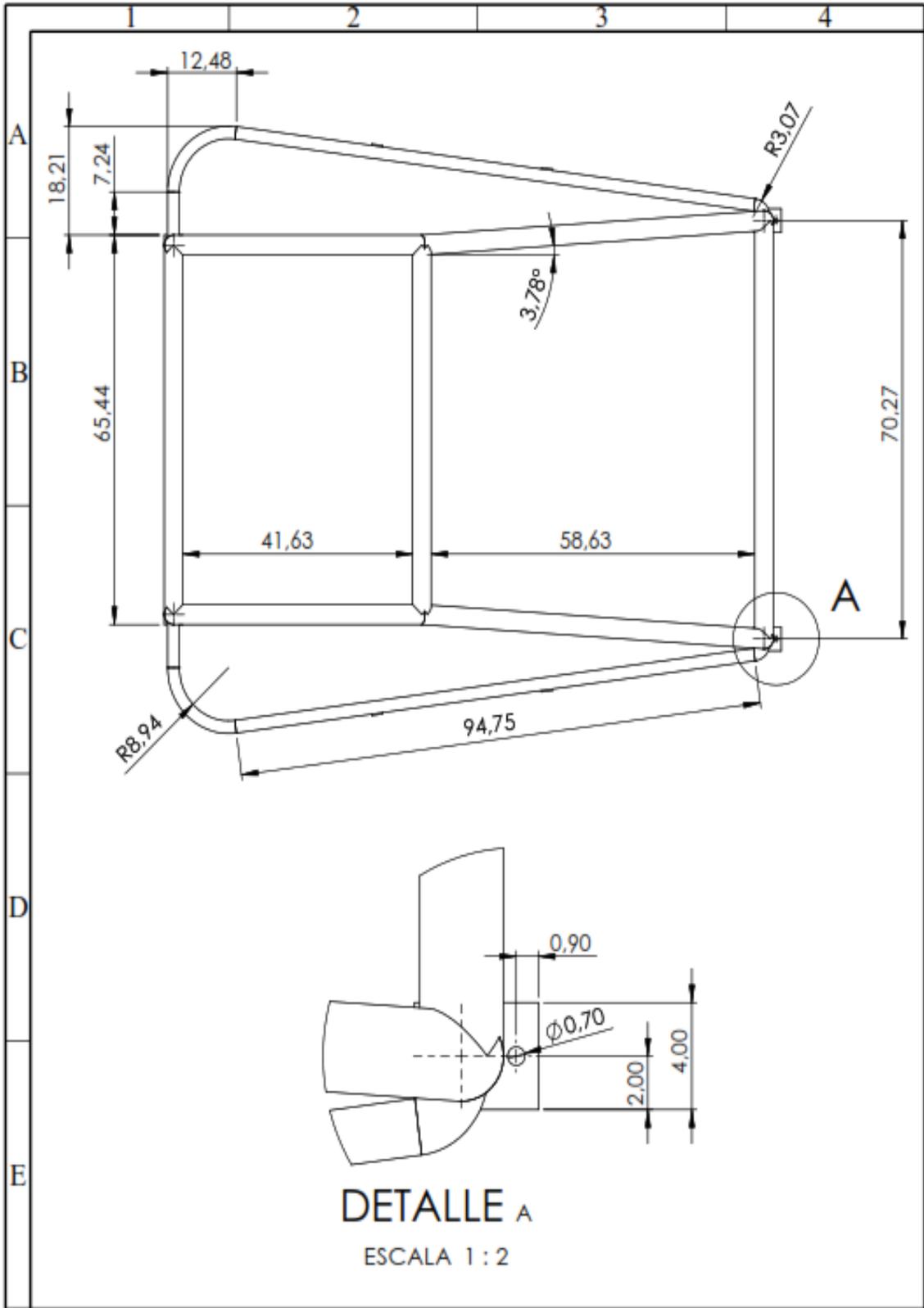
ANEXOS

ANEXO A

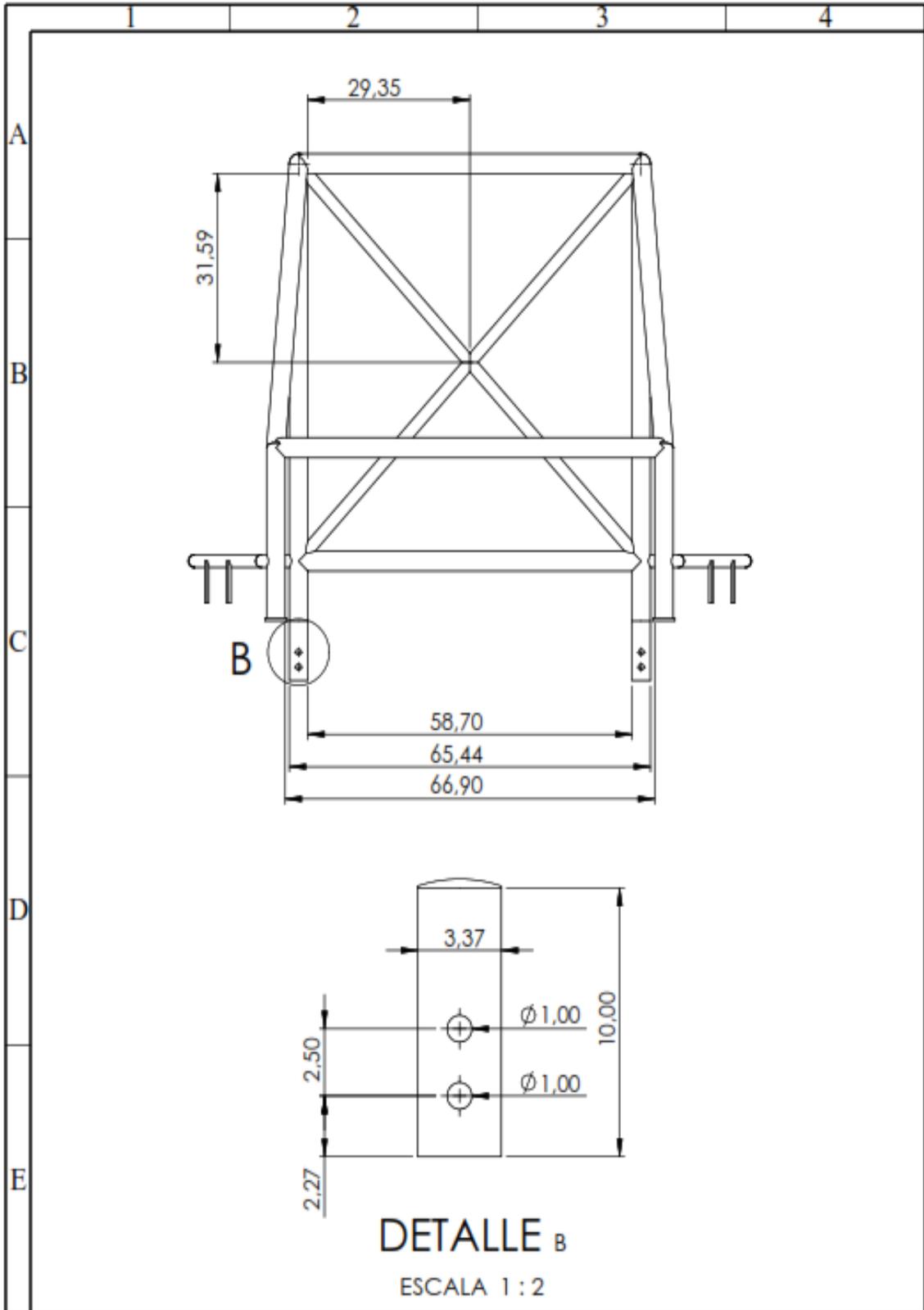


N.º DE ELEMENTO	Descripción
1	Tubo estructural redondo 1 1/4 " x 1.5
2	Tubo estructural redondo 7/8 " x 1.5
3	Tubo estructural cuadrado 30 x 30 x 1.5
4	Plancha laminada 2 mm

N.º Lámina: 1 de 4	N.º Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación: PM-CIA-IC-2024	ESPOCH			
Email: Teléfonos:			Denominación:	FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos			Vista Isométrica Roll bar	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó	Luis Rodríguez			26.118	± 0.03 [cm]	1:8	
Dibujó	Jorge Morejón			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó	Juan Quinchuela						
Aprobó	Juan Quinchuela		Materiales: Acero ASTM A36				
			Nombre de archivo: Roll bar				

