



**UNIVERSIDAD UTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERIA E  
INDUSTRIAS  
CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ**

**DISEÑO AERODINÁMICO DE UNA MOTO DE COMPETICIÓN  
PARA LA MODALIDAD DE MOTO VELOCIDAD**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO AUTOMOTRIZ**

**AUTOR:  
JONATHAN JOSÉ URIBE MASACHE**

**DIRECTOR:  
ING. ARTURO FALCONI BORJA, MsC.**

**Santo Domingo, mayo 2019**

© Universidad UTE. 2019  
Reservados todos los derechos de reproducción

# FORMULARIO DE REGISTRO BIBLIOGRÁFICO TRABAJO DE TITULACIÓN

| DATOS DE CONTACTO    |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 1723764260                  |
| APELLIDO Y NOMBRES:  | Uribe Masache Jonathan José |
| DIRECCIÓN:           | Coop. Santa Martha sector 6 |
| EMAIL:               | jonathan.uribe@hotmail.com  |
| TELÉFONO FIJO:       | 023705845                   |
| TELÉFONO MOVIL:      | 0968453323                  |

| DATOS DE LA OBRA                             |  |          |   |          |
|--|--|----------|---|----------|
| TÍTULO:                                      | Diseño aerodinámico de una moto de competición para la modalidad de moto velocidad   |          |   |          |
| AUTOR O AUTORES:                             | Jonathan Uribe Masache   |          |   |          |
| FECHA DE ENTREGA DEL PROYECTO DE TITULACIÓN: | 21 de mayo de 2019   |          |   |          |
| DIRECTOR DEL PROYECTO DE TITULACIÓN:         | Ing. Arturo Falconí Borja  |          |   |          |
| PROGRAMA                                     | <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%; text-align: center;">PREGRADO</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">X</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">POSGRADO</td> </tr> </table>  | PREGRADO | X | POSGRADO |
| PREGRADO                                     | X  | POSGRADO |   |          |
| TÍTULO POR EL QUE OPTA:                      | Ingeniero Automotriz   |          |   |          |
| RESUMEN: Mínimo 250 palabras                 | <p>La finalidad del presente trabajo de titulación fue el de contribuir con un carenado aerodinámico para competencias de moto velocidad de mediana y baja cilindrada desarrolladas en Ecuador, para lo cual se utilizó un programa computacional de diseño y simulación, realizando así el diseño de una motocicleta estándar, un diseño de pares aerodinámicas, acople de las partes aerodinámica a la estructura de la moto estándar, diseño de un muñeco de pruebas para simular un piloto y por último la simulación del comportamiento del viendo a una velocidad relativa específica en los diseños estándar y aerodinámico, recreados a las condiciones geográficas y climáticas del entorno, también se utilizó cálculos aerodinámicos que sirvieron para evidenciar los resultados y compararlos en sí, logrando diferencias significativas al diseño original estándar de la motocicleta como son; Menor resistencia al avance, mayor sustentación al suelo y un incremento en la velocidad máxima de 2,9 km/h lo que le permitirá al piloto de este deporte sentir mayor adherencia al pavimento, equilibrio y por ende más seguridad a la hora de pilotar, aprovechando estas mejoras en cada una</p> |          |   |          |

|                         |   |
|-------------------------|---|
|                         | de las vueltas en pista dándole más posibilidades de ganar.         |
| <b>PALABRAS CLAVES:</b> | Carenado, comparación aerodinámica, simulación, moto de competencia |

Se autoriza la publicación de este Proyecto de Titulación en el Repositorio Digital de la Institución.



F:

Uribe Masache Jonathan José  
C.I.1723764260

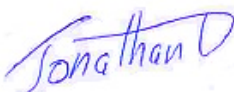
## **DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN**

Yo, **JONATHAN JOSÉ URIBE MASACHE**, CI 1723764260 autor/a del proyecto titulado: **Diseño aerodinámico de una moto de competición para la modalidad de moto velocidad** previo a la obtención del título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** en la Universidad UTE.

1. Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las Instituciones de Educación Superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.
2. Autorizo a la BIBLIOTECA de la Universidad UTE a tener una copia del referido trabajo de graduación con el propósito de generar un Repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Santo Domingo 21 de mayo del 2019.

F:



URIBE MASACHE JONATHAN JOSÉ  
C.I. 1723764260

## CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor, certifico que el presente trabajo de titulación que lleva por título: **Diseño aerodinámico de una moto de competición para la modalidad de moto velocidad** para aspirar al título de **INGENIERO AUTOMOTRIZ** fue desarrollado por **URIBE MASACHE JONATHAN JOSÉ**, bajo mi dirección y supervisión, en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería e Industrias; y que dicho trabajo cumple con las condiciones requeridas para ser sometido a la evaluación respectiva de acuerdo a la normativa interna de la Universidad UTE.



---

Ing. Arturo Falconi Borja MsC.  
**DIRECTOR DEL TRABAJO**  
CI. 1720162179

# CARTA DE AUTORIZACIÓN



 SUZUKI

Carta de autorización

 BAJAJ

Yo **Norman Augusto Valdivieso Quinche** con cedula de identidad N.-  
**1103364376** en calidad de gerente general de **Valdivieso Motors**  
autorizo a **Jonathan Uribe Masache**, realizar la investigación para la  
elaboración de su proyecto de titulación "**Diseño aerodinámico de una  
moto de competición para la modalidad de moto velocidad**" basada  
en la información proporcionada por la empresa.







Norman Valdivieso Quinche

Valdivieso Motors







Dirección: Teniente Rulova y Chorrera del Napo Edo. frente a la Unidad Educativa Histórica Viterbo  
Telf.: 2 751 974 - 2 759 167 - 0985 462 631 - e-mail: [motors@loncin.com.ec](mailto:motors@loncin.com.ec)  
Santo Domingo - Ecuador

## DEDICATORIA

Tiempo esfuerzo y perseverancia, sin sentido seria vivirlo solo. Dedico este proyecto y mi estudio a Dios del cielo que siempre me levanta y nunca me dejo caído por difícil que la vida sea, a mis tíos principal figura de hogar como padres Marlene Uribe Campaña y Francisco Zambrano Mendoza gracias por confiar en mí, por el hombre en el que me han convertido, sin ustedes nada de esto hubiera sido posible. Delia Paredes y Luis Sangoquiza por su tiempo y aliento Dios los bendiga. A mi amada esposa por su comprensión, apoyo y entrega te amo. A mi madre Alba Masache y madrina Ligia Terán por dejarme una infancia hermosa y correcta que anqué estando lejos están ahí conmigo.

***Jonathan Uribe Masache.***



# ÍNDICE DE CONTENIDOS

|  | PÁGINA |
|--|--------|
| <b>RESUMEN</b> .....   | 1      |
| <b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....   | 2      |
| 1.1. MARCO TEÓRICO .....   | 3      |
| 1.1.1. AERODINÁMICA- STREAMLINE- LÍNEA DE CORRIENTE. ....  | 4      |
| 1.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL AUTÓDROMO JOSÉ TOBAR DE YAHUARCOCHA. ....   | 7      |
| 1.2. PROGRAMA DE SIMULACIÓN Y DISEÑO COMPUTACIONAL (SOLIDWORKS).....   | 8      |
| 1.3. CÁLCULOS AERODINÁMICOS.....   | 9      |
| 1.3.1. COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN .....   | 10     |
| 1.3.2. COEFICIENTE DE AVANCE O ARRASTRE .....  | 10     |
| 1.3.3. NÚMERO DE MACH.....   | 11     |
| <b>2. METODOLOGÍA</b> .....  | 12     |
| 2.1. SELECCIÓN DE LA MOTOCICLETA.....  | 12     |
| 2.2. DISEÑO DE LA MOTOCICLETA ESTÁNDAR .....   | 14     |
| 2.3. DISEÑO DE LAS PARTES AERODINÁMICAS.....   | 14     |
| 2.3.1. ÁREA FRONTAL MASCARILLA O CÚPULA.....   | 15     |
| 2.3.2. CUBIERTAS LATERALES .....   | 16     |
| 2.3.3. COLÍN Y SILLÍN .....  | 17     |
| 2.3.4. QUILLA .....  | 17     |
| 2.4. DISEÑO DE MUÑECO DE PRUEBAS (DUMMY) .....   | 18     |
| 2.5. ENSAMBLE DEL MUÑECO DE PRUEBAS A LA MOTOCICLETA Y DE LAS PARTES DEL CARENADO AERODINÁMICO. ....           | 18     |
| 2.5.1. ENSAMBLE DE PARTES AERODINÁMICAS Y ACOUPLE A LA MOTOCICLETA. ....                                       | 19     |
| 2.5.2. ACOUPLE DEL MUÑECO DE PRUEBAS A LOS DISEÑOS DE LA MOTOCICLETA ORIGINAL Y DE REDISEÑO AERODINÁMICO. .... | 19     |
| 2.6. SIMULACIÓN DE TÚNEL DE VIENTO. ....   | 20     |
| 2.7. COEFICIENTES AERODINÁMICOS.....   | 21     |
| 2.7.1. COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN. ....   | 21     |
| 2.7.1.1. Diseño estándar.....  | 22     |
| 2.7.1.2. Diseño aerodinámico .....   | 22     |
| 2.7.2. COEFICIENTE DE RESISTENCIA .....  | 22     |
| 2.7.2.1. Diseño estándar.....  | 22     |
| 2.7.2.2. Diseño aerodinámico .....   | 22     |
| 2.7.3. NÚMERO DE MACH.....   | 22     |
| 2.7.3.1. Diseño estándar.....  | 23     |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.7.3.2. Diseño aerodinámico .....                     | 23        |
| <b>3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                 | <b>24</b> |
| 3.1. DISEÑO CAD .....                                  | 24        |
| 3.2. ANÁLISIS CFD “COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS” ..... | 25        |
| <b>4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>         | <b>29</b> |
| 4.1. CONCLUSIONES.....                                 | 29        |
| 4.2. RECOMENDACIONES.....                              | 30        |
| BIBLIOGRAFÍA.....                                      | 31        |
| ANEXOS.....  | 33        |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| <b>Tabla 1.</b> | Ficha técnica Bajaj Pulsar 200.....                | 13 |
| <b>Tabla 2.</b> | Resultados de Diseño Estándar .....                | 24 |
| <b>Tabla 3.</b> | Resultados diseño Aerodinámico .....               | 25 |
| <b>Tabla 4.</b> | Resultados diseño muñeco de pruebas.....           | 25 |
| <b>Tabla 5.</b> | Resultados simulación CFD diseño estándar. ....    | 26 |
| <b>Tabla 6.</b> | Resultados simulación CFD diseño aerodinámico..... | 27 |
| <b>Tabla 7.</b> | Resultados comparativos específicos.....           | 28 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                   |  |    |
|-------------------|--|----|
| <b>Figura 1.</b>  | Primera motocicleta 1869. ....   | 3  |
| <b>Figura 2.</b>  | Tipos de motos según su posición de motor. ....                        | 4  |
| <b>Figura 3.</b>  | The Devil's Arrow de 1956.....   | 5  |
| <b>Figura 4.</b>  | Moto Guzzi carenado Dustbin.....                                       | 5  |
| <b>Figura 5.</b>  | Primeras competencias con carenados aerodinámicos.....                 | 6  |
| <b>Figura 6</b>   | Carenado tipo dustbin de Guzzi y Tipo delfín de NSU 1954... ..         | 7  |
| <b>Figura 7</b>   | Autódromo José Tobar Yahuarcocha Ecuador .....                         | 8  |
| <b>Figura 8.</b>  | Plataforma diseño de piezas. ....                                      | 8  |
| <b>Figura 9.</b>  | Simulación comportamiento aerodinámico .....                           | 9  |
| <b>Figura 10.</b> | Comportamiento aerodinámico del ala de un avión .....                  | 9  |
| <b>Figura 11.</b> | Comportamiento de la sustentación en función del ángulo de ataque..... | 10 |
| <b>Figura 12.</b> | Resistencia en función de la velocidad.....                            | 11 |
| <b>Figura 13.</b> | Motocicleta Bajaj Pulsar 200ns.....                                    | 12 |
| <b>Figura 14</b>  | Campeonato nacional de moto velocidad Ecuador 2017.....                | 13 |
| <b>Figura 15.</b> | Plantilla, foto Bajaj Pulsar 200ns .....                               | 14 |
| <b>Figura 16.</b> | Diseño estándar, motocicleta Bajaj Pulsar 200ns.....                   | 14 |
| <b>Figura 17.</b> | Campeonato Mundial.....  | 15 |
| <b>Figura 18.</b> | Carenado aerodinámico Jorge Martin Almoguera. ....                     | 15 |
| <b>Figura 19.</b> | Diseño de cúpula .....   | 16 |
| <b>Figura 20.</b> | Diseño, visera de cúpula .....   | 16 |
| <b>Figura 21.</b> | Diseño de cubiertas laterales.....                                     | 17 |
| <b>Figura 22.</b> | Diseño de Colín y Sillín.....  | 17 |
| <b>Figura 23.</b> | Diseño de quilla. ....   | 18 |
| <b>Figura 24.</b> | Diseño muñeco de pruebas .....   | 18 |
| <b>Figura 25.</b> | Ensamble de las partes del carenado.....                               | 19 |
| <b>Figura 26</b>  | Diseño motocicleta estándar Bajaj Pulsar 200ns.....                    | 20 |
| <b>Figura 27.</b> | Diseño aerodinámico .....  | 20 |
| <b>Figura 28.</b> | Simulación motocicleta Bajaj Pulsar 200ns. ....                        | 20 |
| <b>Figura 29.</b> | Simulación diseño aerodinámico .....                                   | 21 |
| <b>Figura 30.</b> | Área de diseños.....   | 21 |

