



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO Y ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UNA
MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

MEMORIA

Unai Zabala Versteeg

Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, 29 de Abril de 2010

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	5
2	ANTECEDENTES.....	6
2.1	MotoStudent	7
2.1.1	La competición	7
2.1.2	Fases de la competición.....	7
2.1.3	El equipo	11
3	OBJETIVOS	13
4	DATOS DE PARTIDA.....	14
4.1	REGLAMENTO TÉCNICO	14
4.1.1	La motocicleta	14
4.1.2	Requerimientos generales del diseño	14
4.1.2.1	Dimensiones.....	14
4.1.2.2	Pesos	15
4.1.3	Carenados.....	16
4.1.3.1	Restricciones dimensionales	16
4.1.3.2	Seguridad	17
4.2	COMPONENTES ESTÁNDAR	17
4.2.1	El motor	18
4.2.2	Horquilla	19
4.2.3	Amortiguador	19
4.2.4	Llantas.....	19
4.2.5	Neumáticos.....	20
5	FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....	21
5.1	FLUIDOS.....	21
5.1.1	Definición de fluido y algunas de sus propiedades.....	21
5.1.2	Ecuaciones de estado	25
5.1.3	El principio de Bernouilli y principio de Venturi	28
5.1.4	Flujo laminar y turbulento	30
5.1.5	Número de Reynolds	30
5.2	AERODINÁMICA de motocicletas.....	32
5.2.1	Resistencia aerodinámica	32
5.2.1	Flujo de aire interno	38
5.2.1	Sustentación y Centro de Presiones	39
5.2.2	Túnel de viento	43
5.2.3	Evolución de los carenados de competición.....	48

5.3	CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)	56
6	POSIBLES VÍAS DE TRABAJO	60
6.1	DISEÑO	60
6.1.1	Dibujo a mano alzada	60
6.1.2	Maqueta	62
6.1.3	Diseño asistido por ordenador (CAD)	62
6.1.4	Ingeniería inversa	63
6.2	ANÁLISIS AERODINÁMICO	66
6.2.1	Túnel de viento	66
6.2.2	Túnel hidrodinámico.....	67
6.2.3	Pruebas en pista	67
6.2.4	CFD.....	68
7	MÉTODO DE TRABAJO ADOPTADO	70
8	DESARROLLO DEL TRABAJO	74
8.1	DISEÑO TRIDIMENSIONAL	74
8.1.1	Fotogrametría	74
8.1.1.1	Marcación y fotografía	75
8.1.1.2	Procesado de las fotografías y generación de nube de puntos	80
8.1.2	Generación y adaptación del modelo tridimensional con CATIA	84
8.1.2.1	Creación de superficies de cada pieza del carenado	84
8.1.2.2	Geometría y otras componentes de la motocicleta.....	90
8.1.2.3	Posicionamiento y enlace de las piezas	94
8.1.2.4	El piloto	98
8.1.2.5	Adecuación de la geometría para su tratado en CFD.....	101
8.1.2.6	Túnel de viento virtual	106
8.2	CFD con STAR CCM+	108
8.2.1	Medios informáticos de cálculo.....	108
8.2.1.1	Hardware	108
8.2.1.2	Software	108
8.2.2	Geometría a analizar	108
8.2.3	Mallado.....	109
8.2.4	Condiciones de contorno.....	111
8.2.5	Análisis.....	113
9	SIMULACIONES	115
9.1	Resultados numéricos	115
9.1.1	Área frontal.....	115
9.1.2	Fuerza de arrastre.....	115
9.1.3	Sustentación	117

9.2	Mapas gráficos	118
9.2.1	Mapa de presiones	118
9.2.2	Mapa de velocidades	125
9.2.3	Vectores de velocidad	130
9.2.4	Líneas de flujo	134
10	CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	137
10.1	COEFICIENTE AERODINÁMICO	137
10.2	FUERZA DE RESISTENCIA AERODINÁMICA	139
10.3	VELOCIDAD MÁXIMA.....	141
10.3.1	Fuerzas de resistencia al avance	141
10.3.2	Fuerza de empuje	145
10.3.3	Optimización de velocidad máxima	148
11	CONCLUSIONES.....	150
12	BIBLIOGRAFÍA.....	153

1 INTRODUCCIÓN

La presente memoria describe el desarrollo del Proyecto Fin de Carrera *Diseño y Análisis Aerodinámico de una Motocicleta de Competición*, así como toda la información necesaria para llevarlo a cabo.

El trabajo se basa en el **diseño y análisis aerodinámico de una motocicleta de 125 centímetros cúbicos**, que participará en una competición interuniversitaria denominada MotoStudent.

Los primeros capítulos informan sobre los **orígenes del Proyecto**. También se aportan datos sobre MotoStudent y su reglamento (especialmente en su faceta más ligada a la Aerodinámica). Ambos constituyen el punto de partida para el desarrollo de los principales **objetivos**, que serán posteriormente destacados.

El informe recoge algunos **conceptos básicos** de fluidos y de aerodinámica, profundizando en la teoría relacionada con la aerodinámica de motocicletas. En esta línea, el trabajo describe una técnica de análisis aerodinámico con software especializado, denominada comúnmente CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).

Seguidamente, se muestran diferentes **métodos y técnicas de trabajo** para alcanzar los objetivos marcados, realizándose una selección razonada de los que más se adaptan a nuestras necesidades.

Las siguientes páginas desgranar todo el trabajo realizado con las técnicas marcadas anteriormente. El **desarrollo** consiste en dibujar en tres dimensiones dos modelos de motocicletas diferentes ya existentes en el mercado. Para ello, se emplean técnicas de ingeniería inversa. Después, se preparan los modelos para su posterior proceso de análisis mediante CFD.

Tras las **simulaciones aerodinámicas**, los últimos capítulos del informe muestran gráficamente los **resultados** de ambos modelos y **se comparan** para elegir el carenado más conveniente. Se realiza a posteriori un **análisis** exhaustivo de los resultados, obteniéndose nuevos valores, muy útiles para otros aspectos de la motocicleta y para la propia competición.

Para finalizar, se puntúan las **conclusiones** y valoraciones de todo el trabajo desarrollado.

2 ANTECEDENTES

A finales de 2008, en la Universidad Pública de Navarra (UPNA) se presentó la oportunidad de participar en la primera edición de **MotoStudent**. Se trata de una competición promovida por la fundación Moto Engineering, que plantea un desafío entre equipos de estudiantes de últimos cursos de ingeniería de distintas universidades españolas y europeas. Cada equipo tiene que diseñar y desarrollar un prototipo de motocicleta de competición de 125 centímetros cúbicos. Posteriormente, se evaluarán en una competición que tendrá lugar en las instalaciones de MotorLand Aragón.

Los estudiantes, en un periodo de tiempo de tres semestres (18 meses), han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación, así como habilidad para aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con equipos de universidades de todo el mundo.

Las motos serán evaluadas en una serie de eventos: exposiciones orales y de “stand”, inspecciones técnicas, demostraciones dinámicas, etc. Para poder evaluar y puntuar los proyectos, la competición tendrá un proceso de selección por fases.

Al inicio de 2009, logramos configurar un equipo de estudiantes para sumergirnos de lleno en este reto, que ofrecía una ocasión única para enriquecer nuestro Proyecto Final de Carrera. Competir en esta primera edición supone trabajar en equipo para poder abrir camino en un mundo prácticamente desconocido para nosotros. La creación de un colectivo de estas características tiene un gran enfoque práctico y empresarial. Todos debemos aprender y colaborar en diferentes tareas generales del proyecto: ponerle nombre al equipo, realizar un logotipo, buscar patrocinadores, etc. Luego, cada estudiante aprovechará la ocasión para realizar su propio Proyecto Final de Carrera, profundizando en temas concretos.

Una vez creado el equipo y cumplidas las primeras pautas, se realizó la distribución de los posibles proyectos entre los miembros del mismo. Se elaboró un listado abarcando aspectos generales necesarios para diseñar y construir una moto y cumplir con las bases de la competición (diseño del chasis, diseño del basculante, estudio general del motor, fabricación, etc.).

En lo personal, se me asignó la parte aerodinámica de la moto. De ahí que este Proyecto Final de Carrera se base en el diseño y análisis aerodinámico de una motocicleta de competición.

A continuación se explica más detalladamente el origen de este proyecto, para permitir una mejor comprensión del marco en que se desarrolla.

2.1 MotoStudent

2.1.1 La competición

La competición MotoStudent, promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (MEF), es un desafío entre equipos universitarios de distintas universidades españolas, europeas y del resto del mundo. Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada (125 dos tiempos). Éste competirá, a través de su correspondiente evaluación, en unas jornadas que se llevarán a cabo –inicialmente- en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón.

Para el propósito de esta competición, el equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes. En un periodo de 18 meses (tres semestres) han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación, así como su habilidad para aplicar su capacidad como ingenieros, en comparación con equipos adscritos a universidades de todo el mundo.

2.1.2 Fases de la competición

La competición tiene una duración de 18 meses, en los que debemos plantear el escenario real de un equipo de motociclismo de competición. Una vez conformados los equipos, se debe buscar apoyo externo y, sobre todo, patrocinadores capaces de aportar la financiación necesaria y/o equipos, componentes, apoyo técnico, asesoría, etc.

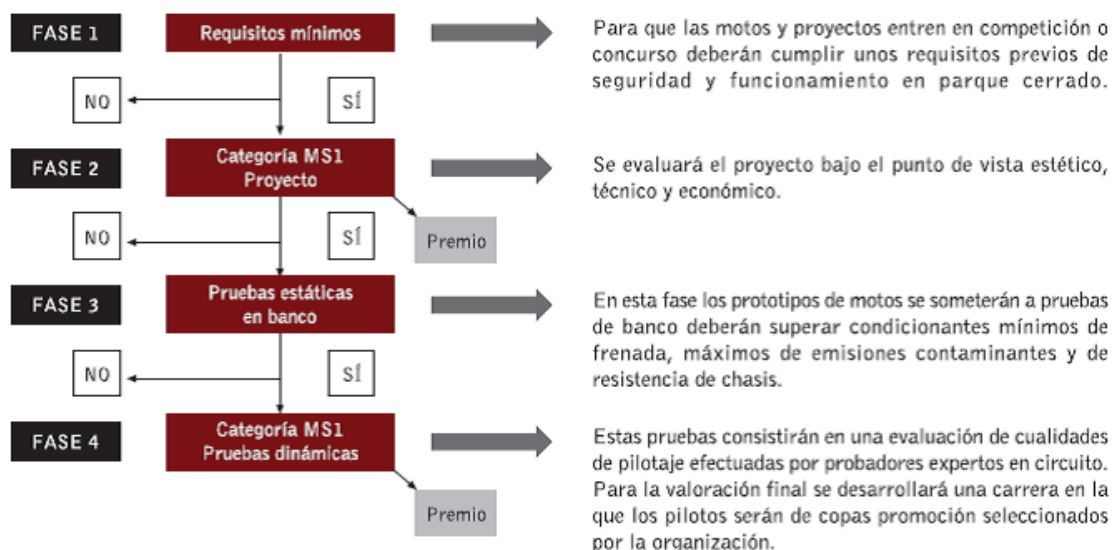
Una vez obtenido el importe mínimo necesario para participar en la competición, y tras justificar dicho soporte económico ante la Organización, se pasa a la Fase de Diseño, en la que nos encontramos actualmente. Nuestra tarea es diseñar completamente la moto de competición, ciéndonos a un reglamento técnico y organizativo, cumpliendo los plazos fijados por la Organización, y ajustándonos a los recursos aportados por los patrocinadores, colaboradores y la universidad. Paralelamente al diseño de los componentes, se deberán desarrollar distintos medios para la construcción de los componentes que así lo requieran, así como la compra de otros elementos. En definitiva, acciones imprescindibles para construir la moto.

A lo largo del proceso, deberán realizarse numerosas pruebas de diseño, componentes, y puesta a punto de un prototipo que garantice, contando con los ajustes pertinentes, una mínima competitividad de la moto. Además, se deberá atender a las posibles modificaciones que pueda introducir la Organización, ya que podrían producirse reajustes en función de la marcha de los acontecimientos.

Durante toda la competición (fase de diseño y carrera), la Organización exigirá a los equipos ciertas justificaciones, así como unos requisitos mínimos para la moto. Son los siguientes:

- Presentación de justificación de sponsors. Los equipos participantes deben justificar de forma clara qué empresas e instituciones sufragan la construcción del prototipo, antes del 8 de mayo de 2009.
- Presentación de diseño cerrado. Antes del 31 de marzo de 2010, los equipos participantes presentarán a la Organización información gráfica en detalle del prototipo, que será salvaguardada por ésta. La información deberá permitir a los jurados, sin manipulación informática alguna, verificar los futuros prototipos. Esta documentación sólo será analizada por los jurados en las jornadas de competición y validarán que el prototipo presentado responde a esa información.
- Los grupos presentarán un prototipo para que sea revisado por los inspectores conforme a los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.
- Realización de una mínima prueba de funcionamiento en parque cerrado. Consistirá en una prueba de arranque y parada, y de maniobrabilidad a derechas e izquierdas entre 10 conos situados a 3 metros de distancia.
- Presentación en el stand preparado por la organización de los paneles informativos que consideren convenientes.
- El proyecto industrial será definido ante un jurado de expertos elegidos por la organización.
- Las pruebas de seguridad en banco pretenden ser una garantía de robustez, fiabilidad y seguridad ante las pruebas en circuito. Así, las motos deberán superar las siguientes pruebas:
 1. Prueba de resistencia de chasis según especificaciones de reglamento técnico.
 2. Prueba de frenada en banco de rodillos según especificaciones de reglamento técnico.
 3. Análisis de gases de escape según especificaciones de reglamento técnico.
- Los equipos que hayan superado las pruebas de seguridad pondrán sus motos a disposición de profesionales de pruebas y ensayos elegidos por la Organización, que harán una valoración de sus prestaciones en el circuito de velocidad. Cada moto será probada por un mínimo de tres pilotos, los cuales evaluarán:
 1. Capacidad de frenada
 2. Capacidad de aceleración
 3. Maniobrabilidad
 4. Estabilidad
 5. Velocidad punta
- Carrera en el circuito de Alcañiz, donde las motos serán probadas por pilotos de categoría promoción seleccionados por la organización y sorteadas entre ellos.

Éste es el esquema general del proceso de validación del prototipo:



La competición de MotoStudent es, sobre todo, una competición ingenieril: no se puede resumir sólo en una carrera. El ganador será el equipo que consiga la mayor cantidad de puntos en las distintas fases. La evaluación corresponderá en cada caso a un jurado designado por la organización. Ésta es la forma en que se repartirán los puntos:

1. Proyecto industrial, 600 puntos en total como máximo divididos en:

- Diseño industrial: 150 puntos.
- Análisis y cálculos técnicos: 175 puntos.
- Definición del sistema de fabricación e industrialización: 175 puntos.
- Análisis de costos del desarrollo del prototipo y del proceso industrial de fabricación: 100 puntos.

2. Evaluación de las prestaciones, 400 puntos en total como máximo divididos en:

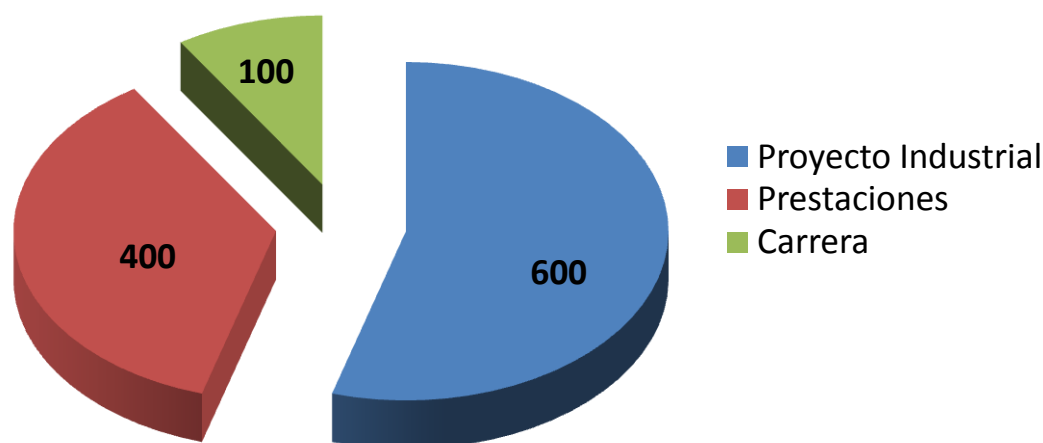
- Capacidad de frenada: 80 puntos.
- Capacidad de aceleración: 80 puntos.
- Maniobrabilidad: 80 puntos.
- Estabilidad: 80 puntos.
- Velocidad punta: 80 puntos.

3. Carrera, 100 puntos como máximo para el vencedor:

Puesto en carrera	Puntos
Primero	100
Segundo	90
Tercero	85
Cuarto	80
5º a 9º	76-60 (4 puntos de diferencia entre cada puesto)
10º a 15º	57-42 (3 puntos de diferencia entre cada puesto)
16º a 30º	40

Aquellos equipos que no terminen la carrera no obtendrán ningún punto en esta fase.

Puntos en juego en cada fase



Mediante este sistema de puntuación, la Organización pretende premiar los mejores proyectos industriales y de diseño, dando menos importancia a la carrera, donde pueden intervenir muchos factores que los participantes no controlan; entre ellos, por ejemplo, la elección del piloto, elegido al azar entre unos candidatos proporcionados por la organización el mismo fin de semana de la carrera. Además, dentro de la puntuación de la carrera, las diferencias por puesto no son muy exageradas. Sí se da mucha importancia, en cambio, al hecho de construir una moto capaz de correr y completar la prueba.

Para una información más detallada acerca de la competición MotoStudent, se deberá consultar el Reglamento Funcional redactado por la Organización que aparece recogido en el “Anexo I”, presente en los documentos de este proyecto o en la propia página web de la Organización: www.motostudent.com

2.1.3 El equipo

El equipo que representa a la UPNA en esta competición se constituyó en un principio con 11 estudiantes de esta misma universidad de las titulaciones de Ingeniería Industrial (II) e Ingeniería Técnica Industrial Mecánica (ITIM), si bien actualmente consta de un total de 14 estudiantes:

Nombre	Titulación	Curso	Proyecto
Maite Apesteeguía Amorena	ITIM	3	Maqueta 3D
Javier Arana Santamaría	II	5	Industrialización serie de 500 unidades
Maite Arbeloa Murillo	II	5	Pruebas del motor
Ignacio Arenaza Borja	ITIM	3	Basculante
Xabier Arteta Erviti	II	5	Fabricación del prototipo
Ángela Cildoiz Guembe	ITIM	3	Estudio del escape
María Cildoiz Guembe	ITIM	3	Estudio de la admisión
Iria Coba Antón	II	5	Chasis alternativo de aluminio
Joaquín Eransus Soba	II	5	Industrialización serie de 500 unidades
Ibai Irigoien Ulayar	II	5	Determinación de geometría básica y cargas
Álvaro Larumbe Valencia	II	5	Piecerío y dirección
Ernesto Limousin Aranzábal	II	5	Chasis de acero
Miguel Ángel Urgelles Asensio	II	5	Gestión y organización
Unai Zabala Versteeg	II	5	Aerodinámica

Todos ellos cumplen con los requisitos impuestos por la Organización del evento para poder participar en la competición. Además el equipo se encuentra dirigido por los profesores de la UPNA:

José Sancho

César Díaz de Cerio

Asimismo, ha sido inscrito en la competición con el nombre de: ETSIIT-UPNa Racing, contando incluso con logotipo y pagina web propia:



www.upnaracing.com

Además, el equipo dispone de un grupo de apoyo que participa en el desarrollo técnico (aunque sin estar inscrito oficialmente en la competición), que aporta conocimiento y ayuda al grupo oficial en el desarrollo de toda la competición.

Este grupo de apoyo consta de todo tipo de personas como otros alumnos y profesores de la propia universidad, mecánicos de distintos talleres especializados en motocicletas, profesores de otros centros, etc. que además ayudan de forma desinteresada. Por otro lado tenemos empresas patrocinadoras, las cuales algunas aportan dinero, otras aportan materiales y herramienta y otras nos ofrecen sus servicios de soldadura, diseño de publicidad, etc.

3 OBJETIVOS

El objetivo particular del Proyecto es **obtener un perfil aerodinámico eficiente y optimizado** para un prototipo de motocicleta de 125 cc destinado a participar en la competición MotoStudent entre equipos de diversas universidades.

Ello implica trabajar en la búsqueda de un objetivo más específico, como es el desarrollo de un diseño de carenado que muestre una **resistencia aerodinámica mínima** para potenciar las buenas prestaciones de la moto. El perfil del carenado a desarrollar deberá proporcionar una buena estabilidad para la moto.

Para optimizar todos estos valores a nuestras necesidades, y como objetivo operativo más relevante, será necesario **diseñar y analizar** aerodinámicamente uno o varios carenados con técnicas, herramientas y materiales disponibles en la propia universidad o al alcance de nuestro presupuesto. El diseño se debe ajustar a las dimensiones de la moto, marcadas por estudios y análisis de otros compañeros del equipo. Evidentemente, el carenado también debe cumplir el reglamento marcado por la competición.

Todas las tareas se integran en el trabajo compartido de un equipo de 14 estudiantes de la UPNA que tiene como objetivo general la construcción del prototipo de motocicleta que permita ganar la competición MotoStudent. Ello será sólo posible mediante el alcance de los siguientes hitos:

- Configurar un equipo con un gran enfoque **práctico y empresarial**.
- **Colaborar y coordinarse** al máximo con el resto de miembros del equipo.
- **Adecuar** todas las actuaciones previstas conforme a las necesidades de la competición y de acuerdo con las posibilidades del equipo.

4 DATOS DE PARTIDA

A continuación se van a describir los datos de que se dispone para tener en cuenta a la hora de hacer el diseño y análisis aerodinámico de la motocicleta. Todo ello se encuentra relacionado con las pautas establecidas por la Organización, ya que es ella la que dispone las especificaciones de partida para el diseño de todas la motos que van a participar en la competición, estableciendo las limitaciones y libertades que se poseen para que la moto sea validada y pueda competir en el evento.

4.1 REGLAMENTO TÉCNICO

La Organización ha establecido un reglamento técnico (Anexo I) que contiene la normativa técnica reguladora de la competición. Con él se pretende estandarizar y acotar la gran variedad de posibilidades que existe en la construcción de un prototipo de moto de competición. De este modo todos los proyectos presentados por las diferentes universidades inscritas en la competición se ajustarán a una línea de trabajo orientativa y común, posibilitando una competencia objetiva entre los participantes.

Por todo ello el primer paso a dar en la realización de este proyecto consistirá en el análisis detallado de dicho documento, para ser consciente de qué es lo que se puede y no se puede hacer respecto al diseño de la moto. Por tanto este estudio deberá centrarse principalmente, en las partes del Reglamento referentes a todo aquel elemento o sistema relacionado con el carenado que tenga influencia en la realización de este proyecto.

Una vez analizado todo ello se pueden considerar las siguientes restricciones establecidas por la Organización que afectan directamente a la elaboración de este proyecto:

4.1.1 La motocicleta

El objetivo de la competición es la construcción de un vehículo de dos ruedas a motor de combustión interna. Dicho vehículo será concebido para el pilotaje de un solo ocupante. La motocicleta deberá ser un prototipo diseñado y construido para la competición de carreras de velocidad.

4.1.2 Requerimientos generales del diseño

4.1.2.1 Dimensiones

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos:

- La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares ha de ser de 450 mm. (*Figura 1*)
- El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se

realiza con la motocicleta descargada pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento. (Figura 1)

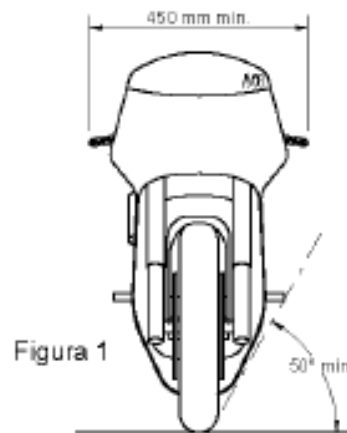


Figura 1

- La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías. (Figura 2)
- Limite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero. (Figura 2)

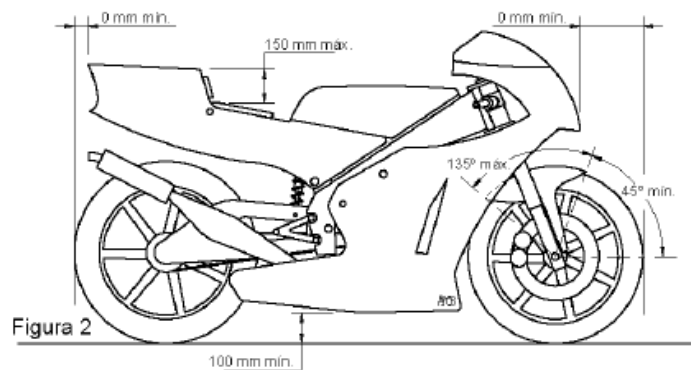


Figura 2

- La distancia de los neumáticos a cualquier elemento de la motocicleta diferente de la rueda no podrá ser inferior a 15 mm en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- La anchura máxima del asiento debe ser de 450 mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape.