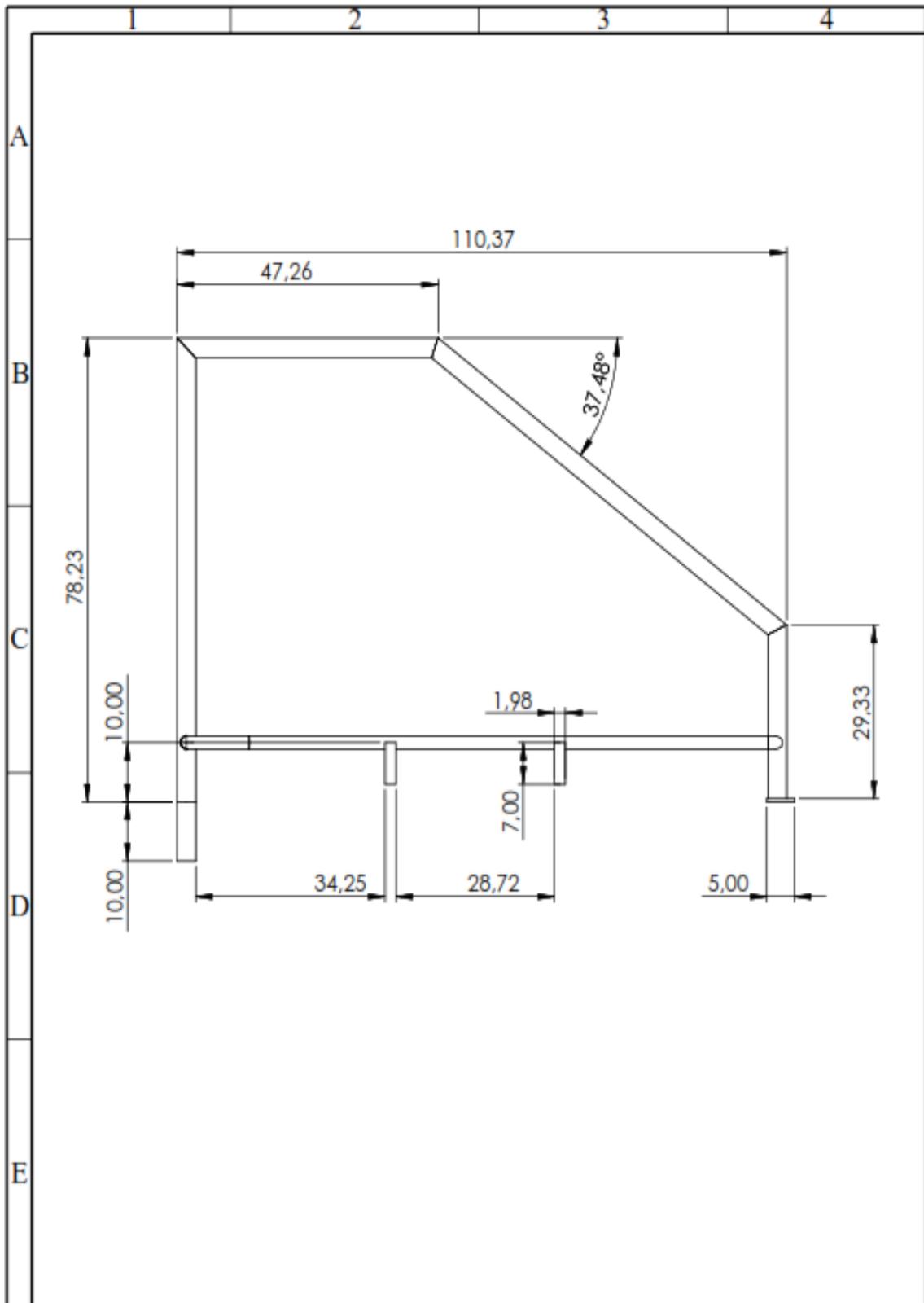


N°. Lámina: 2 de 4	N°. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación: FM-CIA-IC-2024	ESPOCH				
Email: Teléfonos:			Denominación:	FACULTAD DE MECÁNICA				
Datos			Vista Superior Roll bar	CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ				
Proyectó	Nombre	Firma		Fecha	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Revisó	Juan Quinchuela				26.118	± 0.03 [cm]	1:9	⊕
Dibujó	Jorge Morejón				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE R.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY			
Aprobó	Juan Quinchuela							