## ÍNDICE DE ANEXOS

|                 |   |    |
|-----------------|---|----|
| <b>ANEXO 1.</b> | LAMINA DE DISEÑO ESTÁNDAR .....                 | 33 |
| <b>ANEXO 2.</b> | LÁMINAS DE PARTES DEL DISEÑO AERODINÁMICO ..... | 34 |
| <b>ANEXO 3.</b> | LATERAL DERECHO .....                           | 35 |
| <b>ANEXO 4.</b> | LATERAL IZQUIERDO .....                         | 36 |
| <b>ANEXO 5.</b> | COLÍN Y SILLÍN .....                            | 37 |
| <b>ANEXO 6.</b> | QUILLA .....                                    | 38 |
| <b>ANEXO 7.</b> | DISEÑO AERODINÁMICO .....                       | 39 |
| <b>ANEXO 8.</b> | MUÑECO DE PRUEBA. ....                          | 40 |

## RESUMEN

La finalidad del presente trabajo de titulación fue el de contribuir con un carenado aerodinámico para competencias de moto velocidad de mediana y baja cilindrada desarrolladas en Ecuador, para lo cual se utilizó un programa computacional de diseño y simulación, realizando así el diseño de una motocicleta estándar, un diseño de partes aerodinámicas, acople de las partes aerodinámica a la estructura de la moto estándar, diseño de un muñeco de pruebas para simular un piloto y por último la simulación del comportamiento del viento a una velocidad relativa específica en los diseños estándar y aerodinámico, recreados a las condiciones geográficas y climáticas del entorno, también se utilizó cálculos aerodinámicos que sirvieron para evidenciar los resultados y compararlos en sí, logrando diferencias significativas al diseño original estándar de la motocicleta como son; Menor resistencia al avance, mayor sustentación al suelo y un incremento en la velocidad máxima de 2,9 km/h lo que le permitirá al piloto de este deporte sentir mayor adherencia al pavimento, equilibrio y por ende más seguridad a la hora de pilotar, aprovechando estas mejoras en cada una de las vueltas en pista dándole más posibilidades de ganar.

**Palabras Clave:** Carenado, comparación aerodinámica, simulación, moto de competencia

## **1. INTRODUCCIÓN**

# 1. INTRODUCCIÓN

La aerodinámica en competencias de automóviles y motocicletas de alta velocidad se desarrollaban continuamente en todo el mundo. Con el tiempo no solo se toman en cuenta el poder de las máquinas, sino su manera de desplazarse aerodinámicamente. *Salvat 2016*

La problemática que generara el deporte de moto velocidad en Ecuador y en otros países poco desarrollados es la limitación de estudios aerodinámicos lo que permite la carencia de carenados utilizados y que por ende interrumpe el desarrollo, la mayoría de los pilotos no lo utilizan por desconocimiento y forma de diseño al elaborarlo. *Carlos Villagrán (Racing Parts Ecuador)*

Los pilotos ecuatorianos al no contar con un carenado aerodinámico continuaran teniendo un limitante competitivo en sus motocicletas lo que reduce sus posibilidades de ganar dentro y fuera del país. *Augusto Valdivieso (Valdivieso motos)*

El argumento para desarrollar este proyecto es que el diseño permitirá a los pilotos tener mejor desempeño de sus motocicletas a nivel competitivo en nuestro autódromo y en el País. *Hugo Hernández (CATI Ecuador)*

Se Contribuyó con un diseño aerodinámico de alto rendimiento para las motos de competencia en las disciplinas de moto velocidad de baja y mediana cilindrada, utilizando un programa de diseño y simulación computarizo.

- Se diseñó un carenado aerodinámico para una moto de competencia completo (sillín, colín, cúpula, laterales, quilla), utilizando un software computarizado de diseño de piezas en 3 dimensiones con el fin de mejorar la aerodinámica de una motocicleta de competencia.
- Se proporcionó a la motocicleta de competencia un carenado competitivo el cuál brinde una mayor velocidad final mediante un análisis comparativo del diseño original y rediseño aerodinámico, el cual será posible utilizando la simulación del software computacional.
- Se mejoró la aerodinámica moto-piloto con el diseño de un Dummy para simular al piloto en la motocicleta presentando un comportamiento aerodinámico más real tanto del diseño original como del rediseño.



## 1.1. MARCO TEÓRICO

La primera motocicleta es un invento anterior al automóvil. Fueron dos franceses, los hermanos Pierre y Ernest Michaux, quienes construyeron en París la primera motocicleta, en 1869, un verdadero quebranta huesos a vapor, dieciséis años antes de Gottlieb Daimler (1834-1900) instalase su motor de gasolina en un biciclo de madera y de que Karl Benz (1844-1929) lo instalase en su primer triciclo motorizado.



**Figura 1.** Primera motocicleta 1869. (Salvat 2002)

Las ventajas de Daimler pronto fueron aprovechadas por otros constructores de motocicletas, las principales por sus características, aportes y prestaciones tenemos a Indian en 1911 cuyo modelo alcanzo los tres primeros puestos en las carreras del Tourist Trophy de la Isla de Man con un motor mono-cilíndrico y con mandos en el puño. La Black Alpine de 1930 la cual fue creada en 1924 siendo la primera moto de producción en venta libre cuya velocidad era de más de 160km/h dicho modelo de 1930 contaba con un motor JAP de dos cilindros en v de 680cm<sup>3</sup> diseñada por Harley Davidson, en 1932. La Norton modelo internacional se destacó por la forma de los muelles de sus válvulas que la hizo llamar la inalcanzable contando con algunas variaciones opcionales como escape libre y amortiguadores traseros de pistón.

Con el tiempo más fabricantes seguirían aportando mejoras en sus modelos los cuales serían utilizados en los modelos siguientes hasta la actualidad en su mayoría europeos, alemanes y americanos; diferenciándose por su estructura en cuanto a la forma de su chasis, tamaño, tipo de motor y sistemas incorporados.

En las disciplinas de moto velocidad se destacaron por la potencia al desear alcanzar mayores velocidades, variando así su número de cilindros llegando hasta la actualidad con un número máximo de cuatro cilindros y por su tipo las marcas desarrollan sus modelos año a año utilizando motores en L4 90<sup>0</sup>v por Ducati un motor de cuatro cilindros que forman una L diagonal, Yamaha con sus motores de cuatro cilindros en línea, Honda con sus motores de

competencia en v de cuatro cilindros marcas que compiten año a año por su supremacía.



Figura 2. Tipos de motos según su posición de motor (motoGP 2017).

### 1.1.1. AERODINÁMICA- STREAMLINE- LÍNEA DE CORRIENTE.

Streamline o en español línea de corriente es un estilo que inicio al final del siglo XIX en este caso pertenece al ámbito del diseño y del arte; o bien como sinónimo Aerodinámica, que el simplificando es básicamente cómo se mueve el aire alrededor de los objetos.

La importancia de la aerodinámica nos sirve para determinar cómo influyen los sólidos en este caso vehículos terrestres, cuando se encuentran en movimiento obteniendo resultados de potencia, desempeño, consumo y velocidad dependiendo así de su forma estructural. Con el pasar de los años se han ido cambiando las formas de determinarlo en sus inicios por cálculos matemáticos a través de ecuaciones en la actualidad se utilizan programas computarizados y túneles de viento, haciendo comparaciones con los cálculos realizados y pruebas físicas.

La aerodinámica del motociclismo fue tomada en cuenta después de algunos modelos de automóviles aerodinámicos a inicios del siglo XX, al igual que los vehículos motocicletas fueron fabricadas utilizadas como caza records de velocidad en los desiertos, diseños parecidos al igual que los vehículos en forma de cohetes, siendo su único propósito alcanzar las máximas velocidades posibles, utilizando aerodinámica o Streamline que permitiese a través de su superficie de diseño una menor resistencia al avance, logrando así la optimización máxima de su potencia y lograr una mayor velocidad. Esa carrera se asocia inequívocamente con la caza récords totalmente carrozados que atraviesan las lagunas saladas de Bonneville cada año. De forma inicial con hitos técnicos conseguidos por marcas como Triumph, estrechamente ligada al reto de la velocidad y de allí toma el nombre de uno de sus modelos más populares.

The Devil's Arrow de 1956, un rudimentario streamliner de casi cinco metros de largo con motor de Triumph Thunderbird 650 alcanzó los 311,76 km/h, al año siguiente el Texas Cee-Gar añadió sobrealimentación a su propulsor y un 60% de alcohol en el combustible para alcanzar los 345,20 km/h. No fue hasta 1962 cuando Joe Dudek fulminó el récord de velocidad con el Triumph Streamliner rodando a 361,41 km/h quemando nitro metano hasta que en 1965 Bob Leppan pilotando el Gyronaut X1 con dos motores de Triumph TR6 llegaba a 395,28 km/h.



**Figura 3.** The Devil's Arrow de 1956 (Triumph L.B. 2018)

En Moto velocidad mejoraban la velocidad máxima hasta un sorprendente 15% unos 25 km/h, pero la mayoría de los pilotos los odiaban. Ésta es la historia de los carenados integrales tipo "dustbin" (cubo de basura) que proliferaron en el Campeonato del Mundo de Velocidad hasta su prohibición el año 1957.



**Figura 4.** Moto Guzzi carenado Dustbin (Mick Woollet 2016)

El frenesí por la velocidad desde los inicios del motociclismo cuando las carreras populares se desarrollaban en óvalos de tierra con motos rústicas y sin ninguna electrónica ni aerodinámica con el único afán de ganar y ser el mejor en este deporte, tal hecho ha generado que las fábricas de motocicletas sean cada vez más competitivas dando como resultado mejoras continuas, es así como una de las mejoras son los carenados que se fueron popularizando.

Desde aquel momento, ya no hay nada más que decir acerca de esta clase de carenados. Las dimensiones y formas de este componente de las motos de carreras actuales están definidas de forma muy estricta en el reglamento de la FIM (Federación Internacional de Motociclismo). Pero no siempre fue así. En los primeros años del Mundial de Velocidad, casi todos los modelos carecían de ellos, mientras que a mediados de los cincuenta, si se quería ser un aspirante al título, se debía montar un carenado integral que cubriera incluso la rueda delantera. Estos carenados completos de aluminio dieron lugar al término inglés "dustbin".

Después de la II Guerra Mundial, los primeros que volvieron a prestar atención en materia aerodinámica fueron las marcas italianas, en concreto en la categoría de 125cc. Con mecánicas de sólo 12 CV, rápidamente descubrieron que los carenados "dustbin" les ofrecían la posibilidad de incrementar las prestaciones máximas, lo que significaba un aumento importante de las ganancias obtenidas en los costosos desarrollos de los motores.



**Figura 5.** Primeras competencias con carenados aerodinámicos. (Mick Woollet 2016)

El motor estaba refrigerado por agua y se alimentaba por inyección, con transmisión por cardan y caja de cambios de cuatro velocidades. Se podía definir como un auténtico alarde técnico, a lo que los ingenieros de la marca sumaron el primer carenado integral "dustbin" en toda regla, un modelo como jamás se había visto hasta entonces en ninguna de las tres categorías. Las dos motos de las cilindradas inferiores tenían carenados tipo delfín similares a los que se emplean hoy día, pero con un pico que se proyectaba por encima de la rueda delantera, mientras que la 500 cc tenía un carenado parecido, aunque sin dicho pico.



**Figura 6** Carenado tipo dustbin de Guzzi y Tipo delfín de NSU 1954. (Mick Woollet 2016)

En la actualidad campeonatos del mundo se celebran en todos los países, el que se encuentra en lo más alto el principal es el campeonato mundial de motociclismo llamado MOTO GP el cual cumple con un sinnúmero de normas y reglamentos tanto para los equipos como para las motocicletas, dicho campeonato está organizado por las siguientes categorías:

### **MotoGP**

La máxima categoría donde compiten las principales fábricas de motocicletas de mundo con cilindradas de 1000cc.

### **Moto 2**

Segunda categoría más importante del mundo donde compiten motocicletas con cilindradas de 600cc.

### **Moto 3**

Su costo de propulsor no mayor a \$ 13642,33 dólares americanos con motores inferiores a 250cc.

Todas las categorías descritas con motores de 4 tiempos luchando en tecnología y desarrollo por su supremacía tanto en pilotaje, diseño mecánico y aerodinámico.

## **1.1.2. CARACTERÍSTICAS DEL AUTÓDROMO JOSÉ TOBAR DE YAHUARCOCHA.**

En el Ecuador y Latinoamérica Campeonatos de similares características se realizan en este caso haremos hincapié en el campeonato de moto velocidad nacional e internacional que se realiza en Ecuador en el Autódromo Internacional de Yahuarcocha, José Tobar el cual se encuentra ubicado a 5 kilómetros en la Capital de la Provincia de Imbabura, Ibarra y es el principal centro de carreras del país pues el mismo que está avalado por la federación internacional de motociclismo.