4.1.2.2 Pesos

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos en ningún momento de las pruebas deberá ser inferior a

90 kg. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y al final de la competición. Esta permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

4.1.3 Carenados

4.1.3.1 Restricciones dimensionales

- Todos los bordes y acabados del carenado han de ser redondeados. Radio mínimo 1 mm.
- La anchura máxima del carenado será de 600 mm. (Figura 3)

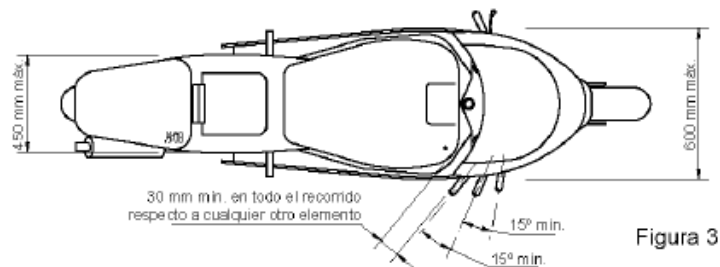


Figura 3

- Límite frontal: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.
- Límite posterior: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical posterior trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.
- Lateralmente: El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto). La llanta posterior no podrá cubrir-se en más de 180°.
- Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.
- La utilización de guardabarros no es obligatoria.
- El guardabarros delantero 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 que pasa por el eje de rueda. En esos 135° las dimensiones del guardabarros son libres.
- Esta permitido el uso de alerones como pieza del carenado. Deberán no superar la anchura del carenado o del colín ni superar la altura de los extremos del manillar. El radio mínimo será de 2 mm. Se permite el uso de dispositivos móviles aerodinámicos.

4.1.3.2 Seguridad

Todos los sobraderos de la motocicleta deberán redirigirse a un depósito de un mínimo de 250 cm³ de capacidad para evitar vertido de líquidos. (Sobrado de aceite cárter, depósito de gasolina, refrigerante).

4.2 COMPONENTES ESTÁNDAR

La Organización proporciona una serie de piezas que todos los modelos de motocicletas deben incorporar, en base a las cuales debe desarrollarse el resto del prototipo. Todo ello con el objetivo de proporcionar un punto de partida común para todos los equipos, que facilite de inicio el diseño global de la motocicleta, de modo que todos los prototipos se ajusten a una línea de trabajo orientativa y común, posibilitando una competencia objetiva entre los participantes.

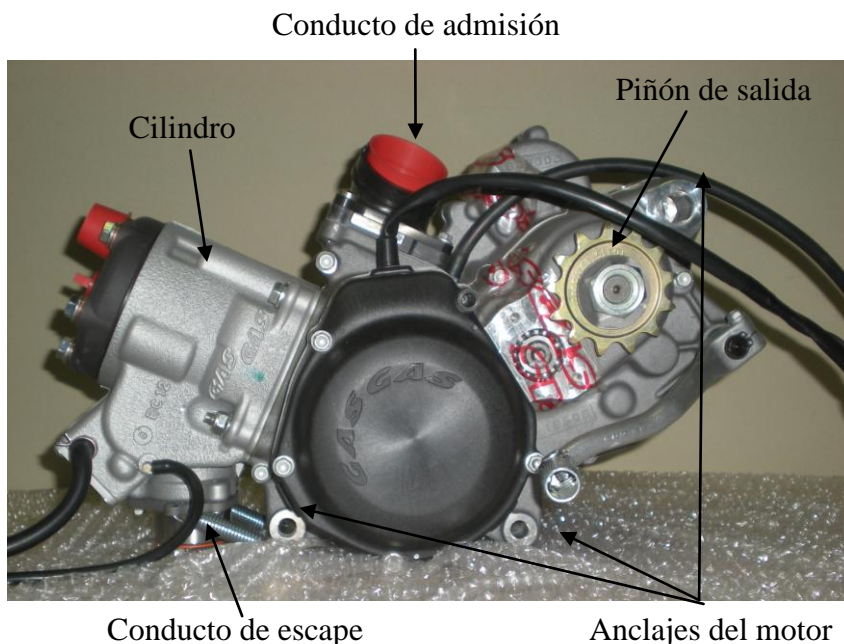
Las piezas proporcionadas por la Organización son:

- Motor
- ECU
- Bujía
- Palanca de cambios
- Bobina
- Pipa
- Horquilla delantera
- Amortiguador trasero
- Sistema de frenos:
 - Bomba
 - Pinza delantera
 - Pinza trasera
 - Maneta
- Llantas
- Neumáticos

De entre ellas sólo algunas afectan directa o indirectamente al diseño del carenado y estudio de la aerodinámica, objeto de este proyecto. Por ello a continuación se aporta toda la información existente sobre ellas.

4.2.1 El motor

El motor proporcionado por la Organización puede observarse en la imagen siguiente, donde además se especifican algunas de sus partes:



El motor presenta la siguiente ficha técnica:

- *Marca:* Gas Gas *Modelo:* MEH 12-08
- *Tipo:* dos tiempos
- *Número de cilindros:* Uno
- *Refrigeración:* líquida
- *Diámetro por carrera:* 54 x 54,5
- *Cilindrada total:* 124 cc
- *Encendido: electrónico:* CDI (KOKUSAN FP 8050)
- *Arranque:* a palanca
- *Embrague:* multidisco en baño de aceite. Accionamiento hidráulico
- *Cambio:* seis velocidades
- *Transmisión primaria:* por engranajes
- *Caja de láminas:* VForce
- *Válvula de escape:* mecánica centrífuga

4.2.2 Horquilla

La competición nos proporciona una horquilla en caso de utilizar este sistema de amortiguación delantera. La horquilla es la que monta la Yamaha yzf 125 cc.



Yamaha yzf 125cc

4.2.3 Amortiguador

Se trata de un amortiguador SACHS.



Amortiguador SACHS

4.2.4 Llantas

La organización proporciona las mismas llantas a todos los equipos, son las que monta la derbi gpr de 50 cc.



Derbi gpr 50cc

4.2.5 Neumáticos

Los neumáticos al igual que las llantas son proporcionados por la organización y comunes para todos los equipos. Se trata de neumáticos DUNLOP motorsport, el delantero será un 95/70R17 y el trasero un 115/70R17.



Neumáticos Dunlop

5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

En este apartado se muestran unos conceptos básicos de fluidos y aerodinámica que ayudarán a comprender mejor el trabajo realizado en este Proyecto. Comienza desde los conceptos más básicos hasta llegar a temas más específicos relacionados con el mundo de las motocicletas de competición. Se muestran desde un punto de vista práctico para hacer más sencilla si cabe su comprensión.

5.1 FLUIDOS

La aerodinámica estudia el movimiento relativo de un fluido gaseoso en torno a un cuerpo sólido, por tanto empezaremos con el estudio de los fluidos.

5.1.1 Definición de fluido y algunas de sus propiedades

Tanto los líquidos como los gases son considerados fluidos, y el número de aplicaciones en la que se estudian aparte de la aerodinámica es enorme: respiración, tuberías, barcos, ríos, molinos de viento, motores, ventiladores, turbinas, aviones, filtros, flujo sanguíneo, meteorología, chorros y aspersores por mencionar algunas. Bien pensado, casi todas las cosas que existen en este planeta o son un fluido o se mueven inmersas o cerca de un fluido. Todos sabemos que los fluidos más cotidianos en nuestras vidas son el aire como gas y el agua como líquido, pero aparte de los innumerables fluidos que puedan existir, hay muchos otros elementos que a pesar de no ser un fluido se comportan como tal:



Figura 5.1: Ejemplos de comportamiento de un fluido en elementos cotidianos.

La Mecánica de Fluidos es tan diversa que se puede llegar a emplear hasta para hacer estudios de evacuación de un estadio.

Se denomina fluido al sistema de partículas que, a diferencia de los sólidos, no están unidas rígidamente y pueden moverse con una cierta libertad unas respecto de las otras. Esto le permite ceder a cualquier fuerza tendiente a alterar su forma, con lo que fluye adaptándose a la del recipiente. La diferencia entre el fluido líquido y el gaseoso radica en que las partículas que componen un líquido se encuentran más unidas que las de un gas; por esta razón, el volumen del líquido dentro de un recipiente, permanece constante con una superficie límite bien definida, mientras que el del gas no posee límite y se difunde en el aire disminuyendo su densidad.

Técnicamente hablando, un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo cortante, sin importar cuán pequeño sea ese esfuerzo.

Una fuerza cortante es el componente de fuerza tangente a una superficie, y esta fuerza dividida por el área de la superficie es el esfuerzo cortante promedio sobre el área. El esfuerzo cortante en un punto es el valor límite de la fuerza cortante al área cuando ésta se reduce al punto.

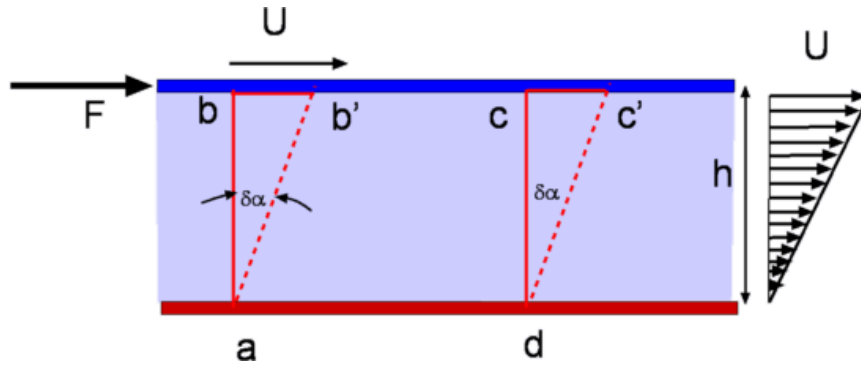


Figura 5.2: Deformación resultante de la aplicación de una fuerza cortante constante.

En la figura 5.2 se coloca una sustancia entre dos placas paralelas separadas una distancia pequeña siendo ellas lo suficientemente grandes para que las condiciones en sus orillas se puedan despreciar. La placa inferior es fija y se aplica una fuerza F a la placa superior, ejerciéndose entonces un esfuerzo cortante F/A sobre cualquier sustancia entre las placas. A es el área de la placa superior. Cuando la fuerza F causa que la placa superior se mueva con una velocidad uniforme (que no sea cero), sin que importe lo que sea la magnitud de F , se puede concluir que la sustancia entre las dos placas es un fluido.

El fluido en contacto inmediato con una frontera sólida tiene la misma velocidad que la frontera, es decir, no hay deslizamiento en la frontera. Este es un hecho experimental que ha sido verificado en un sinnúmero de pruebas con varias clases de fluidos y materiales de frontera. El fluido en el área $abcd$ fluye a la nueva posición $ab'c'd$, con cada partícula del fluido en movimiento paralelo a la placa y variando la velocidad u de modo uniforme desde cero en la placa estacionaria hasta U en la placa superior. Los experimentos muestran que, siendo constantes otras cantidades, F es directamente proporcional a A y a U e inversamente proporcional al espesor h . En forma de ecuación

$$F = \mu \frac{A U}{h}$$

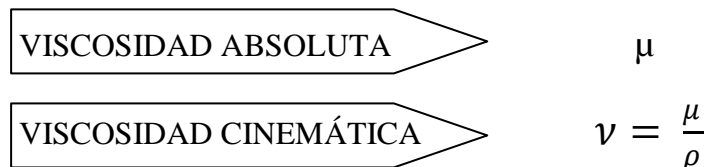
Donde μ es el factor de proporcionalidad e incluye el efecto del fluido en particular. Si tenemos $\tau = F/A$ como el esfuerzo cortante, entonces:

$$\tau = \mu \frac{U}{h}$$

La razón U/h es la velocidad angular de la línea ab , o es la rapidez de deformación angular del fluido, es decir, la rapidez de decremento del ángulo bad . Si tomamos y como la distancia a la placa inferior, la velocidad angular también se puede escribir du/dy , ya que U/t y du/dy expresan la velocidad de cambio dividida por la distancia sobre la cual ocurre el cambio. Sin embargo, du/dy es más general, ya que es válida para situaciones en las que la velocidad angular y el esfuerzo cortante cambian con y . El gradiente de velocidad du/dy también se puede visualizar como la rapidez con la que una capa se mueve en relación con una capa adyacente. En forma diferencial, la ecuación

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (\text{Ley de viscosidad de Newton})$$

es la relación entre el esfuerzo cortante y la rapidez de la deformación angular para el flujo unidimensional de un fluido. El factor de proporcionalidad μ se denomina **viscosidad** del fluido. Dicho de manera más general, la **viscosidad** es una medida cuantitativa de la resistencia de un fluido a fluir. Se puede representar de dos maneras diferentes:



Por lo general, la viscosidad de los gases, al contrario de los líquidos, aumenta con la temperatura. En la siguiente gráfica podemos ver como la viscosidad del agua disminuye considerablemente con el aumento de la temperatura. La viscosidad del aire en cambio aumenta, aunque de manera despreciable. Por tanto, como este proyecto se centra en el aire como fluido base, consideraremos su viscosidad constante.

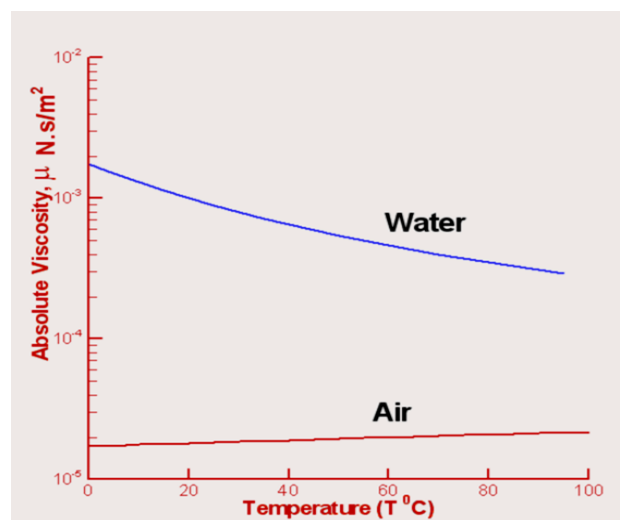


Figura 5.3: Variación de viscosidad frente a la T^a

Otros materiales diferentes de los fluidos no pueden satisfacer la definición de un fluido. Una sustancia plástica se deformará cierta cantidad proporcional a la fuerza, pero no continuamente cuando el esfuerzo aplicado es menor que el

Los fluidos se clasifican en newtonianos o no newtonianos. En el flujo **newtoniano** hay una relación lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la rapidez de deformación resultante (μ constante en la ley de viscosidad de Newton), como se muestra en la *figura 5.3*. En el fluido no newtoniano hay una relación no lineal entre la magnitud del esfuerzo cortante aplicado y la rapidez de deformación angular. Un *plástico ideal* tiene un esfuerzo de fluencia definido y una relación lineal constante entre τ y du/dy . Una sustancia *tixotrópica*, como la tinta de impresión, tiene una viscosidad que depende de la deformación angular inmediatamente anterior de la sustancia y tiende a asentarse cuando está en reposo. Los gases y líquidos delgados tienden a ser fluidos newtonianos, mientras que los hidrocarburos espesos de cadena larga pueden ser no newtonianos.

Para fines de análisis, el *fluido ideal* se supone no viscoso e incompresible.

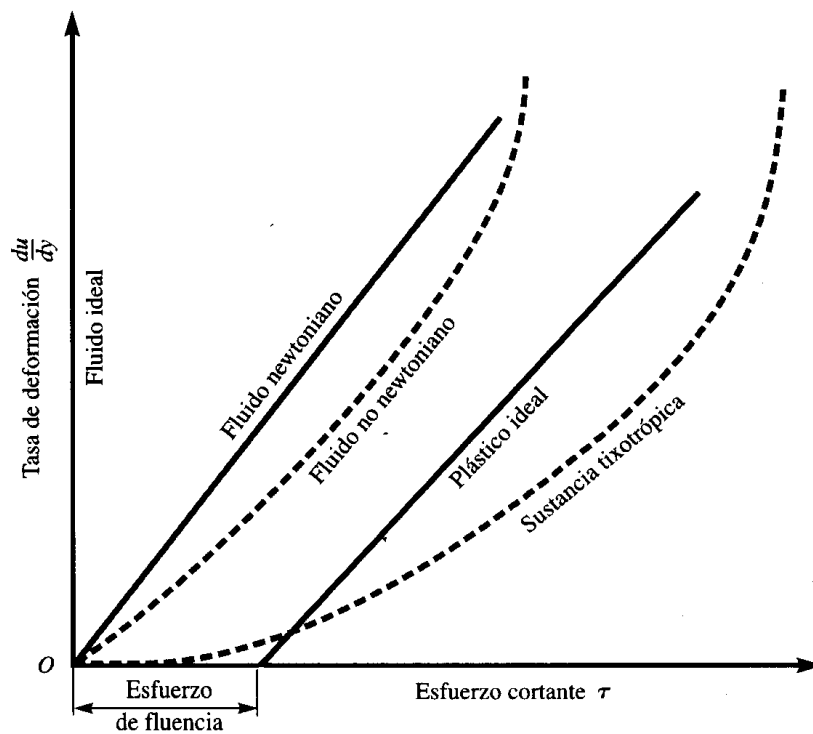


Figura 5.4: Diagrama reológico

5.1.2 Ecuaciones de estado

Aunque conozcamos todos los parámetros de un fluido e incluso su cuantificación, éstos “nunca” son fijos o invariables. Ante cualquier variación de temperatura o presión atmosférica, la densidad, viscosidad y demás variables, hacen justamente eso: variar. Por tanto se hace necesario conocer y cuantificar esas variaciones, en función de las demás variaciones; son las llamadas *Ecuaciones o Relaciones de Estado*.

Existen infinidad de ecuaciones de estado; una o unas, para cada problema, contexto o aplicación. Este apartado no pretende aglutinar todas ellas, sino dar a conocer que existen ecuaciones casi a “voluntad” e incluso para determinados rangos de temperatura, de presión, etc.

La más sencilla y por tanto la más utilizada, es la ya conocida como la de los *gases perfectos o ideales*:

$$PV = NR_u T$$

El valor de R_u (constante universal de los gases ideales) puede determinarse experimentalmente y su valor en varios conjuntos de unidades son:

$$R_u = \begin{cases} 0,08314 \text{ bar} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K} \\ 8,314 \text{ kJ}/\text{kmol} \cdot \text{K} \\ 8,314 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kmol} \cdot \text{K} \end{cases}$$

No hay que olvidar que la temperatura en esta ecuación siempre hay que indicarla en Kelvin (o en grados Rankine si se emplea el sistema de unidades anglosajón). No se puede modificar una de estas variables sin que cambien las otras. Todos los gases a altas temperaturas y bajas presiones siguen muy bien la *ley de los gases perfectos*.

La ecuación de gas ideal se utiliza con frecuencia con unidades de masa como el kilogramo, en lugar del kmol. En estos casos, en la ecuación del gas ideal se emplea una *constante específica del gas R* en lugar del valor universal R_u . Recuérdese que la masa de un mol de una sustancia recibe el nombre de *masa molar M*. De esto se obtiene que las constantes universal y específica del gas están relacionadas por

$$R \equiv \frac{R_u}{M}$$

Como R depende de la masa molar de la sustancia, su valor es diferente para cada una, incluso si se expresa en las mismas unidades. Las expresiones equivalentes de la ecuación del gas ideal en base masa son

$$PV = mRT$$

$$Pv = RT$$

$$P = \rho RT$$

donde v es el volumen específico en base masa, ρ la densidad y m es la masa del sistema.

También hay otras ecuaciones de estado, que son relaciones experimentales (interpolando valores en laboratorio):

$$\mu = \frac{bT^{3/2}}{T + S}$$

For air $b = 1.458 \times 10^{-6} \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s} \cdot \text{K}^{3/2}}$ and $S = 110.4 \text{K}$.

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{0.7}$$

Existen otras, clasificadas según alturas con respecto el nivel del mar:

Altura < 11000m	$p = P_0 * \left(1 - \frac{b \cdot h}{a}\right)^{\frac{\sigma \cdot \rho_0 \cdot T_0}{P_0 \cdot b}}$ $p = 1013.25 * (1 - 2.25577 * 10^{-5} * h)^{5.25588}$	T_0 Temperatura a 0 m (288.15°K)
11000m < Altura < 20000m	$p = P_{11} * e^{\frac{\rho_{11} \cdot g \cdot (h-11000)}{P_{11}}}$ $p = 226.3203 * e^{-1.57688 * 10^{-4} * (h-11000)}$	T_{11} Temperatura a 11000 m
20000m < Altura < 32000m	$p = P_{20} * \left(1 + \frac{b \cdot (h-20000)}{T_{20}}\right)^{\frac{-P_{20} \cdot \sigma \cdot T_{20}}{P_{20} \cdot b}}$ $p = 54.749 * (1 + 4.61574 * 10^{-6} * (h - 20000))^{-34.16326}$	T_{20} Temperatura a 20000 m
32000m < Altura	$p = P_{32} * \left(1 + \frac{b \cdot (h-32000)}{T_{32}}\right)^{\frac{-P_{32} \cdot \sigma \cdot T_{32}}{P_{32} \cdot b}}$ $p = 8.680157 * (1 + 1.224579 * 10^{-5} * (h - 32000))^{-12.203121}$	T_{32} Temperatura a 32000 m
		a Temperatura a nivel del mar
		b Disminución de temperatura por m de altura: 0 - 11000m - 0.0065°K/m 11000 - 20000m Estable 20000 - 32000m +0.001°K/m 32000 - 47000m +0.0028°K/m
		g 9.80665 m/s²
		ρ_{00} Densidad del aire a 0 m (1.225 kg/m³)
		P_0 Presión a 0 m (1013.25 hPa)

También, se pueden clasificar, pues son de comportamiento radicalmente diferente, entre Gases y Líquidos:

LIQUID

$$\mu(T) = \mu_0 \exp \left[C \left(\frac{293 \text{ °C}}{273 \text{ °C} + T} - 1 \right) \right]$$

where μ is the viscosity in kg/m/s, T is the temperature in °C, μ_0 is the viscosity at 20 °C, and C is a unitless parameter. Both μ_0 and C are determined by comparison to experiment and are different for each choice of liquid. Water is an exception to this rule, and follows,

$$\mu(T) = \mu_0 \left[7.003 Z^2(T) - 5.306 Z(T) - 1.704 \right], \quad Z(T) = \frac{273 \text{ °C}}{273 \text{ °C} + T}$$

where $\mu_0 = 1.788 \text{E-3 kg/m/s}$.

GAS

for $250 \text{ °K} \leq T \leq 1000 \text{ °K}$,

$$\mu(T) = \mu_0 \left[\frac{T}{293 \text{ °K}} \right]^n$$

$$\rho(T) = a - bT$$

where a in kg/m^3 and b in $\text{kg/m}^3\text{°C}$ are determined by comparison to experiment. Again, water is an exception, and follows,

$$\rho(T) = a - b |T - 4 \text{ °C}|^{1.7}$$

where $a = 1000 \text{ kg/m}^3$ and $b = 0.0178 \text{ kg/m}^3\text{°C}$.

Y por último, cada uno de nosotros podemos “inventarnos” y crear nuestras propias relaciones de estado; en este caso, dependiendo del modelo de Cuantificación de Densidad:

$\frac{P}{P_0} = \frac{\rho}{\rho_0}$ $\rho := \frac{P \cdot \rho_0}{P_0}$

$dP := -\gamma \cdot dy$ $dP := -\rho \cdot g \cdot dy$

$dy := \frac{-P_0}{g \cdot \rho_0} \cdot \frac{dP}{P}$

$\int_{y_0}^y 1 \, dy := \frac{-P_0}{g \cdot \rho_0} \int_{P_0}^P \frac{1}{P} \, dP$

$y - y_0 := \frac{-P_0}{g \cdot \rho_0} \ln\left(\frac{P}{P_0}\right)$

$P := P_0 \cdot \exp\left[\frac{-(y - y_0)}{\frac{P_0}{(g \cdot \rho_0)}}\right]$

Otra def.: $T = T_0 + \beta \cdot y$

$\rho := \frac{P}{R \cdot T}$

“y” es la altura, “g” la aceleración de la gravedad, “T” la temperatura y “P” la presión.

