



# ESPE

---

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**Estudio de la morfología aerodinámica de una motocicleta GP para mejorar los coeficientes aerodinámicos de la motocicleta "Stolika" de la "v" competencia internacional MotoStudent.**

Valle Proaño, Oswaldo Alejandro.

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

Carrera de Ingeniería Automotriz

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

Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin.

19 de octubre del 2020

Latacunga



### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "**ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA GP PARA MEJORAR LOS COEFICIENTES AERODINÁMICOS DE LA MOTOCICLETA "STOLIKA" DE LA "V" COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT.**" fue realizado por el Sr. **Valle Proaño, Oswaldo Alejandro**, con cédula de ciudadanía No.**1804301982**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 21 de octubre de 2020



Firmado electrónicamente por:  
**JORGE STALIN  
MENA PALACIOS**

.....  
**Ing. Mena Palacios, Jorge Stalin**

C. C.: 1803725900

## REPORTE DE URKUND



### Document Information

|                          |   |
|--------------------------|---|
| <b>Analyzed document</b> | ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA GP PARA MEJORAR LOS COEFICIENTES AERODINÁMICOS DE LA MOTOCICLETA "STOLIKA" DE LA "V" COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT_2.pdf (D82930385) |
| <b>Submitted</b>         | 10/27/2020 9:08:00 PM   |
| <b>Submitted by</b>      | Mena Palacios Jorge Stalin  |
| <b>Submitter email</b>   | jsmena@espe.edu.ec  |
| <b>Similarity</b>        | 6%  |
| <b>Analysis address</b>  | jsmena.espe@analysis.orkund.com   |

### Sources included in the report

|           |   |   |
|-----------|---|---|
| <b>J</b>  | <b>Diseño de un generador de vórtices</b><br>URL: 3fc734e5-e5a9-46d5-a7c5-ef764f05447a<br>Fetched: 2/15/2019 10:34:44 PM  | 6 |
| <b>SA</b> | <b>Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE / ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA GP PARA MEJORAR LOS COEFICIENTES AERODINÁMICOS DE LA MOTOCICLETA "STOLIKA" DE LA "V" COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT_2.pdf (D82930385)</b><br>Document ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA AERODINÁMICA DE UNA MOTOCICLETA GP PARA MEJORAR LOS COEFICIENTES AERODINÁMICOS DE LA MOTOCICLETA "STOLIKA" DE LA "V" COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT_2.pdf (D82442030)<br>Submitted by: jsmena@espe.edu.ec<br>Receiver: jsmena.espe@analysis.orkund.com | 2 |



Generado automáticamente por:  
JORGE STALIN  
MENA PALACIOS



### CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

#### AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Valle Proaño, Oswaldo Alejandro**, con cédula de ciudadanía No. **1804301982** declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "**ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA AERODINÀMICA DE UNA MOTOCICLETA GP PARA MEJORAR LOS COEFICIENTES AERODINÀMICOS DE LA MOTOCICLETA "STOLIKA" DE LA "V" COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT.**" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Latacunga, 21 de octubre de 2020

Valle Proaño, Oswaldo Alejandro

C. C.: 1804301982



**CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, **Valle Proaño, Oswaldo Alejandro**, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: "**ESTUDIO DE LA MORFOLOGÍA AERODINÀMICA DE UNA MOTOCICLETA GP PARA MEJORAR LOS COEFICIENTES AERODINÀMICOS DE LA MOTOCICLETA "STOLIKA" DE LA "V" COMPETENCIA INTERNACIONAL MOTOSTUDENT.**" en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Latacunga, 21 de octubre de 2020

**Firma:**

Valle Proaño, Oswaldo Alejandro

C. C.: 1804301982

## DEDICATORIA

*Este proyecto de investigación está dedicado a mi hijo y esposa: Emilio y Lizbeth, quienes han puesto toda su confianza y cariño para lograr un objetivo más en mi vida.*

*A mis padres Oswaldo y Adriana, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.*

*A mis hermanos Paul y Fernando, por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias.*

**Alejandro Valle**

## **AGRADECIMIENTO**

En este espacio quiero agradecer a Dios por bendecirme con la paciencia y conocimiento otorgado.

A mi esposa por siempre estar a mi lado en los momentos más difíciles que se me han presentado a lo largo de mi vida universitaria.

A mis padres por el esfuerzo que han situado en mi camino, sin nunca dejarme desamparado en la hermosa batalla de la vida diaria.

A mis hermanos por ser mis secuaces en a lo largo de mi vida.

A mis profesores, por su dedicación y paciencia para impartirme el conocimiento además de valores como la ética y la moral profesional.

A mis amigos porque sin ellos no se podría haber disfrutado tanto la vida universitaria.

**Alejandro Valle**

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

|   |           |
|---|-----------|
| <b>CARÁTULA</b> .....                       | <b>1</b>  |
| <b>CERTIFICACIÓN</b> .....                  | <b>2</b>  |
| <b>REPORTE DE URKUND</b> .....              | <b>3</b>  |
| <b>AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD</b> .....     | <b>4</b>  |
| <b>AUTORIZACIÓN</b> .....                   | <b>5</b>  |
| <b>DEDICATORIA</b> .....                    | <b>6</b>  |
| <b>AGRADECIMIENTO</b> .....                 | <b>7</b>  |
| <b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....           | <b>8</b>  |
| <b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....              | <b>11</b> |
| <b>RESUMEN</b> .....                        | <b>13</b> |
| <b>ABSTRACT</b> .....                       | <b>14</b> |
| <b>1. GENERALIDADES</b> .....               | <b>15</b> |
| 1.1. Antecedentes investigativos .....      | 15        |
| 1.2. Justificación e importancia .....      | 16        |
| 1.3. Objetivos .....                        | 17        |
| 1.3.1. Objetivo general.....                | 17        |
| 1.3.2. Objetivos específicos .....          | 17        |
| 1.4. Metas .....                            | 18        |
| 1.5. Descripción general del proyecto ..... | 19        |
| <b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....               | <b>20</b> |
| 2.1. Motostudent .....                      | 20        |
| 2.1.1. Objetivo de la competición .....     | 20        |
| 2.2.2. Normativa para el carenado .....     | 23        |
| a. Carenado inferior .....                  | 24        |
| b. Guardabarros .....                       | 24        |
| c. Protección frente al atrapamiento .....  | 25        |
| 2.3. Carenado .....                         | 25        |
| 2.3.1 Objetivo.....                         | 26        |
| 2.3.2. Estética.....                        | 27        |
| 2.3.3. Seguridad y protección .....         | 27        |
| 2.3.4. Mecánica .....                       | 27        |



|  |           |
|--|-----------|
| 2.4. Aerodinámica en las motocicletas .....      | 28        |
| 2.4.1. Drag.....                                 | 29        |
| 2.4.2. Vórtices .....                            | 35        |
| 2.4.3. Tipos de Vórtices.....                    | 39        |
| a) Airtab .....                                  | 40        |
| b) Aleta.....                                    | 40        |
| c) Rectangular .....                             | 41        |
| d) Delta.....                                    | 41        |
| 2.4.4. CX versus apoyo aerodinámico .....        | 42        |
| 2.4.5. Ventajas y desventajas del aire.....      | 43        |
| a) Ventajas .....                                | 44        |
| b) Desventajas.....                              | 44        |
| 2.5. Software.....                               | 44        |
| 2.5.1. CAD.....                                  | 45        |
| 2.5.2. CAE .....                                 | 48        |
| a) Aplicaciones de la CAE .....                  | 48        |
| b) Ventajas de la CAE .....                      | 49        |
| <b>3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL CARENADO .....</b> | <b>51</b> |
| 3.1. Modelado del carenado .....                 | 51        |
| 3.2. Diseño 3D.....                              | 51        |
| 3.3. Simulación CAE.....                         | 52        |
| 3.3.1. Previo a la simulación .....              | 52        |
| 3.3.2. Durante la simulación .....               | 54        |
| <b>4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....</b>            | <b>57</b> |
| 4.1. Carenado anterior .....                     | 57        |
| 4.1.1. Simulación a 100 Km/h .....               | 57        |
| a) Presión .....                                 | 58        |
| b) Presión total.....                            | 59        |
| c) Presión dinámica .....                        | 60        |
| d) Temperatura .....                             | 60        |
| e) Vórtice.....                                  | 61        |
| 4.1.2. Simulación a 150 Km/h .....               | 62        |
| a) Presión .....                                 | 62        |
| b) Presión total.....                            | 63        |

|  |           |
|--|-----------|
|  | 10        |
| c) Presión dinámica .....                      | 64        |
| d) Velocidad .....                             | 65        |
| e) Vórtice.....                                | 66        |
| 4.2. Carenado mejorado .....                   | 66        |
| 4.2.1. Simulación a 100 Km/h .....             | 66        |
| a) Presión .....                               | 67        |
| b) Velocidad .....                             | 68        |
| d) Temperatura .....                           | 68        |
| e) Vórtice.....                                | 69        |
| 4.2.2. Simulación a 150 Km/h .....             | 69        |
| a) Presión .....                               | 70        |
| b) Velocidad .....                             | 70        |
| d) Temperatura .....                           | 71        |
| e) Vórtice.....                                | 72        |
| 4.3. Viabilidad de diseño.....                 | 72        |
| <b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b> | <b>75</b> |
| 5.1. Conclusiones .....                        | 75        |
| 5.2. Recomendaciones.....                      | 76        |
| <b>6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>      | <b>77</b> |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> <i>Cartel de la competición</i> .....                       | 21 |
| <b>Figura 2.</b> <i>Competición Motostudent</i> .....                        | 21 |
| <b>Figura 3.</b> <i>Presentación de la motocicleta</i> .....                 | 22 |
| <b>Figura 4.</b> <i>Equipos participantes</i> .....                          | 23 |
| <b>Figura 5.</b> <i>Guardabarros</i> .....                                   | 25 |
| <b>Figura 6.</b> <i>Carenado que cubre la rueda delantera</i> .....          | 29 |
| <b>Figura 7.</b> <i>Drag</i> .....   | 29 |
| <b>Figura 8.</b> <i>Circulación del aire</i> .....                           | 31 |
| <b>Figura 9.</b> <i>Descripción del Drag</i> .....                           | 32 |
| <b>Figura 10.</b> <i>Presión alta y baja del aire</i> .....                  | 33 |
| <b>Figura 11.</b> <i>Drag inducido</i> .....                                 | 34 |
| <b>Figura 12.</b> <i>Interferencia del Drag</i> .....                        | 34 |
| <b>Figura 13.</b> <i>Turbulencia</i> .....                                   | 35 |
| <b>Figura 14.</b> <i>Flujo de aire</i> .....                                 | 37 |
| <b>Figura 15.</b> <i>Formas aerodinámicas</i> .....                          | 38 |
| <b>Figura 16.</b> <i>Tipos de vórtices</i> .....                             | 39 |
| <b>Figura 17.</b> <i>Vórtice airtab</i> .....                                | 40 |
| <b>Figura 18.</b> <i>Aleta</i> .....   | 40 |
| <b>Figura 19.</b> <i>Aerodinámica</i> .....                                  | 43 |
| <b>Figura 20.</b> <i>Archivos CAD</i> .....                                  | 45 |
| <b>Figura 21.</b> <i>CAD para el diseño mecánico</i> .....                   | 46 |
| <b>Figura 22.</b> <i>CAD animación</i> .....                                 | 47 |
| <b>Figura 23.</b> <i>Animación CAE</i> .....                                 | 49 |
| <b>Figura 24.</b> <i>Modelado del carenado</i> .....                         | 51 |
| <b>Figura 25.</b> <i>Carenado 3D</i> .....                                   | 52 |
| <b>Figura 26.</b> <i>Ensamble del carenado</i> .....                         | 53 |
| <b>Figura 27.</b> <i>Transformación a solido</i> .....                       | 53 |
| <b>Figura 28.</b> <i>Opciones de simulación</i> .....                        | 54 |
| <b>Figura 29.</b> <i>Delimitación de planos</i> .....                        | 54 |
| <b>Figura 30.</b> <i>Selección de plano</i> .....                            | 55 |
| <b>Figura 31.</b> <i>Superficie base</i> .....                               | 55 |
| <b>Figura 32.</b> <i>Parámetros iniciales</i> .....                          | 56 |
| <b>Figura 33.</b> <i>Simulación CAE</i> .....                                | 56 |
| <b>Figura 34.</b> <i>Presión carenado anterior a 100 Km/h</i> .....          | 58 |
| <b>Figura 35.</b> <i>Presión total carenado anterior a 100 Km/h</i> .....    | 59 |
| <b>Figura 36.</b> <i>Presión dinámica carenado anterior a 100 Km/h</i> ..... | 60 |
| <b>Figura 37.</b> <i>Temperatura carenado anterior a 100 Km/h</i> .....      | 60 |
| <b>Figura 38.</b> <i>Vértice carenado anterior a 100 Km/h</i> .....          | 61 |
| <b>Figura 39.</b> <i>Presión carenado anterior a 150 Km/h</i> .....          | 62 |
| <b>Figura 40.</b> <i>Presión total carenado anterior a 150 Km/h</i> .....    | 63 |
| <b>Figura 41.</b> <i>Presión dinámica carenado anterior a 150 Km/h</i> ..... | 64 |
| <b>Figura 42.</b> <i>Velocidad carenado anterior a 150 Km/h</i> .....        | 65 |

|   |    |
|---|----|
| <b>Figura 43.</b> <i>Vértice carenado anterior a 150 Km/h</i> .....                     | 66 |
| <b>Figura 44.</b> <i>Presión carenado mejorado a 100 Km/h</i> .....                     | 67 |
| <b>Figura 45.</b> <i>Velocidad carenado mejorado a 100 Km/h</i> .....                   | 68 |
| <b>Figura 46.</b> <i>Temperatura carenado mejorado a 100 Km/h</i> .....                 | 68 |
| <b>Figura 47.</b> <i>Vórtice carenado mejorado a 100 Km/h</i> .....                     | 69 |
| <b>Figura 48.</b> <i>Presión carenado mejorado a 150 Km/h</i> .....                     | 70 |
| <b>Figura 49.</b> <i>Velocidad carenado mejorado a 150 Km/h</i> .....                   | 70 |
| <b>Figura 50.</b> <i>Temperatura carenado mejorado a 150 Km/h</i> .....                 | 71 |
| <b>Figura 51.</b> <i>Vórtice carenado mejorado a 150 Km/h</i> .....                     | 72 |
| <b>Figura 52.</b> <i>Comparación de presión sobre los carenados</i> .....               | 73 |
| <b>Figura 53.</b> <i>Comparación del flujo de temperatura de los carenados</i> .....    | 73 |
| <b>Figura 54.</b> <i>Comparación de la velocidad del aire sobre los carenados</i> ..... | 74 |

## RESUMEN

En el Ecuador existe el recurso humano para la fabricación de partes constitutivas de una motocicleta de alto rendimiento, en este caso puntual del carenado, no así el recurso tecnológico para la manufactura a nivel industrial. El presente proyecto investigativo tiene como principal meta mejorar el diseño del carenado de la motocicleta que representó al país en la última edición de la competencia internacional Motostudent, obteniendo una mejora en los coeficientes aerodinámicos, siguiente estudio teórico se enfoca en mejorar el diseño del carenado teniendo en cuenta las falencias y aciertos del modelo usado en la competencia anterior, partiendo desde su investigación teórica, modelado CAD, su análisis CAE sometida a una simulación de trabajo para asegurar un óptimo flujo aerodinámico. Seguidamente se realizando un análisis comparativo entre los dos carenados y dando factibilidad a esta investigación. Con esta investigación se da iniciativa para generar nuevos métodos, temas de investigación y conocimiento en el campo de diseño y mejora, en autopartes que están a nivel de normativas internacionales y de competencia GP.

### **PALABRAS CLAVE:**

- **AERODINÁMICA**
- **DISEÑO AERODINÀMICO**
- **CARENADO**

## **ABSTRACT**

In Ecuador there is the human resource for the manufacture of constituent parts of a high performance motorcycle, in this specific case of the fairing, but not the technological resource for manufacturing at an industrial level. The main goal of this research project is to improve the design of the motorcycle fairing that represented the country in the last edition of the international Motostudent competition, obtaining an improvement in the aerodynamic coefficients, the following theoretical study focuses on improving the design of the fairing having take into account the shortcomings and successes of the model used in the previous competition, starting from its theoretical research, CAD modeling, its CAE analysis subjected to a work simulation to ensure an optimal aerodynamic flow. Then a comparative analysis between the two fairings is carried out and this investigation is made feasible. With this research initiative is given to generate new methods, research topics and knowledge in the field of design and improvement, in auto parts that are at the level of international regulations and GP competition.