**Datos técnicos** autódromo José Tobar

**Longitud:** 3.5 - Kilómetros (3.591mt)

**Localización:** Ibarra – Ecuador

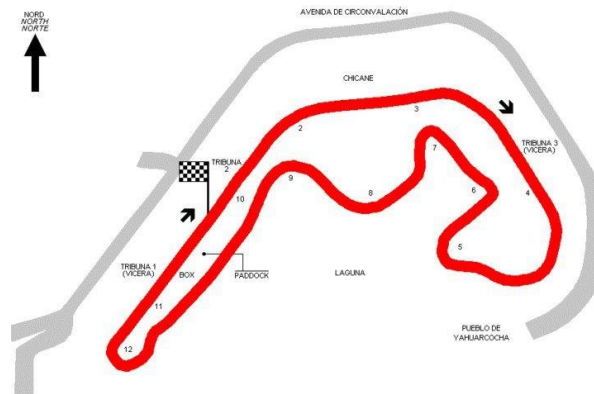
**Ancho de vía:** 14 metros constantes.

**Longitud de recta:** 770 metros (0,480 millas).

**Curvas:** 9 curvas; 3 izquierdas, 6 derechas.

**Sentido de giro:** Normalmente a favor de las manecillas del reloj.

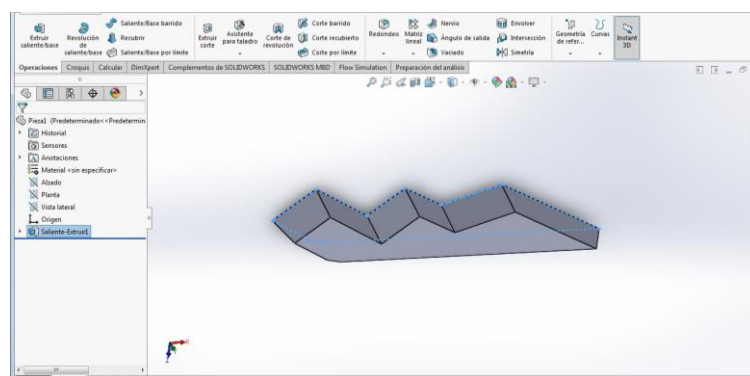
**Temperatura Promedio:** 14-27 grados centígrados



**Figura 7** Autódromo José Tobar Yahuarcocha Ecuador (Cati 2016)

## 1.2. PROGRAMA DE SIMULACIÓN Y DISEÑO COMPUTACIONAL (SOLIDWORKS).

Solidworks es un software de diseño asistido por computadora capaz de modelar piezas y ensambles en planos de 2 y 3 dimensiones, las cuales permiten acoplar y realizar una serie de pruebas con escalas y medidas referenciales reales.



**Figura 8.** Plataforma diseño de piezas (Autor).

Parte de las funcionalidades de solidworks es no solo modelar piezas mediante sus funciones extruir, moldear, refinar, simetría entre otras, sino también simular situaciones requeridas como, por ejemplo:

Software Solidworks Flow Simulation, Design Dreams es cual es capaz de crear un Túnel aerodinámico y banco de flujo virtuales los cuales ayudan a



obtener información precisa sobre el rendimiento de los diseños y evitan el gasto que suponen las pruebas físicas en cuanto al uso de un túnel de viento a escala real las cuales pueden costar miles de dólares.

Estos estudios de mecánica de fluidos computacional utilizan métodos numéricos y algoritmos que ayudan a ver el producto o proceso de una manera completamente nueva proporcionando datos como cálculos aerodinámicos lo más reales posibles y valores en una infinidad de unidades de medidas dependiendo de lo que sea requerido.

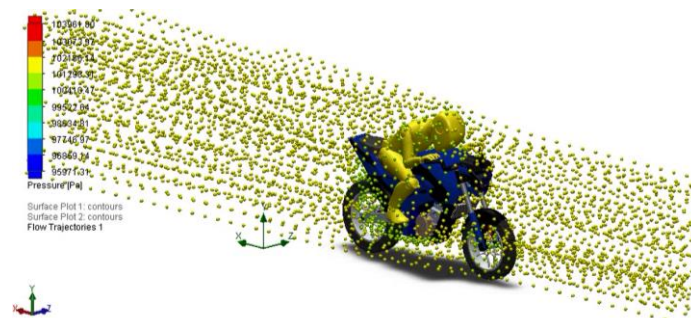


Figura 9. Simulación comportamiento aerodinámico (Autor)

### 1.3. CÁLCULOS AERODINÁMICOS

Aerodinámica en el campo automotriz es el comportamiento o interacción que tiene un fluido en este caso aire en relación a un sólido que puede ser un carenado o carrocería este dependerá de su forma, área y longitud, cálculos denominados coeficientes aerodinámicos.

Estos coeficientes aerodinámicos dependerán del tamaño, longitud y forma del objeto. Coeficiente de arrastre, sustentación y número de mach son cálculos utilizados en la aerodinámica que miden la fuerza de viento en relación al sólido cuando este lo atraviesa cuantificándolo tanto en su resistencia al avance como su eficiencia al hacerlo. Así como también la velocidad que emplea a través del sonido en el caso del número de mach **Rosero Diego (2015).**

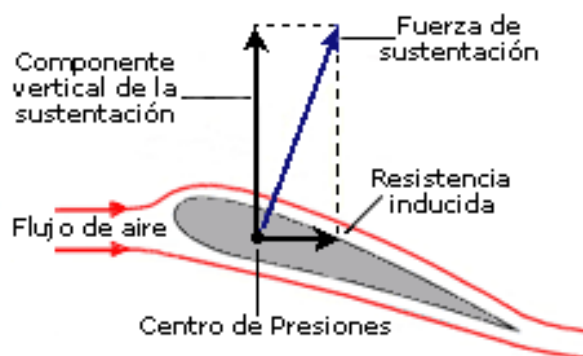
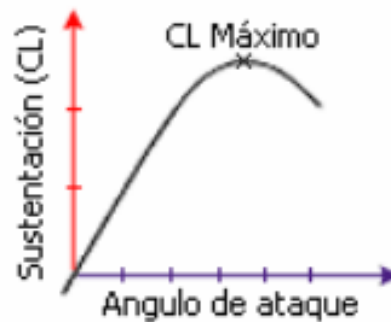


Figura 10. Comportamiento aerodinámico del ala de un avión (Muñoz 2010)

### 1.3.1. COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN

El coeficiente de sustentación es la fuerza perpendicular en función a la velocidad en este caso el viento, esta puede ser positiva o negativa. Positiva en los aviones para que se eleve en función a la velocidad y al ángulo de ataque puesto que el coeficiente de sustentación es inversamente proporcional al ángulo de ataque. Negativas como en los vehículos de competencia proporcionando empuje al suelo para que tenga mejor adherencia al pavimento, fluidez del viento en función del cuerpo y no salga volando.



**Figura 11.** Comportamiento de la sustentación en función del ángulo de ataque (Muñoz 2010)

Para realizar el cálculo de coeficiente de sustentación se realiza el despeje de la fórmula de fuerza de sustentación.

$$F_y = \frac{1}{2} P \cdot v_f^2 \cdot C_y \cdot A_f$$
$$F_y \cdot 2 = P \cdot v_f^2 \cdot C_y \cdot A_f$$
$$C_y = \frac{2 \cdot F_y}{P \cdot v_f^2 \cdot A_f}$$

$P$  = Densidad del aire.

$v_f$  = Velocidad relativa del vehículo.

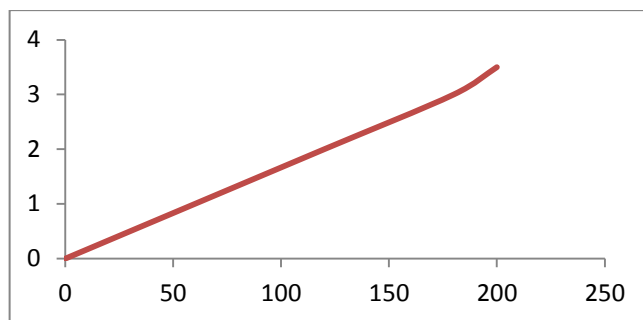
$C_y$  = Coeficiente aerodinámico.

$A_f$  = Área frontal del vehículo.

### 1.3.2. COEFICIENTE DE AVANCE O ARRASTRE

Es la fuerza que se opone o retarda el movimiento y genera una resistencia a su avance ya sea por la forma de atravesarla como la estela que deja a su paso esta siempre será proporcional al tamaño del área atravesada.





**Figura 12.** Resistencia en función de la velocidad (Autor).

Para realizar el cálculo de coeficiente de avance o arrastre se despeja de fórmula de fuerza de resistencia.

$$F_x = \frac{1}{2} P \cdot v_f^2 \cdot C_x \cdot A_f$$

$$F_x \cdot 2 = P \cdot v_f^2 \cdot C_x \cdot A_f$$

$$C_x = \frac{2 \cdot F_x}{P \cdot v_f^2 \cdot A_f}$$

$P$  = Densidad del aire.

$v_f$  = Velocidad relativa del vehículo.

$C_x$  = Coeficiente aerodinámico.

$A_f$  = Área frontal del vehículo.

### 1.3.3. NÚMERO DE MACH

El número de mach es un número adimensional que relaciona la velocidad alcanzada en cuanto al sonido, está siempre dependerá de algunos parámetros como son: humedad, temperatura y altura. Esto quiere decir que el sonido viaja en el aire a una velocidad de 331.5 m/s a 0 grados y subirá 0.6 m/s por cada grado Celsius.

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

$$V_s = \sqrt{\frac{r \cdot R \cdot T}{M}}$$

$M$  = Número de mach.

$V$  = Velocidad real en metros segundos.

$V_s$  = Velocidad del sonido.

$r$  = Constante adiabática.

$R$  = constante del gas.

$T$  = Temperatura absoluta.

$M$  = masa molar del gas.

## **2. METODOLOGÍA**

## 2. METODOLOGÍA

El presente proyecto es investigativo técnico en la cual se realizó el diseño y simulación de una moto de calle que participa en competencias de moto velocidad en los campeonatos ecuatorianos de motociclismo, con el propósito de mejorar su aerodinámica utilizando un software computacional y cálculos aerodinámicos.

El método Delphi sirvió de gran ayuda al seleccionar la motocicleta pues los pilotos de moto velocidad de las categorías de hasta 250cc de campeonato nacional proporcionaron información fiable para la selección adecuada.

El método inductivo aportó de manera individual cuyos pasos específicos fueron utilizados en la selección del diseño más apropiado, proporcionando un resultado general para ser utilizado el campeonato de moto velocidad ecuatoriano.

A través del método analítico se analizaron las estructuras aerodinámicas, parámetros geográficos y físicos donde se realizan las competencias de moto velocidad, que fueron utilizando el programa de simulación y diseño, tanto el diseño de la moto estándar como en el rediseño aerodinámico.

Con el método comparativo se relacionaron los datos obtenidos tanto en el diseño estándar como en el rediseño aerodinámico con el fin de encontrar similitudes o diferencias consiguiendo así el más eficiente.

Usando el método cuantitativo se definieron la cantidad de variables obtenidas con el propósito de ampliar y explicar los resultados adquiridos en los cálculos realizados como en las pruebas de simulación.

### 2.1. SELECCIÓN DE LA MOTOCICLETA.

Para seleccionar la motocicleta se utilizó un método Delphi en el cual pilotos de moto velocidad de Ecuador nos permitieron evidenciar que la moto más accesible en cuanto a la tecnología desempeño y precio alrededor de 4000 dólares americanos es la moto Bajaj pulsar 200. Precio inferior a otras motocicletas de características similares como son: KTM Duke 200, Honda CBR250, Kawasaki 250 modelos que compiten en la categoría mencionada.



**Figura 13.** Motocicleta Bajaj Pulsar 200ns (Ficha técnica 2015)

Otra razón por la que se seleccionó la motocicleta Bajaj pulsar 200 es porque es una de las más utilizadas en la categoría de hasta 250cc libre de cuatro tiempos como se muestra en la figura 14, desde que se lanzó al mercado ecuatoriano en el año 2013 hasta la actualidad, esta no cuenta con una aerodinámica desarrollada para este tipo de carreras puesto que es una moto de calle.



**Figura 14** Campeonato nacional de moto velocidad Ecuador 2017 (Magazine 2017)

**Tabla 1.** Ficha técnica Bajaj Pulsar 200

| <b>MOTOR</b>                |  |
|-----------------------------|--|
| Cilindraje                  | 199.5  |
| Cilindros                   | 1  |
| Diámetro Interior x Carrera | 72x49 mm   |
| Potencia máxima             | 23.17 hp @ 9500 rpm                                    |
| Torque máximo               | 18.3 Nm @ 8000 rpm                                     |
| Ciclo/h                     | 4T / OHC   |
| Alimentación                | Carburada VC   |
| Encendido                   | DC, CDI digital controlado por microprocesador con TPS |
| Lubricación                 | Cárter húmedo, lubricación forzada                     |
| Enfriamiento                | Enfriado por líquido refrigerante                      |
| <b>TRANSMISIÓN</b>          |  |
| Velocidades                 | 6 velocidades  |
| Embrague                    | Multidisco húmedo                                      |
| Transmisión Secundaria      | Cadena de arrastre                                     |
| <b>DIMENSIONES</b>          |  |
| Largo (mm)                  | 2017 mm  |
| Ancho (mm)                  | 804 mm   |
| Distancia entre Ejes (mm)   | 1363 mm  |
| Altura del Asiento (mm)     | 807 mm   |
| Alto (mm)                   | 2017 mm  |
| Capacidad del tanque        | 12 L   |
| Peso en vacío               | 145 Kg   |
| Capacidad de carga          | 257 Kg   |
| <b>SUSPENSIÓN</b>           |  |
| Suspensión delantera        | Telescópica - 130 mm                                   |
| Suspensión trasera          | Monoshock Nitrox                                       |
| Chasis                      | Perimetral   |
| <b>FRENOS</b>               |  |
| Frenos delanteros           | Disco 280 mm   |
| Frenos traseros             | Disco 230 mm   |
| <b>NEUMÁTICOS</b>           |  |
| Aro delantero               | 2.5 x 17"  |
| Aro trasero                 | 3.5 x 17"  |

Continúa

Continuación

|                                 |                      |
|---------------------------------|----------------------|
| Neumáticos delanteros           | 100/80 x 17 tubeless |
| Neumáticos traseros             | 130/70 X 17 tubeless |
| <b>PERFORMANCE</b>              |                      |
| Velocidad máxima Km/h           | 135 km/h             |
| Autonomía de combustible (km)   | 353 Km               |
| Consumo de combustible (km/gl)* | 163 Km/gl            |
| País origen                     | India                |

## 2.2. DISEÑO DE LA MOTOCICLETA ESTÁNDAR

Para realizar el diseño se partió del trazado paramétrico con la ayuda de una plantilla se realizó el diseño en plano lateral de 2 dimensiones para su posterior extrusión al espesor requerido.