			Materiales: Acero ASTM A36					
			Nombre de archivo: Roll bar					



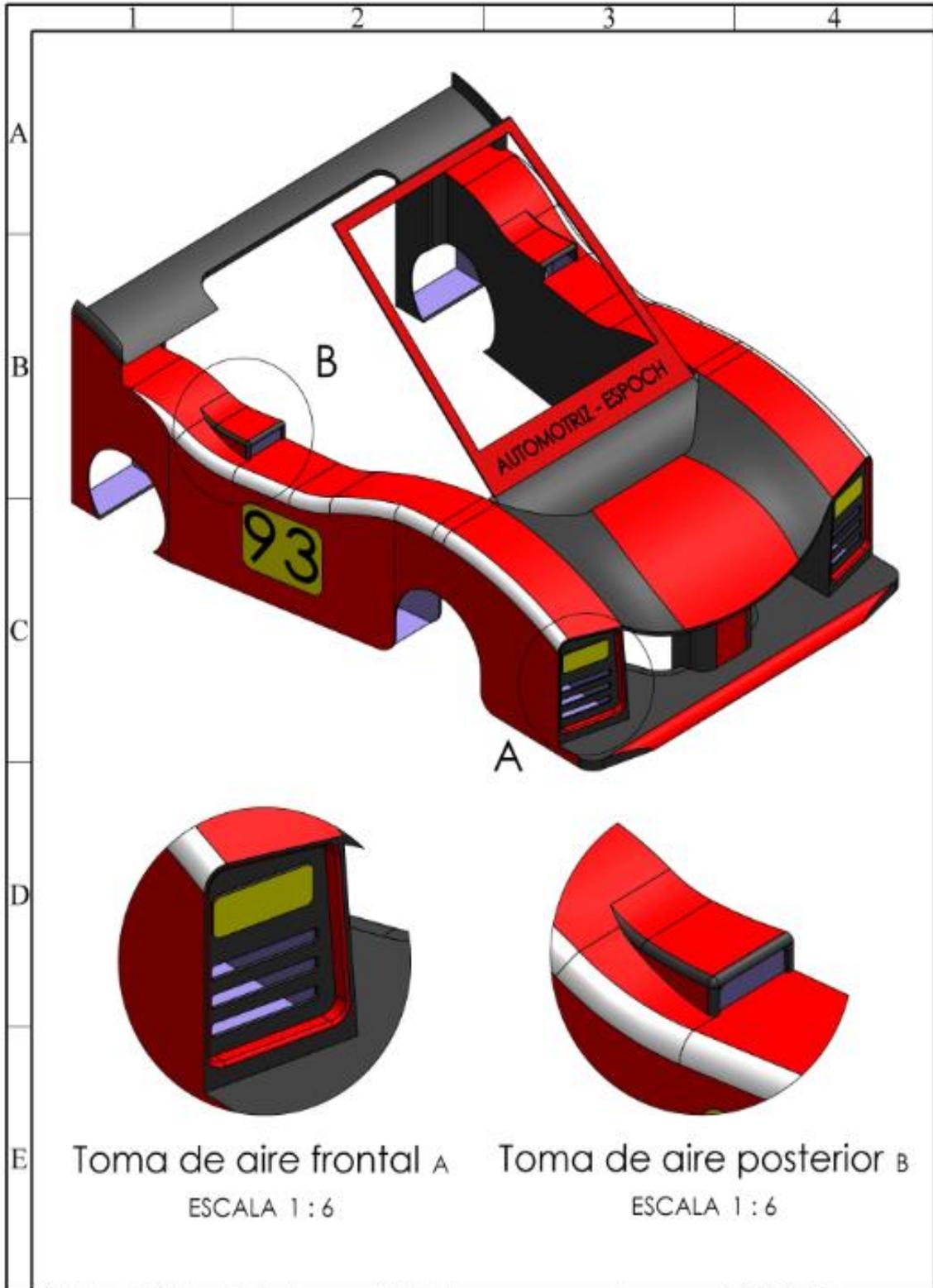
N°. Lámina: 3 de 4	N°. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: Teléfonos:				Vista Frontal Roll bar			
Datos							
Proyectó	Nombre Luis Rodriguez	Firma	Fecha	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Dibujó	Jorge Morejón			26,118	± 0,03 [cm]	1:9	
Revisó	Juan Quinchuela			<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE E.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			
Aprobó	Juan Quinchuela						
				Nombre de archivo: Roll bar			