### **KEYWORDS:**

- **AERODYNAMICS**
- **DESIGN AERODYNAMICS**
- **FAIRIN**

## 1. GENERALIDADES

### 1.1. Antecedentes investigativos

(Motostudent, V Competición Internacional, 2017) La Competición Internacional MotoStudent es promovida por la Fundación Moto Engineering Foundation (en adelante MEF) y TechnoPark Motorland, y consiste en un desafío académico entre equipos de diferentes universidades de todo el mundo.

La Competición MotoStudent es un desafío académico multidisciplinar, que permite a los estudiantes desarrollar un proyecto industrial real en el ámbito del motorsport. Los estudiantes participantes deberán diseñar y desarrollar un proyecto de motocicleta de competición (eléctrica o de combustión) que será evaluado y puesto a prueba en un Evento Final que tendrá lugar en las instalaciones de MotorLand Aragón, en Alcañiz (Teruel), España. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

La Competición en sí misma representa un desafío para los estudiantes, que tendrán que poner a prueba su creatividad y sus habilidades para innovar, aplicando directamente sus capacidades como futuros ingenieros o técnicos especializados contra otros equipos de todo el mundo durante un periodo de tres semestres. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

Las fuerzas aerodinámicas de arrastre, sustentación y momento, al igual que en un avión; tienen influencia en el movimiento de un vehículo automotor ya que este enfrenta un flujo de aire que varía de acuerdo con su velocidad. En la actualidad se está utilizando en el

campo automotriz con el fin de mejorar el rendimiento de los vehículos automotores; como por ejemplo las motocicletas de alto rendimiento usadas tanto en carreras como de uso particular. Estas pueden alcanzar velocidades de 200 Km./h (velocidades para las cuales cobran gran importancia los efectos aerodinámicos sobre su comportamiento dinámico). Las grandes competencias de carrera automovilística como la Formula 1, buscan en sus diseños disminuir el arrastre (D) y obtener una sustentación negativa (downforce) que mejore la tracción de las ruedas. (Lorenzo, 2005)

## **1.2. Justificación e importancia**

La competencia MotoStudent la cual es promovida por la fundación Moto Engineering Foundation, da a los concursantes un reconocimiento internacional y posiciona a las diferentes universidades en un nivel destacado de participación, ya que presentan prototipos novedosos desarrollados y diseñados en su totalidad por estudiantes de ingeniería de los diferentes países.

Por lo tanto, la ejecución del presente proyecto de investigación brinda a la Universidad de la Fuerzas Armadas- ESPE un prestigio internacional de gran importancia, ya que cabe recalcar que pocas universidades de América Latina han logrado participar en eventos de este tipo.

Además, darnos a conocer en el mundo con este tipo de proyectos, romper el paradigma de que el país solo sea productor de materia prima, sino que estamos en la capacidad de realizar nuestros propios diseños.



El estudio aerodinámico de la motocicleta de carreras es indispensable, ya que el viento a grandes velocidades genera excesiva resistencia al avance, reflejando mayor consumo de combustible y pérdida de adherencia a la calzada, produciendo inestabilidad; por lo tanto, se vuelve indispensable el estudio con un desarrollo tecnológico y sustentable para el país, contribuyendo a una mejora continua y mayor rendimiento.

Con la presente investigación se espera llegar a la capacidad de generar nuevos temas de investigación y conocimiento al contar con las bases y recursos necesarios para que más estudiantes incursionen en el campo de la optimización del diseño.

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

- Estudiar la morfología aerodinámica de una motocicleta GP para mejorar los coeficientes aerodinámicos de la motocicleta “Stólíka” de la “V” competencia internacional Moto-Student.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

- Investigar en bases digitales, escritas y artículos científicos información para la mejora del carenado anterior.
- Modelar el carenado con ayuda de un software CAD, guiándose en las especificaciones técnicas establecidas por el reglamento de la competencia Motostudent 2017-2018

- Simular el comportamiento estático y dinámico del carenado en diferentes condiciones de operación.
- Realizar un análisis comparativo de los coeficientes aerodinámicos obtenidos en el software, del carenado de la motocicleta “Stolika” y la motocicleta usada en la competencia Motostudent 2013-2014
- Evaluar la viabilidad del proyecto considerando las modificaciones en el carenado, en busca de mejorar los coeficientes aerodinámicos.

#### **1.4. Metas**

- Recopilar información que muestre las cargas aplicadas sobre una moto de competición para poder utilizar esos datos en la posterior simulación que se realizara en cuatro semanas.
- Determinar el software más adecuado para realizar la simulación aerodinámica del carenado y obtener datos más precisos a la realidad en una semana.
- Modelado y simulación del carenado de la competencia Motostudent 2013-2014 en tres semanas.
- Aplicación de las mejoras en el modelado del carenado y verificación del cumplimiento con el reglamento de la competencia en tres semanas.
- Simulación estática y dinámica del carenado mejorado que será empleado en la competencia Motostudent 2017-2018 en dos semanas.
- Confrontar los parámetros de diseño del carenado anterior con los resultados ya mejorados de diseño de tal forma que permita generar un flujo suficiente de aire interno lo que facilitara la refrigeración de los componentes internos.

### **1.5. Descripción general del proyecto**

El presente proyecto de investigación tiene como principal propósito realizar el estudio aerodinámico del carenado frontal para mejorar los coeficientes aerodinámicos de la motocicleta que represento al país en la más prestigiosa competencia de universidades a nivel mundial MotoStudent 2013-2014.

Para la ejecución del proyecto, el primer paso consiste en el estudio del reglamento de la competencia MotoStudent, ya que en caso de incumplir las normas técnicas o deportivas todo el equipo se verá descalificado inmediatamente. Como parte fundamental del proyecto se centrará en mejorar los coeficientes de diseño del carenado anterior, aspectos como las dimensiones que debe tener y los materiales que están permitidos utilizar dentro de la competencia.

Se procederá a evaluar el prototipo adecuado de carenado que cumpla y mejore los parámetros aerodinámicos y posterior a elegir el material idóneo que se puede conseguir en el mercado local, para el estudio se utilizará Software especializado en optimizar los elementos, el cual permita determinar la geometría adecuada para un mejor rendimiento y alcance de la propuesta.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Motostudent**

(Motostudent, V Competición Internacional, 2017) menciona que la Competición Internacional MotoStudent es promovida por la Fundación Moto Engineering Foundation (en adelante MEF) y TechnoPark Motorland, y consiste en un desafío académico entre equipos de diferentes universidades de todo el mundo.

#### **2.1.1. Objetivo de la competición**

La Competición MotoStudent es un desafío académico multidisciplinar, que permite a los estudiantes desarrollar un proyecto industrial real en el ámbito del motorsport. Los estudiantes participantes deberán diseñar y desarrollar un proyecto de motocicleta de competición (eléctrica o de combustión) que será evaluado y puesto a prueba en un Evento Final que tendrá lugar en las instalaciones de MotorLand Aragón, en Alcañiz (Teruel), España. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

**Figura 1.**

*Cartel de la competición*



Nota: (Motostudent, Galeria, 2014)

La Competición en sí misma representa un desafío para los estudiantes, que tendrán que poner a prueba su creatividad y sus habilidades para innovar, aplicando directamente sus capacidades como futuros ingenieros o técnicos especializados contra otros equipos de todo el mundo durante un periodo de tres semestres. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

**Figura 2.**

*Competición Motostudent*



Nota: (Motostudent, Galeria, 2014)

MotoStudent permite a los equipos la máxima flexibilidad para diseñar, con muy pocas restricciones en la “toma de decisión” del diseño general de la moto, por lo que los vehículos o proyectos que participan en la Competición deberán cumplir con un mínimo de requerimientos de seguridad y dimensiones en las áreas designadas. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

### Figura 3.

*Presentación de la motocicleta*



Nota: (Motostudent, Galeria, 2014)

El desafío para los equipos es desarrollar una moto que sea capaz de pasar con éxito todos los test y pruebas a lo largo de la Competición MotoStudent. MotoStudent aporta a los equipos la oportunidad de poner a prueba y demostrar sus aptitudes en ingeniería, creatividad y habilidades empresariales en competición contra otras universidades del mundo. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

#### Figura 4.

##### *Equipos participantes*



Nota: (Motostudent, Galeria, 2014)

#### 2.2.2. Normativa para el carenado

(Motostudent, V Competición Internacional, 2017) establece tres requisitos generales para todos los participantes de la competición.

- Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1mm.

- El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (está excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto).
- No hay restricciones en cuanto al material de fabricación del carenado.

#### **a. Carenado inferior**

El carenado inferior o quilla debe estar fabricado para contener, en caso de incidente, al menos la mitad de la totalidad del aceite y/o del líquido de refrigeración del motor (mínimo 2.5 litros). En los prototipos de la Categoría MotoStudent Electric esta norma aplicará únicamente a aquellos prototipos que cuenten con algún sistema que incorpore líquido (como por ejemplo refrigeración o transmisión. No se consideran en estos sistemas los conjuntos de suspensión o frenos). (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

El carenado inferior o quilla deberá incluir un agujero de 25mm de diámetro, situado en el punto más bajo del mismo. Este agujero debe permanecer cerrado mediante un tapón en caso de pista seca y debe abrirse únicamente en caso de lluvia. Este tapón de “desagüe” deberá ir sujeto con alambre para evitar su desprendimiento sobre la pista en caso de fallo de cierre. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

#### **b. Guardabarros**

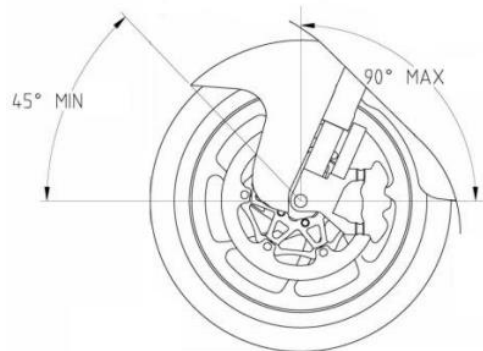
No es obligatorio el uso de guardabarros. En caso de montar guardabarros delantero, éste no podrá cubrir más de 135° de la circunferencia del neumático medido desde la parte posterior del neumático con origen del ángulo en la horizontal del eje de rueda.



(Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

**Figura 5.**

*Guardabarros*



Nota: (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

La llanta posterior no se podrá cubrir en más de 180°.

**c. Protección frente al atrapamiento.**

Si por su diseño, el basculante no cubre la zona inferior de la cadena o correa de transmisión, se deberá instalar un protector que prevenga atrapamientos entre el recorrido inferior de la cadena o correa y la corona de transmisión. (Motostudent, V Competición Internacional, 2017)

**2.3. Carenado**

Es acertado comparar el carenado de una moto con la carrocería de los coches. Aun así, en el caso de las dos ruedas esta pieza tiene sus propias características y hay que recordar

que no es obligatoria en todos los casos. El carenado cubre partes de una motocicleta. Cada tipo de moto tiene su propio estilo o posibilidades de carenado. (Motor, 2019)

Los nuevos materiales han permitido fabricar carenados muy ligeros que no aumentan el peso total del vehículo, lo que es fundamental especialmente en competición. La fibra de vidrio o de carbono son las materias primas ideales para los carenados más actuales y eficientes. Combinan ligereza con dureza y resistencia. (Motor, 2019)

### **2.3.1 Objetivo**

Los fabricantes de las primeras motocicletas no incluyeron el carenado ni nada similar en sus prototipos iniciales. El motor era la prioridad y conseguir velocidad para lo cual se pensaba en respetar el mínimo peso, eliminando partes superfluas o accesorios. Con el paso del tiempo se fueron resolviendo problemas y llegó la hora de luchar contra la resistencia al aire. (Motor, 2019)

(Motor, 2019) Menciona que los estudios aerodinámicos demostraron que, si se quería ganar velocidad, además de mejorar la potencia de los motores, era importante luchar contra factores que restaban eficacia y velocidad. La fricción se presentaba como un enemigo a batir.

(Motor, 2019) En su estudio determinó que el carenado de las motos fue la solución, la pieza clave para mejorar la aerodinámica de las motos consiguiendo diseños que contrarrestaban la resistencia al aire y permitían exprimir al máximo los motores.

(Motor, 2019) Establece que la función inicial del carenado fue dotar de un mejor diseño aerodinámico a las motocicletas, pero en poco tiempo se convertía en una pieza esencial. Hoy con la mejoría de materiales y diseños tiene nuevas funciones.

### **2.3.2. Estética**

No son pocos los expertos en motos que recuerdan que el carenado es ese lienzo en blanco que todo piloto debe personalizar para conseguir un vehículo único y exclusivo. Los carenados hoy son piezas de diseño y en muchos modelos se aprovechan para aportar un atractivo extra al vehículo. En algunos estilos el carenado se comercializa no como parte fundamental de la moto, sino como accesorio. (Motor, 2019)

### **2.3.3. Seguridad y protección**

El carenado protege gran parte de tu moto, pero también a ti. Partes del carenado se instalan buscando el confort del piloto especialmente en viajes largos, protege de inclemencias meteorológicas, minimizando su impacto en el cuerpo y también de posibles objetos que salten del asfalto, especialmente en terrenos no convencionales. Si habitualmente circulas por carreteras o caminos, ten en cuenta este detalle y asegúrate también que el Seguro de Moto MAPFRE te protege también en estos casos. (Motor, 2019)

### **2.3.4. Mecánica**

La misión originaria del carenado no se ha perdido en las motos actuales. Sigue siendo

una pieza clave que tiene la finalidad de facilitar la entrada de aire a alta velocidad. ¿Sabes cómo interviene la línea de las alas en un avión? Pues la función del carenado sobre las ruedas es semejante: provoca que el viento corra y se deslice sobre la superficie de la moto, evitando que la fuerza del viento frene tu moto. (Motor, 2019)

#### **2.4. Aerodinámica en las motocicletas**

La aerodinámica de las motos es mala, nos pongamos como nos pongamos. El valor del coeficiente aerodinámico, o CX, mide la facilidad o dificultad con que un objeto penetra en el aire resulta muy desfavorable en las motos. La resistencia aerodinámica es el producto de la sección frontal -la superficie que verías en una foto tomada con un teleobjetivo, completamente de frente y muy alejada- por el famoso CX. A las motos les salva del desastre una sección frontal reducida, porque el CX de una moto es peor que el de un camión. (Motor1pro, 2015)

Otra vez el mundo del automóvil es una referencia: Para que te hagas una idea un coche medio, ni deportivo ni especialmente aerodinámico, tiene un CX muy próximo al 0,30. No siempre un coche deportivo tiene mejor CX, pues tienen otras necesidades prioritarias como conseguir refrigerar un motor potente -que genera mucho calor- y buscar apoyo aerodinámico, es decir, que el aire “empuje” al coche contra el suelo y lo haga más estable en recta y curva. Pero vamos, coches con CX inferiores al 0,30 hay a patadas e incluso inferiores a 0,25. Una moto con buena aerodinámica, tipo MotoGP o una Touring bien carenada, jamás baja del 0,40. Hay muchos camiones con mejor CX. (Motor1pro, 2015)

Si piensas que la forma menos aerodinámica del mundo es una superficie plana contra el

viento una cabina de camión, por ejemplo, te equivocas, no es así. Lo menos aerodinámico que hay es un sólido que gira a gran velocidad arrojando un chorro de aire en contra del sentido de la marcha y creando turbulencias como, por ejemplo, las ruedas de una moto. De ahí los famosos carenados que cubrían la rueda delantera que la FIM prohibió. (Motor1pro, 2015)

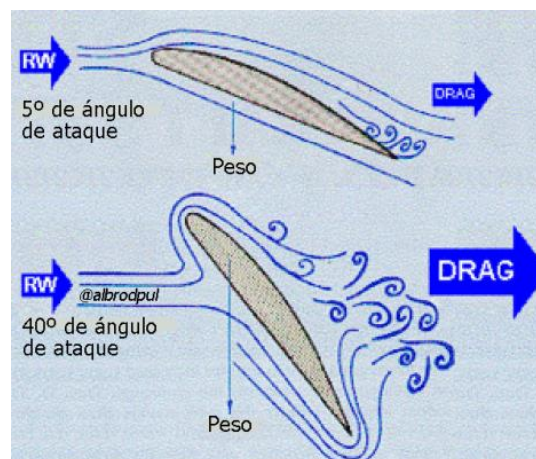
**Figura 6.** Carenado que cubre la rueda delantera



Nota: (Motor1pro, 2015)

#### 2.4.1. Drag

**Figura 7.** Drag



Nota: (Rodríguez, 2014)

La definición más básica de drag es la resistencia aerodinámica experimentada por un objeto que viaja a través del aire. La extraordinaria velocidad que un coche de Fórmula 1 alcanza es gracias a una cuidadosa combinación de un potente motor más un cuerpo esculpido con formas aerodinámicas. (Rodríguez, 2014)

Estos años históricos se encarnan en un simple algoritmo. La velocidad era una función directamente proporcional a los caballos de potencia. Pero, aunque los motores mejoran cada año, los niveles de rendimiento entre motores son bastante comparables y similares entre sí – conseguir un récord de velocidad ahora depende de otro factor: la aerodinámica y el drag (Rodríguez, 2014).