Figura 15. Plantilla, foto Bajaj Pulsar 200ns (manual pulsar 2015)

Una vez obtenido un plano extruido en 3 dimensiones se procedió a hacer un refinado, redondeo y simetría de todas las partes requeridas dependiendo la necesidad con el propósito de dejarlas lo más similares al diseño original.



Figura 16. Diseño estándar, motocicleta Bajaj Pulsar 200ns (Autor).

## 2.3. DISEÑO DE LAS PARTES AERODINÁMICAS

Para el diseño de las partes aerodinámicas que tomo como precedente el diseño de las motocicletas de competencia del mundial de moto 3 las cuales cuentan con carenados de las más altas tecnologías para dichas competencias.



**Figura 17.** Campeonato Mundial (Jesús Martin 2018.)

En la figura 20 se puede apreciar la estructura adecuada de un carenado aerodinámico de talla mundial de la categoría de baja cilindrada llamada moto3, una estructura envolvente en diseño con una simetría específica para las características físicas y de pilotaje del piloto, lo que le permite sacarle un máximo provecho.



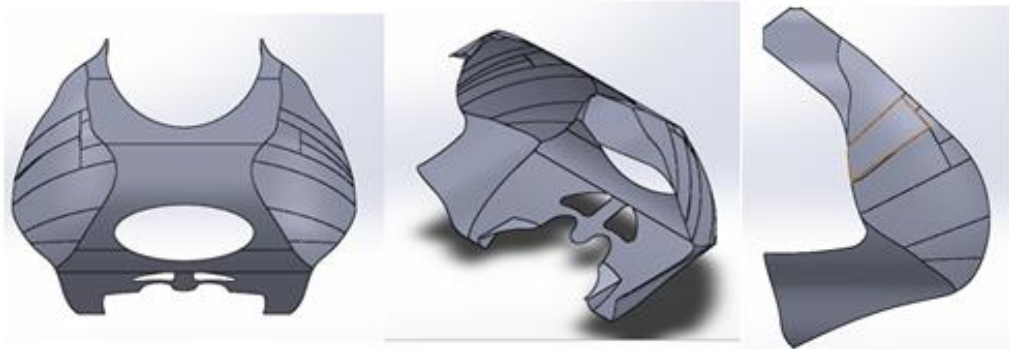
**Figura 18.** Carenado aerodinámico Jorge Martin Almoquera (moto3 2018).

Teniendo en consideración de donde partir se inició con el diseño del carenado dividiéndolo en seis partes que posteriormente fueron ensambladas una vez realizados.

### **2.3.1. ÁREA FRONTAL MASCARILLA O CÚPULA**

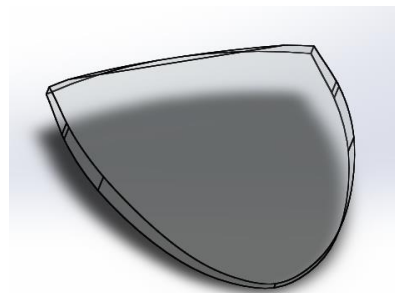
Esta parte fue la más importante puesto que es la primera pieza en entrar en contacto directo con el viento aerodinámicamente hablando contiene un área suficiente para cubrir al piloto y a la parte más gruesa de la moto esta lleva una visera la cual proporciona la suficiente visibilidad al piloto. También cuenta con un ángulo adecuado para generar la suficiente sustentación negativa en este caso, pero sin generar mayor resistencia al avance de la motocicleta, pieza se será sujeta en 4 secciones para mayor seguridad y evitar vibraciones.

Para ello se realizó el trazado de la pieza utilizando extrusión y vaciado para tener un espesor deseado también requirió de un arduo redondeo y refinado de sus aristas.



**Figura 19.** Diseño de cúpula (Autor).

El diseño de la cúpula lleva en la parte superior un semi-ovalo hueco el cual sirve para colocar una visera de plástica transparente la cual permita la máxima visibilidad a la hora de pilotar.



**Figura 20.** Diseño, visera de cúpula (Autor).

### **2.3.2. CUBIERTAS LATERALES**

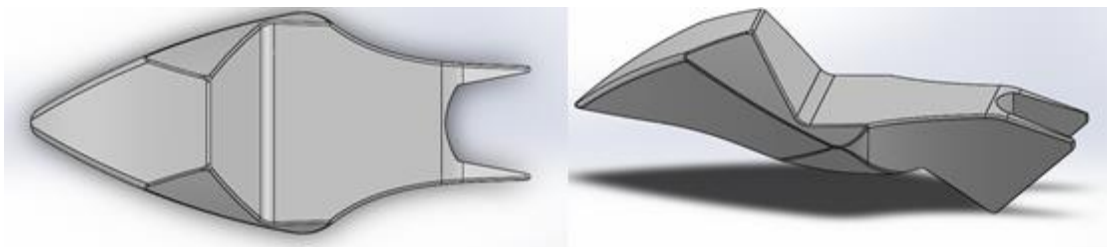
Las cubiertas laterales partieron de un trazado y extrusión al grosor requerido para el posterior redondeo de sus perfiles. Estas son las encargadas de disipar el aire transferido por una parte de la cúpula y de romper de manera adecuada el viento reduciendo la resistencia al avance, otra forma de contribuir aerodinámicamente es que reducen la resistencia causado por las piernas del piloto, estas cubiertas tienen puntos de apoyo, dos sujeciones en los extremos superiores para ser unidos por medio de un bisel a la cúpula y dos sujeciones inferiores unidas por un bisel de apoyo a la quilla.



**Figura 21.** Diseño de cubiertas laterales (Autor).

### 2.3.3. COLÍN Y SILLÍN

Se determinó factible el diseño del colín y sillín en una sola pieza puesto que no influye en lo absoluto en la aerodinámica una pieza de la otra y más bien lo hace funcional y se acopa mejor a la motocicleta su parte trasera será lo más fina posible para reducir a turbulencia creada por el viento cortes, trazos y vaciado fueron utilizados para este diseño así como simetría y el grosor adecuando, esta pieza contara con dos anclajes de sujeción principal en el centro de los costados y dos anclajes de sujeción internos en la parte posterior.



**Figura 22.** Diseño de Colín y Sillín (Autor).

### 2.3.4. QUILLA

La quilla encargada de retener cualquier líquido que saliera fuera del motor, su forma semi-triangular proporciona una trayectoria adecuada del aire que fluye a través de ella. es parte de diseño, se la realizo con un vaciado, cortes y refilado de algunas de sus áreas perfiladas también esta posee biseles en su parte superior para un mejor acople a las cubiertas laterales con puntos de sujeción.



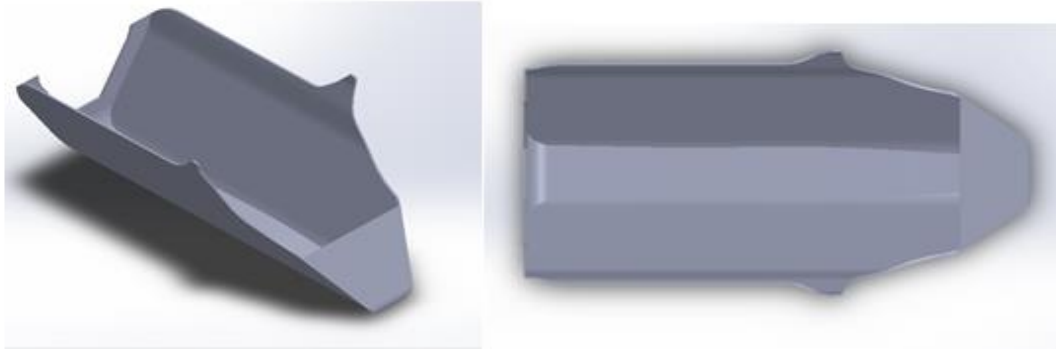


Figura 23. Diseño de quilla (Autor).

## 2.4. DISEÑO DE MUÑECO DE PRUEBAS (DUMMY)

Gran parte de la resistencia al avance se debe al piloto en la motocicleta, para ello el carenado es de suma importancia que cubra lo más que pueda al piloto, logrando así reducir su resistencia al avance por lo cual se diseñó un Dummy que pueda adoptar la posición de un piloto de competición y lograr así datos lo más reales posibles.

Para este diseño se necesitó que un muñeco de pruebas que sea de un tamaño medio a pilotos de competencia y que pueda mover cada una de las articulaciones de sus extremidades, por tal razón se utilizó articulaciones en formas esféricas que permitan una rotación y adecuarlas a la postura deseada, además de un ensamble de cada una de las partes que comprenden su cuerpo.



Figura 24. Diseño muñeco de pruebas (Autor).

## 2.5. ENSAMBLE DEL MUÑECO DE PRUEBAS A LA MOTOCICLETA Y DE LAS PARTES DEL CARENADO AERODINÁMICO.

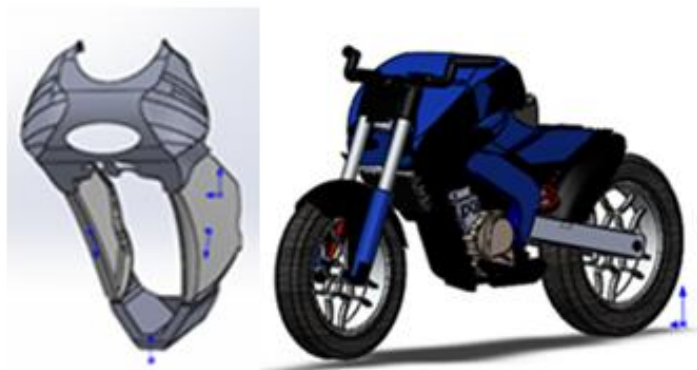
Una vez realizadas todas las piezas del diseño se procedió al ensamble montándolas en la motocicleta, para esto se necesitó adecuar la postura de

pilotaje del muñeco de pruebas, en el caso del rediseño se retiró algunas partes del diseño original para su posterior ensamble del nuevo carenado aerodinámico.

### **2.5.1. ENSAMBLE DE PARTES AERODINÁMICAS Y ACOPLE A LA MOTOCICLETA.**

Una vez realizadas las piezas del carenado aerodinámico se realizó el ensamble de cada una de ellas, para posteriormente utilizar una opción de bloqueo de movimiento en cada una de las partes con el propósito que no se muevan o reacomoden por error, creando así un solo cuerpo.

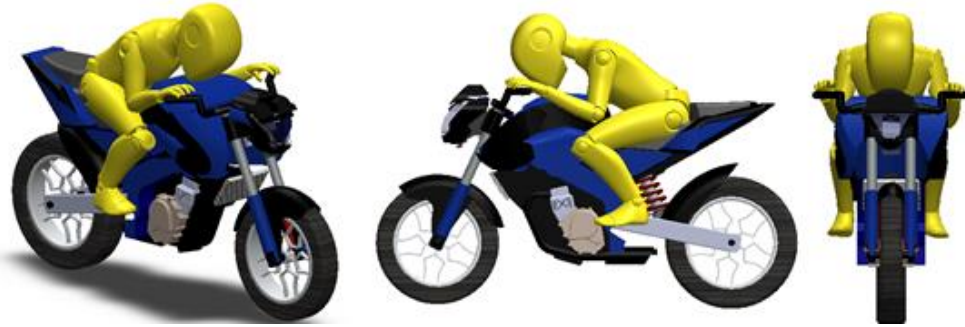
El carenado aerodinámico ensamblado debió ser acoplado a la motocicleta, para ello se realizó el retiro de algunas partes del carenado original como son: el faro delantero, asiento de piloto, asiento del acompañante, colín original, también se retiró las luces y accesorios en general.



**Figura 25.** Ensamble de las partes del carenado (Autor)

### **2.5.2. ACOPLE DEL MUÑECO DE PRUEBAS A LOS DISEÑOS DE LA MOTOCICLETA ORIGINAL Y DE REDISEÑO AERODINÁMICO.**

Una vez que ya obtenemos los dos diseños tanto el diseño original como el rediseño aerodinámico se procedió a montar al muñeco de pruebas en los dos diseños ubicando su postura de pilotaje mediante el movimiento de sus articulaciones para luego usar la opción de bloqueo de cada una de sus extremidades para evitar que se moviesen por error, permitiendo así su contacto con la motocicleta en 5 partes principales de la motocicleta como son las manos en el manubrio, la nalga en el asiento, y los pies en los posa pies o estribos.