N° Lámina: 4 de 4	N° Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: Teléfonos:			Denominación: Vista Lateral Roll bar	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	26.118	± 0.03 [cm]	1:9	
Proyectó	Luis Rodriguez			ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE I.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACION CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Jorge Morejón						
Revisó	Juan Quinchuela						
Aprobó	Juan Quinchuela			Materiales: Acero ASTM A36			
				Nombre de archivo: Roll bar			

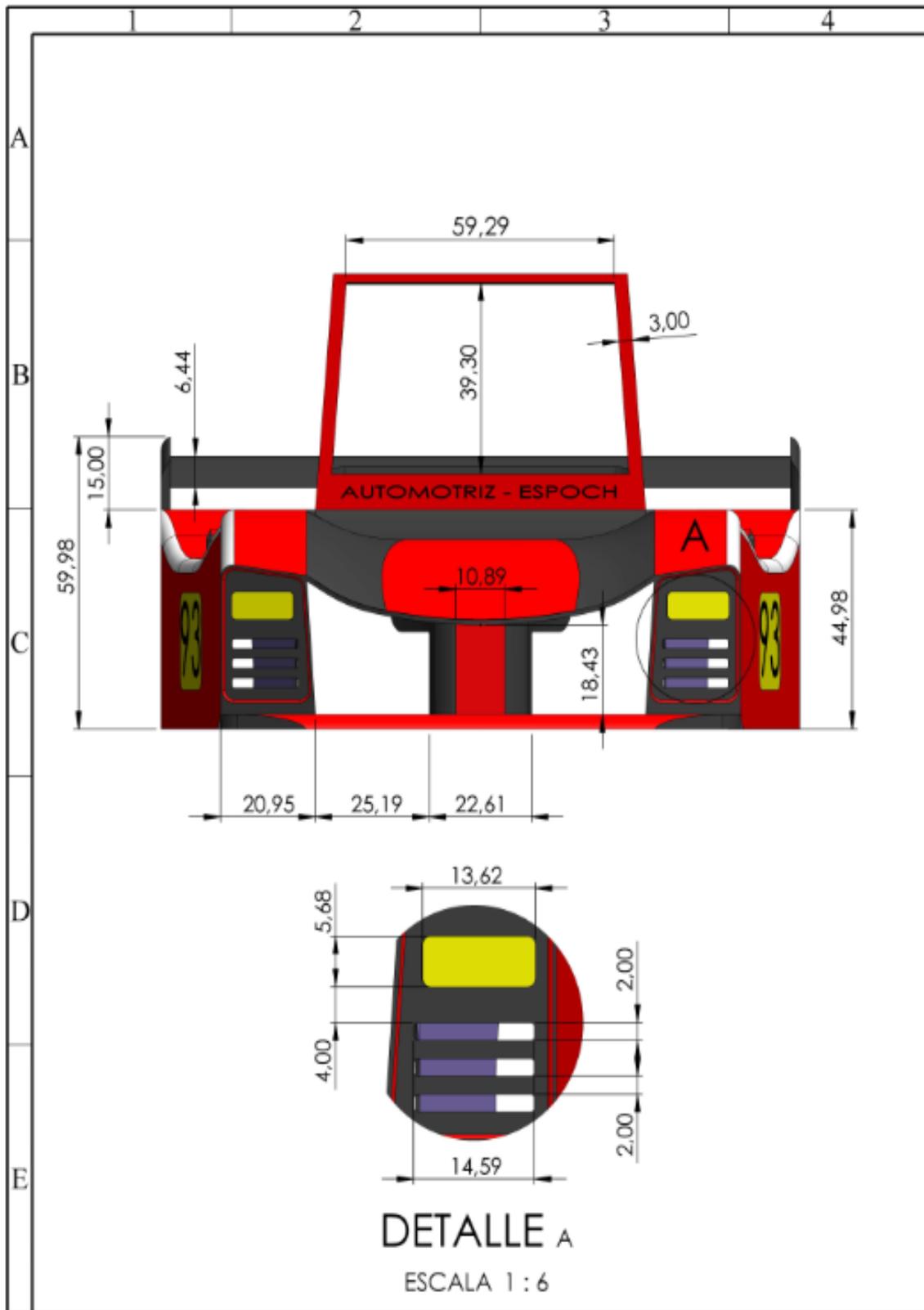
ANEXO B



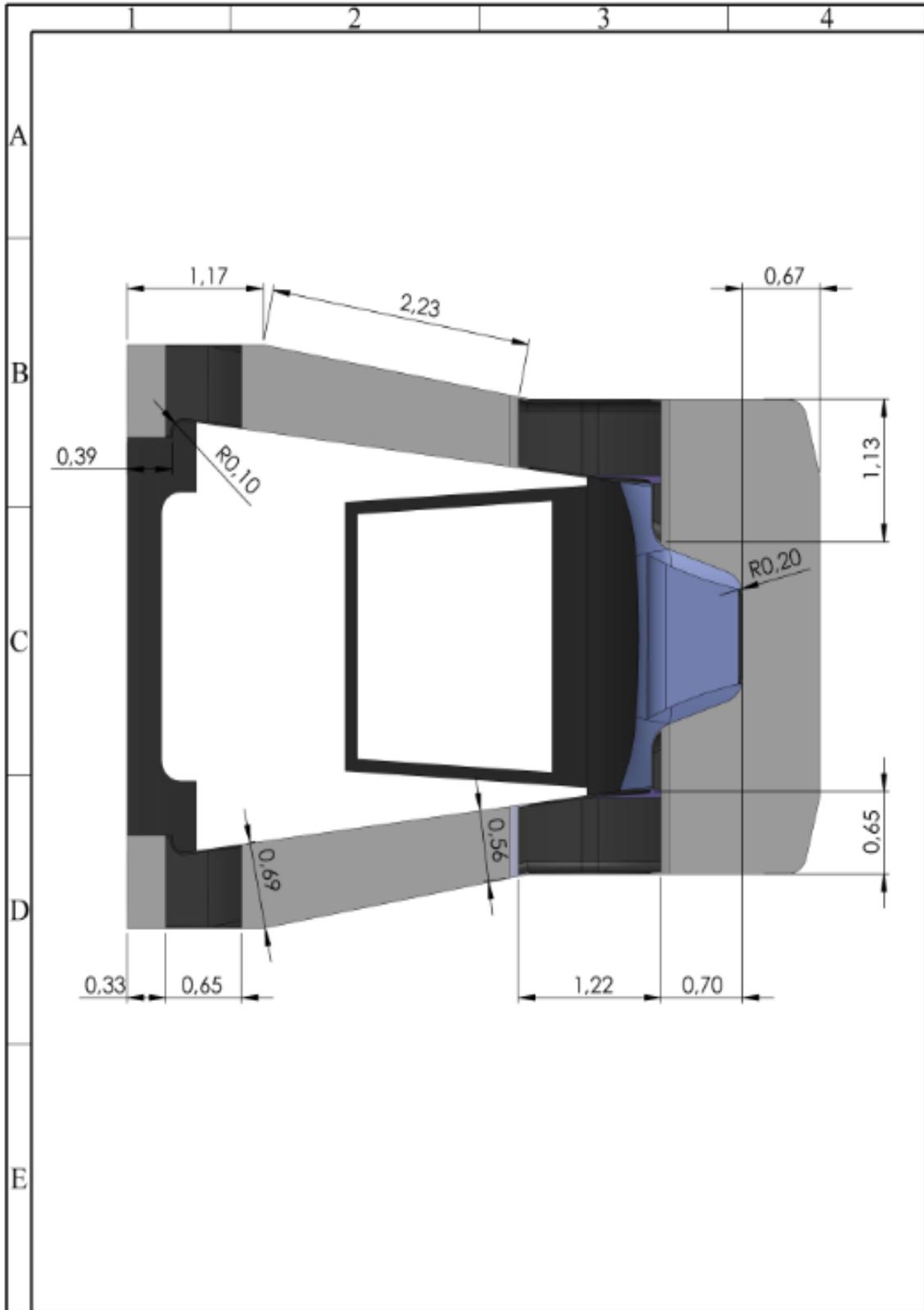
Toma de aire frontal A