El ingeniero aerodinámico, Will Gray, señaló que “la velocidad máxima se alcanza también por otros factores – como el peso del coche, la estrategia de combustible y un buen par motor a bajas revoluciones – pero el principal factor que separa a los ganadores de los valientes es el rendimiento aerodinámico, es decir, tener un exceso de drag es tirarte encima demasiado aire que te penalice.” (Rodríguez, 2014)

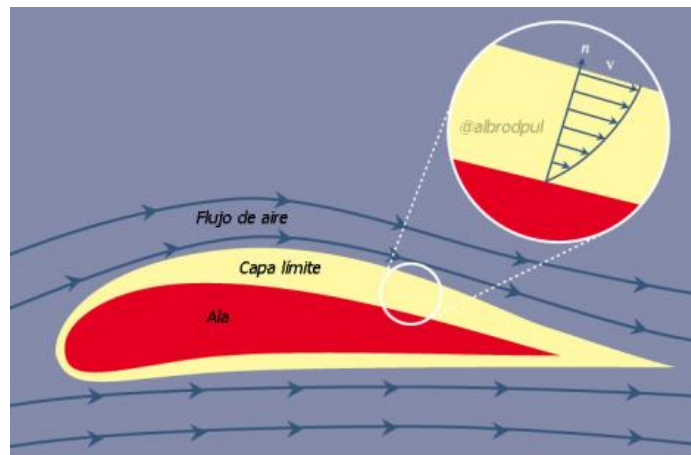
Una de las formas de resistencia del aire se produce cuando las partículas y las capas más cercanas se adhieren a dicha superficie. Se las conoce como capa límite o piel de fricción. La piel de fricción se origina a causa del contacto de las partículas de aire con la superficie de un objeto en movimiento. (Rodríguez, 2014)

(Rodríguez, 2014) menciona que la capa que está por encima de todas estas partículas adjuntas se desplaza ralentizando las moléculas que circulan por la superficie. Al alejarse las

capas de esta plataforma, el aire puede circular más libremente y ralentizarse en menor medida.

**Figura 8.**

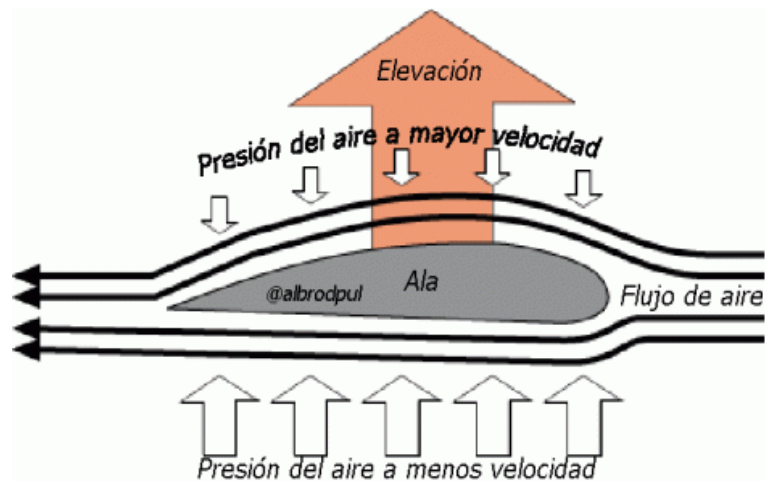
*Circulación del aire*



Nota: (Rodríguez, 2014)

El área de baja velocidad – capa límite – aparece en todo tipo de superficie causando uno de los tres tipos distintos de drag. La fuerza que se necesita para desplazar estas moléculas de aire forma el segundo tipo de drag, el drag artificial. Es decir, debido a este fenómeno, a menor superficie, menor área de partícula y, por tanto, menor energía se requerirá para empujar el aire. (Rodríguez, 2014)

El drag artificial y el drag de presión son virtualmente el mismo tipo de drag. La separación del aire crea turbulencias resultando en bajas y altas presiones que dejan una estela detrás del objeto en cuestión – drag de presión. Esto también se opone al desplazamiento hacia delante y es un componente más del drag total. Por tanto, tratar el flujo de aire es esencial a la hora de reducir el drag, por ello, las partes de un coche que no sirven para tal fin se encierran con una cubierta llamada carenado. (Rodríguez, 2014)

**Figura 9.***Descripción del Drag*

Nota: (Rodríguez, 2014)

Curiosamente, los diseñadores aerodinámicos han encontrado en la forma de una gota, el modelo perfecto – redondeado en su inicio apuntando hacia atrás – gestionando eficazmente la propulsión del aire en una superficie simple sin separar el aire. Es decir, evitar curvas afiladas o cerradas, extremos redondeados o cambios bruscos en una dirección es esencial si no se quiere provocar separación, y, por tanto, fricción o drag. (Rodríguez, 2014)

(Rodríguez, 2014) Otro tipo característico de drag es el drag inducido. Este drag inducido se genera a causa de los cantos o bordes de alas, el cual es un producto desfavorable producido por la carga aerodinámica. Con este drag no se puede hacer mucho, ya que siempre se va a producir.

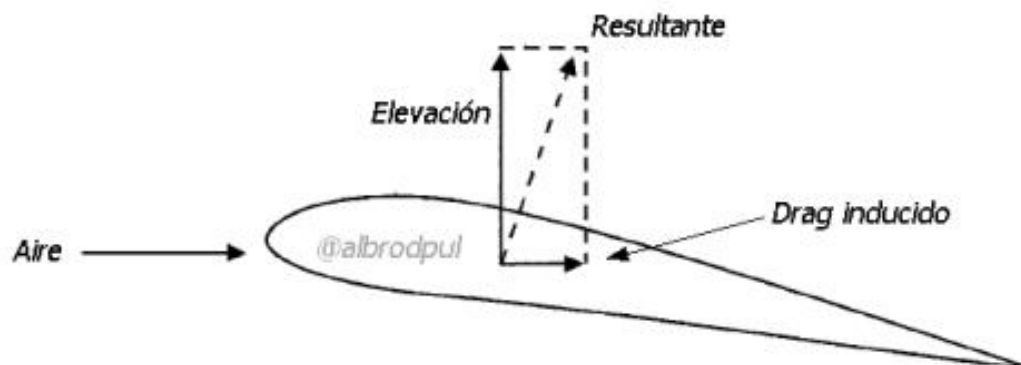
Generalmente se forman en alas en posición invertida o estándar. De hecho, es posible representar el drag inducido en todos los cuerpos que presentan presiones distintas en sus



caras opuestas. Es por ello por lo que el aire – o cualquier fluido – prefiere circular en áreas de alta presión a baja, ya que en regiones de baja presión tiene una tendencia a curvarse hacia abajo alrededor de los extremos de las alas de un monoplaza. (Rodríguez, 2014)

**Figura 10.**

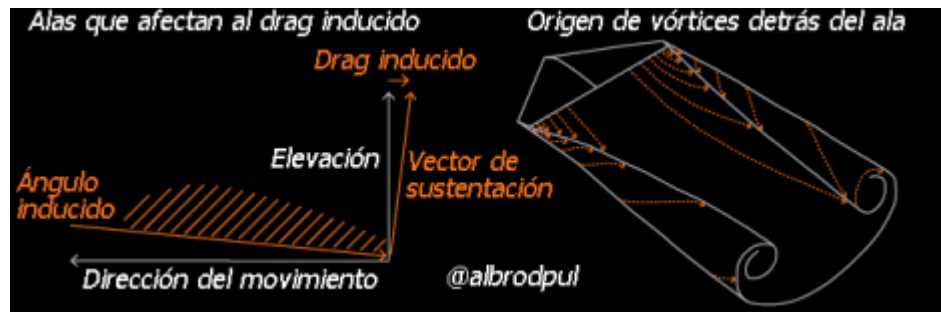
*Presión alta y baja del aire*



Nota: (Rodríguez, 2014)

(Rodríguez, 2014) De esta forma, el desplazamiento del aire de una zona de altas presiones a una de bajas presiones hace que choquen entre sí, originando un vórtice. Por tanto, cuanto mayor sea el vórtice generado, mayor será la resistencia inducida.

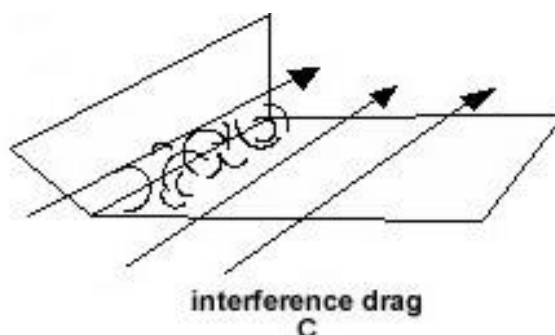
Estos vórtices ocurren tanto en alas de avión, como en las de los coches de Fórmula 1 incluso existiendo endplates que se encargan de reducir este tipo de resistencia inducida. Cabe añadir que las energías cinéticas de estas espirales actúan en sentido opuesto a la dirección en que se desplaza el objeto, siendo el motor el encargado de compensar las pérdidas producidas por este drag. (Rodríguez, 2014)

**Figura 11.***Drag inducido*

Nota: (Rodríguez, 2014)

Una aleta rectangular crea vórtices más severos que un ala cónica o elíptica, es por ello que las alas actuales tienen forma cónica. Un ala rectangular produce entre un 5-15% más vórtices que un ala cónica, por ello, algunos aviones y coches emplean endplates, de forma que evite en cierta medida la formación de estos, sin que haya un sistema definitivo que evite que se generen. (Rodríguez, 2014)

(Rodríguez, 2014) La comprensión de la relación entre la velocidad y el drag es importante a la hora de calcular la máxima durabilidad y el rango del aeroplano o el coche de competición. Cuando el drag es mínimo, la potencia necesaria para contrarrestar la resistencia también es mínimo.

**Figura 12.***Interferencia del Drag*

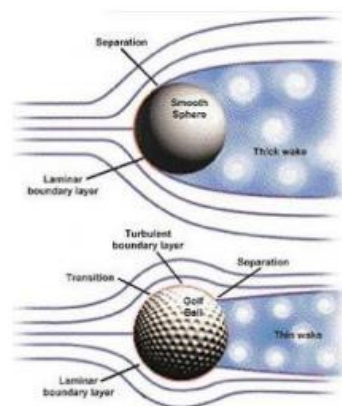
Nota: (Rodríguez, 2014)

### 2.4.2. Vórtices

El arrastre es la fuerza que contraviene en la dirección del empuje de un coche y por ello no es una fuerza deseable. La mayoría de la fuerza de arrastre es generada en la parte trasera del vehículo, cuando la capa límite se separa, su grosor de desplazamiento aumenta bruscamente, esto modifica el flujo potencial exterior y el campo de la presión; es por ello que es necesario disminuir el área de la región de la estela, esto se podría conseguir provocando que el fluido permanezca más junto y reducido en la zona de baja presión en la zona posterior del turismo. Esta manera puede no ser la única de conseguir una disminución en el área de la región de la estela. Un dispositivo que puede reducirlo eficazmente sería aquel que crea turbulencias en la capa límite de modo que el flujo presente más energía. Esta situación también se ve en el diseño de pelotas de golf. Los agujeros en la superficie de la pelota de golf provocan en la capa límite unas turbulencias que reducen el flujo de separación detrás de ella. Causan un cambio del número de Reynolds crítico (transición de laminar a capa límite turbulenta). (Queralt, 2017)

### Figura 13.

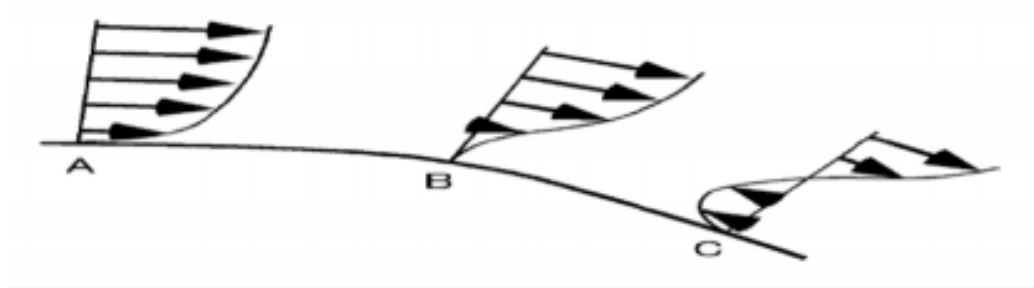
*Turbulencia*



Nota: (Queralt, 2017)

En la separación del flujo, el arrastre de presión es el responsable de la mayoría de la fuerza de arrastre. A fin de reducir el arrastre del objeto, la región de la estela detrás del mismo debe reducirse. Esto se puede llevar a cabo aerodinamizando la forma del objeto o usando otros dispositivos mecánicos: veletas, descargando fluido de velocidad alta, succión, generadores de vórtices. (Queralt, 2017)

Los generadores de vórtices son rampas o cuñas que se colocan justo en la zona anterior al punto de separación de la capa límite. Los generadores de vórtices son pequeñas piezas que pueden ser de diferente geometría que se extienden perpendicularmente sobre la superficie en la que se encuentran. Se pueden colocar múltiples generadores y son típicamente de la altura de la capa límite. Son los responsables de transportar momento del flujo de corriente libre hacia la capa límite. Esta mezcla de la capa límite y fluido de corriente libre puede retrasar la separación y disminuir la región de la estela detrás del objeto. Los generadores de vórtices realmente añaden una pequeña cantidad de arrastre debido al arrastre de presión visto en el propio generador del vórtice, sin embargo, el arrastre total del sólido se ve disminuido, en gran parte por el efecto de una separación más tardía de la capa límite. Los generadores de vórtices se usan mayoritariamente en las alas de los aviones, ya que de esta manera se puede controlar la capa límite y su separación, y esto le permite moverse un poco más rápido para mantenerse al corriente del objeto. Con una capa límite que permanece cerca de la superficie del ala, el avión es más fácil de controlar. También se pueden utilizar en los coches; el fluido que recorre el coche, por la forma del mismo coche, tiende a no permanecer todo el rato adjunto al vehículo, especialmente en la parte posterior. Al introducir los VG, se creará flujo inverso que actuará contra el flujo principal, como se puede observar en el punto C de la figura. (Queralt, 2017)

**Figura 14.***Flujo de aire*

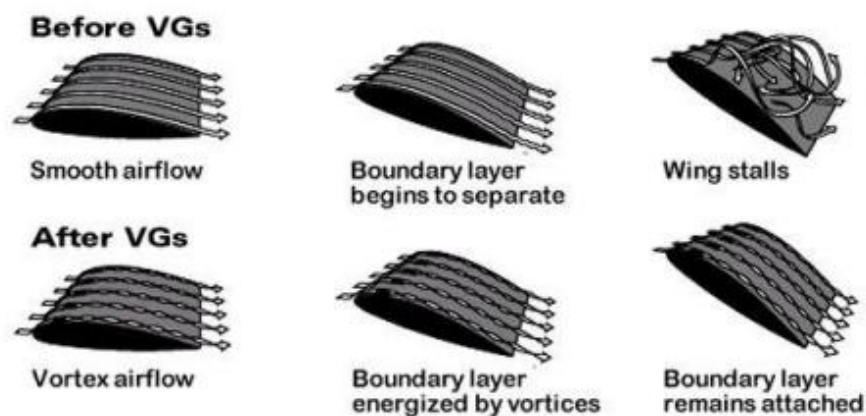
Nota: (Queralt, 2017)

El punto B es el punto de separación donde el punto de baja presión y el momento de la capa límite se equilibra. Con la adición de los generadores de vórtices, el momento es mezclado de la región superior a la región inferior de la capa límite y entonces el punto de separación se mueve para abajo. Mover el punto de la separación para abajo lleva a cabo dos cosas: estrecha la región de baja presión que causa el arrastre y aumenta la presión de la región de la separación del flujo. Estos dos efectos juntos disminuyen el arrastre total del vehículo. Ahora que los factores implicados en la creación del arrastre se han analizado, se procederá a analizar qué es lo que se puede hacer para disminuirlo. Mientras la densidad de aire y la velocidad del vehículo no se pueden cambiar, el área frontal y el coeficiente de arrastre pueden ser modificados. Reducir la altura y la anchura del coche conllevan la reducción del área frontal, pero hay un límite de cómo pequeño esta área puede ser ya que la gente debe ser capaz de sentarse cómodamente dentro del vehículo. Por lo tanto, el método más adecuado para disminuir el arrastre es bajar el coeficiente de arrastre del coche. El coeficiente de arrastre de un vehículo depende predominantemente de la forma del mismo. Por lo tanto, los diseñadores del vehículo cambian aspectos específicos de la forma del cuerpo del vehículo a fin de reducir el arrastre aerodinámico total y así mejorar las

prestaciones. Un método simple que disminuya los efectos de arrastre es construir el cuerpo del coche como una forma muy aerodinamizada, como en un coche de la Fórmula 1 o un coche de carreras. Esta forma aerodinamizada ofrecería la resistencia mínima para expedir el empuje generado por el coche, y de ahí sería propenso al arrastre mínimo. No obstante, un turismo no tiene estas formas aerodinámicas, ya que tampoco es su función, lo que conlleva que posean un coeficiente entre 0.3 a 0.5. De ahí, que se haya que encontrar otro método de reducir los efectos de arrastre. (Queralt, 2017)