Estas relaciones de estado, sirven para muchas cosas, además de poder aplicar el valor correcto de la densidad en cada circuito y en cada condición; por ejemplo: Calcular las masas necesarias de helio y nitrógeno, respectivamente, necesarias para rellenar un neumático de un vehículo de competición F3 a la presión de 1.5 bares.

Pero para este proyecto en concreto sabemos que vamos a trabajar en unas condiciones específicas. Hay un “único” gas con el que vamos tratar, que es el aire. La constante específica de este gas es:

$$R_{\text{aire}} = 0,287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K}$$

También se va a situar en un marco de atmosfera estándar, por tanto como la presión atmosférica varía a con la altitud podemos obtener una tabla con los valores de las diferentes variables según la altitud y tomarla como referencia estándar.

ATMÓSFERA ESTÁNDAR (simplificada)			
Altitud(m)	Temperatura (°C)	Presión Hpa	Densidad (kg/m3)
0	15	1013,2	1,23
500	11,8	955	1,17
1000	8,5	899	1,11
1500	5,2	845	1,06
2000	2	795	1,01
2500	-1,2	747	0,96
3000	-4,5	701	0,91
3500	-7,8	657	0,86
4000	-11	616	0,82
4500	-14,2	577	0,78
5000	-17,5	540	0,74
5500	-20,8	505	0,7
6000	-24	472	0,66
7000	-30,5	410	0,59
8000	-37	356	0,53
9000	-43,5	307	0,47
10000	-50	264	0,47
10769	-55	234,5	0,37
15000	-55	121	0,19
20000	-55	55	0,09
30000	-55	5	0,01
40000	-3,7	2	0

Figura 5.5: Tabla simplificada de Atmosfera Estandar

Analizaremos la aerodinámica en cotas bajas, concretamente la altitud del circuito de Motorland Aragón, donde se disputa la prueba final de MotoStudent. El lugar está situado a unos 350 metros del nivel del mar: interpolando nos da una densidad de 1.188 kg/m³ a una presión de 996 Hpa y una temperatura de unos 14 °C.

5.1.3 El principio de Bernoulli y principio de Venturi

Uno de los principios más importantes en tanto en la mecánica de fluidos como en la aerodinámica de competición es **El Principio de Bernoulli**.

El fenómeno que se intenta explicar es aquel que tiene lugar cuando cierta sección de paso de un flujo, se reduce (o amplía) produciéndose una aceleración (o deceleración) del flujo, así como una reducción (o aumento) de la presión.

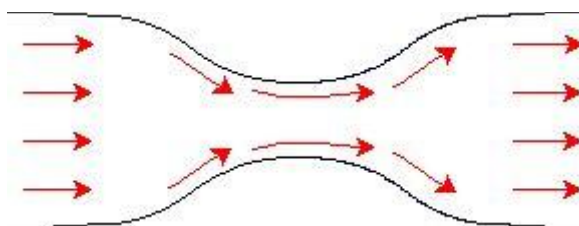


Figura 5.6: Principio de Bernoulli en un estrechamiento

La ecuación que explica este fenómeno es la siguiente, y no es más que expresar en forma matemática, que la energía piezométrica (por presión), más la energía cinética (por velocidad), más la energía potencial (por altura o cota), siempre es constante:

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g y = \text{Cte}$$

Viendo la expresión matemática con atención, se puede deducir que efectivamente:

- Si la altura y es la misma en cada instante del fenómeno y si la presión aumenta, la velocidad ha de descender y viceversa.

- Lo mismo ocurre con el área o sección de paso, pues por la expresión "caudal = (velocidad*área)", sabemos que si el área aumenta la velocidad decrece.

Con estas 2 relaciones, ya tengo lo que buscaba.

El llamado **Principio de Venturi**, no es más que una forma diferente de expresar el Principio de Bernoulli (aumenta la velocidad, y por tanto, la presión disminuye):

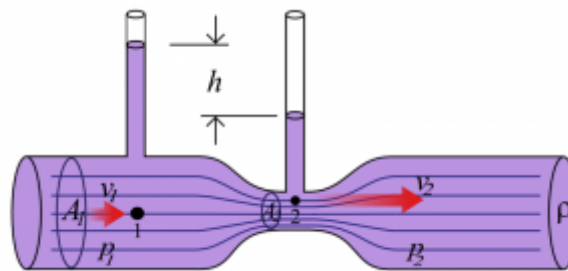


Figura 5.7: Principio de Venturi

El teorema de Bernoulli explica, por ejemplo, la fuerza de sustentación que actúa sobre el ala de un avión en vuelo. Un ala (o plano aerodinámico) está diseñada de forma que el aire fluya más rápidamente sobre la superficie superior que sobre la inferior, lo que provoca una disminución de presión en la superficie de arriba con respecto a la de abajo. Esta diferencia de presiones proporciona la fuerza de sustentación que mantiene el avión en vuelo.

Las consecuencias de este principio, se observan en multitud de elementos o zonas de un coche de carreras. Los coches de carrera son muy bajos con el fin de que el aire se desplace a gran velocidad por el estrecho espacio entre la carrocería y el suelo. Este efecto, llamado *efecto suelo*, reduce la presión debajo del vehículo y lo aprieta con fuerza hacia abajo, lo que mejora el agarre. Estos coches también llevan en su parte trasera un alerón, que en definitiva es un plano aerodinámico con forma de ala invertida que sirve para aumentar la fuerza contra el suelo para poder así tener mayor agarre en curva.

Cuando un cuerpo se mueve a través de un fluido en el que está sumergido, este genera una depresión en la parte trasera a la vez que forma algo de sobrepresión en la parte frontal. Esta diferencia de presiones implica que aparezca en el cuerpo una fuerza contraria al avance de este. Este arrastre de presión contribuye a aumentar el arrastre total. Cuanto mayor es la velocidad del objeto, más acusado es este efecto. Por tanto, tanto en el mundo del motor comercial como en el de la competición, es muy importante buscar un perfil aerodinámico en los vehículos para reducir la depresión en la parte trasera y reducir así el arrastre. De esta manera se podrá alcanzar un menor consumo de combustible o una mayor velocidad punta.

5.1.4 Flujo laminar y turbulento

El **flujo laminar** se define como aquel en el que el fluido se mueve en capas o láminas, deslizándose suavemente una capa sobre otra capa adyacente con sólo un intercambio molecular de cantidad de movimiento. Cualquiera que sea la tendencia hacia la inestabilidad y la turbulencia, se amortigua por fuerzas cortantes viscosas que resisten el movimiento relativo de las capas adyacentes. Sin embargo, en el **flujo turbulento**, las partículas se mueven en forma errática, con un intercambio de cantidad de movimiento transverso muy violento. Es decir, se mueven de forma inestable. La naturaleza de flujo laminar o turbulento, y su posición relativa sobre una escala que indica la importancia relativa de las tendencias de turbulento a laminar, son indicadas por el *número de Reynolds*.

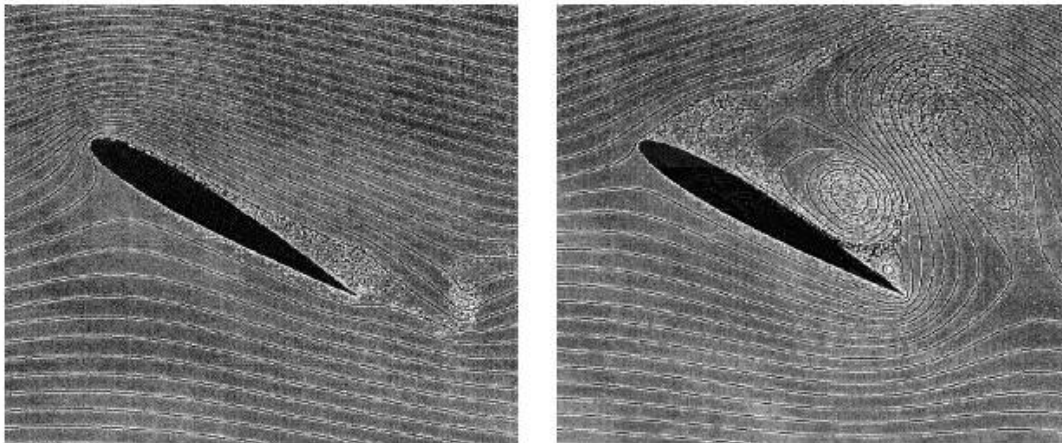


Figura 5.8: Régimen laminar y turbulento en un perfil de ala de aviación

5.1.5 Número de Reynolds

El número de Reynolds es un número adimensional utilizado en mecánica de fluidos para caracterizar el movimiento de un fluido. Como todo número adimensional es un cociente, una comparación. En este caso es la razón de las fuerzas inerciales a las fuerzas viscosas:

$$Re = \frac{\rho v_s D}{\mu} \quad \text{ó} \quad Re = \frac{v_s D}{\nu}$$

Donde:

ρ : densidad del fluido

v_s : velocidad característica del fluido

D : Diámetro de la tubería a través de la cual circula el fluido o longitud característica del sistema

μ : viscosidad dinámica del fluido

ν : viscosidad cinemática del fluido $\nu = \frac{\mu}{\rho}$

Un número crítico de Reynolds hace distinción entre regímenes de flujo, tales como flujo laminar o turbulento en tubos, en la capa límite, o alrededor de objetos sumergidos. El valor particular depende de la situación. Valores muy pequeños indican movimiento *lento* y *viscoso*, donde los efectos de la inercia son despreciables. Valores moderados de Re corresponden al flujo *laminar*, caracterizado por variaciones suaves. Valores altos de Re suelen estar asociados al flujo *turbulento*. Los valores numéricos del número de Reynolds correspondientes a cada caso dependen de la geometría del flujo. En flujos alrededor de cuerpos, como es nuestro caso, normalmente se toman estos valores como referencia:

- Laminar: $10^3 < Re < 10^6$
- Turbulento: $10^6 < Re$

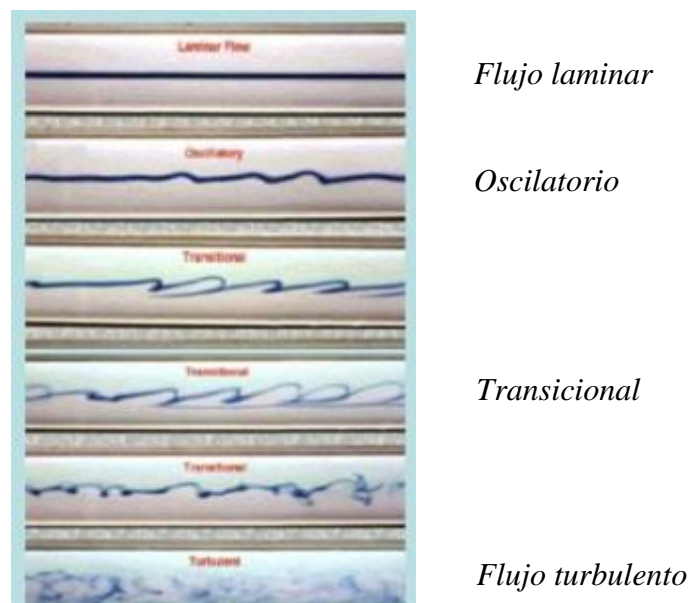


Figura 5.9: Transición de flujo laminar a flujo turbulento.

5.2 AERODINÁMICA de motocicletas

La aerodinámica estudia el movimiento relativo de un fluido gaseoso en torno a un cuerpo sólido, a fin de determinar las fuerzas y pares que actúan en ese cuerpo por efecto de tal movimiento.

El estudio aerodinámico principalmente enmarca corrientes externas, aunque también sirve para afrontar cualquier tipo de corriente interna como puede ser el flujo en conductos. El conocimiento de la carga aerodinámica es fundamental para el diseño en muchas aplicaciones de ingeniería como la aviación, eólica, automoción, estructuras, etc.

En nuestro caso, el tamaño y la forma de la motocicleta - junto con el piloto y cualquier complemento aerodinámico como un carenado, cúpula, etc. – afecta a su resistencia aerodinámica y a su sustentación, y por lo tanto también a su consumo de potencia, tanto mayor cuanto mayor sea la velocidad.

En las motos, al igual que en el resto de vehículos que se mueven a velocidades medias/altas, es muy importante estudiar los efectos que la presión del viento tiene en la estabilidad y la capacidad de control del vehículo, sin embargo, este tema es mucho más complejo en las motocicletas, si comparamos con otros vehículos autoestables como los automóviles.

Habitualmente el diseño de los carenados de muchas motocicletas de carretera o de competición, deja mucho que desear. Muchos ingenieros concentran su atención en la parte delantera y descuidan la trasera. En motocicletas de turismo, los diseñadores suelen copiar los diseños de las máquinas de competición, o piensan solo en estética o en proteger al piloto de las inclemencias medioambientales.

En este proyecto solo vamos a considerar algunos factores elementales relacionados con la resistencia aerodinámica y estudiaremos algunos de los aspectos aerodinámicos que son más importantes para las motocicletas.

5.2.1 Resistencia aerodinámica

En primer lugar, vamos a ver por qué se produce la resistencia aerodinámica, que después de todo es la que roba más potencia a nuestro motor, a no ser que circulemos a muy baja velocidad. Cuando una motocicleta se mueve con cierta velocidad a través del aire, aparece una fuerza de rozamiento que intenta impedir este movimiento. Esta fuerza se genera debido a que existe una diferencia de presiones entre las partes delantera y trasera de la motocicleta. Esta diferencia de presiones actúa en el área frontal de la moto dando lugar a la fuerza de resistencia aerodinámica, y por este motivo cuanto mayor es el área frontal de la moto, mayor es la fuerza. No siempre nos paramos a pensarlo, pero la viscosidad del aire es la responsable de esta fuerza de rozamiento. Sin esa viscosidad, cualquier forma, por muy poco aerodinámica que fuera, tendría una resistencia aerodinámica nula a la alta velocidad.

De acuerdo con el teorema de Bernouilli, la presión total del flujo de gas que circula alrededor de un cuerpo se compone de dos partes, la primera es la presión estática y la otra es la presión dinámica debida a su velocidad longitudinal. La presión total (la suma de las dos) permanece constante, por lo tanto si se aumenta la velocidad del gas, su presión dinámica aumenta y su presión estática disminuye. Cuando el aire se encuentra con un objeto móvil como una motocicleta, comienza a aumentar y a disminuir su velocidad conforme se va encontrando con las distintas formas, y por lo tanto la presión que se crea en las distintas zonas de la moto y el piloto varía de un lugar a otro. Si sumamos todas las componentes individuales de la presión del aire a lo largo de toda la moto, la fuerza resultante abarca tanto la fuerza de resistencia aerodinámica como la fuerza de sustentación. Si existe una componente perpendicular a la corriente en el aire, también existirá una fuerza perpendicular.

Sin embargo, si usamos las leyes clásicas de la física, con lo que llamamos un “gas ideal”, tendremos unos cálculos que no nos proporcionarán ningún tipo de rozamiento. En otras palabras, la fuerza de rozamiento producida por la presión de un gas que actúa sobre la superficie frontal de un objeto estaría compensada de forma exacta por una fuerza de propulsión debida a la presión del gas actuando en la superficie trasera del objeto. Esta ausencia aparente de rozamiento se conoce habitualmente como paradoja de d’Alembert. La experiencia nos dice que realmente sí que existe rozamiento, por lo que necesitamos buscar otros motivos.

Cerca de la superficie de la moto y del piloto el aire no se comporta como un gas ideal, la viscosidad produce una fricción interna. Justo en la superficie la velocidad del aire es igual a la de la moto y la fricción interna del gas tiende a arrastrar con él a las capas adyacentes de aire. Conforme nos alejamos de la superficie, el aire se ve menos afectado, por lo que podemos deducir que cerca de la superficie existe una capa de aire relativamente fina que tiene un elevado gradiente de velocidad. Esto es, en la superficie de la moto la velocidad de las partículas es la misma que la del vehículo, y fuera de esta capa, la velocidad de las partículas es la del aire circundante. Esta capa se conoce como **capa límite** y su comportamiento tiene una gran importancia en las propiedades aerodinámicas del vehículo.

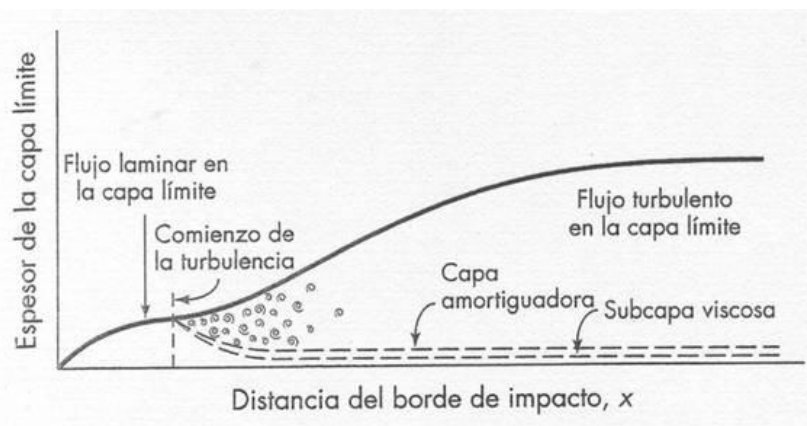


Figura 5.8: Perfiles del campo de velocidades en la capa límite (flujo en placa plana)

Cuando el flujo de aire local que está alrededor de un cuerpo es lento (ya sea porque el vehículo se mueve lentamente o ya sea debido a la forma del objeto), el gradiente de velocidad es pequeño y las capas adyacentes que están dentro de la capa límite deslizan unas sobre otras de forma ordenada, esto, como ya hemos explicado en el apartado de fluidos, es lo que se llama flujo laminar. Sin embargo, cuando las velocidades locales son elevadas, el gradiente de velocidad también lo es y el rozamiento entre las distintas capas hace que unas salten sobre las otras creando remolinos. Este tipo de flujo se llama turbulento. A no ser que la velocidad sea muy baja, tendremos una mezcla de flujo laminar y turbulento sobre el vehículo que está en movimiento.

Se han sugerido varias definiciones para el espesor de la capa límite δ . Estas son una de las posibilidades respecto al eje x:

$$\text{Laminar: } \frac{\delta}{x} = \frac{5.0}{\sqrt{Re_x}} \qquad \text{Turbulenta: } \frac{\delta}{x} = \frac{0.385}{Re_x^{0.2}}$$

Hablando de forma general, los vehículos suelen tener una parte delantera que hace que la única posibilidad que normalmente tiene el aire es la de seguir las formas del objeto hasta llegar a la zona donde está la sección más ancha del vehículo, a partir de este punto la capa límite se hace más gruesa y cuando la forma del cuerpo se aleja mucho de lo que sería ideal, el aire ya no puede seguir pegado al contorno y la capa límite se separa del vehículo. A esto se le llama desprendimiento de la capa límite. El objeto que se mueve a través del aire deja una estela turbulenta detrás de él. El tamaño, la forma del objeto y su velocidad son los factores que influyen en mayor medida en la forma de esta estela.

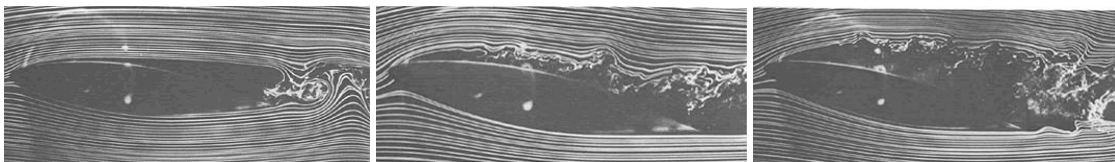


Figura 5.9: Desprendimiento de la capa límite en un perfil de ala

Así pues, la viscosidad produce un cambio en la distribución de presión alrededor del vehículo y si sumamos las componentes de la presión, tendremos un efecto resultante que da lugar a fuerzas de rozamiento y de sustentación. Así es cómo, brevemente explicado, la viscosidad produce la mayor parte de la resistencia aerodinámica. La viscosidad también produce otro efecto más directo, conocido como resistencia viscosa. Para empujar a un cuerpo a través de un fluido viscoso debemos proporcionar una fuerza de cortadura que haga que las capas adyacentes se corten o deslicen unas sobre otras. Esta fuerza también actúa haciendo que el vehículo vaya más lento y por lo tanto este es un efecto que hay que sumar a la fuerza de resistencia aerodinámica previamente descrita. En un vehículo normal de carretera esta resistencia superficial supone sólo una pequeña parte de la fuerza de resistencia aerodinámica total.

El punto en el que la capa límite se separa del cuerpo se conoce como punto de separación. Normalmente nos interesa diseñar el carenado de forma que este punto esté lo más retrasado posible, y también que la sección en ese punto sea lo más pequeña posible, para reducir así el tamaño de la estela. En ocasiones es de utilidad que la capa límite sea turbulenta. En algunas condiciones, se opta por perfiles que generan una capa límite turbulenta, ya que ésta permanece más adherida al perfil que la capa límite laminar, evitando así que el punto de separación de la estela se adelante o que surja el desprendimiento de la capa límite. El aire prefiere no cambiar de dirección de forma rápida y para prevenir la separación debemos evitar reducciones bruscas de la sección transversal conforme nos vamos moviendo hacia atrás, de esta forma llegamos a la típica forma de lágrima, larga y fina, que produce una resistencia aerodinámica muy baja.

De todas formas, la relación entre la longitud y la anchura que se necesita para tener la menor resistencia aerodinámica, nos proporcionaría una motocicleta demasiado larga. Si acortamos el carenado dándole a la parte trasera un ángulo mayor, sólo conseguiremos que el aire se separe más pronto, con lo que tendremos una estela más grande y una mayor resistencia aerodinámica. Es mejor diseñar un carenado más largo y después cortarlo recto por la parte trasera, dejándolo a la longitud que necesitemos, el punto ideal para cortar es el punto de separación. Por detrás de ese punto la forma tiene menos importancia y por lo tanto la ausencia de carenado es menos importante. Esto se conoce como "cola Kamm".

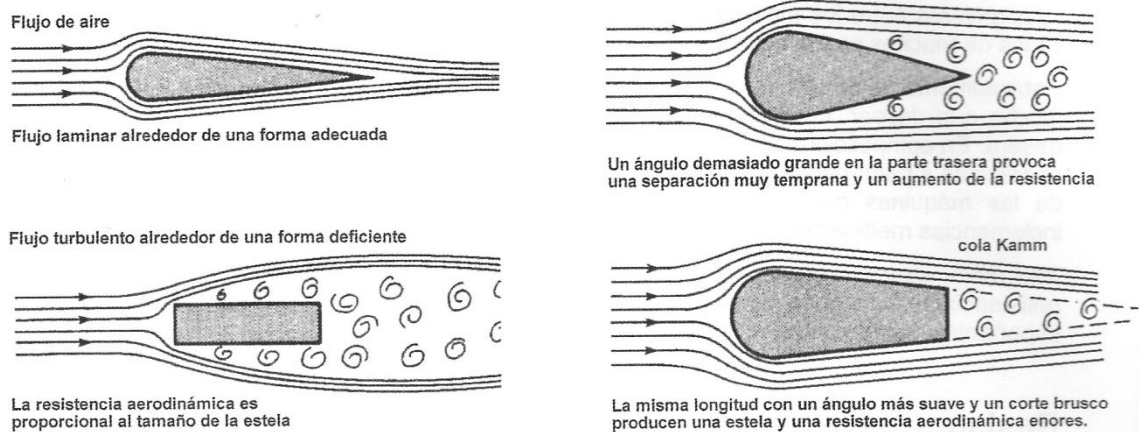


Figura 5.10: Comparación entre formas aerodinámicamente adecuadas y deficientes.

Aún utilizando una "cola Kamm", es difícil carenar de forma eficiente una moto debido a los diversos cortes que se necesitan por motivos prácticos, como subirse y bajarse de la moto, poder poner un pie en el suelo cuando paramos, etc. Sin embargo se pueden hacer mejoras. Contrariamente a lo que suele ser habitual, el lugar por el que hay que empezar es la parte trasera de la moto, el flujo alrededor de las zonas de alta presión de la parte delantera normalmente se comporta razonablemente bien por sí solo, pero cualquier cosa que suavice el flujo en la parte trasera y que ayude a reducir el tamaño de la estela, supondrá un beneficio real. De hecho muchos frontales muy

afilados producirían menos rozamiento si se les diera la vuelta. Las máquinas diseñadas para conseguir records de velocidad no sólo tienen la menor área frontal posible, también tienen un carenado que se extiende más allá de la rueda trasera.