**Figura 26** Diseño motocicleta estándar Bajaj Pulsar 200ns (Autor)

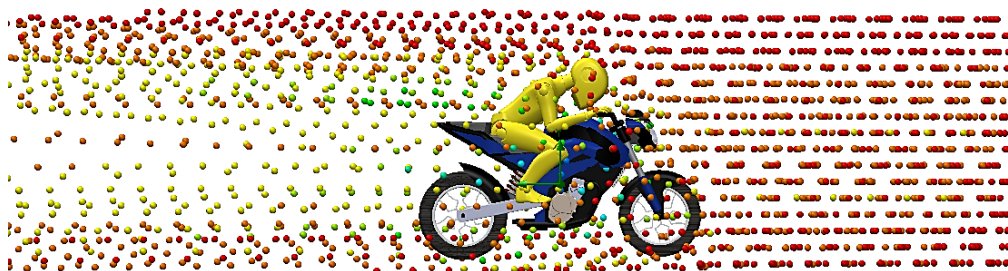
Al igual que en el diseño estándar se dejó el muñeco de pruebas en la misma posición con el fin de evitar variaciones al momento de la simulación logrando así una prueba lo más realista posible.



**Figura 27.** Diseño aerodinámico (Autor).

## 2.6. SIMULACIÓN DE TÚNEL DE VIENTO.

Ya completado los diseños original y rediseño la forma más adecuada de simulación fue utilizando la opción de Flow Simulation para simular un túnel de viento y evidenciar su comportamiento respecto a los dos diseños, utilizando Flow Simulation se ingresaron los parámetros de referencia en la opción mago (wizard) que es un asistente de datos donde se dio valores de referencia iguales en los dos diseños, otra opción fueron las metas (Goals) los cuales permitieron ver los datos que se deseaba obtener en la simulación, seleccionamos el tamaño y forma de la visualización del comportamiento del viento y por último se realiza la simulación de todas la partes externas en los diseños.



**Figura 28.** Simulación motocicleta Bajaj Pulsar 200ns (Autor).

Se logró una buena apreciación en la simulación al utilizar esferas como indicadores visuales del viento en los 2 diseños, como se observa en las figuras 28 y 29 el comportamiento claro al entrar en contacto el aire en cada una de sus áreas.

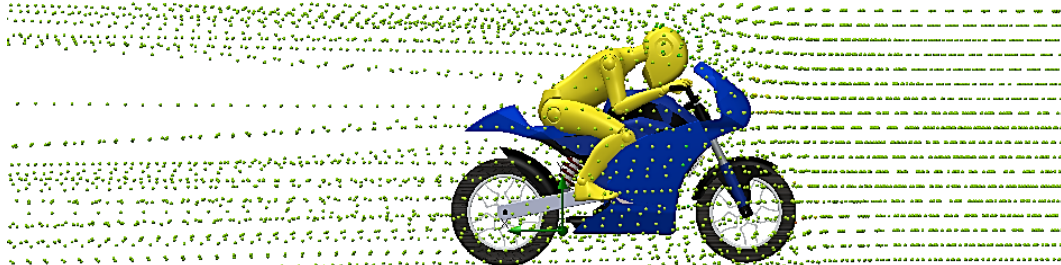


Figura 29. Simulación diseño aerodinámico (Autor).

## 2.7. COEFICIENTES AERODINÁMICOS

Terminada la parte de selección, diseño y simulación de la motocicleta, se procedió a realizar los cálculos más relevantes de la aerodinámica como son: coeficiente de sustentación, resistencia al avance y número de mach. Para esto se tomó en cuenta las áreas de los diseño.

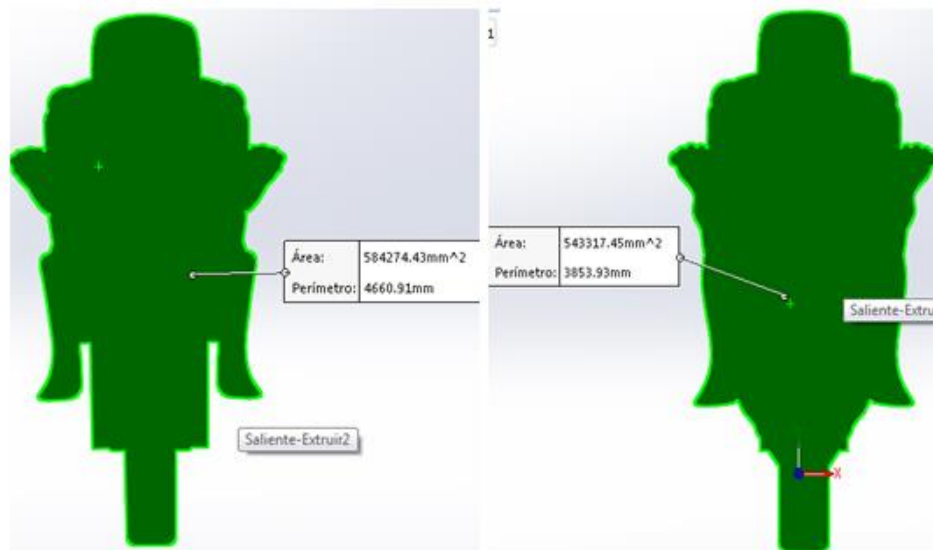


Figura 30. Área de diseños (Autor.)

### 2.7.1. COEFICIENTE DE SUSTENTACIÓN.

$$C_y = \frac{2 \cdot F_y}{P \cdot v_f^2 \cdot A_f}$$

$P$  = Densidad del aire. ( $Kg/m^3$ )

$v_f$  = Velocidad relativa del vehículo. ( $m/s$ )

$F_y$  = Fuerza de sustentación. ( $N$ )

$A_f$  = Área frontal del vehículo. ( $m^2$ )

#### 2.7.1.1. Diseño estándar

$$C_y = \frac{(2)(-2.11)}{(2.225)(37.5^2)(0.584)}$$
$$C_y = -0.0023$$

#### 2.7.1.2. Diseño aerodinámico

$$C_y = \frac{(2)(-15.243)}{(2.225)(37.5^2)(0.543)}$$
$$C_y = -0.0179$$

### 2.7.2. COEFICIENTE DE RESISTENCIA

$$C_x = \frac{2 \cdot F_x}{P \cdot v_f^2 \cdot A_f}$$

$P$  = Densidad del aire. ( $Kg/m^3$ )

$v_f$  = Velocidad relativa del vehículo. ( $m/s$ )

$F_x$  = Fuerza de resistencia. ( $N$ )

$A_f$  = Área frontal del vehículo. ( $m^2$ )

#### 2.7.2.1. Diseño estándar

$$C_x = \frac{2 (202.172)}{(2.225)(37.5^2)(0.584)}$$

$$C_x = 0.221$$

#### 2.7.2.2. Diseño aerodinámico

$$C_x = \frac{2 (138.308)}{(2.225)(37.5^2)(0.543)}$$

$$C_x = 0.162$$

### 2.7.3. NÚMERO DE MACH.

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

$$V_s = \sqrt{\frac{r \cdot R \cdot T}{M}}$$

$M$  = Número de mach.  
 $V$  = Velocidad real (m/s).  
 $V_s$  = Velocidad del sonido.  
 $r$  = Constante adiabática.  
 $R$  = constante del gas.  
 $T$  = Temperatura absoluta.  
 $M$  = masa molar del gas.

### 2.7.3.1. Diseño estándar

$$V_s = \sqrt{\frac{(1.4)(8.314)(294,65)}{0.029}}$$

$$V_s = 343.88 \text{ m/s}$$

$$M = \frac{43.597 \text{ m/s}}{343.88 \text{ m/s}}$$

$$M = 0.1267$$

### 2.7.3.2. Diseño aerodinámico

$$V_s = \sqrt{\frac{(1.4)(8.314)(294,65)}{0.029}}$$

$$M = \frac{44.408 \text{ m/s}}{343.88 \text{ m/s}}$$

$$M = 0.1291$$

### **3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para realizar los ensayos no destructivos y análisis CFD se tomaron en cuenta 2 aspectos tanto para el diseño estándar, como para el rediseño. Estos aspectos son la velocidad resultante del móvil y el número de Mach, siendo estas directamente proporcionales entre sí. Los análisis a realizarse, serán en función relativa a la velocidad máxima que alcanza la motocicleta en condiciones estándar de fábrica, la cual es 135 km/h. Los resultados a obtener, determinan la mejora aerodinámica del vehículo.

Para obtener datos reales, se adiciona un dummy (muñeco de prueba), el cual va montado sobre la motocicleta en calidad de piloto. Para realizar los diseños CAD y análisis CFD, se hizo uso de una herramienta computacional como lo es SOLIDWORKS.

Los resultados obtenidos están detallados a continuación:


#### 3.1. DISEÑO CAD

**Tabla 2. Resultados de Diseño Estándar**

| <b>Diseño Estándar (Naked)</b>   |   |  |
|--|---|--|
| Este lo tomamos como punto de comparación, para verificar en lo posterior, los cambios realizados en la geometría y propiedades aerodinámicas. |   |  |
| <b>Especificación</b>  | <b>Gráfico</b>  | <b>Observaciones</b>   |
| Bajaj Pulsar NS200.<br>Diseño estándar.  |  | Diseño realizado con las dimensiones a escala real de la motocicleta |



**Tabla 3.** Resultados diseño Aerodinámico

| <b>Rediseño Piezas aerodinámicas.</b>  |   |   |
|--|---|---|
| Este lo tomamos como punto de comparación, para verificar en lo posterior, los cambios realizados en la geometría y propiedades aerodinámicas. |   |   |
| <b>Especificación</b>  | <b>Gráfico</b>  | <b>Observaciones</b>  |
| Cúpula   |    | Forma parte del carenado, va ubicado en la parte frontal de la motocicleta.                     |
| Cubierta lateral derecha e izquierda.  |    | Forma parte del carenado, va ubicado en la parte lateral derecha e izquierda de la motocicleta. |
| Sillín y colín.  |    | Forma parte del carenado, va ubicado en la parte posterior de la motocicleta.                   |
| Quilla.  |   | Forma parte del carenado, va ubicado en la parte inferior de la motocicleta.                    |
| Bajaj Pulsar Diseño Aerodinámico   |  | Diseño realizado con los elementos constitutivos del carenado tipo Racing.                      |

**Tabla 4.** Resultados diseño muñeco de pruebas.


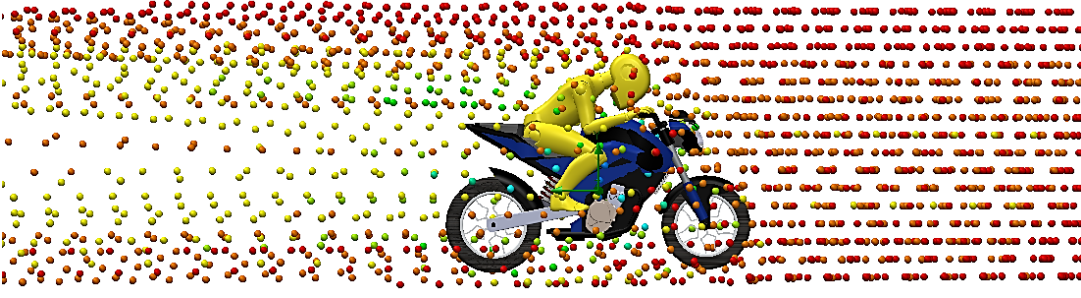

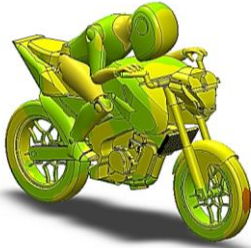
| <b>Diseño Dummy</b>   |   |  |
|---|---|--|
| <b>Especificación</b>   | <b>Gráfico</b>  | <b>Observaciones</b>   |
| Dummy (De pie y posición de mínima resistencia de conducción) |  | Realizado con dimensiones estándar de un hombre promedio de 1,65m de altura. |

### 3.2. ANÁLISIS CFD “COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS”

Realizada la simulación del diseño estándar con los parámetros establecidos se obtuvieron los siguientes resultados mostrados en la tabla 5, los cuales mostraron la presión máxima ejercida en la motocicleta que fue de 102168.60 Pa, con fuerzas en los dos vectores en el eje (X) 202.172N que es la fuerza de resistencia generada en esa trayectoria la cual fue de utilidad para el cálculo del coeficiente de resistencia, en el eje (Y) se obtuvo una fuerza de -2.111N la cual es la fuerza de sustentación utilizada para el

cálculo de coeficiente aerodinámico. También nos proporcionó una velocidad por resistencia de 134.333km/h, velocidad máxima final de 156.951km/h y un número de mach de 0.1087 que es la velocidad calculada a través del sonido con la velocidad relativa y las condiciones físicas, los cuales sirvieron para compararlos con los del rediseño aerodinámico.