**Figura 15.**

*Formas aerodinámicas*



Nota: (Queralt, 2017)

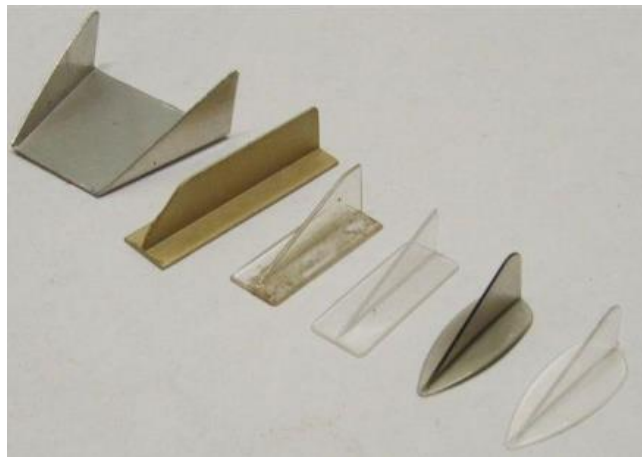
Los generadores de vórtices son dispositivos de control de la capa límite. El flujo laminar está bien porque no crea mucho arrastre de fricción, sin embargo, no ayuda que no lleve mucho ímpetu, y por lo tanto se separará. El flujo turbulento produce más arrastre de fricción, pero lleva más resistencia a la separación del flujo. Cada generador de vórtices crea un muy delgado hilado de vórtices en la punta superior que lleva mayor energía e ímpetu a la capa límite. Esta energía por su parte crea la turbulencia que retrasa la separación. (Queralt, 2017)

### 2.4.3. Tipos de Vórtices

Son varias las formas y diseños que se pueden usar a fin de generar vórtices para mejorar las condiciones de la capa límite. No existe un único diseño, en cada caso particular se pueden implementar diferentes geometrías del VG, no obstante, no sirve cualquier geometría, ni cualquier disposición de los mismos encima del turismo. En la siguiente figura se puede observar diferentes modelos de VG. (Queralt, 2017)

**Figura 16.**

*Tipos de vórtices*



Nota: (Queralt, 2017)

Los generadores de vórtices se pueden clasificar en dos categorías principales: tipo de veleta y Wheeler. Los de tipo de veleta, son aquellos que se pueden montar en cualquier ángulo (todos iguales) u opuestos entre sí. Del tipo Wheeler, son aquellos formados como espoletas o como dos rampas consecutivas conocidas como dobletes. En este caso se ha optado por un diseño tipo delta que es de tipo veleta, ya que era un diseño sencillo, hecho que no dificultaba mucho al diseñarlo, además no tiene un área frontal muy grande, factor que provocará que induzca un arrastre extra menor y también porque pensando un poco en el diseño del turismo, se ha pensado que quizás era de los menos aparatosos. Más adelante

se especificarán las dimensiones del mismo. (Queralt, 2017)

#### **a) Airtab**

Un Airtab es un generador de vórtices de tipo espoleta, se diseña especialmente para disminuir el arrastre aerodinámico de los remolques del tractor. Los Airtabs se fabrican de modo que el dispositivo se extiende fuera de la capa límite sin ningún borde puntiagudo. Son aproximadamente 25mm de alto, 100mm de largo, y 125mm de ancho (Queralt, 2017)

#### **Figura 17.**

*Vórtice airtab*



Nota: (Queralt, 2017)

#### **b) Aleta**

Los generadores de vórtices tipo aleta son aquellos que la parte que se levanta forma exactamente 90 grados con la superficie plana. Un dispositivo de vórtices tipo aleta como bien su nombre indica tiene una forma que recuerda a una aleta de tiburón. (Queralt, 2017)

#### **Figura 18.**

*Aleta*





Nota: (Queralt, 2017)

### **c) Rectangular**

El generador de vórtices rectangular es simplemente una placa plana en la cual la zona perpendicular es también una placa plana de mayor superficie en la cual se monta. Se puede montar en la dirección paralela al fluido o con una cierta orientación. Si hay un ángulo, los generadores de vórtices pueden compartir el mismo ángulo, o cada pareja de generadores se pueden montar en un ángulo igual pero opuesto. Este tipo de generador de vórtices se utiliza sobre todo si la referencia que se tiene es el grosor de la capa límite. Son eficaces en el control de la separación usando un flujo localizado en una corta distancia, además generan una pequeña cantidad de arrastre debido a su talla. Acostumbran a ser 30 mm de alto que suele estar cerca de la altura de la capa límite, 60 mm de largo que es dos veces la altura y unos 2mm de grueso. (Queralt, 2017)

### **d) Delta**

El siguiente tipo de generador de vórtices son los llamados delta. Este tipo de generador

provoca que se pueda extender la capa límite sin crear demasiado arrastre ya que carece de mucha superficie para ello. La punta del extremo es todo lo que necesita prácticamente para generar el remolino o vórtice. Es relativamente grueso en comparación con los similares a este tipo (5mm), pero sigue la misma regla que el generador de vórtices anterior donde la longitud es dos veces la altura. Estos generadores de vórtices son fáciles de fabricar y proporcionan un vórtice sustancial en la punta (Queralt, 2017)

#### **2.4.4. CX versus apoyo aerodinámico**

Cuando se habla de aerodinámica todo el mundo piensa en la eficacia como escasa resistencia al viento, lo que se traduce en menor consumo y menos sonoridad (y en el caso de las motos, más comodidad). Pero hay otra cosa que, en competición, importa mucho más: el apoyo aerodinámico. En los circuitos vas mucho más tiempo en curva que en recta y es ahí donde sacas ventaja. (Motor1pro, 2015)

Un Fórmula 1 actual es lento en recta frente a una MotoGP o frente a coches de Fórmula 1 de los años 40, que no tenían alerones. Pero en curva, gracias a los citados alerones y al famoso “efecto suelo” (explicar esto lo dejamos para otro día) son extraordinariamente eficaces, pues la fuerza centrífuga actúa sobre el peso real (aproximadamente 750/800 kg) pero el peso aparente, y por tanto la adherencia, llega a triplicarse. Es como si llevaran un imán. (Motor1pro, 2015)

Las motos no pueden llevar alerones ni efecto suelo, por la sencilla razón de que se inclinan para un lado, para otro, y no siempre igual. Por esto las motos no cuentan con apenas apoyo aerodinámico y por eso, y por los neumáticos más anchos, un Fórmula 1 es

mucho, pero mucho más rápido que una MotoGP. (Motor1pro, 2015)

(Justo esta temporada primero Ducati y luego Yamaha han puesto algo parecido a “alerones”, más bien pequeños “flaps”; son relativamente útiles en recta para cargar de peso la rueda delantera y prácticamente inútiles con curva: Sólo tiene que ver la moto de frente en curva para comprobar que con la inclinación de la moto poco apoyo pueden dar).

(Motor1pro, 2015)

### **Figura 19.**

#### *Aerodinámica*



Nota: (Motor1pro, 2015)

#### **2.4.5. Ventajas y desventajas del aire**

En una moto, a velocidades elevadas, cerca del 80 por ciento de la potencia se consume en hacer “un agujero en el aire”. Con lo cual, parece que el aire es el enemigo número 1... pero no del todo. Como todo en esta vida, tiene cosas malas y buenas. (Motor1pro, 2015)

### **a) Ventajas**

Es imprescindible para refrigerar la moto, no sólo el motor, sino los frenos, el escape, etc. Aunque tu moto sea refrigerada por agua, no te engañes, lo que enfría es el aire, el agua solo lleva el calor desde el motor poco eficiente para refrigerarse, por muchas aletas que pongas hasta el radiador muy eficiente para refrigerar. (Motor1pro, 2015)

Es el principal alimento del motor, pues el consumo en volumen de aire es unas 14 veces superior al de gasolina. Además, jugando con la entrada de aire y los famosos “flujos internos” puedes conseguir que, a velocidades altas, el aire “empuje” a la mezcla hacia el motor mejorando el rendimiento. (Motor1pro, 2015)

### **b) Desventajas**

La resistencia que opone al avance, que crece en progresión geométrica a medida que aumenta la velocidad. Los rebufos y remolinos que afectan al piloto, que además de ser perjudiciales para el CX pueden llegar a hacer imposible superar una cierta velocidad. (Motor1pro, 2015)

(Motor1pro, 2015) En invierno está frío... y en verano caliente. Como dicen las abuelas, en moto la carrocería eres tú y el aire a gran velocidad incrementa la sensación de frío e incluso de calor.

## **2.5. Software**

### 2.5.1. CAD

(D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018) “Diseño asistido por computadora o CAD es el uso de sistemas informáticos para ayudar en la creación, modificación, análisis, o la optimización de un diseño y se utiliza para:

- Aumentar la productividad del diseñador.
- Mejorar las comunicaciones a través de documentación.
- Crear una base de datos para la fabricación.
- Mejorar la calidad del diseño.
- La exportación de archivos CAD es a menudo en forma de archivos electrónicos para impresión, mecanizado, u otras operaciones de fabricación”.

#### Figura 20.

*Archivos CAD*



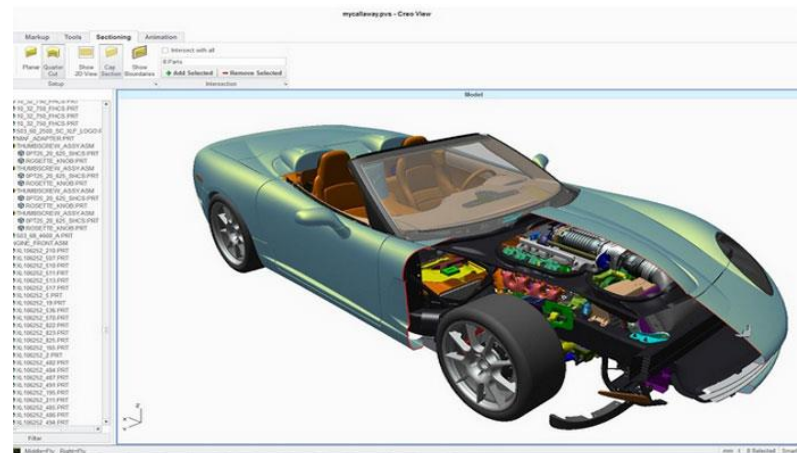
Nota: (C., 2019)

El diseño asistido por computadora se utiliza en muchos campos. Su uso en el diseño de sistemas electrónicos que se conoce como la automatización de diseño electrónico, o EDA.

En el diseño mecánico se le conoce como la automatización de diseño mecánico MDA o diseño asistido por ordenador CAD, que incluye el proceso de creación de un dibujo técnico con el uso de programas informáticos. (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

**Figura 21.**

*CAD para el diseño mecánico*



Nota: (C., 2019)

El Software CAD para el diseño mecánico utiliza cualquiera de los gráficos basados en vectores para representar los objetos de elaboración tradicional, o también puede producir gráficos de trama que muestran la apariencia general de los objetos diseñados. Sin embargo, se trata de algo más que formas. Al igual que en la elaboración manual de los dibujos técnicos y de ingeniería, la salida del CAD debe transmitir información, tales como materiales, procesos, dimensiones y tolerancias, según las convenciones específicas de la aplicación (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

Se puede utilizar para diseñar curvas y figuras en dos dimensiones (2D) el espacio; o curvas, superficies y sólidos en el espacio tridimensional (3D).

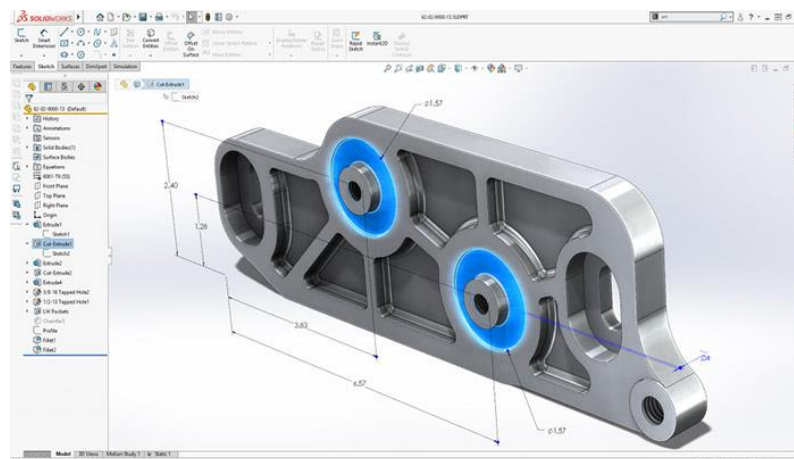
El Diseño asistido por computadora es un arte industrial importante que se utiliza

ampliamente en muchas aplicaciones, incluye:

- Automotriz.
- La construcción naval.
- La industria aeroespacial.
- El diseño industrial.
- Arquitectónico.

**Figura 22.**

*CAD animación.*



Nota: (C., 2019)

CAD es también ampliamente utilizado para producir la animación por ordenador para los efectos especiales en el cine, la publicidad y manuales técnicos, a menudo llamado DCC creación de contenido digital. La ubicuidad moderna y el poder de las computadoras significan que incluso las botellas de perfume y dispensadores de champú están diseñados utilizando técnicas desconocidas por los ingenieros de la década de 1960. Debido a su enorme importancia económica, CAD ha sido una fuerza impulsora importante para la

investigación en geometría computacional, gráficos por ordenador (tanto hardware como software), y la geometría diferencial discreta (D+S Diagnóstico y Soluciones, 2018).

### **2.5.2. CAE**

La ingeniería asistida por ordenador (CAE) consiste en el uso de software para simular el rendimiento con el objetivo de mejorar los diseños de los productos o de contribuir a la resolución de problemas de ingeniería para sectores muy diversos. Incluye la simulación, la validación y la optimización de productos, procesos y herramientas de fabricación. (Software, 2020)

Un proceso típico de CAE consta de una serie de pasos de pre procesamiento, resolución y pos procesamiento. En la fase de pre procesamiento, los ingenieros modelan la geometría (o una representación del sistema) y las propiedades físicas del diseño, así como el entorno en forma de cargas o limitaciones aplicadas. A continuación, el modelo se resuelve aplicando una fórmula matemática adecuada de la física subyacente. En la fase de pos procesamiento, los resultados se presentan al ingeniero para su revisión. (Software, 2020)

#### **a) Aplicaciones de la CAE**

(Software, 2020) Las aplicaciones de la CAE son compatibles con disciplinas o fenómenos de ingeniería muy diversos.

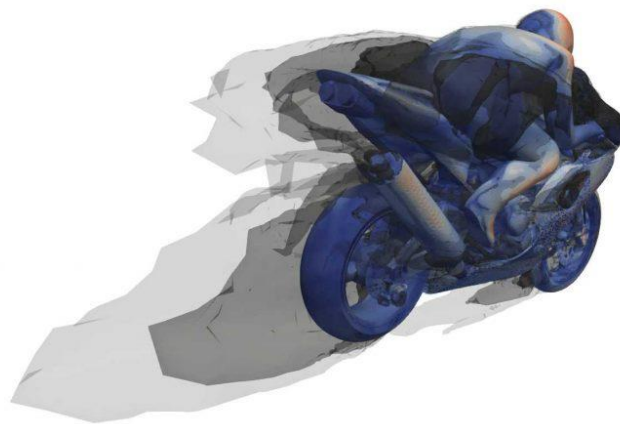
- Análisis de tensión y de dinámicas en componentes y ensambles mediante el análisis de elementos finitos (FEA).



- Análisis térmicos y de fluidos mediante la dinámica computacional de fluidos en 3D (CFD).
- Análisis de cinemática y dinámica de mecanismos (dinámica de cuerpos múltiples).
- Análisis acústicos mediante el FEA o un método de elementos límite (BEM).
- CAE 1D o simulación de sistemas mecatrónicos para un diseño de sistemas mecatrónicos multidominio.
- Simulación de eventos mecánicos (MES).
- Análisis de sistemas de control.
- Simulación de procesos de fabricación como la fundición, el moldeo o el troquelado por prensa.
- Optimización del producto o proceso.