Figura 5.11: Replica de la Indian Scout de record de velocidad de Burt Munroe

La fuerza aerodinámica real es proporcional al área frontal del vehículo, por lo que si multiplicamos por dos el área, multiplicamos también por dos la resistencia aerodinámica y la potencia necesaria. Sin embargo, el efecto de la velocidad en la resistencia aerodinámica sigue una ley cuadrática, esto es, si duplicamos la velocidad del aire, multiplicamos por cuatro la resistencia aerodinámica. El efecto de la velocidad sobre la potencia es todavía más drástico, es proporcional a la tercera potencia de la velocidad del aire y por lo tanto necesitamos incrementar ocho veces la potencia cuando duplicamos la velocidad.

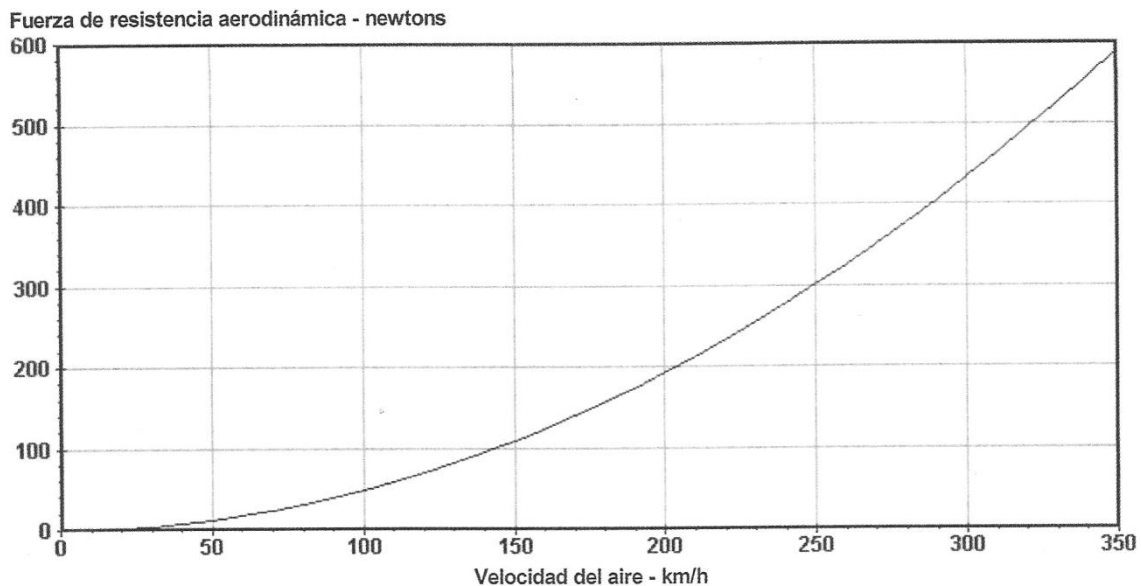


Figura 5.12: Fuerza de resistencia aerodinámica en función de la velocidad del aire.

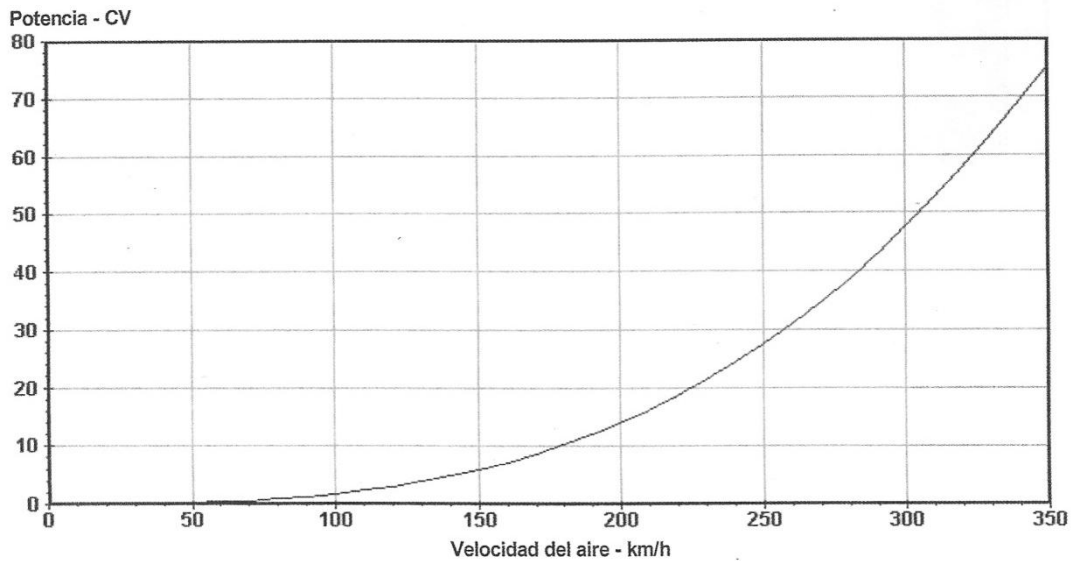


Figura 5.13: Potencia necesaria en función de la velocidad del aire

En la figura podemos ver cómo varían en función de la velocidad del aire (hasta llegar a los 350 km/h) la fuerza de resistencia aerodinámica y la potencia que se necesita para superar las fuerzas aerodinámicas. La velocidad del aire debe incluir cualquier efecto del viento existente tanto si es frontal como si es de cola. Estas curvas se han dibujado para un área frontal de 1000 cm^2 y un $C_d = 1.0$. Por lo tanto para obtener la fuerza de resistencia aerodinámica o la potencia necesaria para una motocicleta real, debemos multiplicar los valores de la gráfica por el C_d y el área frontal real del vehículo en particular.

Para poder comparar numéricamente las cualidades aerodinámicas de objetos de distintas formas, se utiliza un parámetro adimensional llamado C_d . A menudo se dice incorrectamente que si empujamos una chapa plana a través del aire, su C_d es igual a 1.0. Esto se refiere solamente a un caso teórico especial, cuando todo el aire que llega a la chapa rebota contra la misma. Para comparar la resistencia aerodinámica de varios cuerpos necesitamos multiplicar el C_d por el área frontal, esto se conoce como C_dA y sus unidades son las que se hayan utilizado para medir el área.

Mientras que el valor de C_d es útil para comparar las cualidades aerodinámicas relativas de objetos con distintas formas, no nos sirve para comparar diferentes motos. El C_d ignora el otro ingrediente fundamental de la resistencia aerodinámica, el área frontal. La siguiente tabla muestra el valor del C_d multiplicado por el área. Este parámetro es conocido como **C_dA** y es la mejor forma de comparar las cualidades aerodinámicas de las diversas motos.

Descripción de la moto	Piloto tumbado	Piloto sentado
Yamaha Venture		0,75
Honda V65 Magna		0,61
Honda Blackbird	0,44 / 0,49	0,72 / 0,81
Honda VF1000F	0,40	0,46 / 0,45
Aprilia Mille	0,52	0,61
Ducati 916	0,49 / 0,57 / 0,53	0,61 / 0,69 / 0,61
BMW R1100 RT	0,53	0,97
BMW K100RS	0,40	0,43
Yamaha R1 (1998)	0,57	0,62
Yamaha FJ1100	0,43	0,48
Kawasaki GPZ900R	0,36	0,43
Suzuki GSX1100EF	0,41	0,44
Suzuki GSXR750	0,32	
Suzuki Hayabusa	0,31	
Kawasaki ZX-12R	0,34	
Yamaha OW69	0,32	
Honda 1996 RS125	0,20	
Honda 1990 RS125	0,19	
Honda RS500	0,24	
Rifle faired Yamaha	0,15	

Los valores múltiples en la tabla indican que los datos para esa máquina se han obtenido de varias fuentes distintas. La última máquina de la lista estaba preparada especialmente para una competición de bajo consumo de combustible.

Cuanto más bajo es el valor de CdA, menor será la potencia necesaria para alcanzar una velocidad determinada. Estos datos se han recopilado utilizando diversas fuentes y deben considerarse únicamente como una guía porque pueden existir variaciones entre las medidas hechas en distintas instalaciones. Por ejemplo, el tamaño del piloto y su ropa pueden ser diferentes.

5.2.1 Flujo de aire interno

Las necesidades del motor también complican el asunto, y los requerimientos actuales incrementan inevitablemente la resistencia aerodinámica. Cualquier moto necesita un suministro de aire fresco para poder respirar de forma eficiente, y para refrigerar el motor. Aprovechando las altas presiones que existen en el morro de la moto se han llevado a cabo muchos intentos para presurizar levemente el aire que llega al sistema de admisión, con la intención de conseguir una sobrecarga a altas velocidades. La técnica más empleada consiste en encerrar completamente los carburadores en el interior de una gran caja llamada *airbox*, a la que llega aire fresco a través de unos tubos que provienen del morro de la moto. A una velocidad media el beneficio potencial de la sobrecarga es muy pequeño, se necesitan velocidades muy elevadas para que comience a ser significativo.

Tanto si el motor está refrigerado por aire o por agua, debemos proporcionarle un flujo de aire fresco. Los motores refrigerados por aire no nos permiten elegir a dónde debemos dirigir el aire, mientras que en los motores refrigerados por agua el radiador se puede montar en diversas posiciones para adaptarnos al espacio disponible y también en función de consideraciones aerodinámicas. La posición frontal es la más obvia y la más común, pero el paso del aire queda restringido por la horquilla. Se han buscado orientaciones alternativas con radiadores laterales o con el radiador colocado debajo del sillín.

5.2.1 Sustentación y Centro de Presiones

De la misma forma que agrupamos juntas las diversas masas de una motocicleta en un punto equivalente que llamamos Centro de Masas o Centro de Gravedad, podemos hacer lo mismo con las fuerzas aerodinámicas. Tanto si miramos de frente como si lo hacemos de lado, existirá un punto a través del cual actuará la fuerza total. Este punto se llama **Centro de Presiones (CdP)**. Esta fuerza resultante se puede descomponer en una componente vertical y otra horizontal. Si la moto no es simétrica lateralmente o existe algún viento lateral, entonces también existirá una componente lateral. La parte longitudinal (de adelante a atrás) de la componente horizontal representa la fuerza de resistencia aerodinámica, mientras que la componente vertical representa la fuerza de **sustentación**, que puede ser positiva o negativa, dependiendo de la dirección que tenga. Además de las fuerzas que actúan en el CdP, la distribución de presión puede dar lugar a momentos. Por ejemplo, si tenemos una fuerza de sustentación positiva (que apunta hacia arriba) en la parte delantera y otra negativa (que apunta hacia abajo) en la parte trasera, la fuerza vertical resultante será igual a cero, pero existirá un momento que intentará que la moto rote hacia atrás. Estos momentos son conocidos como momentos aerodinámicos. Normalmente, además de visualizar las fuerzas y los momentos que actúan en un punto, resulta muy útil considerar la relación que existe entre ese punto y la posición del CdG. Estas fuerzas crean momentos alrededor del CdG que pueden tener un gran impacto en la estabilidad dinámica.

La sustentación aerodinámica descrita anteriormente reduce la carga total sobre los neumáticos, por lo que es potencialmente peligrosa porque reduce la máxima adherencia que puede llegar a existir entre los neumáticos y la carretera.

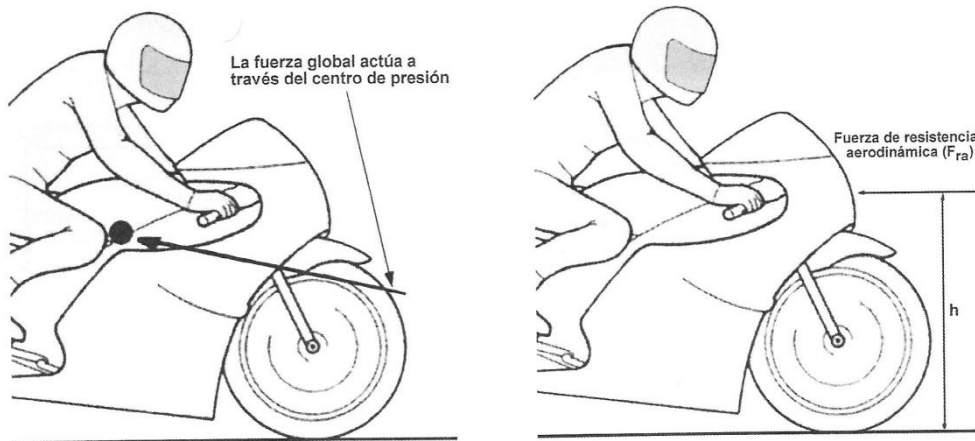


Figura 5.14: Fuerzas aerodinámicas en una moto.

La fuerza aerodinámica F_d , actúa a través del CdP frontal, a una distancia h del suelo. Esto produce un momento que intenta rotar la moto hacia atrás, descargando la rueda delantera y cargando la trasera. Para tener una idea de su importancia relativa, aquí tenemos una gráfica que nos muestra la reducción de la carga en la rueda delantera que produce la resistencia aerodinámica a distintas velocidades del aire. Se muestran dos ejemplos de carga estática de la rueda. Representa a una motocicleta ficticia con un área frontal de 4000 cm^2 , un $C_d = 0.7$ y una distancia entre ejes de 1500 mm :

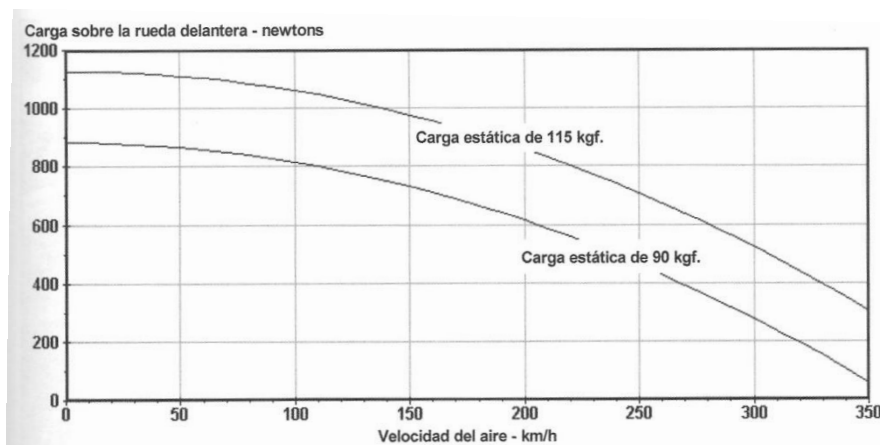


Figura 5.15: Reducción de carga en rueda delantera en función de la velocidad del aire

Manteniendo el resto de cosas iguales, cualquier cosa que reduzca la resistencia aerodinámica y/o la altura efectiva a la que actúa, ayudará a reducir la transferencia de carga. Además de reducir la resistencia aerodinámica, la situación ideal sería utilizar un carenado con una forma tal que creara una fuerza hacia abajo (fuerza de sustentación negativa) en la parte delantera y una fuerza de sustentación positiva en la parte trasera, para equilibrar de forma exacta el efecto que acabamos de mencionar.

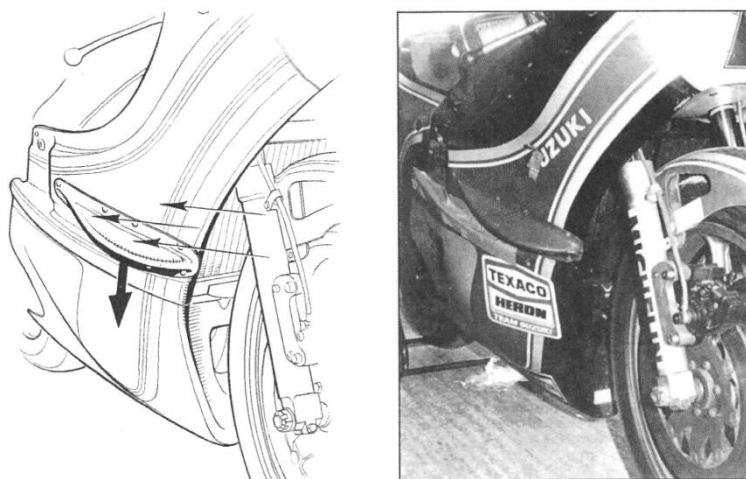
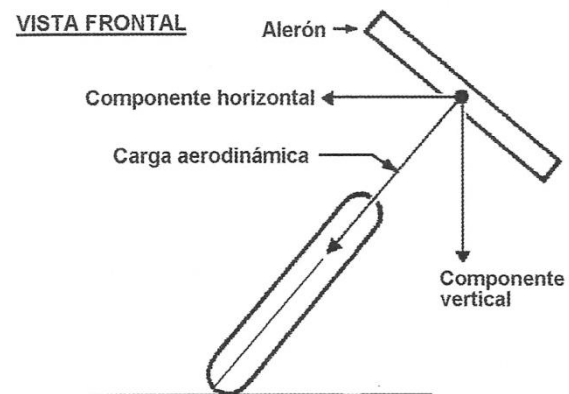


Figura 5.16: Las pequeñas aletas de esta Suzuki se diseñaron para proporcionar una fuerza hacia abajo cerca de la rueda delantera, para contrarrestar la tendencia que el tren delantero tenía al levantarse con la velocidad.

Pero el efecto de sustentación producido por la fuerza aerodinámica no es el único efecto aerodinámico que varía la carga de los neumáticos. A este efecto debemos añadir cualquier sustentación global, que reducirá la carga en ambas ruedas y cualquier momento aerodinámico de cabeceo que puede tender a cargar una rueda y descargar la otra.

Dado que los automóviles de competición consiguen un incremento brutal de su velocidad de paso por curva gracias al agarre extra que consiguen en sus neumáticos debido a las cargas aerodinámicas que a través de los alerones delanteros y traseros pegan el coche al suelo, además el "efecto suelo" del chasis, podríamos pensar que se podría explotar el mismo principio en una motocicleta. Pero debido a que las motos necesitan inclinarse para tomar las curvas, la situación es más compleja que en un coche. De hecho, un alerón fijo u otros medios que se pudieran utilizar para generar una carga aerodinámica probablemente reducirían la velocidad de paso por curva. La siguiente figura representa una moto tumbada, y muestra que la fuerza hacia abajo producida por un alerón actúa alineada con la moto y tiene dos componentes, una vertical y otra horizontal.

Figura 5.17: Un alerón fijo incrementa por igual las componentes vertica y horizontal que actúan sobre los neumáticos, y por lo tanto no existe ningún beneficio al tomar la curva. Lo más probable es que las cosas empeorasen.

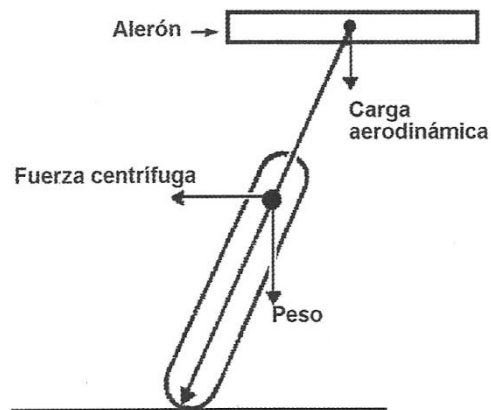


Aunque la componente vertical se puede utilizar para incrementar la adherencia en la huella de contacto de los neumáticos, esta adherencia extra sólo contrarresta la

componente horizontal añadida, y por lo tanto finalmente no existe ningún beneficio. Como ya vimos en el capítulo sobre los neumáticos, la adherencia disponible en el neumático depende también de la presión en la huella de contacto, de forma que la carga extra en el neumático debida al alerón reduciría el coeficiente de rozamiento. Así, la adherencia disponible para generar la fuerza centrípeta se reduciría, por lo que la velocidad máxima de paso por curva sería menor.

Sin embargo, realmente la fuerza de sustentación aerodinámica puede llegar a incrementar la velocidad de paso por curva afectando a la frenada a alta velocidad, a la tracción y a la estabilidad. Si pudiéramos generar una carga aerodinámica que actuara únicamente en sentido vertical y hacia abajo (por ejemplo, mediante un alerón inclinable) se conseguiría aumentar la velocidad en frenada, aceleración y al tomar las curvas (al igual que un coche). Un interesante efecto secundario es que haría falta un ángulo de inclinación menor para tomar una curva determinada a una velocidad determinada.

Figura 5.18: En teoría, un alerón que se pudiera inclinar para mantenerse siempre horizontal, podría mejorar la frenada, la tracción y la velocidad de paso por curva.



Tal y como podemos ver en la figura, el momento debido a la carga aerodinámica ayuda a contrarrestar el momento de la fuerza centrífuga. Así, el momento debido al peso de la moto se reduce, lo que implica un menor ángulo de inclinación. De todas formas, cualquier beneficio proveniente de un dispositivo de este tipo, podría verse superado por problemas de tipo práctico y de estabilidad. En línea recta, cualquier carga aerodinámica cargaría más los neumáticos y por lo tanto tendríamos más capacidad de tracción. Si tuviéramos unos frenos lo suficientemente bueno, y un motor lo suficientemente potente, esta mayor adherencia nos permitiría poder frenar y acelerar mejor.

5.2.2 Túnel de viento

No resulta sencillo realizar estudios aerodinámicos. Desde el punto de vista analítico, la complejidad de las ecuaciones diferenciales que rigen el movimiento de los fluidos hace inviable su resolución completa alrededor de cuerpos complejos, siendo necesario despreciar muchos fenómenos normalmente viscosos y turbulentos. De esta manera obtenemos aproximaciones sesgadas a la realidad. Lo mismo ocurre con el empleo de rutinas de cálculo matemáticas. Las necesidades de potencias de cálculo para poder resolver un problema completo con todos sus elementos hace imposible su empleo masivo, quedando su utilización reducida a la comparación de resultados para distinguir entre soluciones mejores y peores. La imposibilidad de modelar la rugosidad superficial del elemento a ensayar hace que los cálculos en términos de resistencia queden afectados de forma cuantitativa aunque no de forma cualitativa.

Las herramientas de simulación numérica son fundamentales en ingeniería de fluidos, pero por las debilidades mencionadas no están aun en posición de poder desplazar a los ensayos aerodinámicos sobre el terreno.

A partir de aquí se abren dos modos de operación, evaluaciones a posteriori sobre el terreno o experimentación en laboratorio. Pensando solamente en vehículos terrestres, la ventaja del túnel aerodinámico es que no será necesario tener un modelo terminado, propulsado, equipado y listo para rodar de manera autónoma. Igualmente existirán mayores dificultades con la instrumentación que debe ser transportada en el vehículo. También aparecerán dificultades derivadas de las irregularidades del terreno. De esta manera, en un túnel, se pueden testar maquetas de material compuesto o incluso arcilla o madera, más baratas de fabricar y modificables en el caso de no obtener los resultados deseados.



Figura 5.19: Análisis de una maqueta

En la evolución de los estudios aerodinámicos en túnel, fueron los hermanos Wright los que usaron un primitivo túnel de viento para estudiar el comportamiento de los perfiles de su Flyer I, si bien existían túneles anteriores.

Desde entonces hasta hoy diversos tipos de túneles se han ido creando con este objetivo, primero a base de gases comprimidos y posteriormente con la incorporación de motores y compresores para acelerar el flujo en la cámara de ensayos. Hoy en día existen instalaciones aerodinámicas de todo tipo y tamaño, desde pequeños túneles en universidades y otros centros de investigación hasta macro-túneles donde poder estudiar vehículos a tamaño real... existen túneles criogénicos donde se emplean gases a baja

temperatura o de agua. Y no solo se emplean para estudiar propiedades aerodinámicas como fuerzas y momentos, sino para estudiar fenómenos de capital relevancia como la formación de hielo en planos y superficies de control o en la entrada de las admisiones de los motores de los aviones. También existen algunas instalaciones de túneles supersónicos donde estudiar el comportamiento de ondas de choque para vehículos de muy alta velocidad. Gracias a ellos se ha optimizado la forma de los vehículos espaciales, dando una respuesta a las elevadas necesidades de refrigeración en la violenta entrada en una atmósfera planetaria.