ESCALA 1 : 6

Toma de aire posterior B
ESCALA 1 : 6

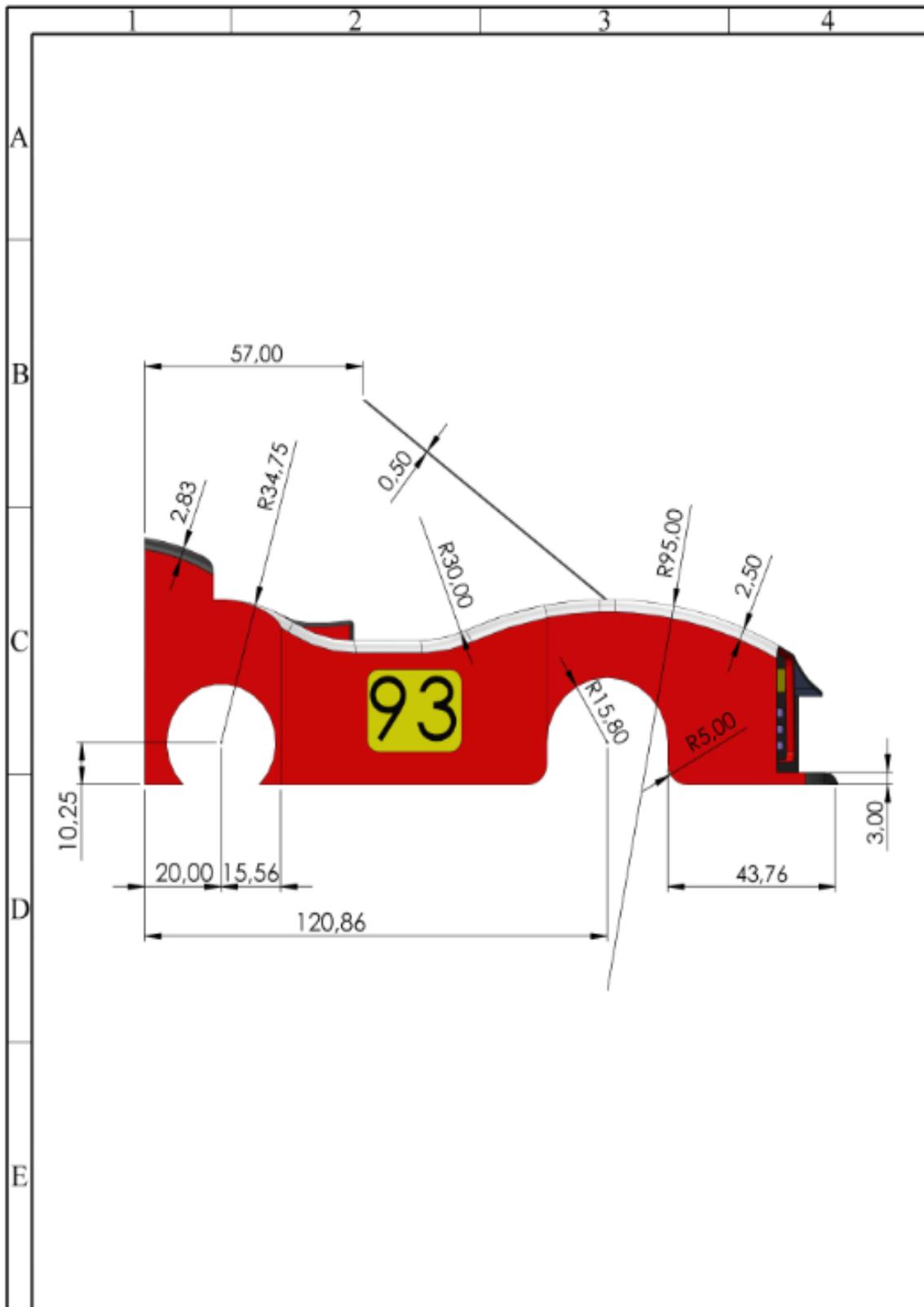
Nº. Lámina: 1 de 6	Nº. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Email: Teléfonos:			Denominación: Vista Isométrica Carrocería	Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma	Fecha	51.212	± 0.03 [cm]	1:13	
Proyectó	Luis Rodríguez			ESTE DOCUMENTO DE PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE D.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY			
Dibujó	Jorge Morejón						
Revisó	Juan Quinchuela						
Aprobó	Juan Quinchuela			Materiales: Fibra de vidrio - S			
Nombre de archivo: Carrocería							