**Figura 23.**

*Animación CAE.*



Nota: (simulations, 2019)

**b) Ventajas de la CAE**

Entre los beneficios de la CAE se encuentran la reducción de los costes y del tiempo de

desarrollo del producto, con una mejora de la calidad y de la durabilidad del producto. Las decisiones de diseño se pueden tomar sobre la base de su impacto en el rendimiento. Los diseños se pueden evaluar y perfeccionar gracias a las simulaciones por ordenador en lugar de realizar pruebas con prototipos físicos, lo cual permite un ahorro de tiempo y dinero. (Software, 2020)

La CAE puede proporcionar información sobre el rendimiento en etapas más tempranas del proceso de desarrollo, cuando resulta más económico efectuar cambios en el diseño. La CAE ayuda a los equipos de ingeniería a gestionar el riesgo y a comprender las implicaciones en el rendimiento de sus diseños. La gestión integrada de datos y procesos de CAE amplía la capacidad de utilizar de forma efectiva la información sobre el rendimiento, así como de mejorar los diseños para una comunidad más amplia. (Software, 2020)

Los problemas relativos a la garantía se reducen gracias a la identificación y a la eliminación de posibles problemas. Si se integra correctamente en el desarrollo de productos y de la fabricación, la CAE puede permitir una resolución más temprana de los problemas, lo que puede reducir significativamente los costes asociados con el ciclo de vida del producto. (Software, 2020)

### 3. DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL CARENADO

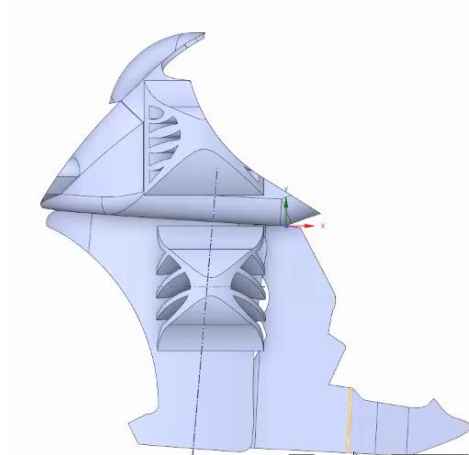
#### 3.1. Modelado del carenado

En el modelado del carenado se usó un software CAD, para la realización del carenado de la motocicleta que participo en la competencia Motostudent 2013-2014, en base a ella se realizara mejoras para la presente competencia Motostudent 2017-2018.

Procedemos a obtener la información técnica del carenado anterior y así realizar un boceto y modelado computacional.

**Figura 24.**

*Modelado del carenado*



Tomando en cuenta las mejoras que se van a realizar se procedió al modelado del carenado para la competencia Motostudent 2017-2018, y así visualizar el comportamiento de la biela en el análisis CAE.

#### 3.2. Diseño 3D

En el diseño del carenado se debe considerar ciertos detalles y restricciones de diseño que van detalladas en la normativa vigente de la competencia Motostudent.

**Figura 25.**

*Carenado 3D*



### **3.3. Simulación CAE.**

Mediante un software CAE se pudo realizar los diferentes análisis dinámicos que afectará al carenado de la motocicleta en dos velocidades diferentes a 100 Km/h y 150 Km/h y así nos permitirá visualizar el desempeño del modelo 3D. Este análisis nos permite obtener resultados muy cercanos a la realidad del comportamiento que tendrá nuestro diseño y las posibles fallas que podrían presentarse.

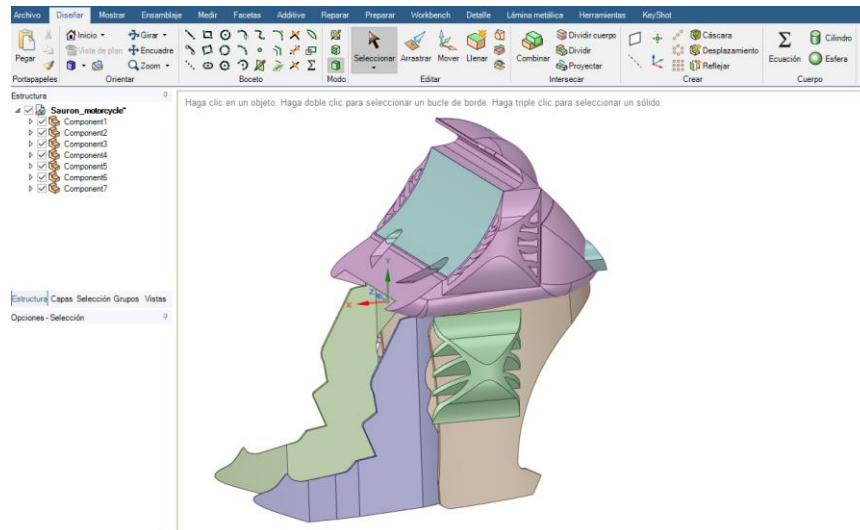
#### **3.3.1. Previo a la simulación**

Una vez realizado el ensamble del carenado procedemos a corregir los errores que se

pueden presentar durante el ensamble, para ello usamos el SpaceClaim.

**Figura 26.**

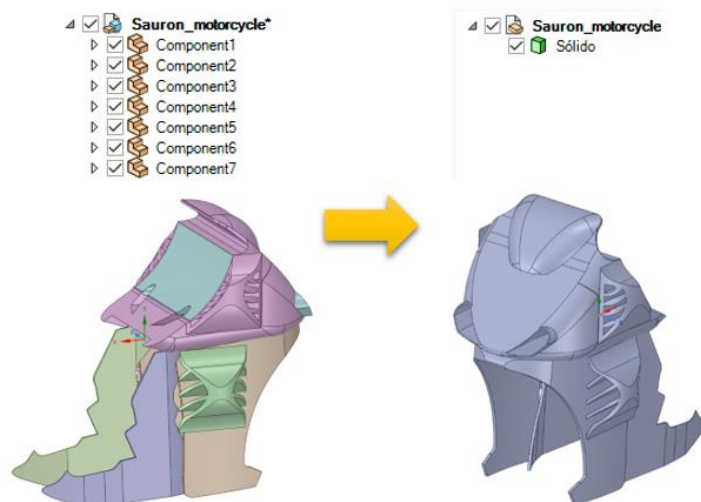
*Ensamble del carenado*



Una vez corregidos los errores de ensamble se procede a convertir en un solo cuerpo el ensamble del carenado.

**Figura 27.**

*Transformación a solido*



### 3.3.2. Durante la simulación

En Ansys Discovery Live obtenemos una gran variedad de opciones, de las cuales seleccionamos túnel de viento para realizar las simulaciones respectivas.

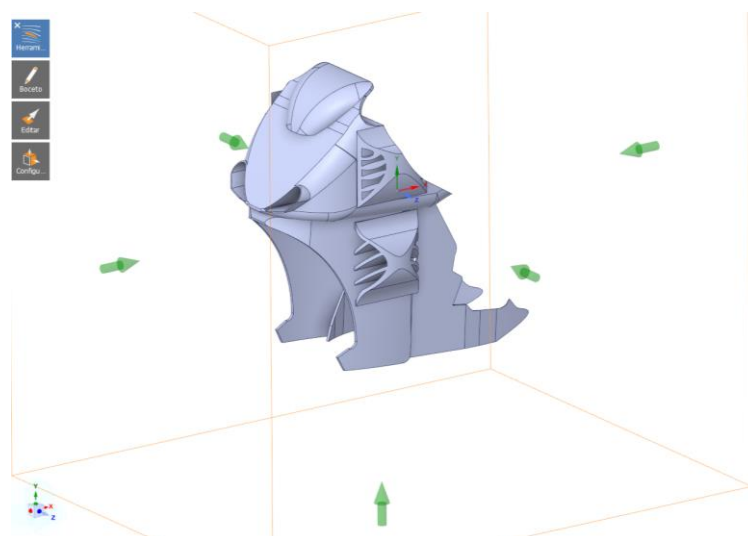
**Figura 28.** Opciones de simulación



Cargar en el entorno de Ansys el CAD del carenado. Observamos que existen flechas que delimitan los planos sobre los cuales podemos trabajar.

**Figura 29.**

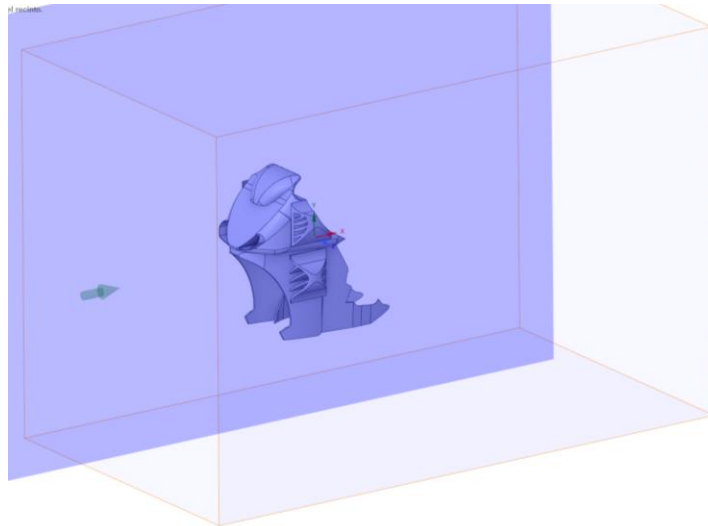
*Delimitación de planos*



Seleccionamos el plano sobre el cual se ejercerá las diferentes condiciones a las cuales será sometido el carenado.

**Figura 30.**

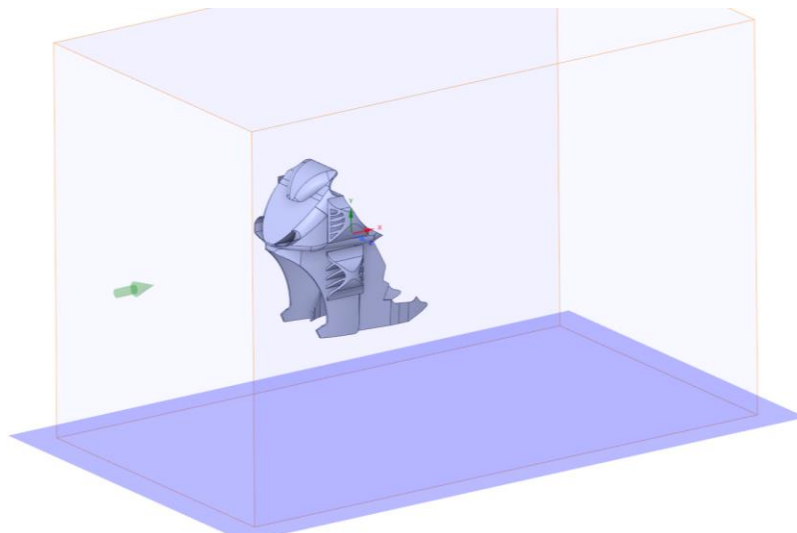
*Selección de plano*



Posteriormente seleccionamos el plano que será considerado como la superficie en que se encuentra ubicado el carenado.

**Figura 31.**

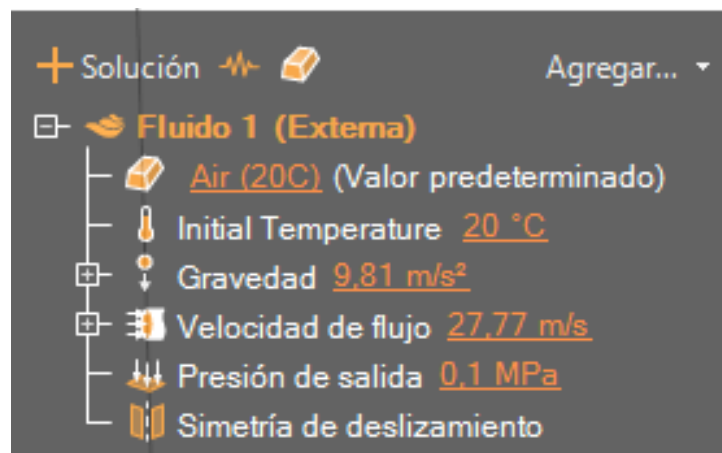
*Superficie base*



Cargamos los parámetros que afectaran directamente al carenado durante la simulación.

**Figura 32.**

*Parámetros iniciales*

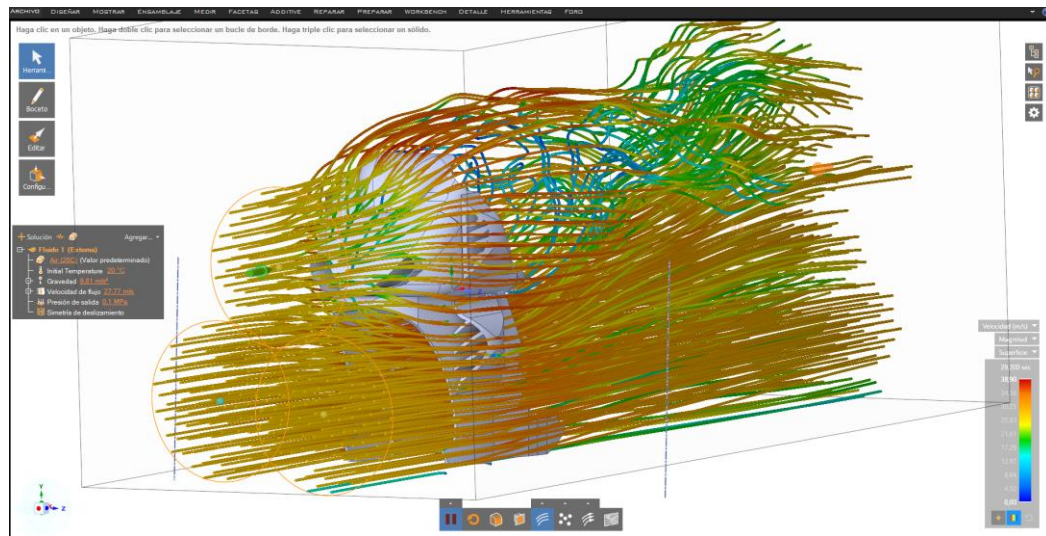


Procedemos con la simulación deseada y obtenemos los resultados para su posterior análisis.

**Figura 33.**

*Simulación CAE.*





## 4. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 4.1. Carenado anterior

Se debe realizar el análisis computacional al carenado anterior para obtener los resultados con los cuales procedemos a identificar las falencias, o puntos en los cuales podremos implementar una mejora en el diseño.

#### 4.1.1. Simulación a 100 Km/h

El primer estudio dinámico se lo realizo a una velocidad promedio que alcanzara la motocicleta durante la competencia. Para las siguientes simulaciones tendremos los siguientes datos iniciales.