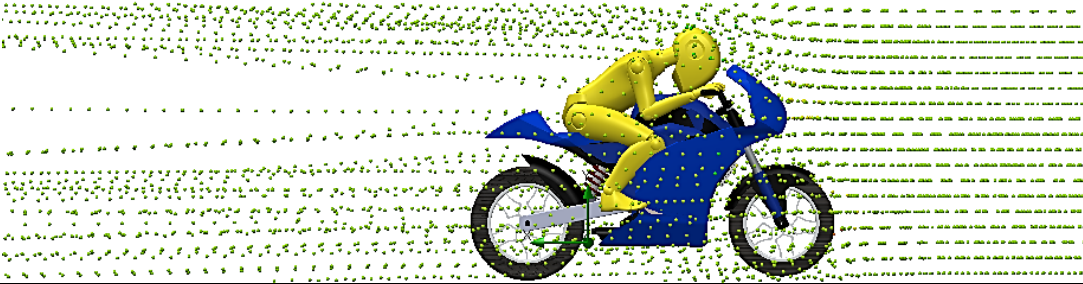
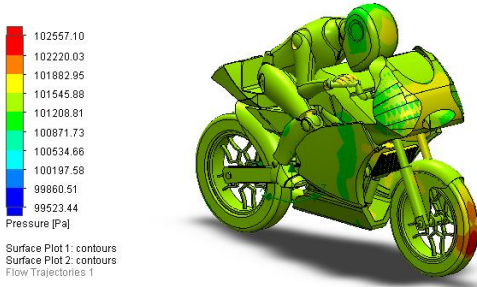
**Tabla 5.** Resultados simulación CFD diseño estándar.

| <b>Diseño Estándar (Naked)</b>  |   |  |
|---|---|--|
| Para el análisis se dieron las siguientes condiciones físicas.  |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fluido de trabajo: aire</li> <li>- Temperatura de fluido: 20.1°C</li> <li>- Presión estática: 101325.00 Pa.</li> <li>- Velocidad relativa: 135.000 km/h</li> </ul>   |   |  |
| <b>Especificación</b>   | <b>Gráfico</b>  | <b>Observaciones</b>   |
| Ensamble del Dummy con la motocicleta Bajaj Pulsar NS200  |  | Diseño realizado con las dimensiones a escala real de la motocicleta |
|    |   |  |
| <div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="text-align: left; margin-right: 20px;"> <p style="font-size: 8px;">103981.00<br/>103073.97<br/>102166.14<br/>101258.31<br/>100410.47<br/>99522.64<br/>98634.81<br/>97746.97<br/>96859.14<br/>95971.31</p> <p style="font-size: 8px;">Pressure (Pa)</p> <p style="font-size: 8px;">Surface Plot 1: contours<br/>Surface Plot 2: contours</p> </div> <div style="margin-right: 20px;">  </div> <div style="text-align: center;">  </div> </div> |   |  |
| <b>Resultados</b>   |   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión Máxima: 102168.60 Pa</li> <li>- Fx: 202.172 N</li> <li>- Fy: -2.111 N</li> <li>- Velocidad por resistencia aerodinámica: 134.333 Km/h</li> <li>- Velocidad Máxima: 156.951Km/h</li> <li>- Numero de Mach: 0.1087</li> </ul>  |   |  |

Concluida la simulación del Diseño aerodinámico se puede apreciar los resultados en la tabla 6 en los cuales arrojo valores de la presión máxima ejercida que es de 102161.35Pa totales y en sus vectores calculados, en el eje (X) 138.308N siendo esta la fuerza de resistencia para el cálculo de coeficiente de resistencia aerodinámica, una fuerza de sustentación eje (Y) de -15.243 N para el cálculo de coeficiente aerodinámico, velocidades de


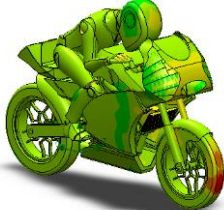
134.358 Km/h por resistencia aerodinámica y 159.870Km/h en la velocidad máxima con un numero de Mach de 0.1088

**Tabla 6.** Resultados simulación CFD diseño aerodinámico.

| <b>Diseño Aerodinámico</b>  |   |   |
|---|---|---|
| Para el análisis se dieron las siguientes condiciones físicas. <ul style="list-style-type: none"> <li>- Fluido de trabajo: aire</li> <li>- Temperatura de fluido: 20.1°C</li> <li>- Presión estática: 101325.00 Pa</li> <li>- Velocidad relativa: 135.000 km/h</li> </ul>     |   |   |
| <b>Especificación</b>   | <b>Gráfico</b>  | <b>Observaciones</b>  |
| Ensamble del Dummy con la motocicleta Bajaj Pulsar NS200 rediseñada.  |  | Diseño realizado con las dimensiones a escala real de la motocicleta y el carenado tipo Racing. |
|    |   |   |
|   |   |   |
| <b>Resultados</b>   |   |   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Presión Máxima: 102161.35 Pa</li> <li>- Fx: 138.308 N</li> <li>- Fy: -15.243 N</li> <li>- Velocidad por resistencia aerodinámica: 134.358 Km/h</li> <li>- Velocidad Máxima: 159.870Km/h</li> <li>- Numero de Mach: 0.1088</li> </ul> |   |   |

**Tabla 7.** Resultados comparativos específicos.

**Resultados comparativos específicos de los diseños estándar y aerodinámico y cálculos realizados.**

|   | Diseño estándar.  | Diseño aerodinámico.  |
|---|---|---|
|   |  |  |
| Velocidad Máxima                            | 156.951Km/h   | 159.870Km/h   |
| Velocidad por resistencia aerodinámica      | 134.333 Km/h  | 134.358 Km/h  |
|   | Continúa<br>Continuación...   |   |
| Coeficiente de sustentación. (Cy)           | -0.0023   | -0.0179   |
| Coeficiente de resistencia (Cx)             | 0.221   | 0.162   |
| Número de mach en velocidad máxima.         | 0.1267  | 0.1291  |
| Número de mach en velocidad por resistencia | 0.1087  | 0.1088  |
| Eficiencia aerodinámica                     | -0.010  | -0.110  |

## **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los datos y cálculos obtenidos se puede concluir que se ha logrado una mejora claramente notable con el diseño aerodinámico, los valores aerodinámicos de coeficiente de sustentación y resistencia son favorables proporcionando a la motocicleta un mayor sustentación y una menor resistencia al avance lo que genero un incremento de la velocidad máxima y en la velocidad por resistencia, consiguiendo un número de mach mal alto.

### 4.1. CONCLUSIONES.

- La Velocidad máxima en el diseño estándar fue de 156.951Km/h y en el diseño aerodinámico de 159.870Km/h por lo que podemos decir que se incrementó en 2.919km/h una de las mejoras más importantes y notables. Otra velocidad no menos favorable fue la velocidad por resistencia aerodinámica que fue de 134.333Km/h en el diseño estándar y 134.358Km/h en el diseño aerodinámico una diferencia de 0.025km/h, mejora que definiría una carrera al llegar los dos diseños juntos a la meta.
- En el cálculo de coeficiente de sustentación se obtuvo los valores adimensional calculados de -0.0023 en el diseño estándar y -0.0179 en el diseño aerodinámico resultando una diferencia de -0.0156 generando mejor adherencia al suelo lo que ayuda al pilotaje.
- En el coeficiente de resistencia se obtuvo los resultados en los cálculos adimensional de 0.221 en el diseño estándar y 0.162 en el diseño aerodinámico dando 0.059 menos resistencia en el carenado aerodinámico y por ende mejor desplazamiento.
- En cuanto al número de mach calculado en la velocidad máxima fue de 0.1267 en el diseño estándar y de 0.1291 en el diseño aerodinámico apreciando un número más alto es este último siendo mejor. En el número de mach en velocidad por resistencia se obtuvieron 0.1087 diseño estándar y 0.1088 en el diseño aerodinámico una mejora pequeña en este último pero no menos importante tomando en cuenta que es un numero adimensional importante en cada una de sus décimas y centésimas.
- Eficiencia aerodinámica importante también a la hora de paso por curva y equilibrio al pilotar se lograron resultados de -0.010 en el diseño estándar y un valor más alto en el diseño aerodinámico de -0.110.

## **4.2. RECOMENDACIONES.**

- El realizar un mayor número sería recomendado para obtener datos específicos a la hora de la simulación aerodinámica logrando así la ubicación de los puntos críticos o de mayor resistencia al avance, el cual solo se realizaría con una computadora bastante avanzada o enlazando varias computadoras en red.
- Utilizar un túnel de viento proporcionan datos aerodinámicos más exactos combinación con el diseño y los cálculos aerodinámicos realizados.
- Emplear un escáner de 3 dimensiones se consideraría apropiado para obtener un diseño más prolijo detallado.

## **BIBLIOGRAFÍA**



## BIBLIOGRAFÍA

- Albán Arnulfo. (2016) Análisis y simulación aerodinámica de una motocicleta de carretera tipo custom 125 cc mediante dinámica de fluidos computacional (DFC) y propuesta de diseño de un carenado frontal.
- Arias Paz. (2003) Motocicletas.
- Bayas Christian. (2015) Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia fórmula "SAE" en fibra de vidrio, para la escuela de ingeniería automotriz".
- Charles Dominic Bugni (2008) Aerodynamic hemisphere and socket motorcycle fairing.
- Daniel Martin Morillo (2016) Mejora aerodinámica de un turismo.
- González Tortosa (2009) manual del piloto.
- Hernán Pesis. (2015) MOTOS - Motores de 2 y 4 tiempos: Mecánica - Reparación – Mantenimiento.
- Hugo Hernández (2015) Reglamento Campeonato Nacional Ecuatoriano copa Cati categoría 250cc.
- Inés Mapachito. (2015) Aerodinámica de las motos.
- Javier León. (2017) Pamplona, Estudio aerodinámico de motocicletas de competición.
- Javier Rojo. (2016) Estudio y diseño aerodinámico de una moto de competición.
- Jesús Martínez (2018) Moto Pasión.
- Jota Alemán. (2017) Una historia de carenados envolventes, velocidades imposibles y polémica.
- Lindsay Brooke. (2018) Triumph motorcycles in America.
- Manual Bajaj pulsar (2013).
- Mauricio Uldane. (2014) Aerodinámica de los autos del ayer.
- Máximo Sant. (2015) Mala aerodinámica de motos.
- Mecánica de motos Senai-RJ Automotiva.
- Mick Woollett (2016) Historia de la moto.
- Miguel Muños Navarro (2010) Nociones Básicas del vuelo
- Miguel Oury Julián (2016) Diseño, desarrollo y fabricación de un carenado para una moto eléctrica de competición.
- Patxi Vergara. (2011) Modelado, análisis y simulación de un chasis de motocicleta.
- Rosero Diego. (2015) Diseño y construcción de una carrocería de un vehículo de competencia fórmula "SAE" en fibra de vidrio, para la escuela de ingeniería automotriz".
- Ruhe, A., y Diehl, H. (2013). *Pionero en aerodinámica*.
- Salvat (2002) Tecnología moderna tomo 14 historia del motociclismo.
- Sergio Alfaro. (2017) Estudio aerodinámico de motocicletas de competición.
- Selvamuthu, T., y Thangadurai, M. (2018). Reducción de la fricción de la

motocicleta usando un objeto aerodinámico por delante del jinete.

Tony Foale. (2003) Motocicletas comportamiento dinámico y diseño de chasis.

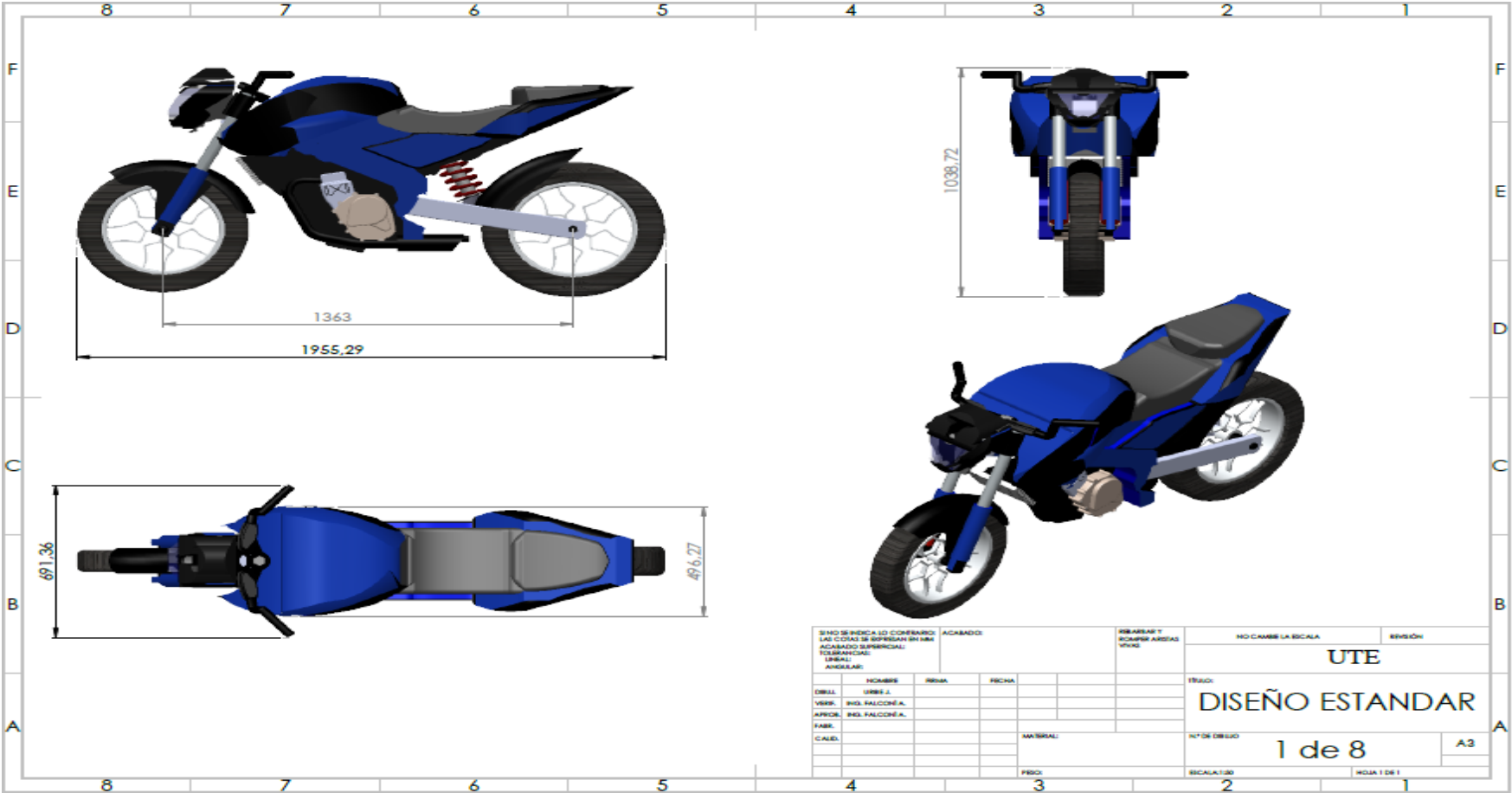
Whily Rendón. (2016) Desarrollo de carrocería aerodinámica para monoplaza eléctrico de la escudería ARA de la Regional Antioquia en el marco de la formula SENA ECO 2013-2014.