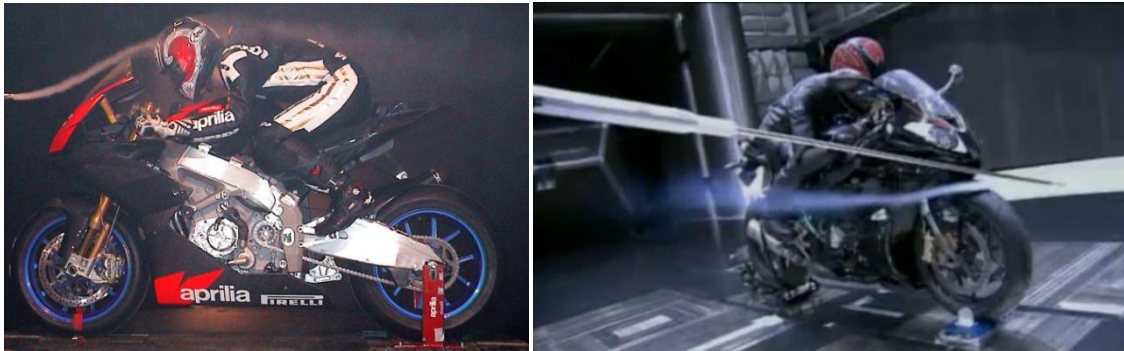


Figura 5.20: Los análisis de motos el túnel de viento son necesarias hacerlas con piloto.

Existen diferentes formas para los túneles aerodinámicos:

- Túnel abierto/cerrado
- Cámara de ensayos abierta/cerrada
- Túnel soplado/aspirado

Cada una de estas soluciones tiene sus ventajas y sus inconvenientes, pero no vamos a entrar a definir y discutir cada una de ellas. Solo decir que la decisión sobre la morfología concreta de un túnel para una aplicación resulta en ocasiones ardua y compromete el éxito de la instalación.

En lo que al mundo de la competición respecta, la tecnología automovilística es la que más tiempo y dinero ha invertido en estudios aerodinámicos, ya que tiene mayor influencia que en las motocicletas y han sufrido mayores cambios de normativa en este aspecto. Los estudios aerodinámicos han estado siempre en la punta de lanza de la lucha por la centésima. Las mejoras iniciales en este campo son de las que mejor relación rendimiento/coste

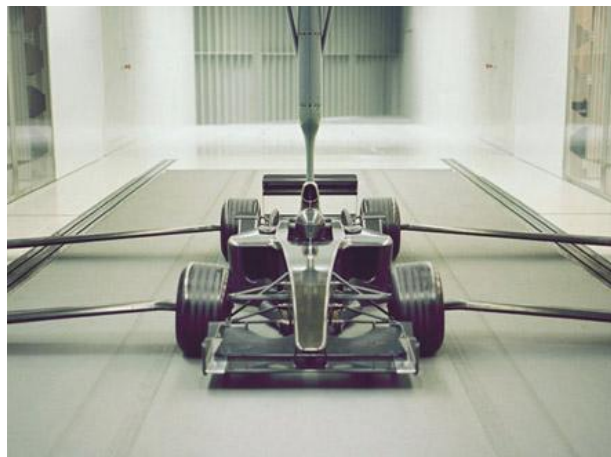


Figura 5.21: F1 a escala reducida con suelo rodante

tienen. Pequeñas inversiones consiguen gran impacto en los tiempos del vehículo. Seguir avanzando por este camino, como todo, resulta cada vez más caro, aunque su eficacia queda fuera de toda discusión.

El trabajo en túnel es entonces indispensable, amén de caro para una maqueta de un vehículo a escala real o incluso 1:2. Por lo que el uso de técnicas CFD se hacen indispensables en el camino de eliminar aquellas soluciones no-óptimas y seleccionar solo un número pequeño de configuraciones a reproducir con absoluta precisión y probar en túnel. Esta tecnología conocida como CFD o Dinámica de Fluidos Computacional, estudia los fluidos mediante modelos matemáticos calculados con ayuda de ordenadores a la que más adelante le dedicaremos un apartado completo.

El tamaño es un tema muy interesante, porque afecta a la validez de la extrapolación a una máquina real de los resultados obtenidos con un modelo a escala. Los túneles del viento que son suficientemente grandes para alojar una moto o coche de tamaño real, son muy caros de construir y de utilizar, y por lo tanto si podemos utilizar modelos a escala, podremos ahorrar una gran cantidad de dinero. Sin embargo el uso de modelos también plantea sus dificultades. En primer lugar existen problemas bastante evidentes, como la precisión del modelo, por ejemplo una tolerancia de 1 mm, en el objeto real supone una tolerancia de 0.2 mm en un modelo a escala 1:5.

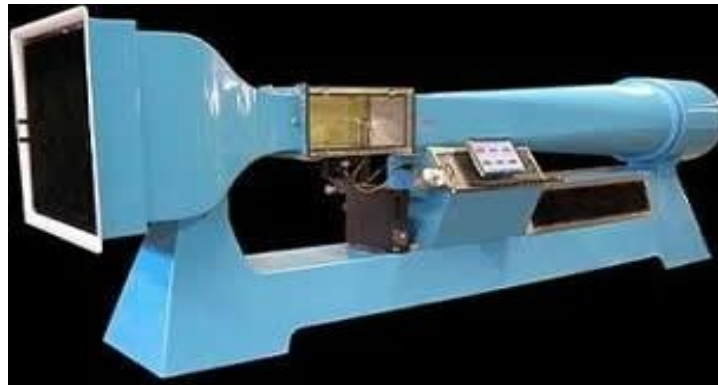


Figura 5.21: Túnel de viento para objetos de tamaño reducido

Reynolds, uno de los primeros investigadores de dinámica de fluidos, descubrió que las características de la turbulencia de objetos de forma similar y distintos tamaños, dependía de su tamaño y de la velocidad del aire. De hecho, si reducimos a la mitad el tamaño de un objeto, necesitamos duplicar la velocidad del aire para conseguir un flujo de características similares. Este efecto se formalizó en una expresión matemática conocida como número de Reynolds (véase el apartado de fluidos). Para conseguir flujos similares con modelos de diferentes tamaños, tenemos que intentar que este número se mantenga constante, pero en muchos casos es muy difícil. Asumamos que queremos investigar la aerodinámica de una motocicleta que circula a 150 km/h usando un modelo a escala 1:6 en el túnel de viento. Necesitamos (para obtener un número de Reynolds similar) que la velocidad en el túnel del viento fuera de unos 900 km/h, lo que automáticamente introduce más problemas. Se necesitaría una potencia tremenda para

conseguir esta velocidad del aire, y las fuerzas en el modelo serían extremadamente elevadas, lo que implicaría dificultades de montaje.

De hecho, con el mismo número de Reynolds, la fuerza aerodinámica en el modelo sería la misma que la que existiría en el objeto real. Y por si todo esto no fuera lo suficientemente complicado, los 900 km/h están muy cerca de la velocidad del sonido. Conforme nos acercamos a esta velocidad, aparecen problemas de compresibilidad que desestabilizan todas las características del flujo. El resultado final de todo esto es que los ensayos con modelos a escala reducida se deben llevar a cabo con números de Reynolds bajos y es necesario tener mucho cuidado y mucha habilidad para poder interpretar los resultados de forma correcta.

Para que un ensayo en túnel aerodinámico sea valido es necesario observar algunas precauciones aparte de las mencionadas hasta ahora. El efecto de giro de la rueda o que el suelo sea estático puede llegar a generar variaciones significativas en el estudio. Para ello algunos túneles disponen de unos rodillos que hacen girar a las ruedas o incluso a toda una plataforma rodante para simular la diferencia de velocidad del vehículo respecto al suelo. En motociclismo no es muy relevante ya que son solo dos ruedas, la superficie exterior es curvada y tiene menor huella de contacto (por tanto es aerodinámicamente más eficiente). El tema de suelo rodante prácticamente tampoco tendría sentido en nuestro caso, ya que está pensado para vehículos que puedan llegar a generar efecto suelo o que tengan gran cantidad de superficie pegada al suelo. En el mundo de las dos ruedas no merece la pena que el túnel tenga estas características, ya que económicamente tendrá un mayor coste.

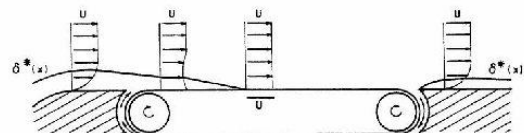


Figura 5.23: El objetivo de un suelo móvil, es simular el perfil de velocidades la capa límite por debajo del coche.

Para analizar los resultados se emplean varios métodos. Por una parte estarán los análisis cuantitativos, es decir, fuerzas y momentos generados en el vehículo que se obtendrán mediante dispositivos preparados para ello. Y por otro, estará el análisis cualitativo, que se hará mediante un análisis visual, donde se podrá ver como es el recorrido del flujo, donde se generan turbulencias, etc. Para este último análisis existen diferentes técnicas: se crean líneas de humo o de aire tintado, se adhieren pequeños

cordones de lana a la superficie, se coloca estratégicamente arena o líquidos de color sobre la superficie del vehículo, etc. Aquí podéis ver algunos de los resultados:

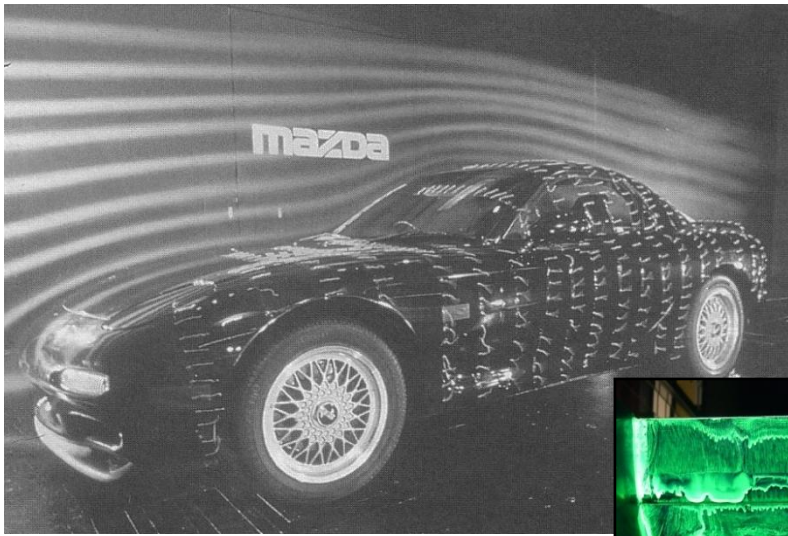
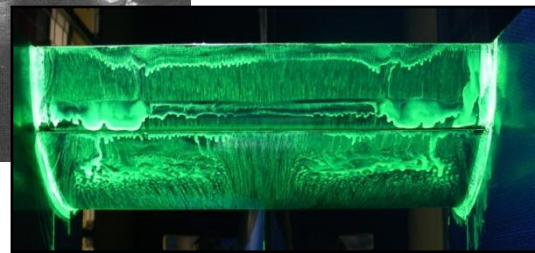


Figura 5.24: Métodos de análisis en túnel de viento. La figura de abajo es un alerón impregnado con un líquido visible a la luz negra para ver mejor el resultado.



Otra ciencia de la dinámica de fluidos que está relacionada con la aerodinámica, es la hidrodinámica. Etimológicamente, la hidrodinámica es la dinámica del agua, pero por lo general se le denomina así al estudio de la dinámica de fluidos incompresibles. Por tanto, a bajas velocidades existe una gran similitud en el comportamiento de los gases y los líquidos. Muchas veces se aprovecha esta similitud para hacer estudios y simulaciones en túneles de agua. Se suelen analizar objetos pequeños y modelos a escala de objetos mayores, como puede ser un coche. Hay que tener en cuenta que muchos factores como la viscosidad y la densidad del agua difieren mucho de la del aire, pero sirve para obtener una idea general del comportamiento aerodinámico del objeto en estudio. No se puede llegar a tener los resultados que se obtendrían en un túnel de viento, pero resulta muchísimo más económico.

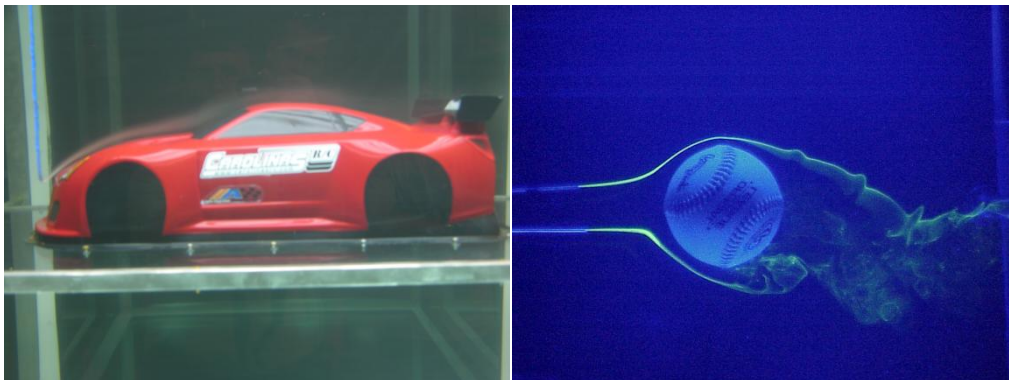


Figura 5.25: Ensayos en túneles de agua. Utilizando tintes se puede ver el comportamiento de la estela.

5.2.3 Evolución de los carenados de competición

En los años 50 los diseñadores de motos empezaron a pensar en diseños aerodinámicos y a hacer una serie de pruebas con resultados muy positivos.

Por ejemplo, en el año 1956, la revista "Motor Cycle" mostró los beneficios una buena penetración aerodinámica. Le pidieron a Laurie Watts, un artista técnico, que diseñara un carenado muy aerodinámico y semi-cerrado, para cubrir una Royald Enfield de 350 cc y cinco años de antigüedad. Esto dio lugar a un incremento de peso de 20 kg, pero debido a las mejoras aerodinámicas incluso se mejoró la aceleración en el rango entre 24 a 64 km/h. La resistencia aerodinámica con el carenado puesto resultó ser aproximadamente un 75-85% menor que sin carenado. Por lo tanto, si es posible mejorar de esta forma las prestaciones con un carenado de este tipo, imaginemos lo que se podría conseguir con un vehículo diseñado a propósito.



Figura 5.26

Desde un punto de vista aerodinámico la clásica forma de lágrima que se muestra en la *figura 5.10* sería difícil de mejorar. NSU utilizó una aproximación a esta forma para batir varios records del mundo de velocidad en las clases más pequeñas. Existieron planes para usar versiones más cortas de este tipo de carenados en los grandes premios y posteriormente en motos de calle, pero los cambios que la FIM (Federación Internacional de Motociclismo) introdujo en el reglamento en 1957 prohibieron cualquier cosa que no fuera un carenado de lo más rudimentario. Un legado que llega hasta nuestros días.

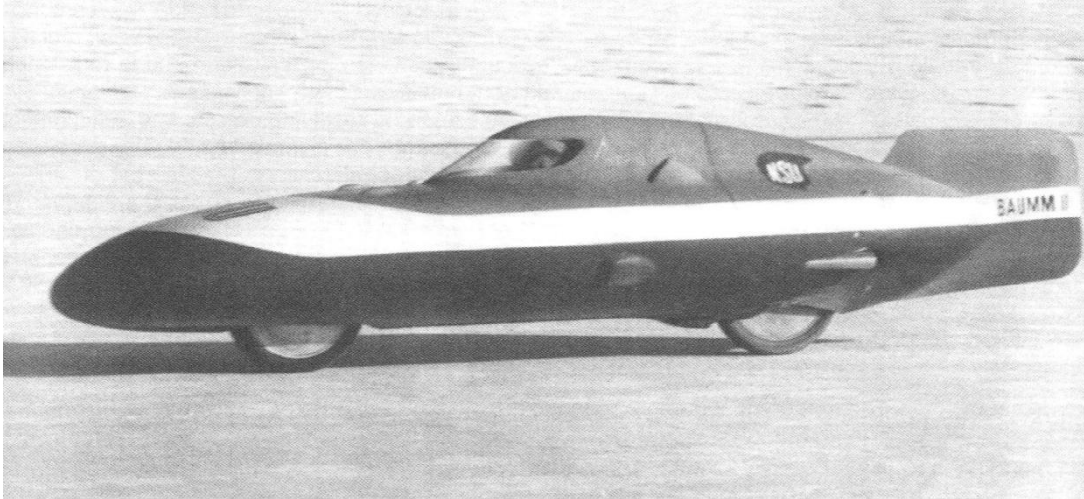


Figura 5.27: NSU “flying hammock” a través del lago salado de Utah a 240 km/h en el año 1956. Probablemente una de las motocicletas más aerodinámicas que se han construido. La aleta de cola sólo se utilizaba para pruebas de más de 240 km/h.

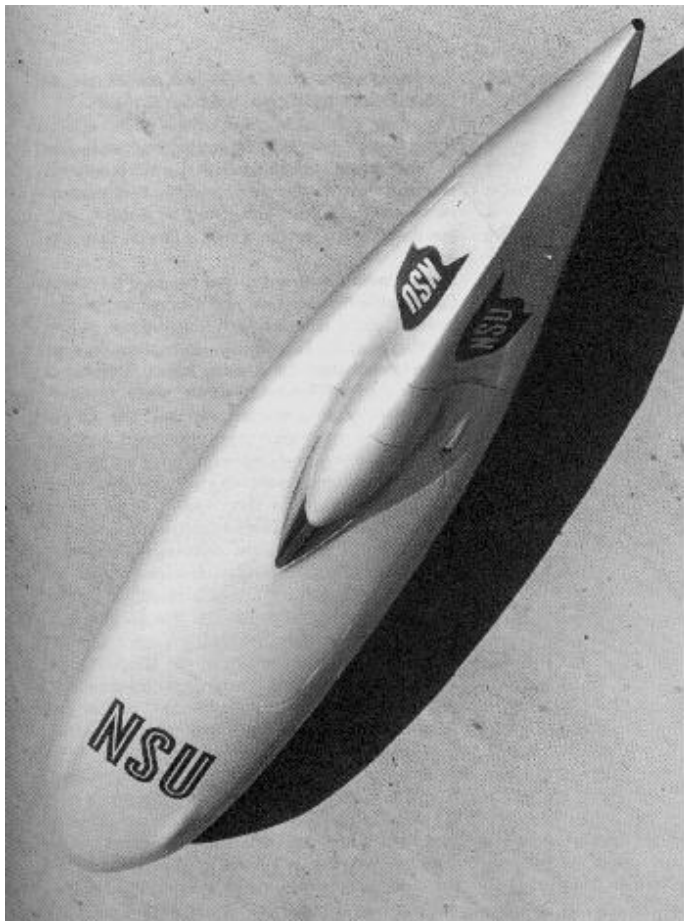


Figura 5.28

La clásica forma de lágrima tiene una sección frontal circular que queda cerca del suelo en su parte inferior, esta proximidad interfiere con el flujo de aire simétrico, y por lo tanto es necesario modificar esa forma ideal, si tenemos en cuenta este aspecto. Habitualmente, esta interferencia con el flujo de aire también produce una fuerza de sustentación.

La vista superior de la NSU cazarecords muestra cómo el diseñador se aproximó muchísimo a una forma de lágrima perfecta. Nótese la relación existente entre la longitud (muy grande) y la anchura, que permite utilizar un ángulo muy suave en la parte del final.

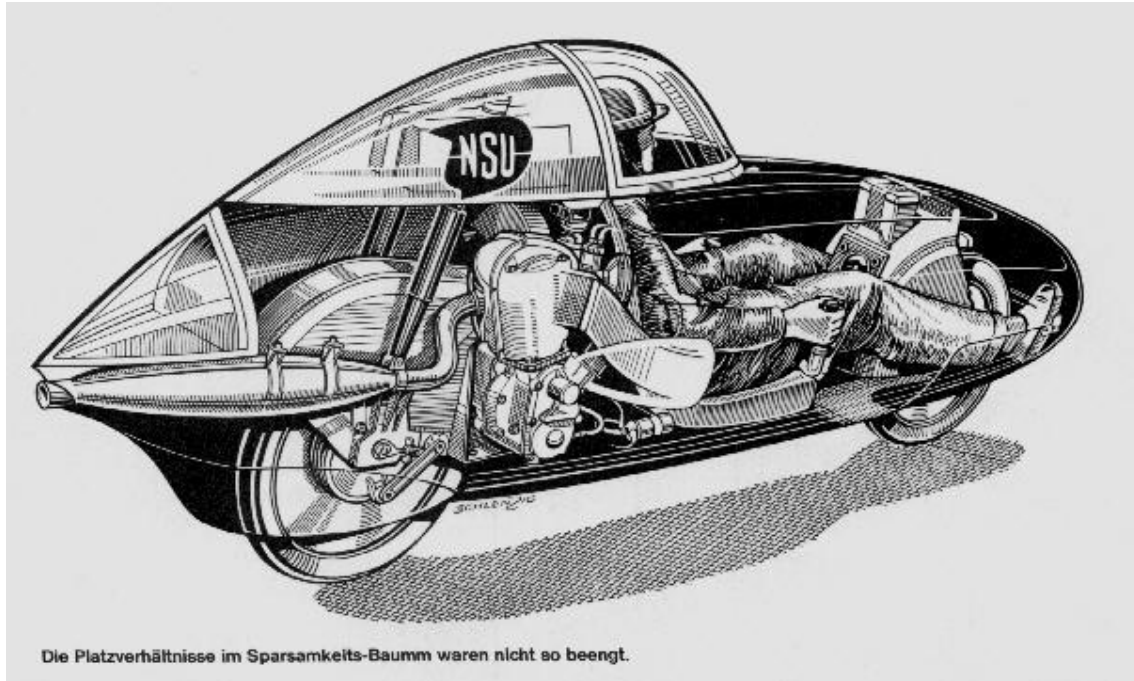
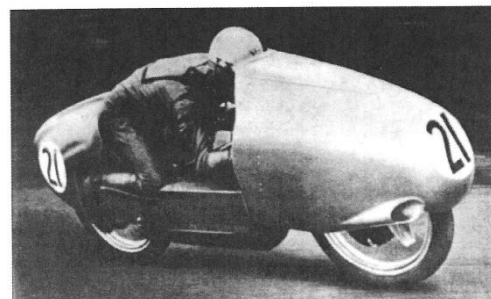


Figura 5.29: Diseño interior de la Roadrace NSU Hammock

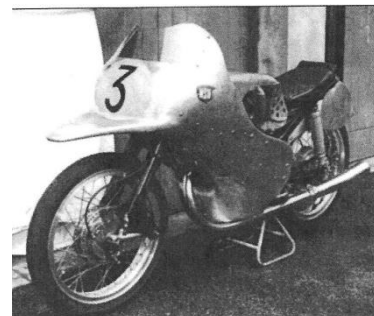
En el mundo de la competición, los carenados han ido evolucionando desde los años 50 hasta hoy de la misma manera que podemos apreciar en las siguientes imágenes:

AÑOS 50

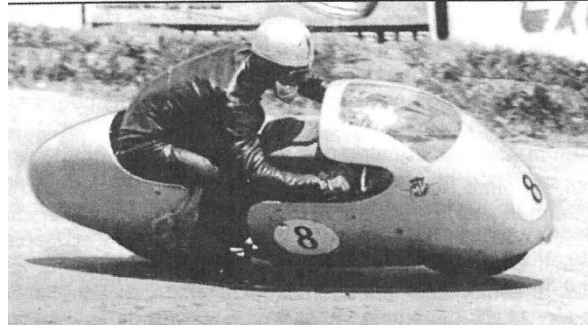
- Aunque nunca dio lugar a una moda en las carreras, esta Norton Kneeler de 1953 se usó para batir el record de la hora, dejándolo en 256 Km, en el circuito de Montlhery con Ray Amm a los mandos.



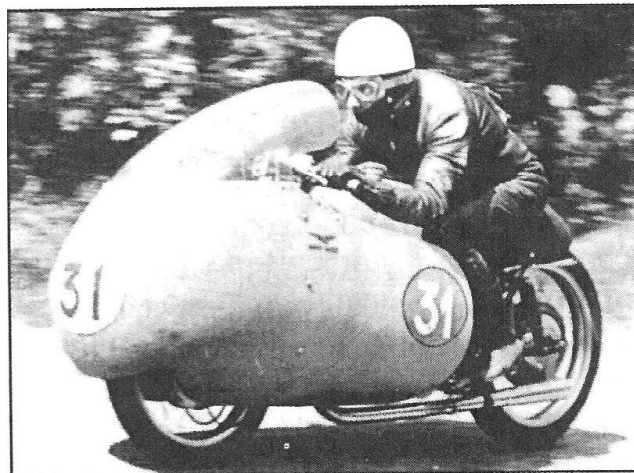
- Esta NSU Rennmax de 1954 es un ascendiente directo de las líneas aerodinámicas que se utilizan hoy en día. No cabe duda de que esa nariz hacía que el morro tendiera a levantarse con la velocidad.