Temperatura del aire = 20°C

Temperatura inicial = 20°C

Gravedad =  $9,81m/s^2$

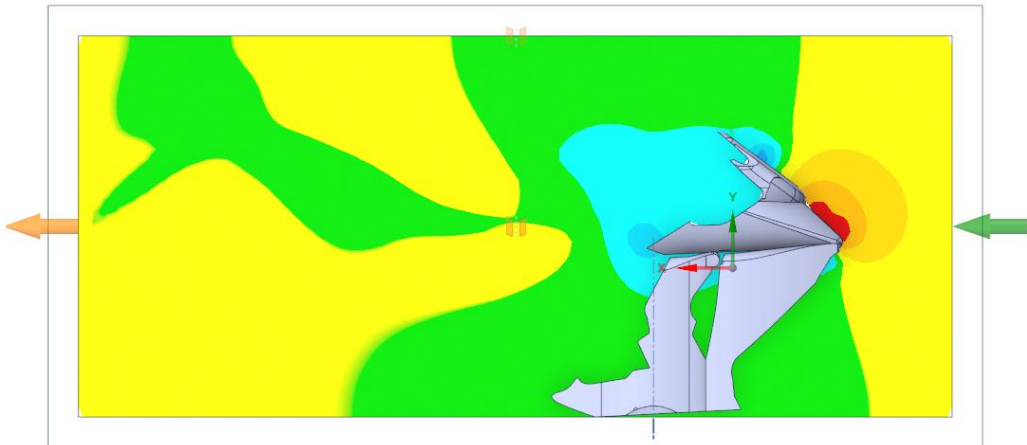
Velocidad de fluido =  $27,77m/s$

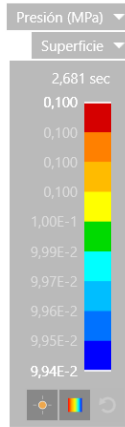
Presión de salida =  $0,1 MPa$

**a) Presión**

**Figura 34.**

*Presión carenado anterior a 100 Km/h*

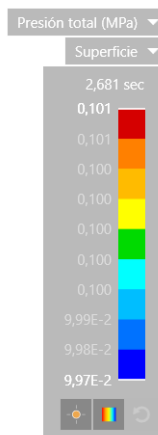
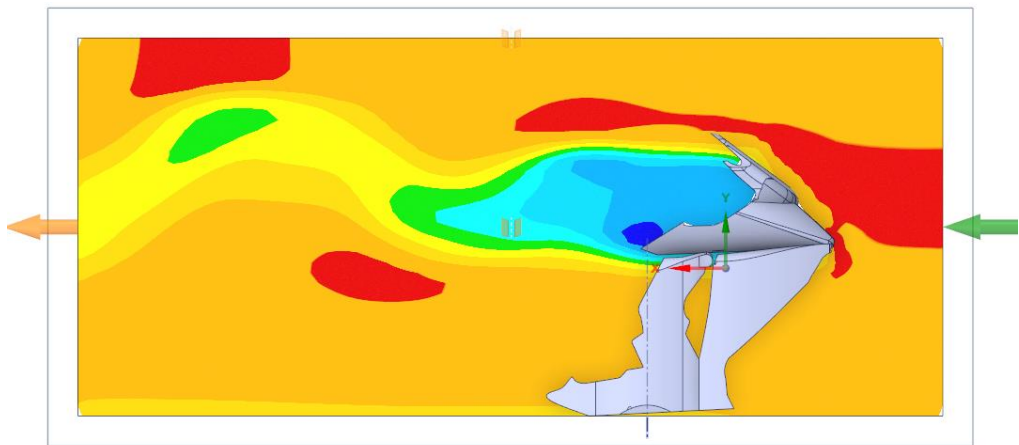




**b) Presión total**

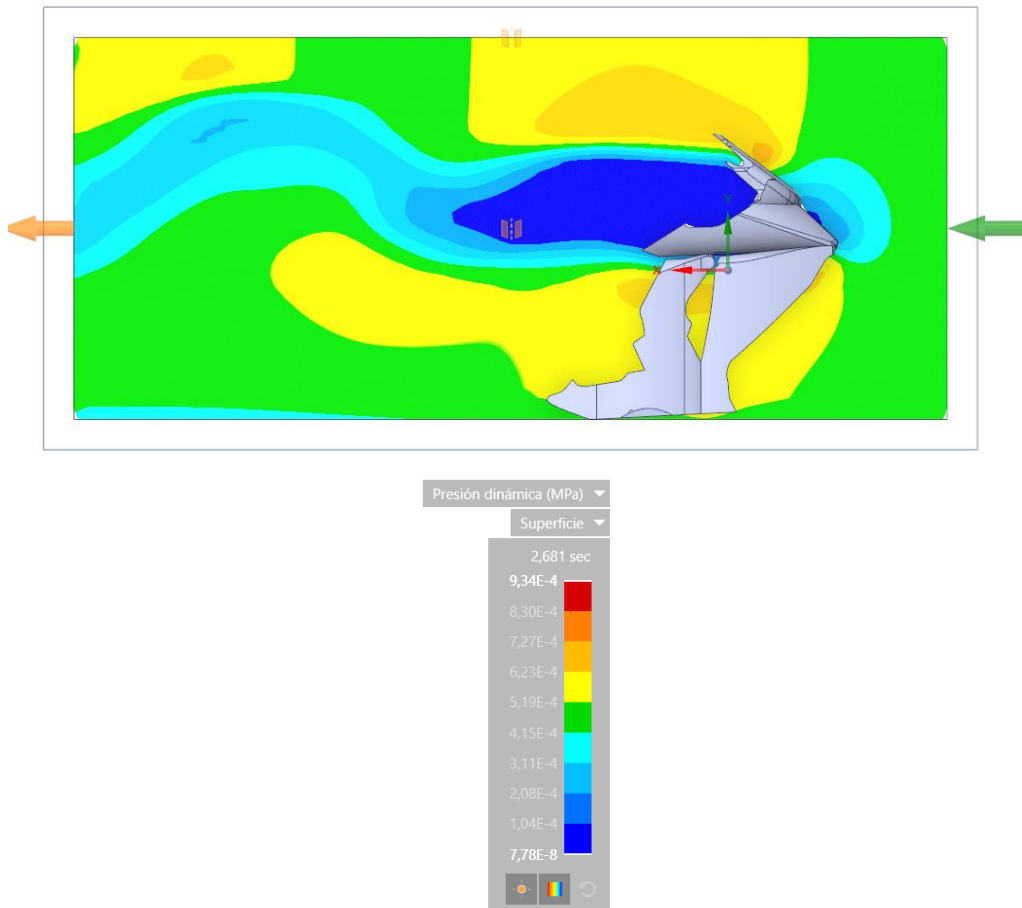
**Figura 35.**

*Presión total carenado anterior a 100 Km/h*

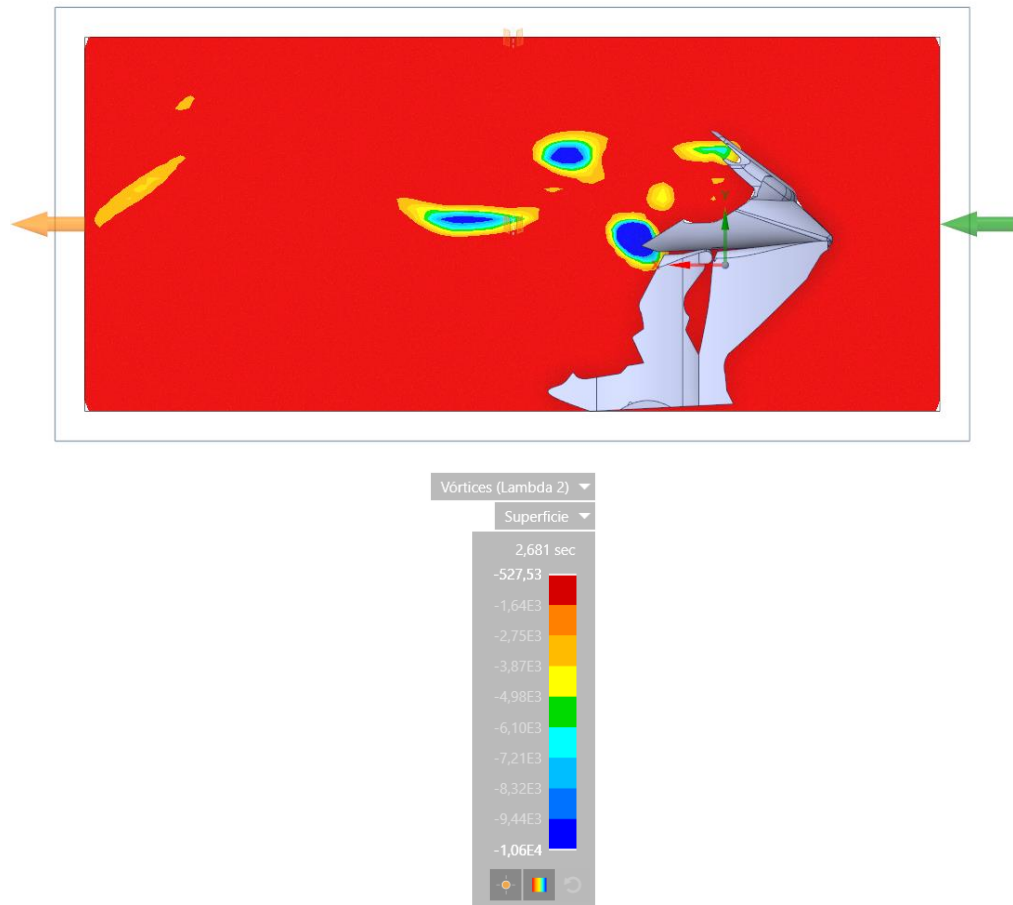


**c) Presión dinámica****Figura 36.**

*Presión dinámica carenado anterior a 100 Km/h*

**d) Temperatura****Figura 37.**

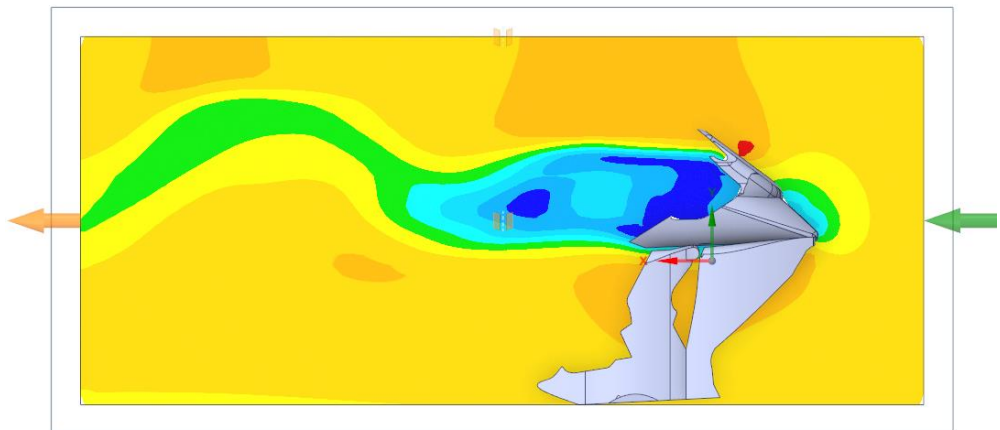
*Temperatura carenado anterior a 100 Km/h*

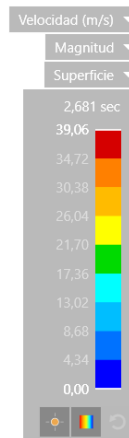


e) Vórtice

Figura 38.

Vértice carenado anterior a 100 Km/h





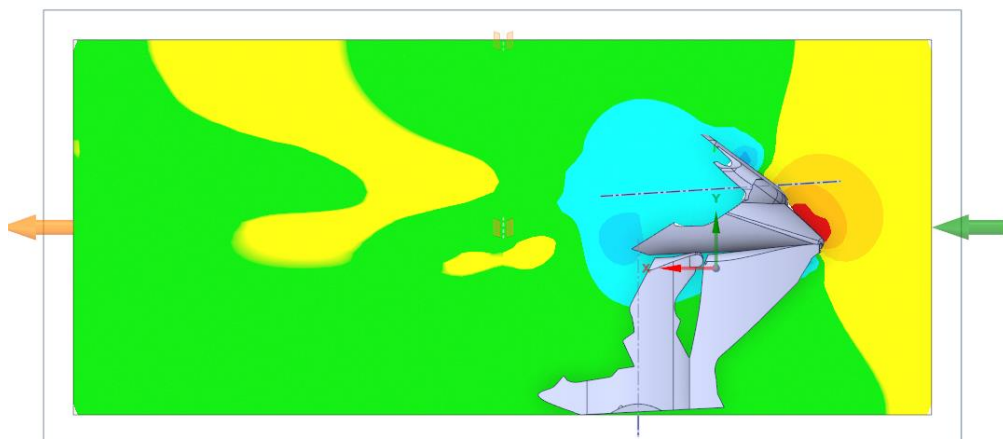
#### 4.1.2. Simulación a 150 Km/h

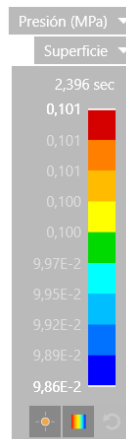
El segundo análisis computacional se basa en la velocidad máxima promedio que se pretende alcanzar durante la competencia, bajo las mismas condiciones iniciales planteadas anteriormente.

##### a) Presión

##### Figura 39.

*Presión carenado anterior a 150 Km/h*

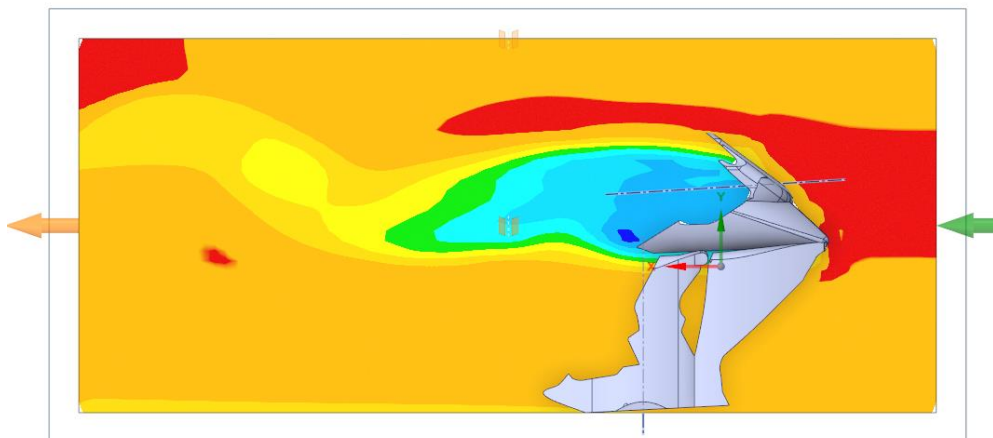


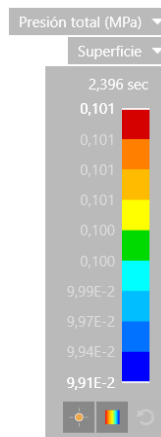


## b) Presión total

**Figura 40.**

*Presión total carenado anterior a 150 Km/h*

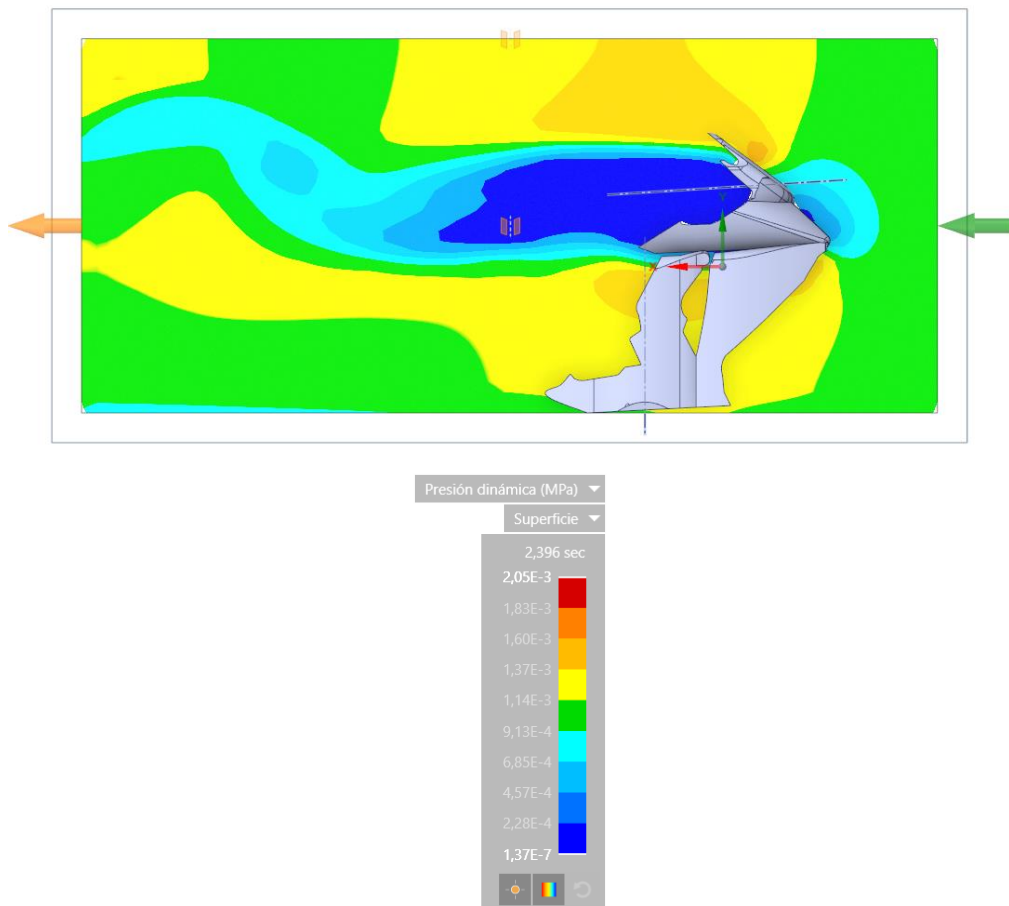




### c) Presión dinámica

Figura 41.