Yuliana Areiza. (2016) Desarrollo de carrocería aerodinámica para monoplaza eléctrico de la escudería ARA de la Regional Antioquia en el marco de la formula SENA ECO 2013-2014.

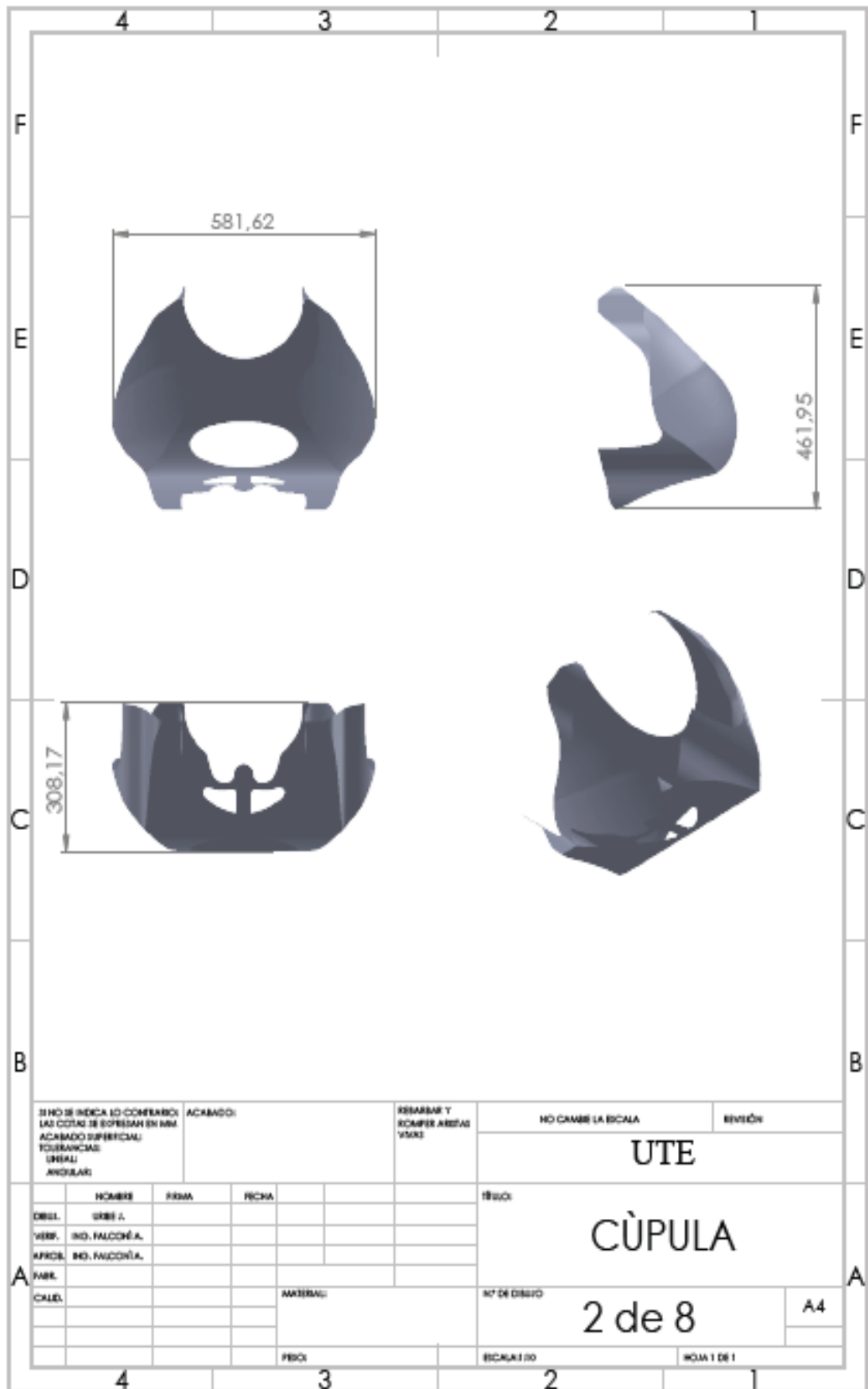
**ANEXOS**

**ANEXOS**

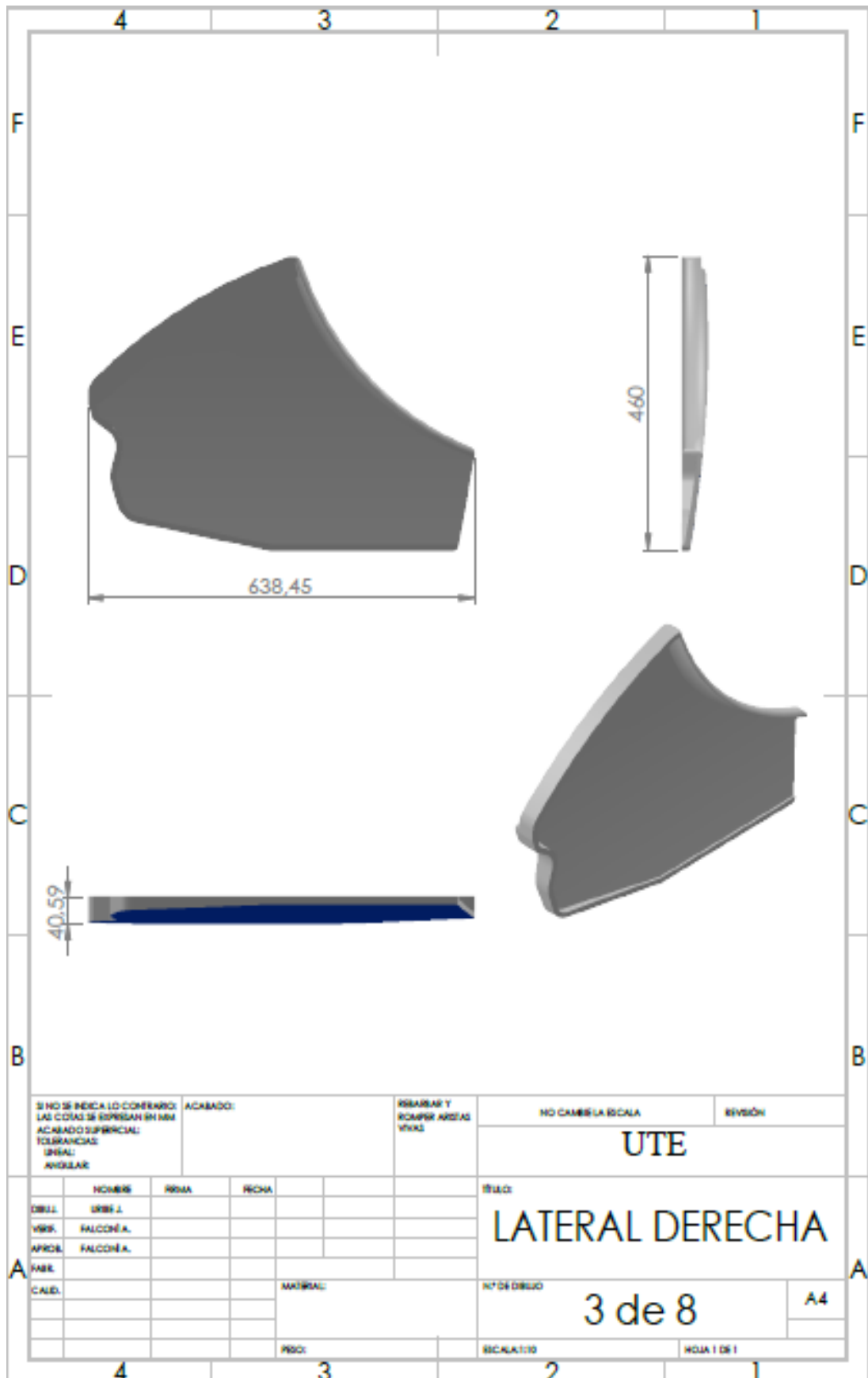
**ANEXO 1.  
LAMINA DE DISEÑO ESTÁNDAR**



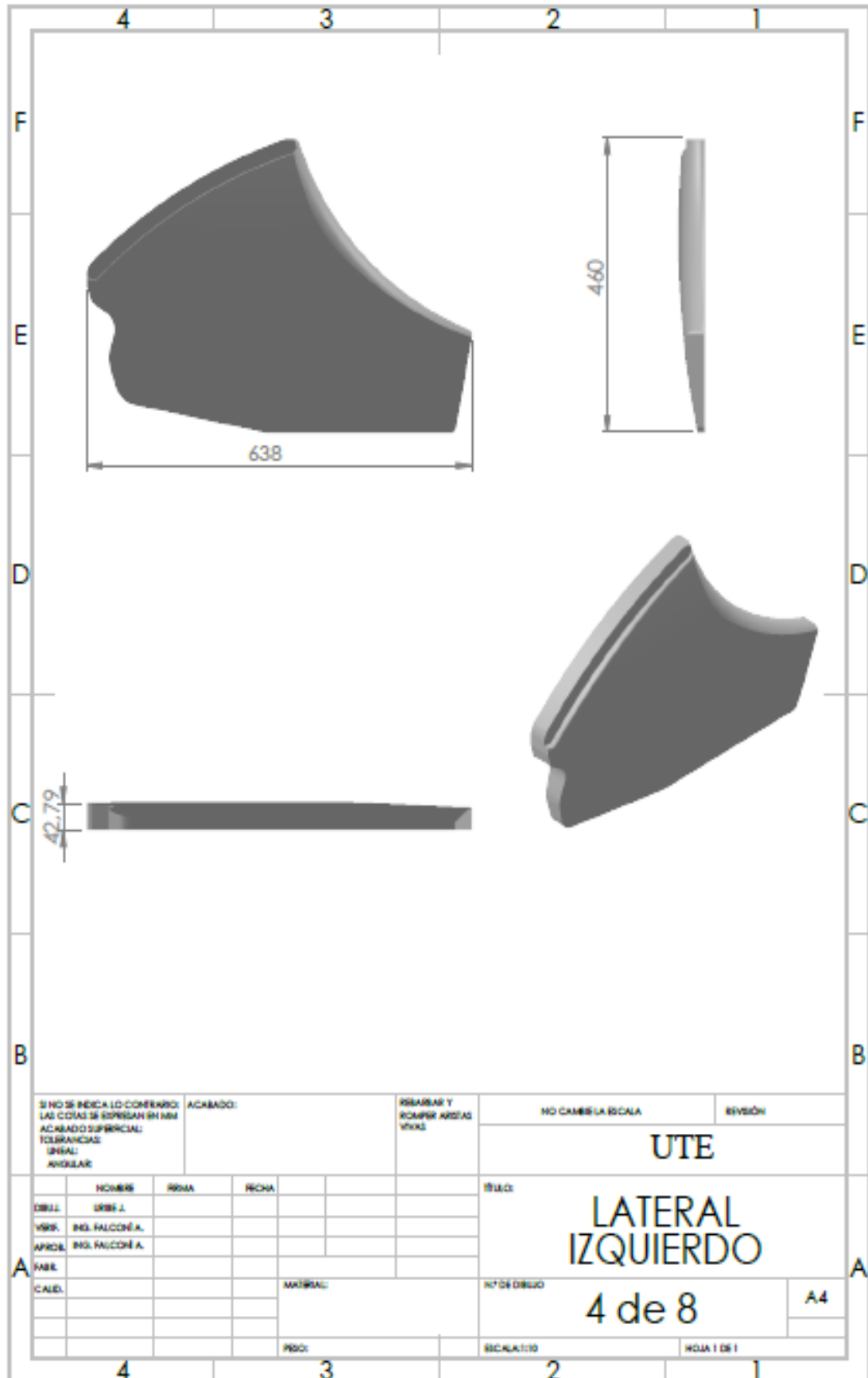
## ANEXO 2. LÁMINAS DE PARTES DEL DISEÑO AERODINÁMICO