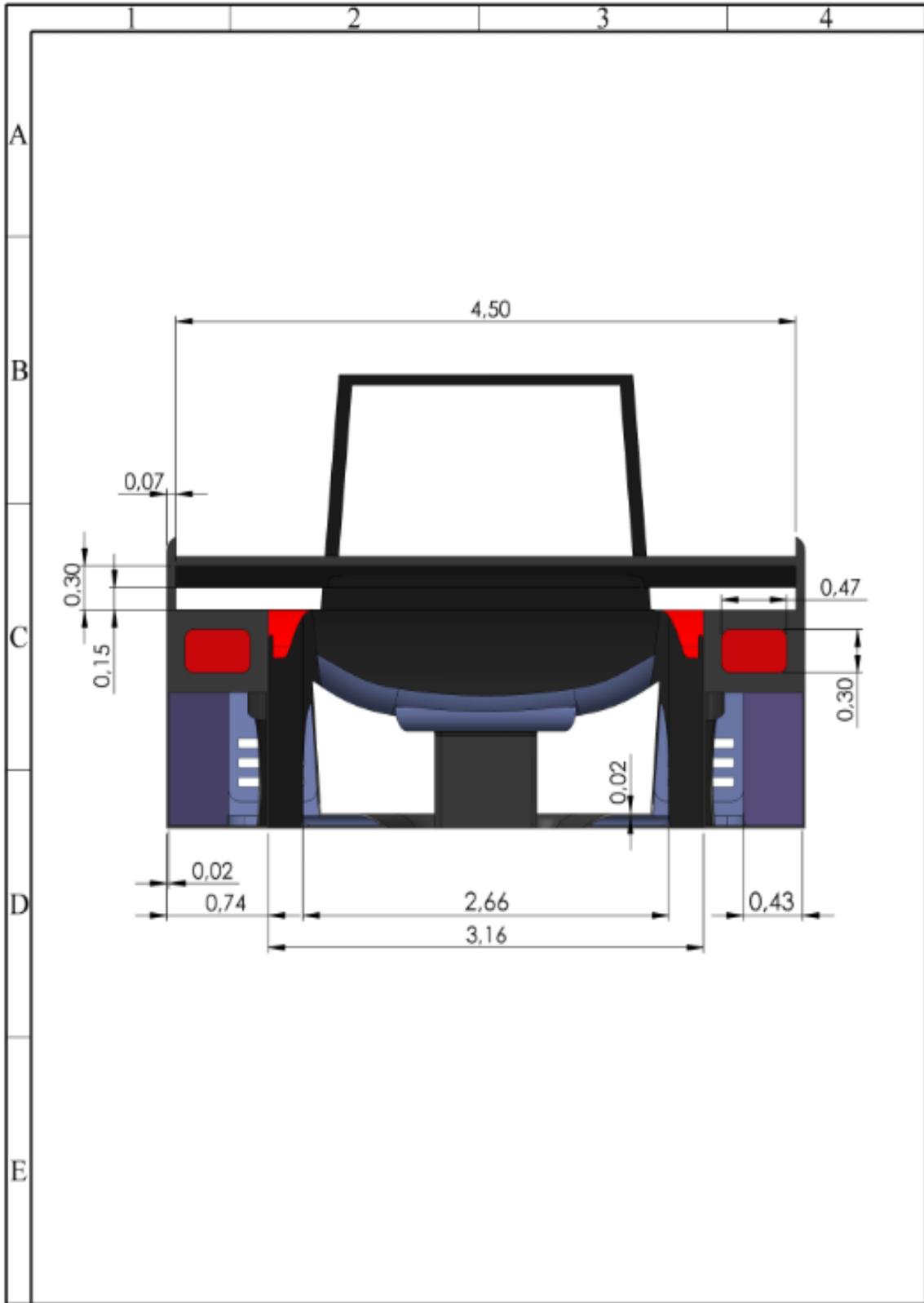
Nº. Lámina: 2 de 6	Nº. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH			
Email: Teléfonos:			Denominación:	FACULTAD DE MECÁNICA			
Datos			Vista Frontal Carrocería	CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Nombre	Firma	Fecha		Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Proyectó Luis Rodríguez				51.212	± 0.03 [cm]	1:11	
Dibujó Jorge Morejón				ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA, CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY			
Revisó Juan Quinchuela							
Aprobó Juan Quinchuela			Materiales: Fibra de vidrio - S				