*Presión dinámica carenado anterior a 150 Km/h*

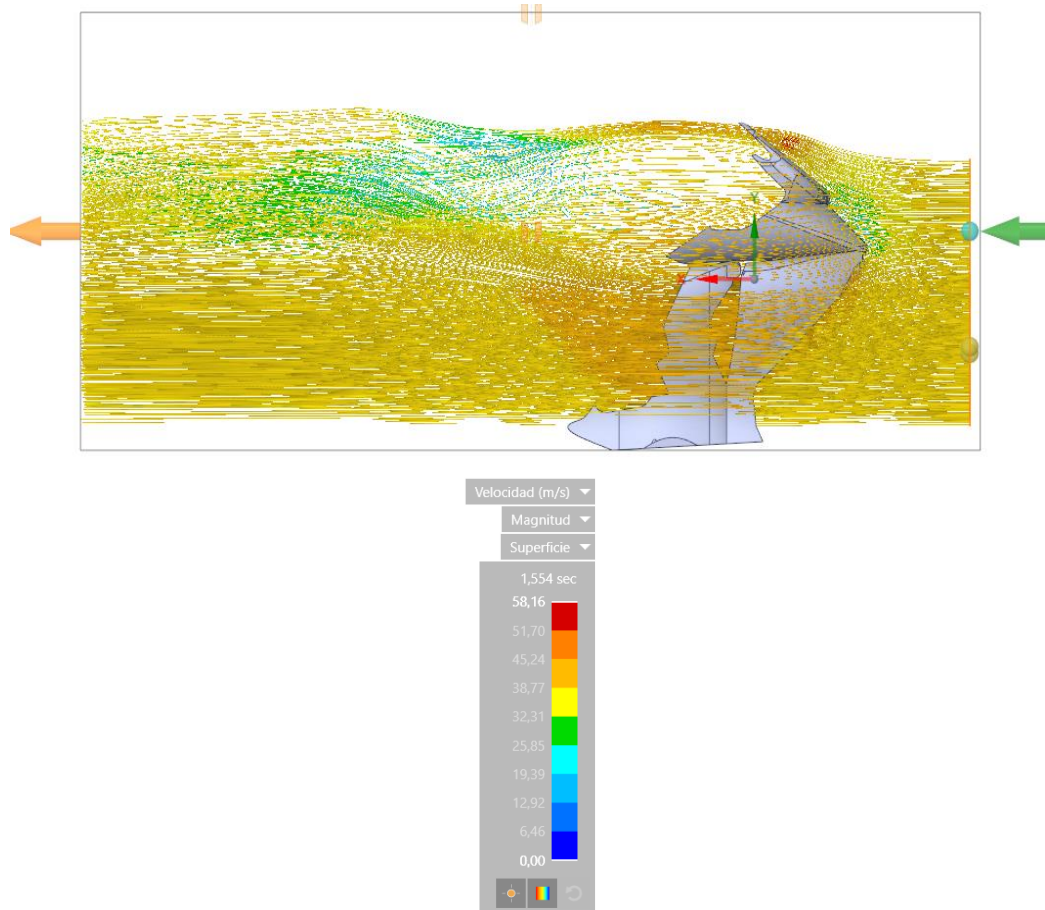


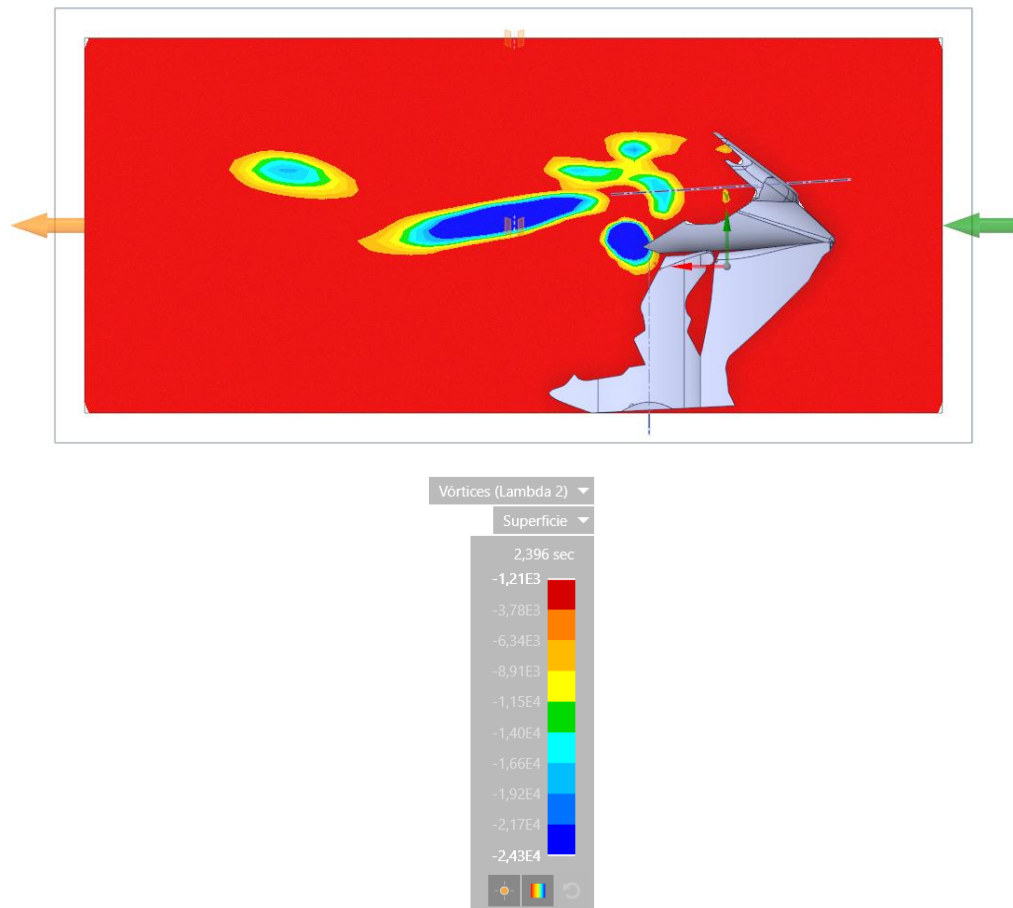


## d) Velocidad

Figura 42.

*Velocidad carenado anterior a 150 Km/h*



**e) Vórtice****Figura 43.***Vértice carenado anterior a 150 Km/h***4.2. Carenado mejorado**

Una vez obtenido los resultados de las simulaciones en el carenado anterior se procede a realizar las mejoras correspondientes y a crear el nuevo diseño del carenado.

**4.2.1. Simulación a 100 Km/h**

El primer estudio dinámico en el nuevo carenado se lo realizo a una velocidad promedio que alcanzara la motocicleta durante la competencia. Para las siguientes simulaciones tendremos los siguientes datos iniciales.

Temperatura del aire = 20°C

Temperatura inicial = 20°C

Gravedad =  $9,81m/s^2$

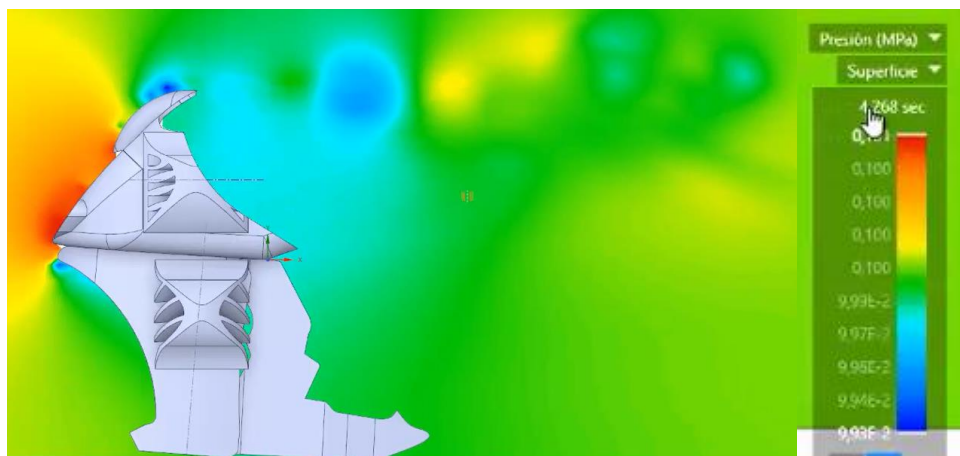
Velocidad de fluido =  $27,77m/s$

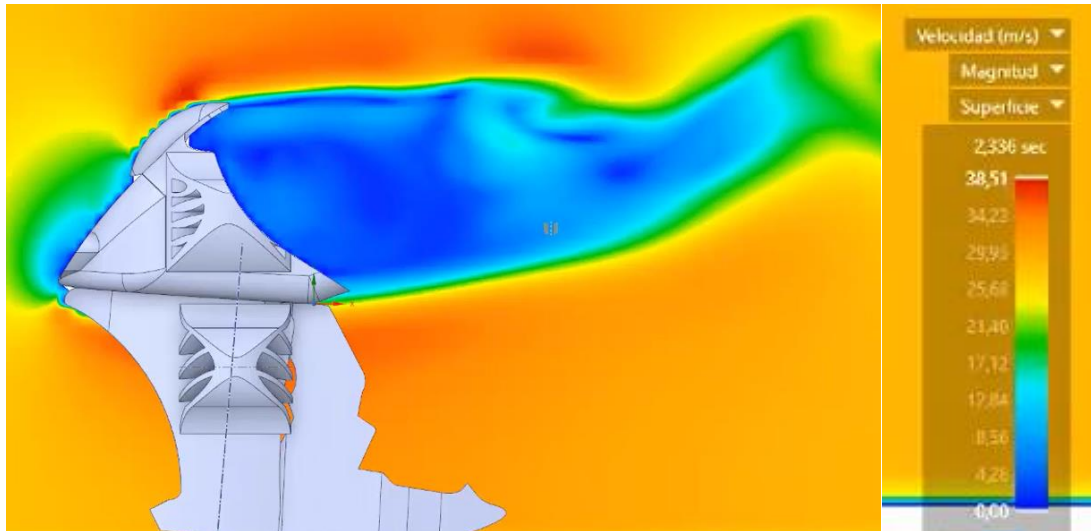
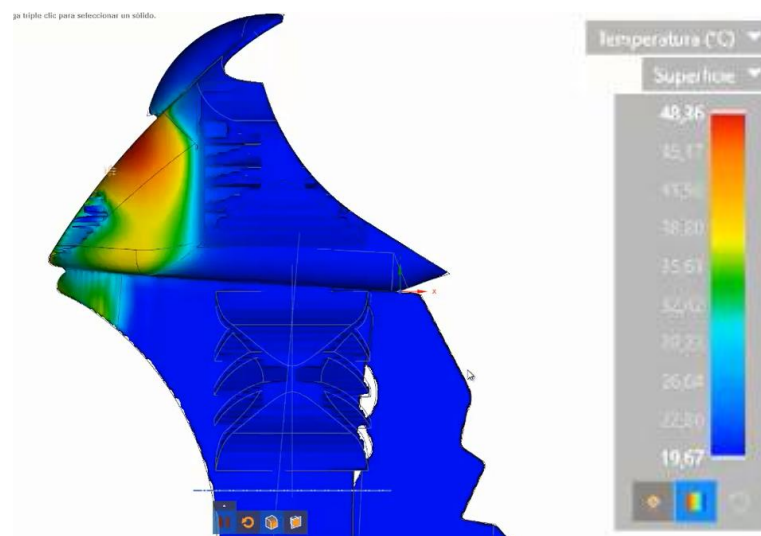
Presión de salida = 0,1 MPa

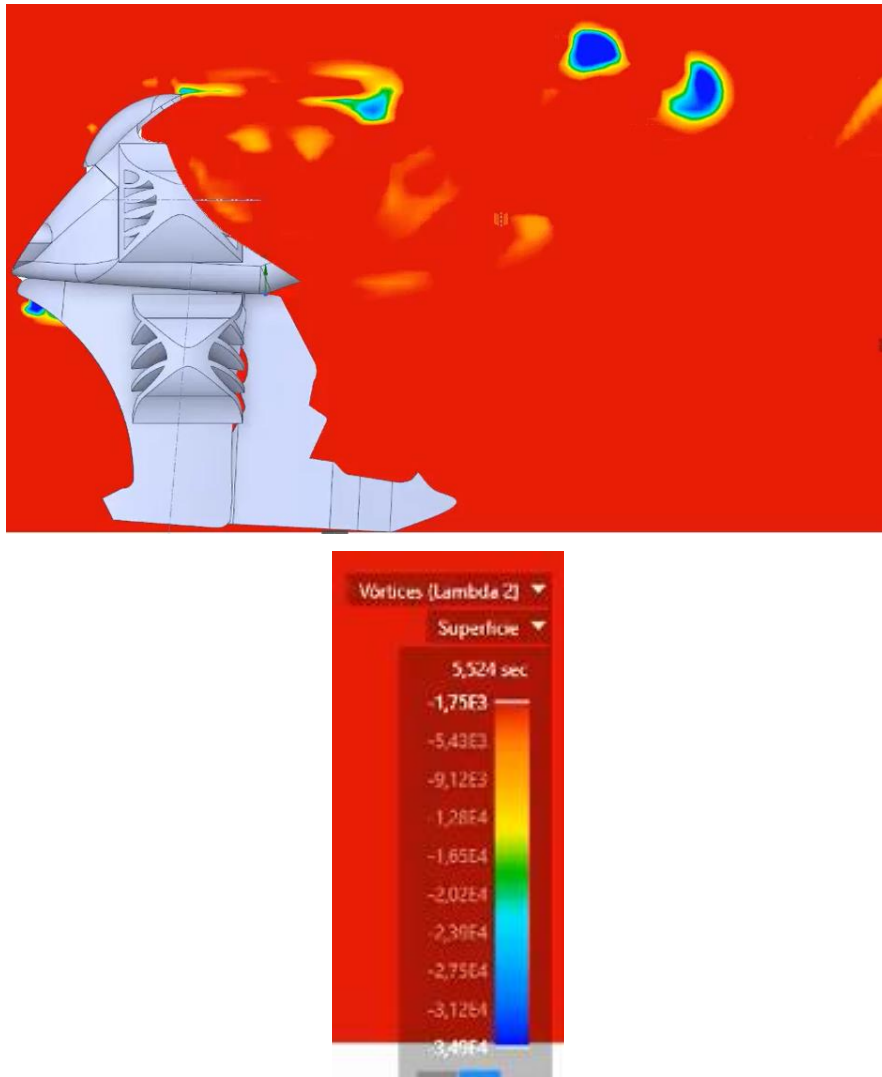
#### a) Presión

#### Figura 44.

*Presión carenado mejorado a 100 Km/h*



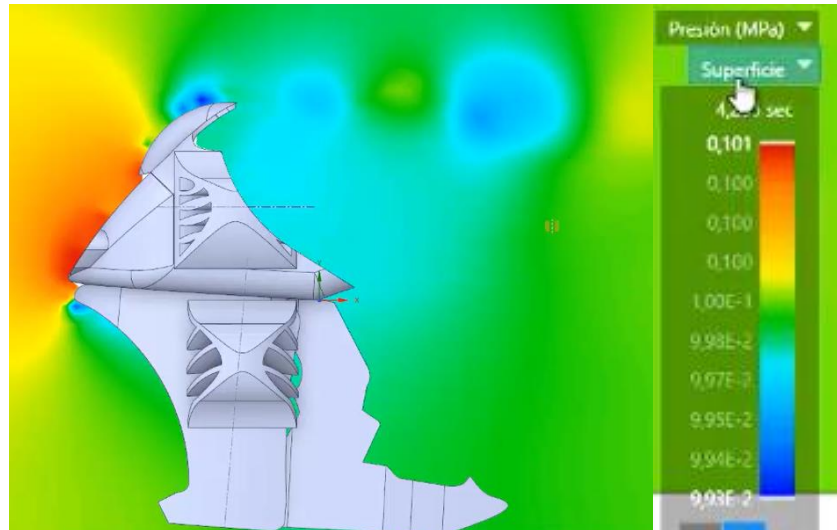
**b) Velocidad****Figura 45.***Velocidad carenado mejorado a 100 Km/h***d) Temperatura****Figura 46.***Temperatura carenado mejorado a 100 Km/h*

**e) Vórtice****Figura 47.***Vórtice carenado mejorado a 100 Km/h***4.2.2. Simulación a 150 Km/h**

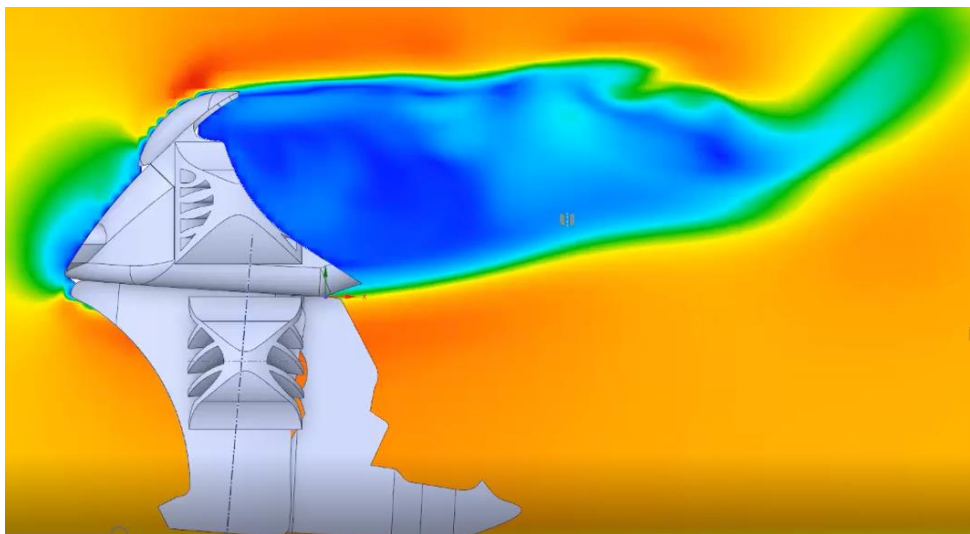
El segundo análisis computacional se basa en la velocidad máxima promedio que se pretende alcanzar durante la competencia, bajo las mismas condiciones iniciales planteadas anteriormente.