- Este tipo de carenados frontales era muy popular en todas las categorías en los años 50. Sin embargo carenar la parte trasera no era tan habitual, generalmente sólo se utilizaban en las motos de 125 cc, que necesitaban toda la ayuda que se les pudiera proporcionar. Para los rivales era más difícil coger rebufo porque la estela era menor. Este es el varias veces campeón del mundo Carlo Ubbiali, ganando el GP de Bélgica de 1956 sobre una MV Augusta 125 cc.



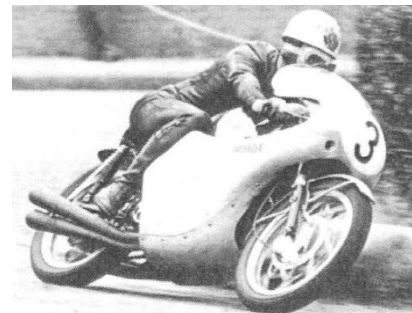
- En los años 50 Moto Guzzi tenía su propio túnel de viento a escala real. Las motos diseñadas por Carcano fueron probablemente las que tuvieron los carenados tipo “dustbin” (cubo de basura) más aerodinámicos de aquella época. Aquí podemos ver una monocilíndrica de 500 cc en



el TT con Deith Campbell a los mandos. Los 240 km/h de velocidad máxima que alcanzaba con 47 CV de potencia nos pueden dar una idea de su eficiencia aerodinámica.

AÑOS 60

- Después del año 1957, la FIM prohibió ciertos tipos de carenados, rápidamente la forma de “delfin” pasó a ser la norma a finales de los 50 y principios de los 60. Esta foto del gran Bob McIntyre sobre una Honda 250 en el TT de 1961 muestra las formas básicas que se han mantenido hasta nuestros días.



- Frank Camillieri en su TD1-B en Louden en el año 1969.



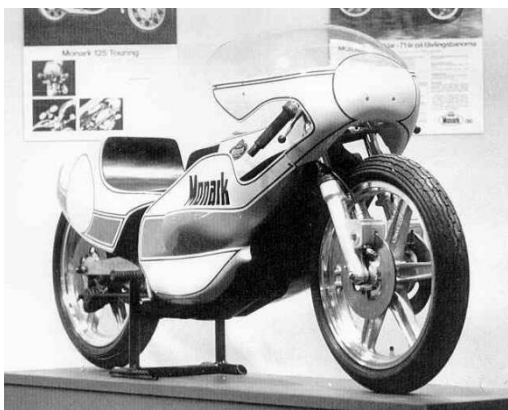
AÑOS 70

En esta década vuelven a tomar importancia el tamaño de los colines para reducir la estela que deja la moto e intentar reducir así la resistencia aerodinámica.



La moto de la izquierda es una Yamaha CAT II fabricada por Rudi Kurth en 1974.

En las dos fotos de abajo tenemos una Monark creada en 1975 también por Rudi, donde le podemos ver junto a su esposa en la feria sueca de motocicletas. Esta moto nunca se llegó a pagar, por falta de financiación por parte de Monark.



Como podemos ver, en los carenados de algunas motocicletas llegó a tomar más importancia el colín que los laterales que cubren el motor.



AÑOS 80

Los carenados de los años 80 se asemejan mucho a lo que podemos ver hoy en día. Las pequeñas diferencias más destacadas son que la cúpula frontal eran algo más grandes y redondas y que los colines son más grandes y acaban en un corte (estilo cola Kamm de la figura 5.10). Las siguientes fotos son, de izquierda a derecha, una Honda NR500 de 1980, una Honda NS500 de 1982 y una Yamaha YZR500 de 1987:



Estas dos últimas fueron tomadas a principio de los años 80, son dos motos Rotax de 125cc de competición. Llama la atención el tamaño tan reducido del colín.



AÑOS 90 HASTA HOY DÍA

Los últimos 20 años la carrocería de las motos de competición no ha variado mucho. Todas se basan en la misma forma básica, sobre todo por las limitaciones que imponen las propias competiciones. La aerodinámica de las motos no ha sufrido un cambio tan drástico como ha podido ocurrir en el mundo de las cuatro ruedas.

A continuación se mostrarán diferentes modelos en función del año para poder diferenciar las pequeñas variaciones que se han ido haciendo los últimos años. Hay que tener en cuenta la cilindrada de cada moto, ya que hay cierta diferencia, sobre todo en tamaño.



Yamaha YZR500

Derbi GPR 125cc

Honda 125cc

1
9
9
4



Yamaha YZR500



Honda 250cc



Honda RS 125cc

1
9
9
7



Honda NSR500



Aprilia RS 125cc

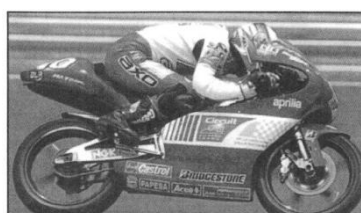


Honda RS 125cc

2
0
0
0



Yamaha YZR500



Aprilia RS 125cc



Honda RS 125cc

2
0
0
4



Honda y Yamaha MotoGP



Aprilia RS 125cc



Honda RS 125cc

2
0
0
9



Honda MotoGP



Yamaha MotoGP



Aprilia RS 125cc



Honda RS 125cc

La aerodinámica de los últimos 5 años no ha variado prácticamente nada. La Honda RS de 125cc sigue exactamente con el mismo diseño de hace 5 años. Las variaciones de la Aprilia son prácticamente inapreciables. Las motos de gran cilindrada han sufrido alguna variación más, pero sin ninguna importancia considerable. Lo que se puede diferenciar de esta generación a la anterior es que la quilla (la parte de abajo) es más estrecha y llena casi por completo el espacio que hay entre ambas ruedas. Nótese también como el guardabarros delantero cubre las barras de la horquilla. Y por último, lo que más ha podido llegar a variar estos últimos años es la parte trasera del colín, que se ha alargado y elevado para ayudar a suavizar el flujo que pasa por la espalda del piloto.

5.3 CFD (Dinámica de Fluidos Computacional)

Tradicionalmente, las mediciones de las prestaciones aerodinámicas reales de vehículos se han llevado a cabo en el túnel de viento, pero como ya hemos dicho, este tipo de pruebas son muy caras. Hemos visto también algunos de los problemas que acarrea utilizar modelos a escala reducida en túneles más pequeños, bien sea por las tolerancias del modelo, bien por la dificultad de conseguir números de Reynolds similares. No existe un sustituto real para los túneles que trabajan con modelos de tamaño real y velocidades de viento reales, pero ese tipo de instalaciones son muy grandes y muy caras de construir. Se necesita una potencia muy considerable para hacer girar los ventiladores. Lleva mucho tiempo depurar la forma del vehículo. Se hace una prueba, se modifica el modelo según hayan indicado las pruebas, se vuelve a repetir el ciclo de prueba/modificación, así muchas veces.

Sin embargo, con la aparición de ordenadores cada vez más pequeños y potentes, llega una nueva alternativa, el CFD (Dinámica de Fluidos Computacional). Este es un tipo de software basado en Elementos Finitos orientado al análisis de fluidos. Con el CFD el aire que está alrededor del vehículo se divide en un gran número de pequeñas celdas y después se calcula la presión, la velocidad y la turbulencia de cada celda, pero teniendo en cuenta que esas variables deben estar en equilibrio entre una celda y la siguiente, a través de los límites de cada celda. El problema es que es necesario modelizar millones de celdas para modelizar el flujo incluso alrededor de una forma simple. Así este tipo de software se utiliza para:

- **Crear y definir las numerosas celdas, con dibujos de CAD o digitalizando con un escáner láser.**

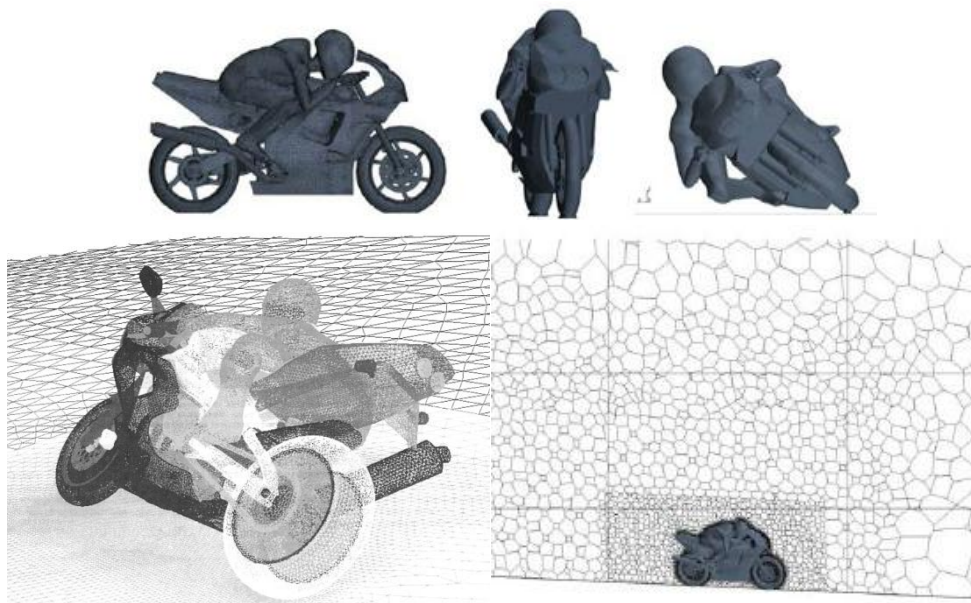
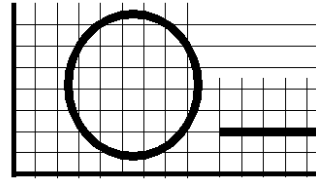
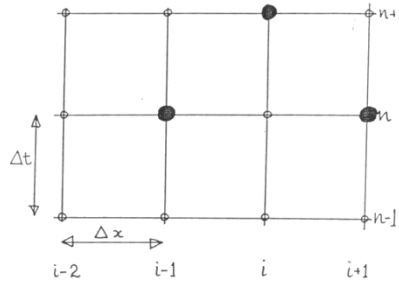


Figura 5.30: Estas son representaciones de las rejillas de celdas que están alrededor de la moto y del piloto. En realidad las celdas están en 3D y llenan todo el volumen alrededor de la moto, literalmente se necesitan millones de celdas para modelar correctamente el flujo.

- Relacionar las propiedades de todas las celdas mediante un conjunto de ecuaciones no lineales.

Estas son algunas de las ecuaciones que manejan estos programas de CFD:

$$\diamond \quad u_x = \frac{\partial u}{\partial x} = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{u(x + \Delta x) - u(x)}{\Delta x}$$



- * Si $\alpha = 1$ \longrightarrow diferencias hacia atrás (backward differencing)

$$\frac{\partial u(x_i)}{\partial x} \approx \frac{u_i - u_{i-1}}{\Delta x}, \quad \text{error} = O(\Delta x)$$

- * Si $\alpha = -1$ \longrightarrow diferencias avanzadas (forward differencing)

$$\frac{\partial u(x_i)}{\partial x} \approx \frac{u_{i+1} - u_i}{\Delta x}, \quad \text{error} = O(\Delta x)$$

$$\diamond \quad m_i \frac{d}{dt} v_i(t) = \sum F_j \leftrightarrow i \neq j$$

$$\diamond \quad \rho U_k \frac{\partial U_i}{\partial x_k} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \mu \frac{\partial^2 U_i}{\partial x_j \partial x_j} + \frac{\partial R_{ij}}{\partial x_j} \quad (\text{steady, incompressible flow w/o body forces})$$

where $R_{ij} = -\overline{\rho u_i u_j}$ (Reynolds stresses)

- El programa crea una serie de gráficos que se usan para presentar los numerosos valores de forma que sean fáciles de digerir para un humano.

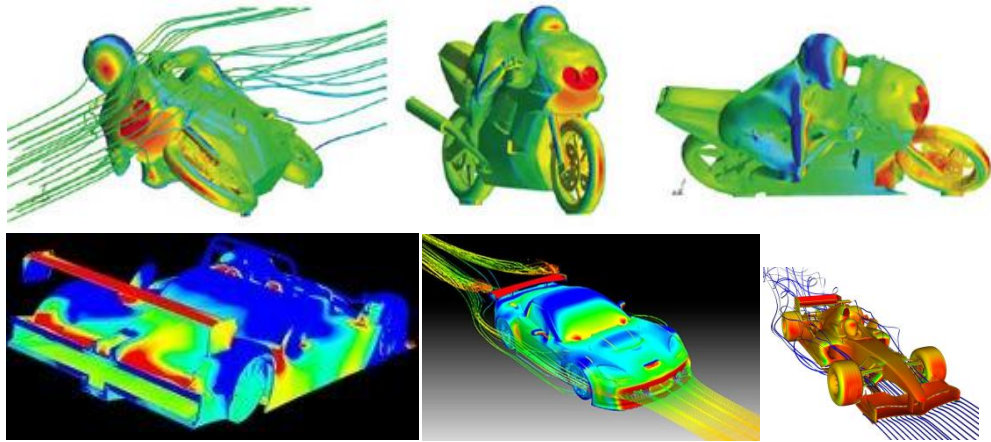


Figura 5.31: Gráficas obtenidas con CFD. Muestran la distribución de presiones sobre el vehículo. En este caso los colores sobre la superficie indican la presión estática. En la escala de colores el rojo significa altas presiones relativas y el azul bajas presiones.

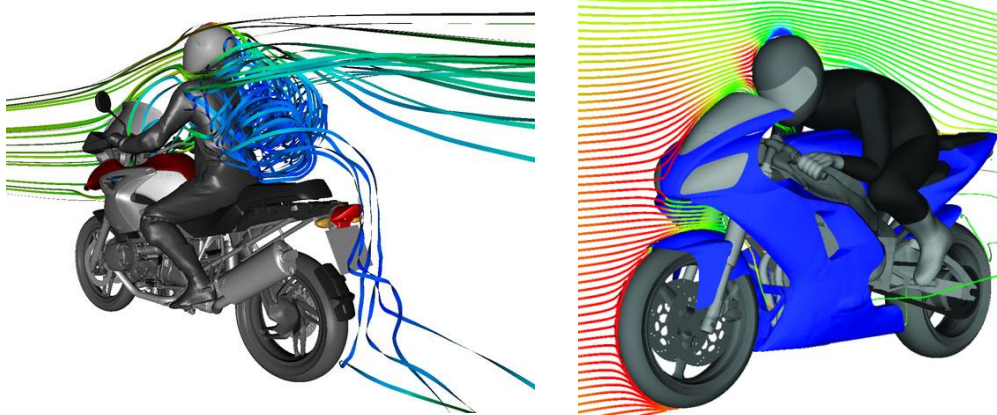


Figura 5.32: En estas otras representaciones, las muestran las líneas de flujo del fluido, es decir, el recorrido que hacen algunas partículas de aire a través de la moto.

Estas técnicas prometen grandes reducciones de costo y tiempos de desarrollo cortos. No es necesario construir modelos físicos, los modelos se definen directamente con los dibujos de CAD del vehículo. Es posible iterar con relativa rapidez con un amplio rango de diseños alternativos, porque sólo se necesita modificar unas pocas superficies del dibujo, y volver a repetir después los cálculos con el ordenador.

La evolución de la informática en estos últimos años nos permite realizar en ordenadores de sobremesa cálculos y simulaciones que hasta hace poco era impensable realizarlas si no se disponía de potentes ordenadores de difícil acceso. Aún así queda mucho camino por recorrer para poder hacer todo tipo de simulaciones. Para modelos

grandes, complejos y de especial definición sí que se requieren ordenadores potentes. Hoy en día también existe la posibilidad de conectar una serie de ordenadores en red para que trabajen conjuntamente y poder reducir así los tiempos de cálculo, ya que pueden tardar desde minutos hasta meses.

Algo similar ocurrió con el FEA (Análisis por Elementos Finitos) en diseño estructural. Cuarenta años atrás ese tipo de técnicas sólo estaba a disposición de especialistas que tenían acceso a grandes estaciones de trabajo, y requerían que el usuario tuviera un gran nivel de conocimiento de tales técnicas. Hoy en día, esos métodos están disponibles para cualquier diseñador que tenga un ordenador de sobremesa y un programa de CAD de nivel medio/alto. El CFD es matemáticamente similar al cálculo estructural mediante FEA, de hecho es realmente el FEA de un flujo, pero la gran diferencia está en el gran número de elementos o celdas que se necesitan para modelar adecuadamente un problema de flujo, y más importante, la mayor complejidad de las ecuaciones no lineales que aparecen.

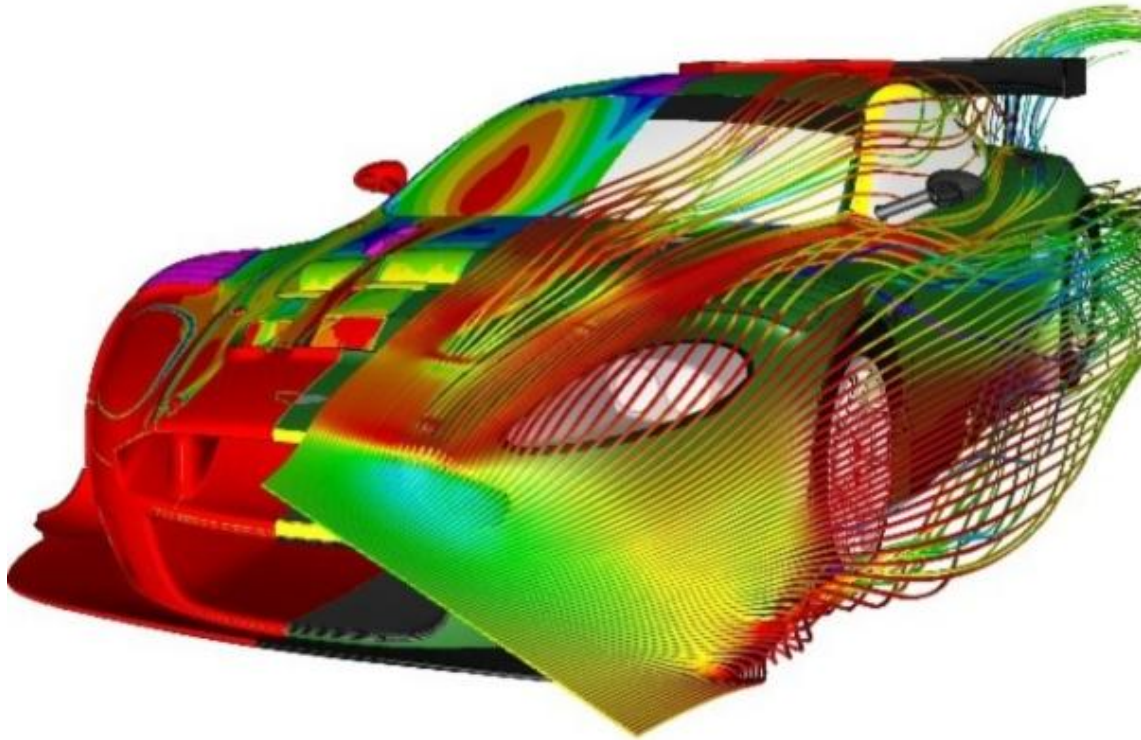


Figura 5.32: Resultado gráfico de un CFD de un Aston Martin de competición

6 POSIBLES VÍAS DE TRABAJO

A la hora de repartir diferentes proyectos entre los miembros del equipo, al autor del presente proyecto se le asignó la aerodinámica de la motocicleta. Éste área es muy general así que lo primero fue concretar un poco más el tema de este PFC. Con este tema se sobreentiende que principalmente debe desarrollar la carcasa exterior de la moto, es decir, el carenado, y hacer una evaluación de las posibles soluciones con el fin de reducir la resistencia aerodinámica.

Lo siguiente fue analizar y evaluar las posibles vías de trabajo para poder realizar este PFC y ver si sería posible hacerlo con los medios que tenemos a nuestro alcance.

En un principio la idea era obtener uno o varios modelos y después analizar y comparar sus propiedades aerodinámicas. Por tanto se separaron en dos grupos todos los métodos que conocemos para diseñar y realizar un análisis aerodinámico:

6.1 DISEÑO

A la hora de diseñar o construir un modelo para el análisis aerodinámico se puede por dos opciones: hacer un diseño nuevo empezando desde cero, es decir, un diseño totalmente original; o partir de un modelo existente y si es necesario realizarle algunos cambios o mejoras.

En la competición MotoStudent, siempre que sea atractivo a la vista, un diseño totalmente original dará un valor añadido a la moto, pero siempre resultará más difícil y costoso.

Existen muchos métodos de diseño. A continuación podemos ver una lista de los que conocemos. Una característica muy importante a tener en cuenta es que la mayoría se pueden combinar unos con otros:

6.1.1 Dibujo a mano alzada

Se emplea para el diseño de bocetos. Esta sería la parte más artística del diseño. En estos dibujos hay que plasmar la idea que se tiene en mente. Para ello, aparte de tener conocimientos y referencias anteriores, hay que saber dibujar y sobre todo tener mucha imaginación y madera artística.

Aparte del clásico papel y lápiz, existen herramientas informáticas especiales para este tipo de desarrollos. Permiten dibujar a mano directamente en el ordenador, para luego poder hacer modificaciones más fácilmente, como puede ser el cambio de color. Hay empresas de diseño de productos que se dedican a este tipo de trabajos. Un ejemplo muy claro es el que hizo la empresa *Anima* para *Bottpower*:

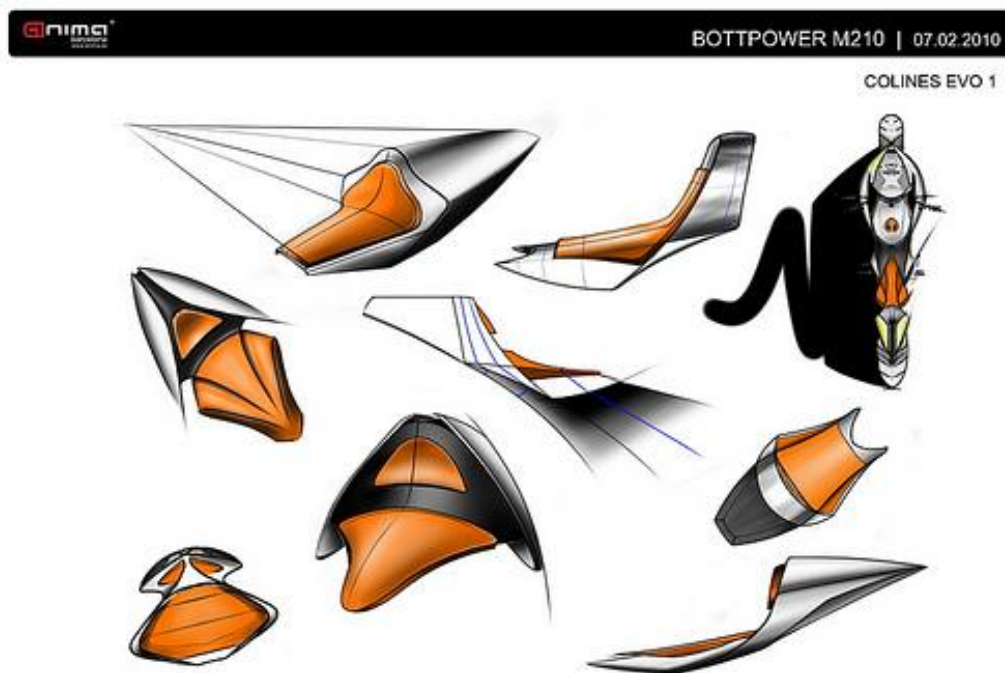


Figura 6.1: Diferentes diseños para un colín



Figura 6.2: A partir de un diseño 3D han dibujado encima varios bocetos

6.1.2 Maqueta

Las maquetas se emplean para un proceso avanzado del diseño. Una vez definido un modelo en papel, una forma de ver una réplica del prototipo es hacer una maqueta. Esto resulta más barato que hacer el prototipo en sí. A tamaño real se pueden ver las imperfecciones y errores que se hayan podido cometer a en el diseño, pudiendo mejorar el diseño de forma sencilla antes de fabricar el definitivo. También se pueden hacer a escala.