			Nombre de archivo: Carrocería				



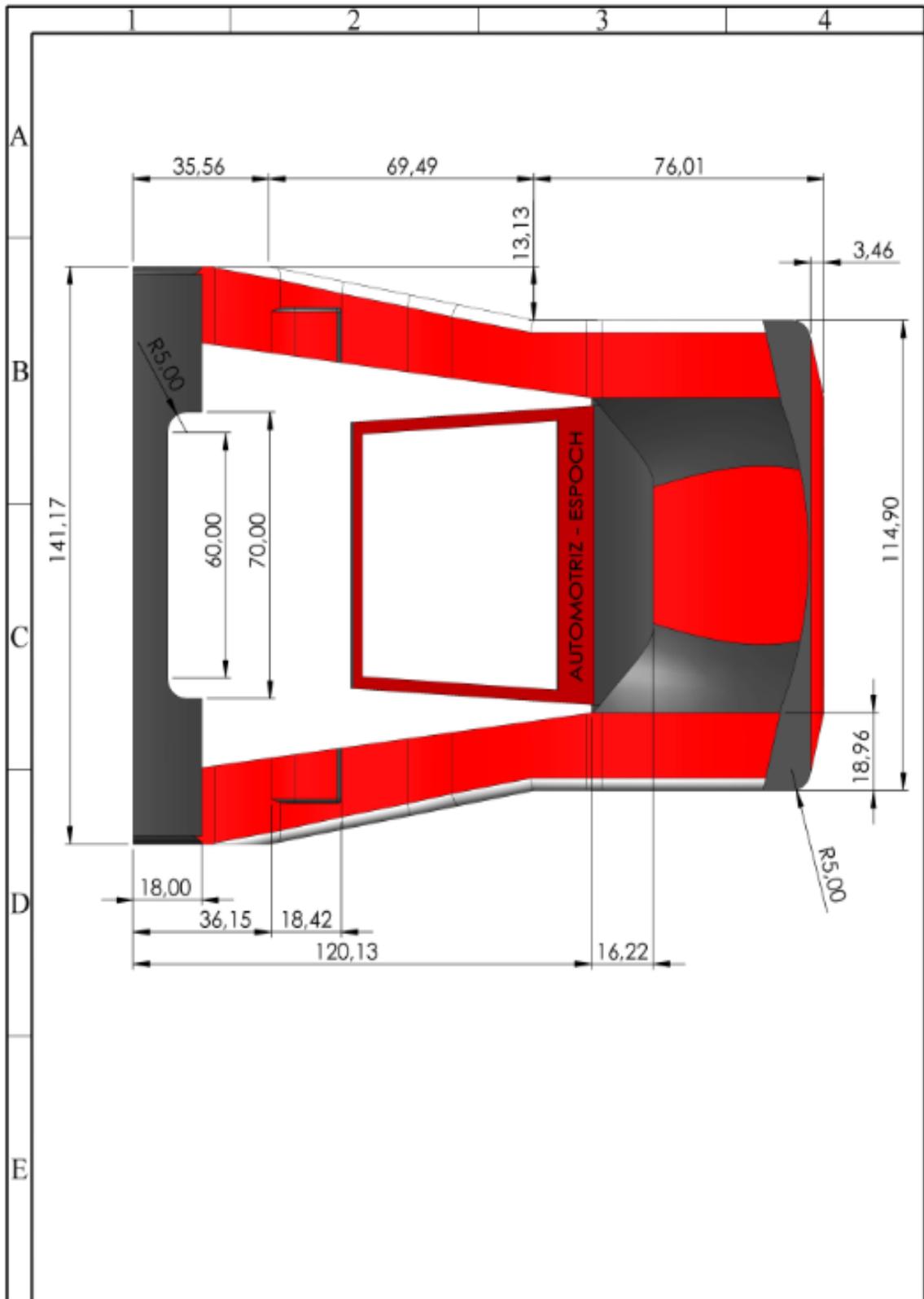
Nº. Lámina: 3 de 6	Nº. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ				
Email: Teléfonos:			Vista Inferior Carrocería		Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro
Datos	Nombre	Firma			Fecha	51.212	± 0.03 [cm]	1:13
Proyectó	Luis Rodriguez			Materiales: Fibra de vidrio - S		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA. CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY		
Dibujó	Jorge Morejón							
Revisó	Juan Quinchuela			Nombre de archivo: Carrocería				
Aprobó	Juan Quinchuela							