**a) Presión****Figura 48.**

*Presión carenado mejorado a 150 Km/h*

**b) Velocidad****Figura 49.**

*Velocidad carenado mejorado a 150 Km/h*

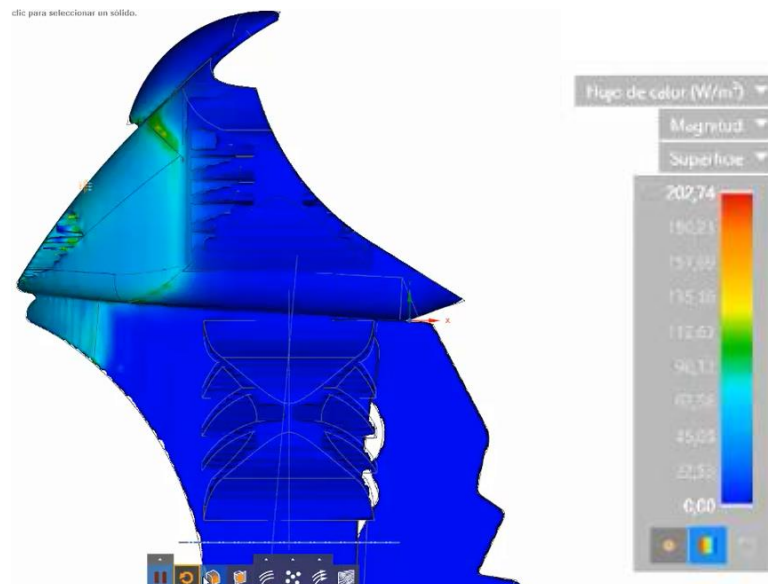




#### d) Temperatura

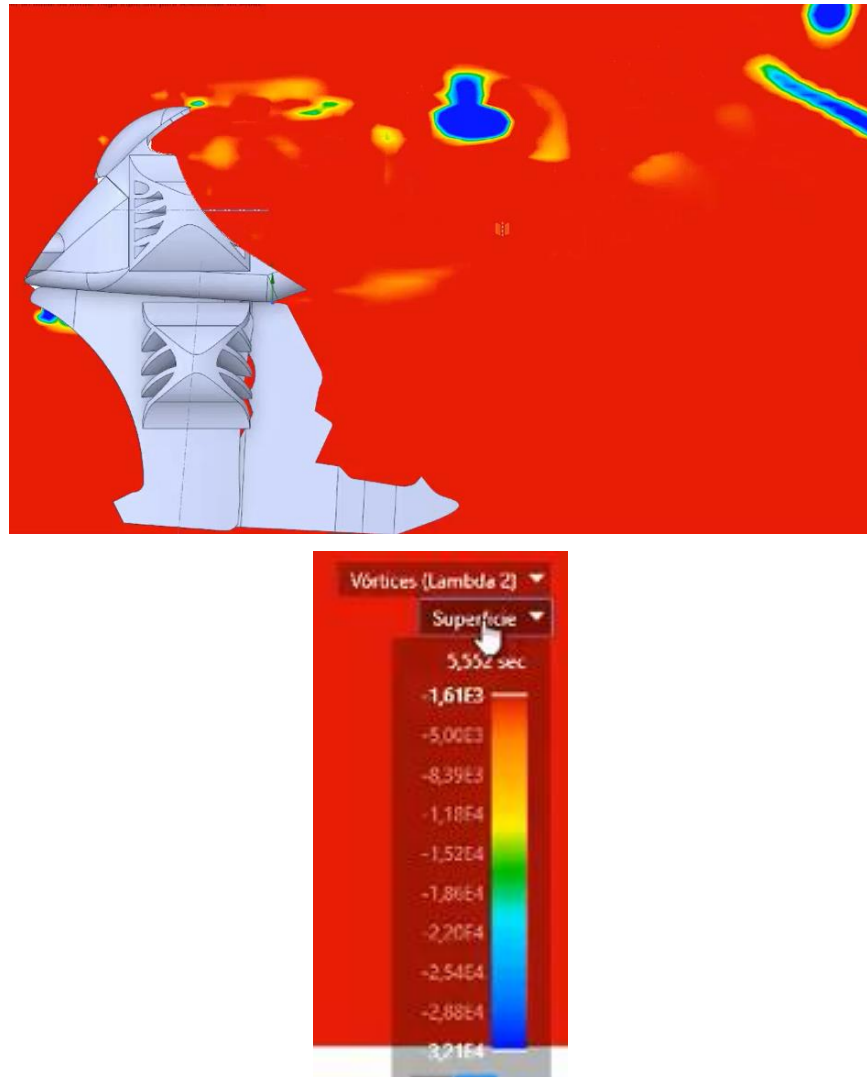
Figura 50.

*Temperatura carenado mejorado a 150 Km/h*



**e) Vórtice****Figura 51.**

*Vórtice carenado mejorado a 150 Km/h*

**4.3. Viabilidad de diseño.**

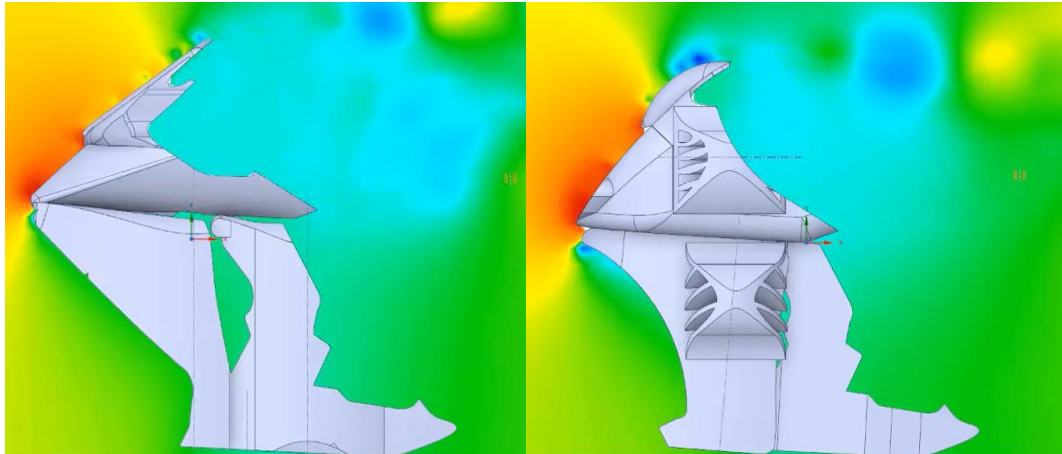
Se realizó un análisis del comportamiento dinámico del nuevo carenado durante la simulación, en relación con el carenado anterior. En la siguiente figura podemos observar la diferencia entre la presión ejercida sobre la parte frontal del carenado, en el modelo



mejorado se ejerce una mayor presión del aire sobre la parte superior lo cual contribuye a que el neumático delantero permanezca en contacto con el suelo durante la aceleración.

**Figura 52.**

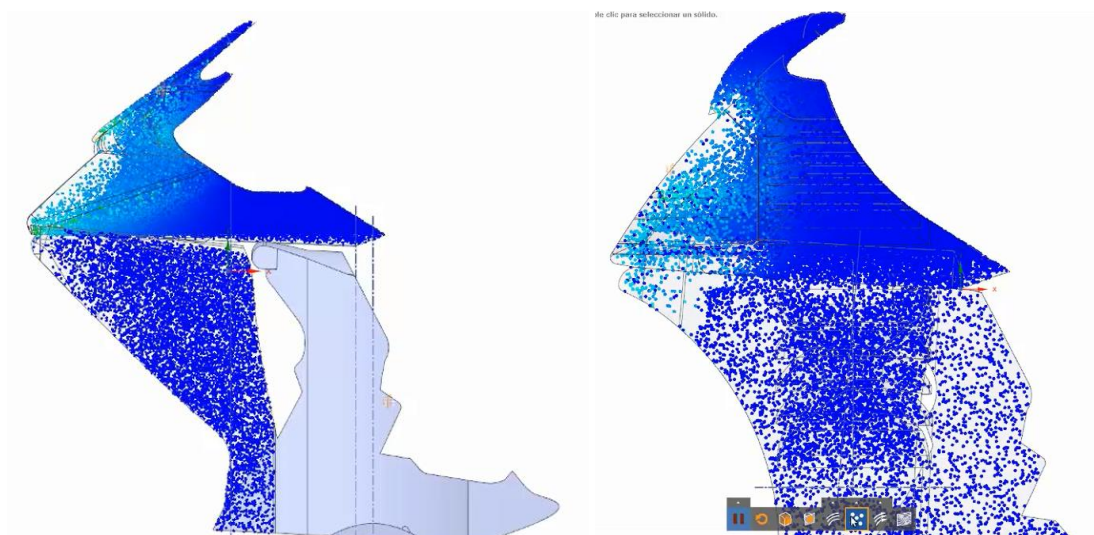
*Comparación de presión sobre los carenados*



Se observa en la siguiente imagen el flujo de calor presente en cada uno de los carenados, se determinó que poseen un flujo de calor semejante a pesar de que el modelo mejorado está sometido a una mayor presión

**Figura 53.**

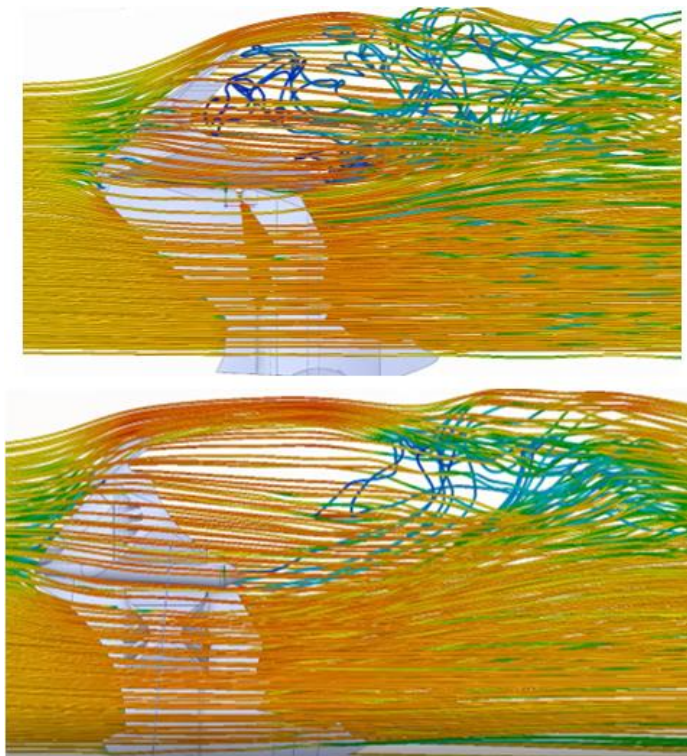
*Comparación del flujo de temperatura de los carenados*



Una de las principales simulaciones es de la velocidad del viento al chocar con el carenado, aquí obtenemos una gran diferencia entre los dos, debido a que en el carenado anterior se tiene una velocidad máxima de 40,57 m/s (146,05 Km/h) y en el modelo mejorado una velocidad máxima de 39,18 m/s (141,05 Km/h) y podemos observar la gran diferencia en la turbulencia producida en el área del piloto.

**Figura 54.**

*Comparación de la velocidad del aire sobre los carenados*



## 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. Conclusiones

- En base al análisis computacional realizado a la morfología aerodinámica del carenado de la motocicleta que participo en la competencia anterior, se logró obtener una mejor perspectiva de los lugares ideales para la modificación del diseño del carenado.
- Le logro diseñar un nuevo carenado usando como base la versión anterior, implementando nuevos rasgos más agresivos y aerodinámicos sin que se encuentren fuera del reglamento Motostudent vigente.
- Se evidencio un buen desempeño de los dos diseños del carenado, en las dos condiciones de operación a 100 y 150 Km/h, siendo el diseño mejorado del carenado muy superior en los resultados obtenidos.
- Con ayuda del criterio de vórtice de lambda 2 se logró visualizar la velocidad de flujo tridimensional del aire en la simulación de túnel de viento, en el diseño mejorado se observó que existe una menor presencia de turbulencia gracias a las mejoras en el diseño.
- En el análisis de velocidad del viento se obtuvo como resultado en el modelo mejorado una disminución de 5 Km/h lo cual marco una gran diferencia en la generación de turbulencia en la zona del piloto.
- Una ventaja importante en el carenado mejorado se evidencio en la presión que se ejerce en la parte superior del carenado la cual en la competencia de motocicletas es muy importante ya que ayuda a que el neumático delantero se mantenga presionado contra el asfalto.

## 5.2. Recomendaciones

- Introducir datos reales como temperatura y presión atmosférica del lugar en donde se encuentra la pista en la cual se va a realizar la competencia, y así obtener resultados precisos.
- Tomar en cuenta que las diferentes simulaciones solo se las realizo para una trayectoria rectilínea.
- Tomar como referencia motocicletas profesionales y prototipos tecnológicos.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- C., L. (2019, Marzo 18). *3D Natives* . Retrieved Mayo 05, 2020, from <https://www.3dnatives.com/es/mejores-sofware-cad-programa-180320192/#!>
- D+S Diagnóstico y Soluciones. (2018). *CAD - Diseño Asistido por Computadora*. (Ingeniería y Desarrollo) Retrieved Abril 11, 2020, from <https://www.diagnosticoysoluciones.com/ingydes.php>
- Lorenzo. (2005). *ANALISIS AERODINAMICO DEL CARENADO DE UNA MOTO PROTOTIPO USANDO TECNICAS EXPERIMENTALES*. Paper, Universidad Simón Bolívar , Ingeniería Mecánica , Caracas. Retrieved Marzo 21, 2020, from <https://docplayer.es/30929969-Analisis-aerodinamico-del-carenado-de-una-moto-prototipo-usando-tecnicas-experimentales.html>
- Motor, C. (2019, Febreo 02). *MAPFRE*. Retrieved Marzo 27, 2020, from <https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/que-es-carenado-de-una-motocicleta/>
- Motor1pro. (2015, Octubre 09). La mala aerodinámica de las motos. *Motor1pro Magazine*. Retrieved Abril 14, 2020, from <https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/la-mala-aerodinamica-de-las-motos>
- Motostudent. (2014). Retrieved Marzo 23, 2020, from <http://www.motostudent.com/MotoStudent-III.html>
- Motostudent. (2017). *V Competición Internacional*. Reglamento, Moto Engineering Foundation, Barcelona. Retrieved Marzo 21, 2020, from [http://www.motostudent.com/assets/files/MS1718\\_Regulations\\_V1\\_ESP.pdf](http://www.motostudent.com/assets/files/MS1718_Regulations_V1_ESP.pdf)
- Queralt, M. d. (2017). *Diseño de un generador de vórtices*. Trabajo de Fin de Grado, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona. Retrieved Abril 20,

2020, from

[https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/101149/TFG\\_marcos\\_poulana.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/101149/TFG_marcos_poulana.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

Rodríguez, A. (2014, Julio 23). *AlbrodpulF1*. Retrieved Abril 18, 2020, from

<https://albrodpulF1.wordpress.com/2014/07/23/analisis-tecnico-drag/>

simulations, I. (2019). *Idealsimulations*. Retrieved Mayo 15, 2020, from

<https://www.idealsimulations.com/applications/automotive/>

Software, S. I. (2020). *Siemens ingenuity for life*. Retrieved Mayo 15, 2020, from

<https://www.plm.automation.siemens.com/global/es/our-story/glossary/computer-aided-engineering-cae/13112>