Las maquetas tienen diversas utilidades y objetivos. Desde simples modelos para poder tener una percepción en 3D más clara hasta modelos más detallados para análisis en túnel de viento.

Se pueden emplear todo tipo de materiales, según como se vaya a fabricar, el objetivo del mismo, etc. En muchas ocasiones se emplean materiales moldeables (arcilla por ejemplo) para poder cambiar el diseño sin mayor dificultad.

Por otro lado tenemos las máquinas de prototipado rápido con las que se puede hacer un prototipo de forma barata y en poco tiempo. La Universidad Pública de Navarra dispone una en las instalaciones de Tudela.

6.1.3 Diseño asistido por ordenador (CAD)

Hoy en día hay muchos programas informáticos con los que se puede dibujar en tres dimensiones cualquier cosa que te propongas. Las licencias de estos programas no son baratas pero te pueden ahorrar mucho dinero a la hora de fabricar, ya que te permiten detectar fallos antes de fabricar nada. Esto puede suponer fabricar bien el prototipo a la primera y reducir trabajo de post-proceso.

El diseño de la motocicleta mediante este método facilita las cosas a la hora de trabajar con otros compañeros. Si cada uno diseña una pieza diferente, de esta manera se podrá ver si lo que hacemos nosotros es compatible o si interfiere con lo que esté haciendo cualquier otro. De esta manera también se puede completar la maqueta digital uniendo las diferentes piezas de la motocicleta.

Actualmente los software CAD más utilizados son:

- **Auto CAD:** Este programa es el más empleado para dibujar planos y todo tipo de figuras en 2D. Su interfaz para dibujar en 3D es más pesada y engorrosa que el resto. Tenemos conocimientos para usar este programa ya que se nos imparten clases en la carrera de Ingeniería Industrial. Por tanto disponemos soporte, técnicos especializados y computadoras dotadas con este programa en la Universidad Pública de Navarra.

- **CATIA:** Este programa está pensado para diseños de piezas y productos en 3D. Tengo conocimientos básicos para usar este programa ya que se nos imparten clases en la carrera de Ingeniería Industrial. Por tanto disponemos de soporte, técnicos especializados y computadoras dotadas con este programa en la Universidad Pública de Navarra.
- **Pro Engineer:** Es un programa parecido a CATIA. La organización MotoStudent ofrece licencias para los participantes, pero el problema es que no tenemos conocimientos ni asistencia en la Universidad Pública de Navarra.
- **Solid Works**
- **Rhinoceros**
- **Inventor**

Los tres últimos son parecidos a los dos anteriores, pero no tenemos conocimientos ni soporte alguno en la Universidad Pública de Navarra.

6.1.4 Ingeniería inversa

Como se ha comentado anteriormente, si en lugar de comenzar a diseñar desde cero partimos de un modelo existente, para dibujar el modelo en 3D en un programa CAD, necesitamos herramientas de ingeniería inversa.

En nuestro caso se podrían usar carenados originales o a escala, ya que las maquetas de juguetería de hoy en día pueden llegar a ser replicas exactas con todo lujo de detalles pero en tamaño muy reducido. El inconveniente de usar escalas reducidas es que pueden aparecer más imperfecciones a la hora de trasladar el modelo a formato digital.

Estas son algunas herramientas que se podrían utilizar para digitalizar un modelo existente en el mercado:

- **ESCANER:** Se pueden encontrar todo tipo de escáneres 3D que digitalizan en una nube de puntos las superficies del objeto a escanear. Estos mapas se componen por millones de puntos dependiendo de la precisión y tipo de escáner. Los dos tipos de escáneres 3D son el de contacto y sin contacto. Los de contacto examinan el objeto por medio del toque físico y los de sin contacto mediante algún tipo de radiación como la luz (laser), ultrasonido o radiografía.

El punto de la nube producido por escáneres 3D generalmente no es usado directamente. La mayoría de las aplicaciones no usan nubes de punto, pero en su lugar usan modelos poligonales 3D. El proceso de convertir una nube del punto en un modelo de poligonal 3D se llama la reedificación o reconstrucción. La reedificación implica encontrar y conectar los puntos

adyacentes para crear una superficie continua. Muchos algoritmos están disponibles para este propósito. Por tanto después del escaneado se precisa hacer un post-proceso digital y para ello se necesita software y conocimientos específicos.



Figura 6.3: Escaneado de un coche con un escáner laser.

La Universidad Pública de Navarra dispone en Tudela de un escáner para objetos de tamaño reducido. Podría servir para hacer un escaneado a escala de una maqueta.

Los escáneres son muy caros, así que existen empresas especializadas en ingeniería inversa que pueden hacer este tipo de trabajo.

- **PALPADORES:** Otra solución más barata podría ser fabricar un CMM (Maquina de Medición por Coordenadas) para medir de forma manual con palpadores. Sería construir un sistema de barras móviles del tamaño de un carenado que nos permita de alguna manera medir diferentes puntos estratégicos para luego digitalizar en un programa CAD cada punto mediante un sistema de coordenadas. En el equipo disponemos de un reloj palpador. Esto ahorraría muchos costes.



Figura 6.4: Reloj palpador

A parte de tener que diseñarlo y construirlo, uno de los mayores inconvenientes es que la estructura de barras debe estar muy bien diseñada para no cometer grandes imprecisiones. También sería necesario diseñar un sistema para que el carenado se quede fijo y no se mueva durante las mediciones. A la hora de tomar datos, este método es muy lento.

- **FOTOGRAMETRÍA:** Esta técnica permite realizar un modelo tridimensional a partir de una serie de fotografías, en la cuales se deben marcar algunos puntos denominados puntos de apoyo. Una vez procesadas las fotografías se encuentra la posición en el espacio de estos puntos y se trabaja la geometría a partir de estos.



Figura 6.5: Marcado y fotografiado de un Toyota Corolla.

En este ejemplo se ha usado el programa comercial “PhotoModeler”. En la misma web oficial del programa aparecen infinidad de video-tutoriales para aprender a manejar el programa de manera sencilla.

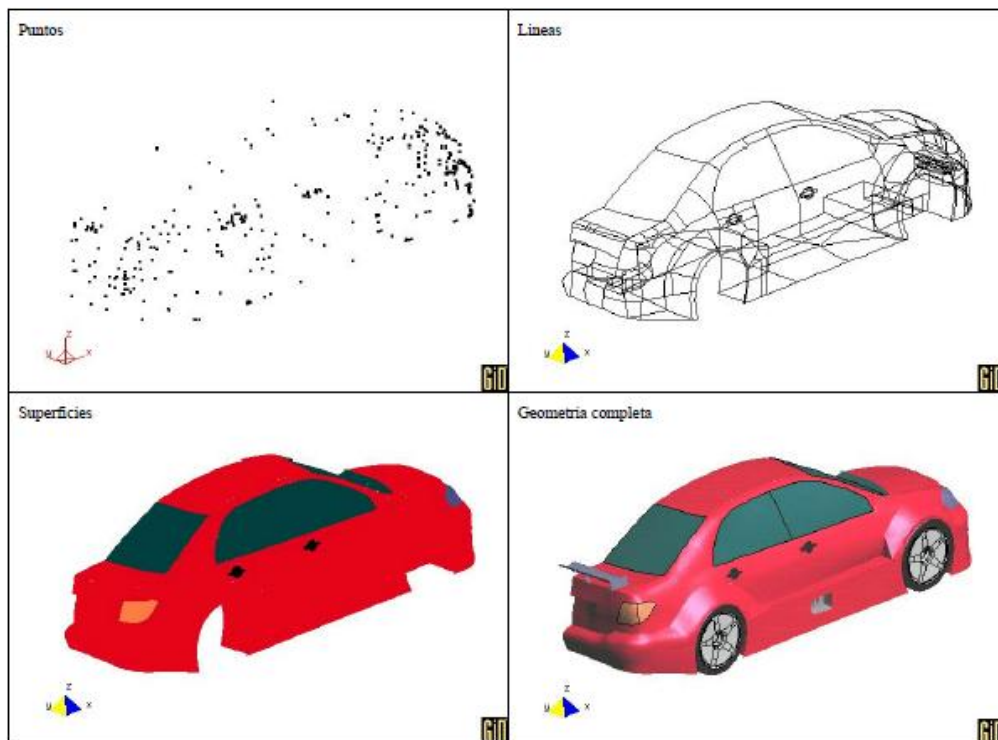


Figura 6.6: Proceso de la generación de la geometría.



Figura 6.7: CAD del Toyota Corolla de TC2000.

6.2 ANÁLISIS AERODINÁMICO

Una vez que obtenido el modelo del diseño se le realiza un análisis aerodinámico para ver su efectividad y ver que se podría llegar a mejorar. En caso de tener varios modelos un análisis aerodinámico permitiría compararlos y hacer una elección de manera correcta y objetiva.

El tipo de análisis dependerá del formato de diseño empleado o viceversa. Por ejemplo, si el modelo es una maqueta, la única manera analizarlo es metiéndolo en un túnel de viento. Por otro lado, si el único método de análisis disponible es el CFD, obligatoriamente es necesario un modelo en formato digital.

Estos son algunas de las alternativas para poder realizar un análisis exhaustivo de la aerodinámica de la motocicleta:

6.2.1 Túnel de viento

El túnel de viento sirve para analizar maquetas, prototipos o cualquier otra moto del mercado. Es decir, objetos físicos en estado sólido. Como ya se explicó en el apartado de fundamentos teóricos, existen dos grupos principales:

- **A tamaño real:** Es la opción más fiable y sencilla de utilizar, pero debido a su gran tamaño resultan muy caros. No existen muchos de estos y el más cercano a nuestras instalaciones estaría en Francia.
- **A escala:** Hay que tener en cuenta todas las propiedades que se ven afectadas por la escala, como ya se explicó en el apartado de teoría. Es necesario hacer una maqueta. El coste del túnel es algo más barato, dependiendo de la escala. En “Epsilon Euskadi” (País Vasco) disponen de un túnel de viento que ronda entre un 50 y un 60% de escala para coches. Puede que sea posible introducir una motocicleta completa incluido el piloto.



Figura 6.8: Túnel de viento de Epsilon Euskadi.

6.2.2 Túnel hidrodinámico

Es básicamente como un túnel de viento pero el fluido en el que se sumerge el objeto es líquido en vez de aire. También es necesario trabajar a escala y hay que tener en cuenta todas las propiedades que se ven afectadas por ella más la que afectan por trabajar con fluidos. Todo esto también se ve más detallado en el apartado de fundamentos teóricos.

Resulta más barato que el túnel de viento, pero tampoco conocemos la existencia de alguno de estos por aquí cerca.

6.2.3 Pruebas en pista

Otra opción mucho más barata pero menos eficaz es hacer las pruebas directamente en un circuito o en una pista adecuada para ello.

Un gran inconveniente es que se necesita la moto construida o en su defecto habría que ingeniárselas de alguna manera para poner un modelo a cierta velocidad y poder ver los resultados.



Figura 6.9: Un metodo ingeniosa para analizar efectos aerodinámicos.

6.2.4 CFD

La dinámica de fluidos computacional es el modo que disponemos para hacer un análisis de forma virtual. En el *apartado 5.3* de la presente memoria se describe de forma detallada en qué consiste la CFD.

Para poder hacer este tipo de simulación es necesario conseguir o dibujar uno o varios modelos CAD del vehículo en tres dimensiones. La creación y adaptación de esta geometría para poder usarla en programas CFD es muy costoso y requiere conocimientos de la herramienta de dibujo que se esté usando. En este caso también es necesario dibujar un piloto, ya que sin él las simulaciones no son nada representativas.

Los resultados que dan estos programas no son reales, siempre serán aproximaciones. No muestran un resultado exacto pero se aproxima lo suficiente a la realidad como para poder considerar las soluciones muy fiables. La precisión de los resultados depende de la calidad del modelo y de la propia simulación. Los ordenadores disponibles para hacer este proyecto probablemente no son lo suficientemente potentes como para hacer simulaciones con maquetas digitales que tengan todo lujo de detalles. Por lo tanto los dibujos digitales deben ser modelos adaptados a las características de los PC's.

Otro pequeño inconveniente es el tiempo necesario para hacer cada simulación. Puede variar mucho según las características, del modelo, la computadora, las propiedades de la simulación, etc. En nuestro caso teníamos que tener en cuenta que cada simulación tardaría horas o incluso días.

A pesar de obtener aproximaciones, la gran ventaja de este método, es que se pueden calcular muchos tipos de soluciones. La cantidad de información respecto a los otros métodos es mucho mayor y muy fácil de interpretar. Pueden mostrar gráficamente distribuciones de presiones, velocidades, turbulencias, flujos, etc. También se pueden calcular fuerzas, momentos, centro de presiones, área frontal...

Una ventaja frente a los túneles de viento es que se pueden hacer simulaciones en curva. No es muy difícil darse cuenta que la posición de la moto varía en esta situación. Adoptar esta posición de la moto y el piloto en un túnel de viento no es tarea fácil.

Existen varios software CFD en el mercado que se usan hoy en día:

- **FLUENT:** Esta es la parte de fluidos del conocido programa de elementos finitos ANSYS. Se recibió algo de formación de ANSYS para cálculos de transmisión de calor en la UPNA, pero los conocimientos del autor en el momento de trabajar en este Proyecto eran prácticamente nulos. La interfaz para este modulo no es muy visual y no es fácil de usar. Se dispone de soporte, técnicos especializados y computadoras dotadas con este programa en la Universidad Pública de Navarra.
Equipos de F1 como BMW Sauber son usuarios de este programa.

- **Star CCM+:** Este es uno de los programas más empleados para analizar la aerodinámica en el mundo de la competición del motor. En estos momentos varias empresas navarras de este ámbito están usando este programa para sus proyectos. “Silver Car” está realizando un análisis aerodinámico de su Speed Car e “Inmotec” está haciendo un estudio más profundo de su nueva MotoGP.

El autor del presente proyecto recibió un breve curso de aerodinámica y CFD de competición donde se impartieron unos conceptos básicos para poder iniciarse en este programa. También adquirió unos sencillos tutoriales enfocados a simulaciones de vehículos. Por otra parte, existe la posibilidad de recibir ayuda y soporte a través de internet de las personas que impartieron este curso.

Dicho curso de unas 18h de instrucción, fue impartido en Castellón en Septiembre de 2009 por Timoteo Briet Blanes, experto en aerodinámica de competición. El curso fue remunerado por el equipo ETSIIT-UPNa Racing.

En la Universidad Pública de Navarra por ahora no hay licencias para este programa, pero está en fase de compra.

- **FloWizard:** Se hizo referencia a este otro programa en el curso de aerodinámica y CFD. La única ventaja frente al Star CCM+, es que puede calcular el centro de presiones. Este programa no hace el mallado de la figura a analizar, hay que importarlo de otros programas.
- **GID:** También nos mostraron este programa en el curso, pero es más básico y ya tiene unos cuantos años. Se suele usar para mallar el dibujo en 3D y exportarlo a otros programas CFD o FEM.

7 MÉTODO DE TRABAJO ADOPTADO

En ámbitos de **diseño**, se optó por métodos computacionales, es decir, **programas CAD**, porque aparte de tener accesibilidad a varios de ellos a través de la universidad, era la herramienta de diseño que más experiencia tenía el autor. De todo este software indicado en el apartado anterior, la mejor opción fue usar **CATIA V5**, de Dassault Systemes. En nuestro caso todo el equipo usa este programa de diseño, es el más indicado para este tipo de trabajos, además en caso de tener dudas, podemos recibir ayuda por parte del profesorado. Como el software ya estaba comprado, es una de las opciones que no nos suponía gastos. Adquirir más experiencia con este software también era un incentivo, ya que puede facilitar el encontrar futuros puestos de trabajo relacionados con este tema.

Los **análisis aerodinámicos** también se decidió en hacerlos por medios computacionales, más aún si los modelos que se iban a crear iban a ser virtuales. Dejando a un lado los costes de la licencia, el **CFD** era la vía más barata y accesible de todas las propuestas. Trabajar con túneles o incluso crear uno conlleva un gasto que el equipo no se puede permitir, además hubiese sido necesaria la creación de una maqueta o de la misma moto. En muchas ocasiones hubiese dependido de otras entidades o personas para poder avanzar en la investigación y esto supondría grandes retrasos. Por otra parte, por lo general, es muy recomendable hacer un análisis con CFD antes de meter nada al túnel. De esta manera se pueden ahorrar muchos costes innecesarios de post-proceso. Así que en caso de poder llegar a analizar algún día la moto en un túnel, tendremos estos análisis del CFD para poder comparar. De entre el software disponible, aprovechando el “curso de aerodinámica y CFD”, se eligió el software **STAR CCM+**. Este programa parecía ser el más indicado, ya que el autor disponía de varias vías y apoyo para aprender a usarlo por su cuenta. Este software trabaja dos apartados muy importantes del CFD que con otros programas habría que hacer por separado: el mallado de la geometría y la simulación. También hay que decir que se usa bastante en el mundo de la competición y muy poca gente ha trabajado con este programa. Este era un incentivo más para aprender a manejar un software un tanto exclusivo que cada vez será más empleado debido a las prestaciones de los ordenadores de hoy día. Esto también puede facilitar y mucho, las posibilidades de encontrar futuros empleos relacionados con la aerodinámica.

A la hora de diseñar o construir un modelo para el análisis aerodinámico se podía optar por dos opciones: hacer un diseño nuevo empezando desde cero, es decir, un diseño totalmente original; o partir de un modelo existente y si es necesario realizarle algunos cambios o mejoras.

En general, un diseño nuevo implica investigar e informarse de los ya existentes para no cometer fallos básicos que se hayan cometido anteriormente e intentar buscar vías de mejora. Implica saber plasmar lo que se tiene en mente. Hoy en día también implica

tener un nivel avanzado de las herramientas de dibujo CAD que se vaya a usar, especialmente en el apartado de superficies. Implica tener que fabricarlo con todo lo que conlleva, es decir, previamente habría que fabricar un molde o incluso una maqueta. En definitiva, se requiere mucho tiempo y dinero. Para hacernos una idea, al equipo navarro “Inmotec”, según nos comentaron ellos mismos, les costó desarrollar el carenado de una MotoGP alrededor de un año y 150.000€.

Obviamente nosotros no nos podemos permitir este lujo. Hacer algo similar con nuestro presupuesto no tiene sentido, ya que solo se podría llegar a hacer un carenado malo y de poca calidad. Por tanto se decidió usar un carenado o partes de diferentes carenados existentes en el mercado y si es posible, hacerles pequeñas y sencillas modificaciones de mejora. Esta es la mejor opción en relación con calidad/precio.

Conseguimos que nos prestasen dos **carenados**, que han resultado ser unos de los más punteros en la competición de motocicletas de 125cc. Las motos originales de los carenados son una **Honda RS 125** y una **Aprilia RS 125**. Ambos carenados son del 2004-2005 y están adaptados para la competición. Los carenados de estos modelos desde ese año hasta hoy no han variado prácticamente nada.



Figura 7.1: Honda RS 125cc, modelo 2004



Figura 7.2: Aprilia RS 125cc del equipo Aspar 2004

El carenado de la Honda RS nos lo prestó el equipo local “Vidal Racing Competición”. Dispusimos de guardabarros, frontal completo y colín, que posteriormente se digitalizaron.

Por otro lado, por cortesía de Timoteo Briet, instructor del curso de aerodinámica y CFD, se consiguió el frontal completo de la Aprilia en formato digital (.IGS). Este modelo fue digitalizado mediante un escáner laser usando directamente el carenado de la Aprilia del Team Aspar de 2004, equipo español que compite en el mundial de 125 cc. Esto nos supuso un ahorro de tiempo muy importante.

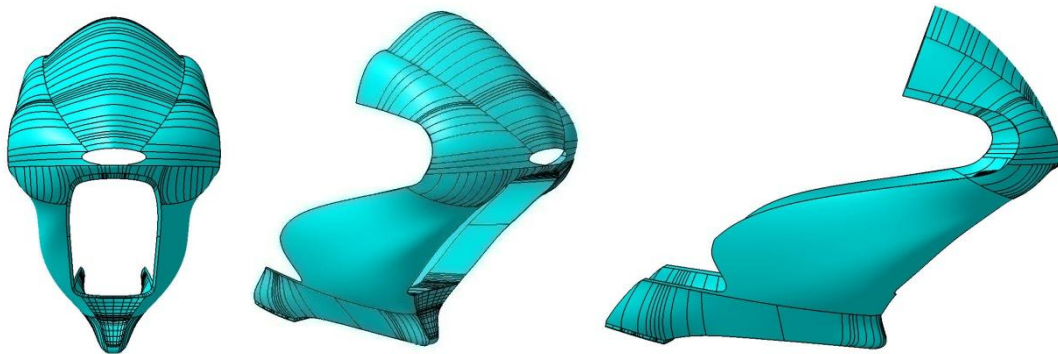


Figura 7.3: Frontal de la Aprilia en formato digital

La idea era hacer una comparación entre las dos motos y elegir la mejor para el equipo. En un principio, para ahorrar tiempo, como veremos más adelante, se optó por dibujar la Honda RS y cambiar solo el frontal para hacer la comparación con la Aprilia. Se pensó en analizar los dos modelos con el software CFD elegido, es decir, con el Star CCM+. Con los resultados se haría un análisis exhaustivo y si es posible se intentarían añadir mejoras que luego se puedan aplicar fácilmente al carenado, dando así con el modelo final y todos sus datos característicos.

Para digitalizar el carenado que nos prestó “Vidal” necesitamos aplicar un método o herramienta de **ingeniería inversa**. Entre los descritos en el apartado anterior, primero intentamos usar el más rápido y sencillo de todos, que era contratar una empresa para que nos digitalizase el carenado mediante un escáner láser. Contactamos con “Samper”, una empresa local que se dedica al diseño CAD en 3D de ingeniería y colabora con otra empresa valenciana para hacer trabajos de ingeniería inversa. El presupuesto que nos ofrecieron para el escaneado y digitalizado del carenado era de unos 3.000€ con la posibilidad de reducirlos mediante patrocinios. Aún así nos pareció mucho dinero para el presupuesto que tenemos, ya que no es una necesidad prioritaria, otros apartados tienen mucha más importancia a la hora de diseñar la moto. Aparte de eso podíamos buscar otras vías de digitalizado, aunque más lentas y complicadas.

Las otras dos alternativas que nos quedaban era crear un escáner de contacto manual mediante palpadores o la fotogrametría. A simple vista, crear un sistema para usar un palpador y poder anotar diferentes puntos del carenado en un sistema de coordenadas,

como ya se comentó en el apartado anterior, nos pareció mucho más complicado, costoso e impreciso que la fotogrametría. El problema era que no teníamos ni idea de si éramos capaces de usar correctamente este método y de si realmente podía cubrir nuestras necesidades. Así que el siguiente paso fue estudiar un poco el software y hacer una pequeña prueba para ver los resultados. Se usó una carrocería de coche de escala 1:10 y en pocos días y con poca experiencia con el software, se consiguió dibujar las líneas de contorno de manera aceptable. Seguramente que con unos resultados de precisión y rapidez mucho mayores que cualquier resultado que se pudiera obtener con el sistema de palpadores.

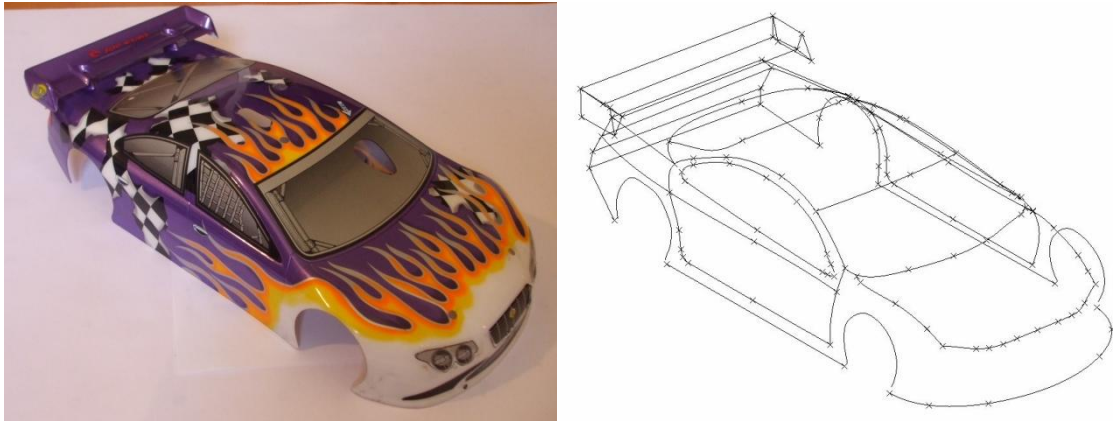


Figura 7.4: Resultados de la primera prueba de fotogrametría.