Nº. Lámina: 4 de 6	Nº. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ																						
Email: Teléfonos:			Vista Lateral Carrocería		Peso [kg]	Tolerancia	Escala	Registro																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Datos</th> <th>Nombre</th> <th>Firma</th> <th>Fecha</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Proyectó</td> <td>Luis Rodríguez</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dibujó</td> <td>Jorge Morejón</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Revisó</td> <td>Juan Quinchuela</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Aprobó</td> <td>Juan Quinchuela</td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					Datos	Nombre	Firma	Fecha	Proyectó	Luis Rodríguez			Dibujó	Jorge Morejón			Revisó	Juan Quinchuela			Aprobó	Juan Quinchuela			51.212	± 0.03 [cm]
Datos	Nombre	Firma	Fecha																							
Proyectó	Luis Rodríguez																									
Dibujó	Jorge Morejón																									
Revisó	Juan Quinchuela																									
Aprobó	Juan Quinchuela																									
			Materiales: Fibra de vidrio - S		ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE B.M. Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL, NO AUTORIZADA, CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY																					
			Nombre de archivo: Carrocería																							



N° Lámina: 5 de 6		N° Hojas: 1		Sustitución: 1		Codificación: FM-CIA-IC-2024		ESPOCH FACULTAD DE MECÁNICA CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ							
Email: Teléfonos:						Denominación: Vista Posterior Carrocería									
Datos		Nombre		Firma		Fecha		Peso [kg]		Tolerancia		Escala		Registro	
Proyectó		Luis Rodríguez						51.212		± 0.03 [cm]		1:11			
Dibujó		Jorge Morejón						Materiales: Fibra de vidrio - S				<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE I.M. Y S.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCION TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACION DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY</small> 			
Revisó		Juan Quinchuela						Nombre de archivo: Carrocería							
Aprobó		Juan Quinchuela													



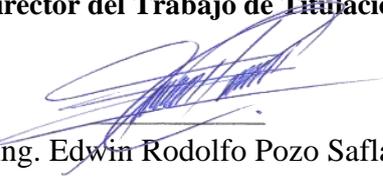
Nº. Lámina: 6 de 6	Nº. Hojas: 1	Sustitución: 1	Codificación FM-CIA-IC-2024	ESPOCH			
Email: Teléfonos:			Denominación:	FACULTAD DE MECÁNICA			
			Vista Superior Carrocería	CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ			
Datos	Nombre	Firma		Fecha	Peso [kg]	Tolerancia	Escala
Proyectó	Luis Rodríguez			51.212	± 0.03 [mm]	1:13	
Dibujó	Jorge Morejón			<small>ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD INTELLECTUAL EXCLUSIVA DE IIM Y M.P. CUALQUIER USO Y REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL NO AUTORIZADA CONSTITUYE VIOLACIÓN DE LOS DERECHOS DE AUTOR PENADA POR LA LEY</small>			
Revisó	Juan Quinchuela						
Aprobó	Juan Quinchuela			Materiales: Fibra de vidrio - S			
				Nombre de archivo: Carrocería			





ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA
NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO

Fecha de entrega: 29/07/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Jorge Fernando Morejón Aguirre Luis Miguel Rodríguez Lema
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Mecánica
Carrera: Ingeniería Automotriz
Título a optar: Ingeniero Automotriz
 Ing. Juan Carlos Quinchuela Paucar Director del Trabajo de Titulación  Ing. Edwin Rodolfo Pozo Safla Asesor del Trabajo de Titulación