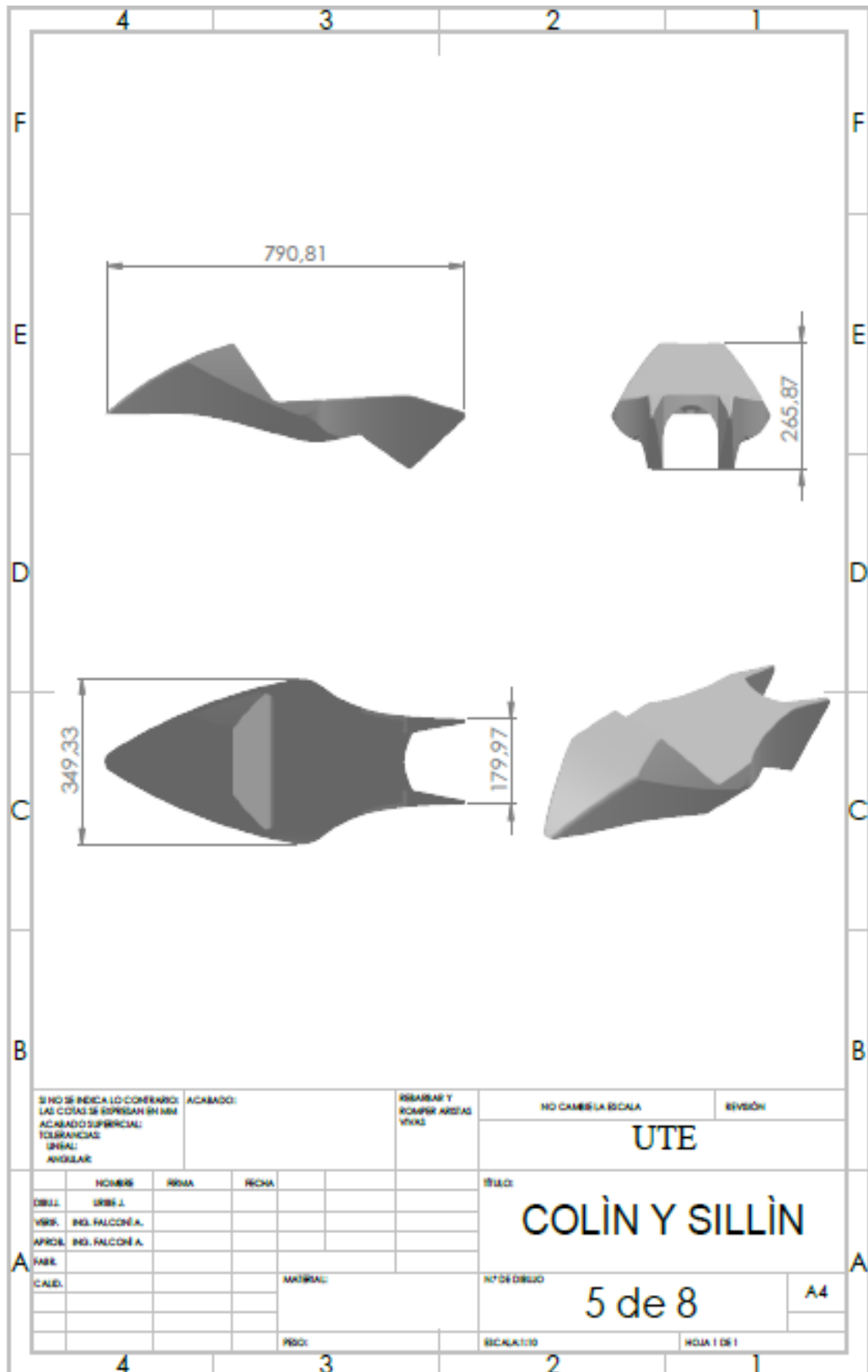
## ANEXO 3. LATERAL DERECHO



## ANEXO 4. LATERAL IZQUIERDO



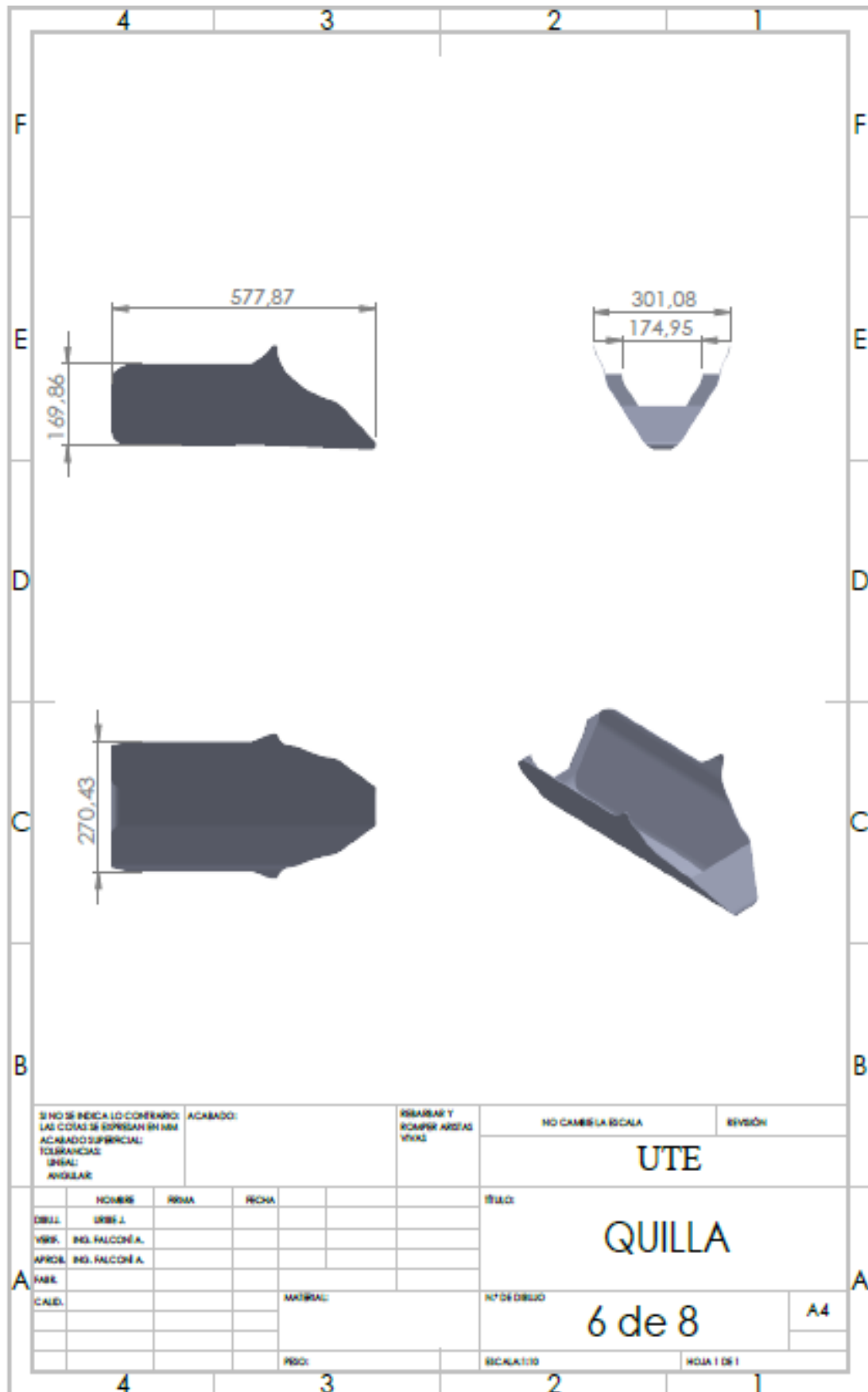
## ANEXO 5. COLÍN Y SILLÍN



|   |  |                |  |                                      |  |                     |  |                |  |
|---|--|----------------|--|--------------------------------------|--|---------------------|--|----------------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:<br>LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM<br>ACABADO SUPERFICIAL:<br>LINEAL:<br>ANGULAR: |  | ACABADO:       |  | REBARBAR Y<br>ROMPER ARISTAS<br>VIXX |  | NO CAMBIE LA ESCALA |  | DIVISION       |  |
|   |  |                |  |                                      |  | UTE                 |  |                |  |
| DIBUJ.  |  | NOMBRE         |  | PRIMA                                |  | FECHA               |  | TITULO:        |  |
| VRSF.   |  | ING. FALCÓN A. |  |                                      |  |                     |  | COLÍN Y SILLÍN |  |
| APRCE.  |  | ING. FALCÓN A. |  |                                      |  |                     |  | Nº DE DIBUJO   |  |
| FABR.   |  |                |  |                                      |  |                     |  | 5 de 8         |  |
| CALD.   |  |                |  | MATERIAL:                            |  |                     |  | HOJA 1 DE 1    |  |
|   |  |                |  | PROJ:                                |  |                     |  | ESCALA: 1:10   |  |

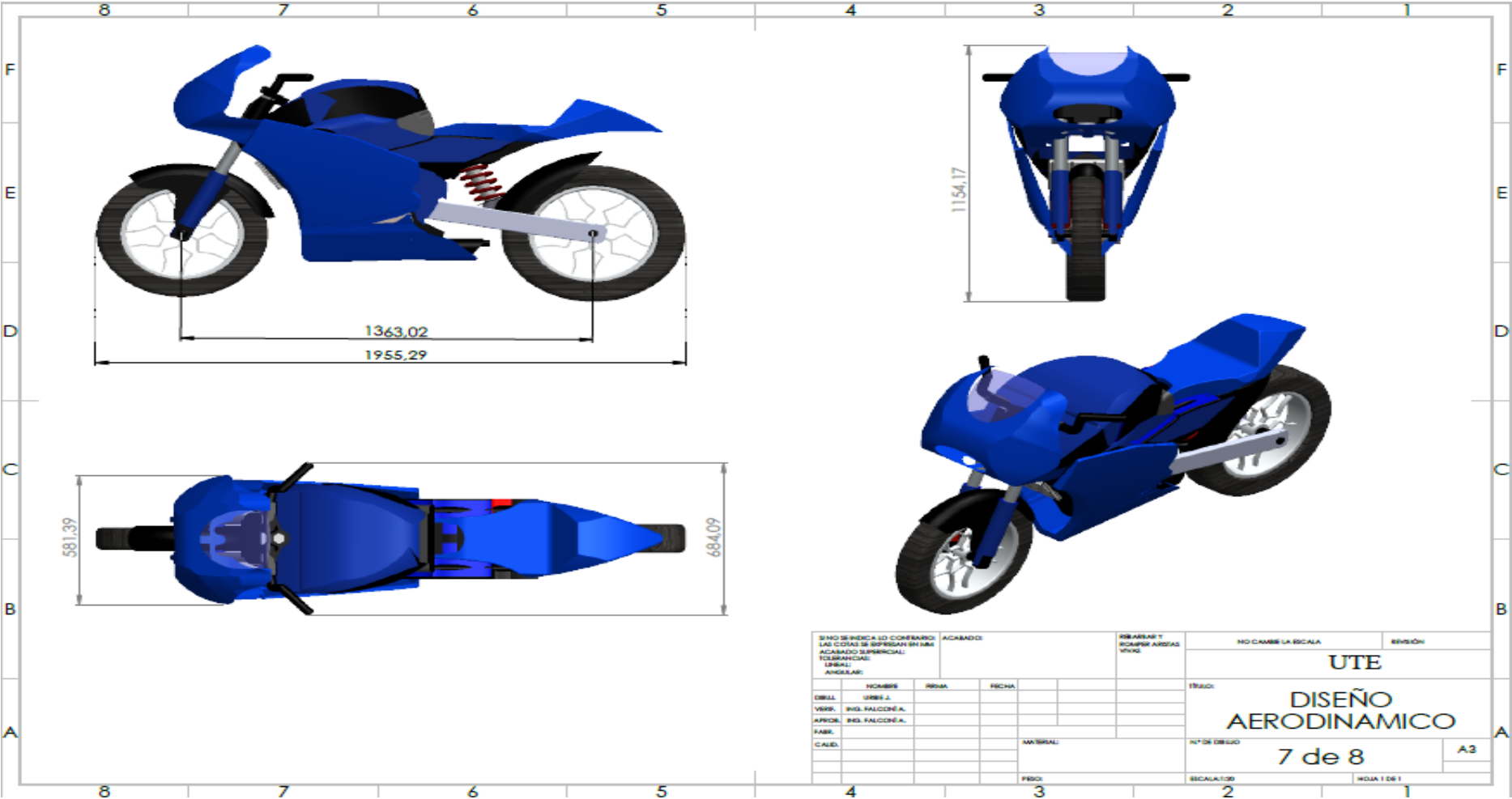


## ANEXO 6. QUILLA



|  |  |                |  |                                      |  |                     |  |          |  |
|--|--|----------------|--|--------------------------------------|--|---------------------|--|----------|--|
| SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:<br>LAS COTAS SE ESPESAN EN MM<br>ACABADO SUPERFICIAL:<br>TOLERANCIAS:<br>LINEAL:<br>ANGULAR: |  | ACABADO:       |  | REBARBAR Y<br>ROMPER ANISAS<br>VIVAS |  | NO CAMBIA LA ESCALA |  | DIVISION |  |
|  |  |                |  |                                      |  | UTE                 |  |          |  |
| NOMBRE   |  | FORMA          |  | FECHA                                |  | QUILLA              |  |          |  |
| DISEÑ.   |  | DISEÑ.         |  | DISEÑ.                               |  |                     |  |          |  |
| VRS.   |  | ING. FALCÓN A. |  | VRS.                                 |  |                     |  |          |  |
| APROB.   |  | ING. FALCÓN A. |  | APROB.                               |  |                     |  |          |  |
| MATER.   |  | MATER.         |  | MATER.                               |  | Nº DE DIBUJO        |  | A4       |  |
| CALIB.   |  | CALIB.         |  | CALIB.                               |  | 6 de 8              |  |          |  |
| PESO:  |  |                |  | ESCALA: 1:10                         |  | HOJA 1 DE 1         |  |          |  |

# ANEXO 7. DISEÑO AERODINÁMICO



## ANEXO 8. MUÑECO DE PRUEBA.