Por consiguiente queda claro que la **fotogrametría** era la herramienta de ingeniería inversa que mejor se adecuaba a nuestras posibilidades. El programa de ordenador que se empleó para la fotogrametría se llama “**PhotoModeler Scanner**”. Las geometrías que se obtuvieran con este programa se exportarían a CATIA para completarlas, unir las y tratarlas para crear los modelos digitales de las motocicletas que se usarían en el CFD.

8 DESARROLLO DEL TRABAJO

Tras decidir cómo abordar este proyecto así es como se ha desarrollado:

8.1 DISEÑO TRIDIMENSIONAL

Como ya se decidió en el apartado anterior, el diseño se haría de manera computacional en tres dimensiones mediante software CAD. Se dibujaron dos modelos diferentes basados en los carenados de dos motocicletas de 125cc: Honda RS y Aprilia RS (ver *figura 7.1* y *7.2*). Para ello se obtuvieron las geometrías mediante ingeniería inversa. El frontal de la Aprilia ya se consiguió en formato digital (ver *figura 7.3*). Proviene de un escaneado laser realizado hace años. El carenado de la otra moto era de una Honda RS. Se empleó la fotogrametría para digitalizar el carenado que nos prestaron. El carenado de la Honda RS está dividido en varias piezas:

- *Frontal*: Es la parte delantera que cubre la mayoría de la moto. Es la parte principal. Está formado por dos piezas para poder montarlo y desmontarlo más fácil y rápido. Para evitar dificultades todo el proceso de digitalización se ha hecho con estas dos piezas juntas para dibujarlo como una sola.
- *Colín*: Es la parte trasera donde va sentado el piloto.
- *Guardabarros delantero*
- *Deposito*: Depende como se mire puede no considerarse parte del carenado, pero nos hace falta para dibujar la moto.

Una vez que finalizada la fotogrametría se exportaron los archivos a CATIA para tratar los datos y dibujar los modelos finales. A continuación veremos de forma detallada todo el proceso.

8.1.1 Fotogrametría

En este trabajo se optó por realizar un digitalizado de la geometría mediante la técnica de ingeniería inversa conocida como Fotogrametría. Esta técnica permite realizar un modelo tridimensional a partir de una serie de fotografías, en la cuales se deben marcar algunos puntos denominados *puntos de apoyo*. Una vez procesadas las fotografías se encuentra la posición en el espacio de estos puntos. El programa que se usó para procesar las imágenes se llama PhotoModeler Scanner.

El primer paso es hacer una calibración con la cámara de fotos que vayamos a utilizar. Hay que imprimir una hoja con unos puntos de calibración especiales y sacarle un número determinado de fotos de varias posiciones y ángulos concretos. Mediante esta calibración el programa calculará automáticamente unos parámetros de la cámara que dependerán de la propia lente de la cámara y del zoom que se esté aplicando. Estos datos son imprescindibles para que luego el programa pueda procesar correctamente las fotografías del modelo. Hay que procurar que el zoom de todas las fotos sea el mismo que el de la calibración para no cometer errores.

La aplicación de esta técnica de ingeniería inversa se puede dividir en dos partes, la primera se realiza sobre el modelo que se quiere reproducir y consiste en la demarcación y fotografiado del mismo; la segunda parte es el procesamiento de los datos que se extraen a partir de las fotos.

8.1.1.1 Marcación y fotografía

Para la aplicación de esta técnica se debe marcar el modelo real con una serie de puntos codificados. Hay que preparar estos puntos según la cantidad y tamaño necesarios. Obviamente esto depende del tamaño del propio objeto y de la distancia a la que se saquen las fotos. El máximo número de puntos codificados son 561, pero se pueden usar todos los que se quieran sin codificar. Cada punto codificado tiene un contorno diferente asociado a una referencia, de esta manera al procesar las imágenes, el programa podrá identificar individualmente cada punto en todas las fotos diferentes en las que aparezca.



Figura 8.1: Ejemplo de cinco puntos codificados.

En este caso se marcaron y procesaron todas las piezas del carenado por separado. En todos ellos los puntos codificados se ubicaron en puntos considerados relevantes para su posterior utilización (por razones de simetría se utilizaron sólo la mitad de la piezas).

Una vez finalizada la marcación se tomaron entorno a 15-30 fotografías de cada pieza en distintos ángulos y elevaciones. Como complemento se tomaron fotografías de algunos detalles para una mejor representación del modelo. A continuación se mostraran algunas de ellas donde se puede ver el resultado de la marcación en las diferentes piezas.

GUARDABARROS



Figura 8.2

COLÍN



Figura 8.3

FRONTAL

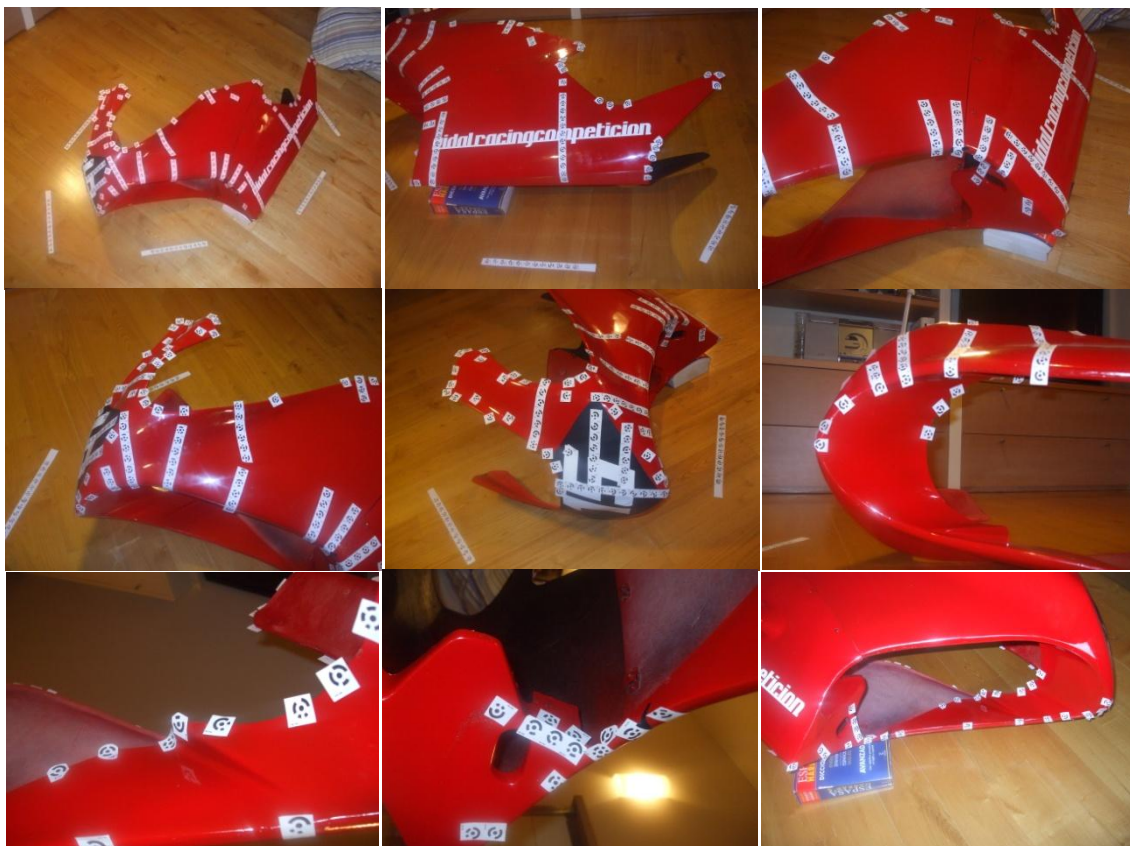


Figura 8.4

DEPOSITO



Figura 8.5

Como no era posible que nos prestaran el depósito, le sacamos unas cuantas fotos en el taller para luego intentar tratarlas con PhotoModeler sin ningún punto codificado. En este caso hay que buscar a mano puntos de referencia comunes. Siendo una superficie tan lisa no resulta nada fácil marcar un mismo punto en todas las fotos.

8.1.1.2 Procesado de las fotografías y generación de nube de puntos

Utilizando el programa comercial PhotoModeler se procesaron las fotografías previamente tomadas. El trabajo inicial consiste en la identificación, en cada una de las fotos, de los *puntos de apoyo*. Una vez identificados se debe encontrar la relación entre cada uno de ellos, asignándole la numeración correspondiente al código. Como resultado se obtiene la ubicación en el espacio de cada uno de los puntos procesados. Todo esto el programa lo hace de forma automática. Previamente hay que introducirle algunos parámetros de forma correcta para obtener un resultado aceptable. Aún así, es difícil que identifique todos los puntos que aparecen en las imágenes. En ocasiones es necesario hacer el trabajo de forma manual. La precisión del método depende de la calidad de la fotografía y del proceso de calibración. Para lograr una mayor precisión se utilizaron fotos digitales de 9 Megapixels.

Para poder ubicar los puntos en el espacio lo primero que hace el programa después de identificar los puntos en cada fotografía, es calcular el punto de donde se han sacado esas mismas fotos, es decir, calcula donde y en qué posición estaba la cámara a la hora de tomar cada fotografía. De esta manera, teniendo en cuenta la perspectiva PhotoModeler procesa cada punto calculando su posición.

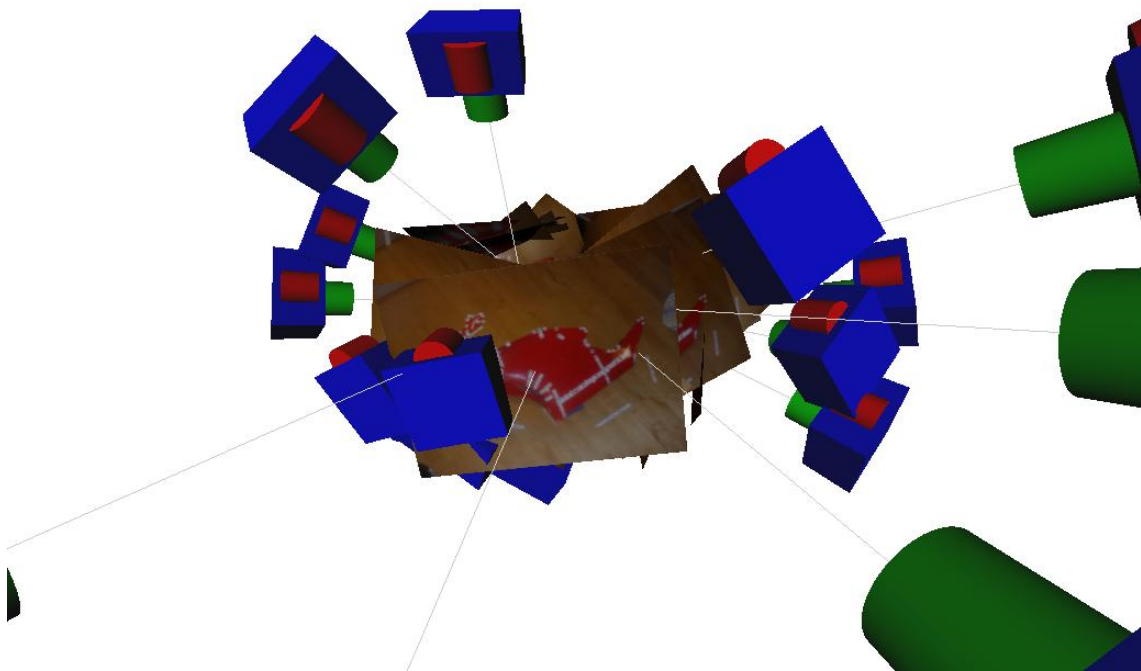


Figura 8.6: Este sería un esquema gráfico de los resultados de los primeros cálculos, donde se ubica la posición de las cámaras y el plano correspondiente de las imágenes. Este ejemplo corresponde a la fotogrametría del frontal.

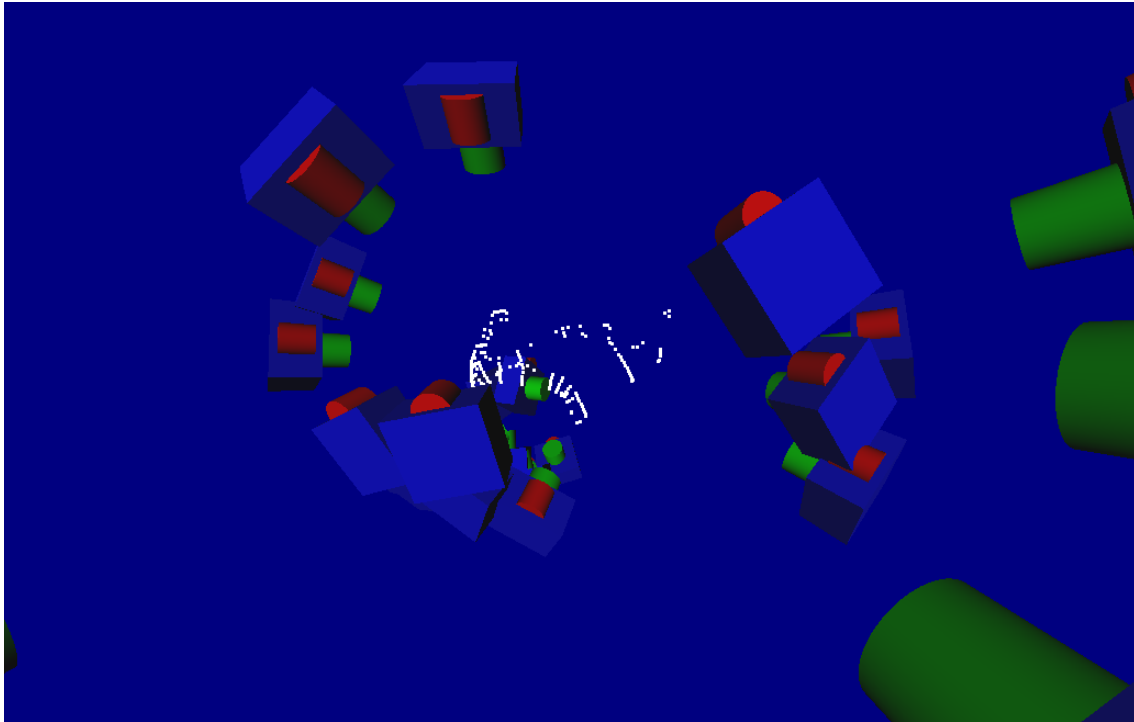


Figura 8.7: Los puntos blancos son los puntos marcados en el carenado una vez procesados. Corresponden al mismo ejemplo anterior.

A partir de la nube de puntos obtenida se pueden generar las líneas de forma que luego se puedan utilizar como soporte para generar las superficies que le dan la forma final al modelo de CAD. En un principio se empezaron a crear estas líneas e incluso alguna superficie antes de exportar el archivo a CATIA, pero a base de experiencia, más tarde se vio que era mucho mejor hacer todo esto directamente en CATIA. Así que para tener un buen resultado lo mejor es exportar solo la nube de puntos, que no es poco.

Como el autor no tenía experiencia alguna con esta técnica, empezó a experimentar con el guardabarros, que es la pieza menos importante para poder realizar este proyecto. Como ya se ha comentado, para experimentar un poco con todas las técnicas posibles, aparte de obtener puntos clave de la geometría también se generaron algunas líneas y superficies de contorno como podemos ver en la figura 8.8. Para generar algunas líneas se empleó otro método de marcado, como la pintura de tiza e hilos (ver figura 8.2), que obviamente no están codificados y hay que procesarlos a mano. Finalmente, con las siguientes piezas el autor se limitó a la generación de puntos, que es con diferencia el método más rápido, efectivo y que menos problemas genera.

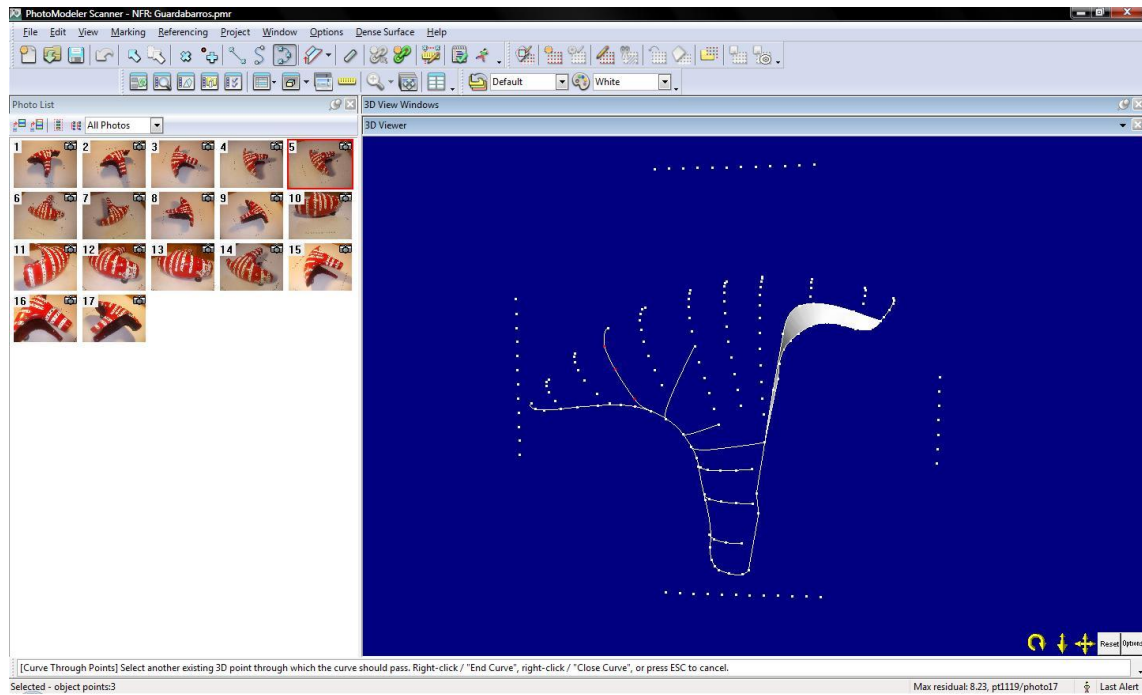


Figura 8.8: Geometría final del guardabarros, antes de exportarla a CATIA para tratarla y generar el resto de superficies.

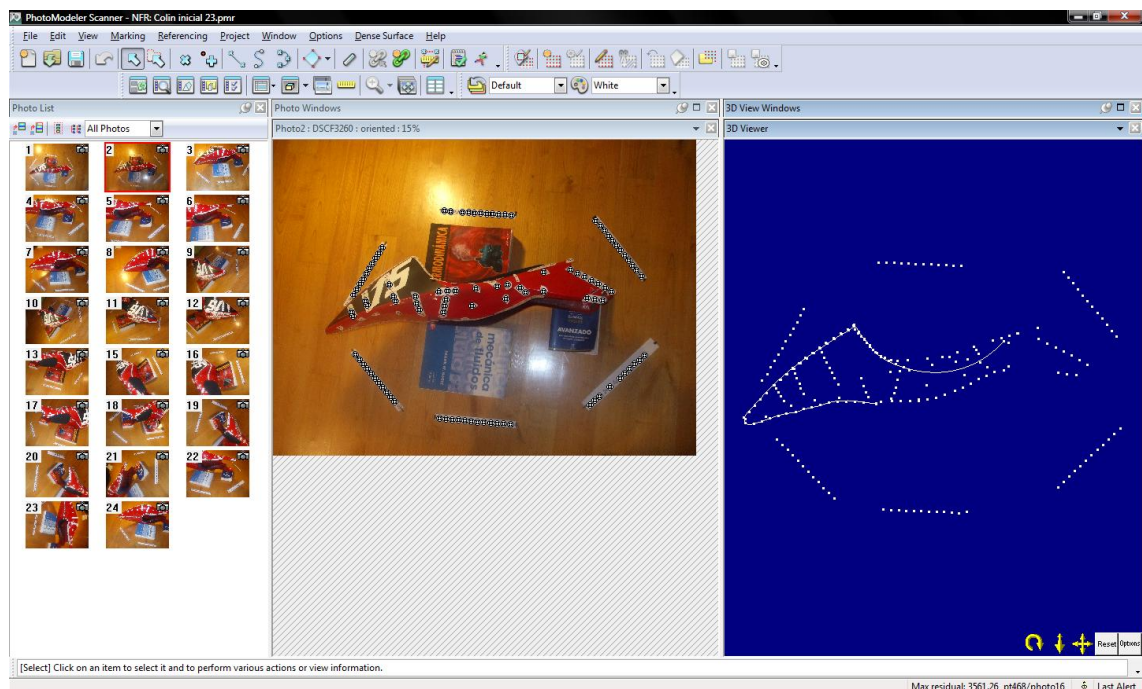


Figura 8.9: Otra captura del programa PhotoModeler, donde podemos ver la nube de puntos final del colín de la Honda RS.

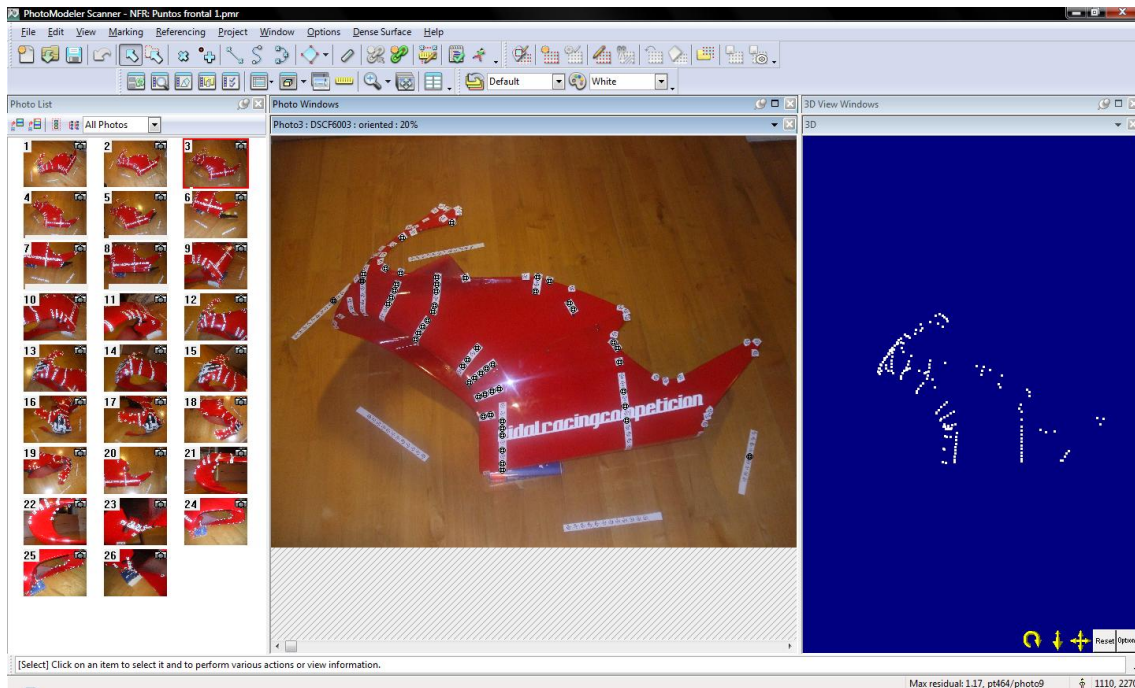


Figura 8.10: Para generar la nube de puntos del frontal se necesitó un número mayor de fotografías debido a las superficies internas.

El depósito se dejó para el final, ya que en este caso era el más difícil de procesar con PhotoModeler. Previamente ya hemos comentado que no era posible que nos prestasen el depósito. Por tanto, a la hora de sacar las fotos no pudimos marcarle ningún punto codificado o sin codificar que nos sirviese de referencia. En este caso hay que buscar a ojo puntos de referencia comunes. Siendo una superficie tan lisa no resulta nada fácil marcar un mismo punto en todas las fotos. Si no se marca un mínimo de puntos necesarios para que el programa pueda detectar la orientación de la imagen, entonces ésta ya no sirve. De todas maneras este método no es muy preciso. Por suerte, en principio, la forma del depósito no es muy relevante para la aerodinámica y lo más probable es que no usemos este modelo para nuestra moto, ya que el chasis es totalmente diferente. Así que con tomar unos pocos puntos característicos como referencia fue suficiente (ver figura 8.11). Luego se creó un modelo representativo en CATIA a partir de estos pocos puntos.

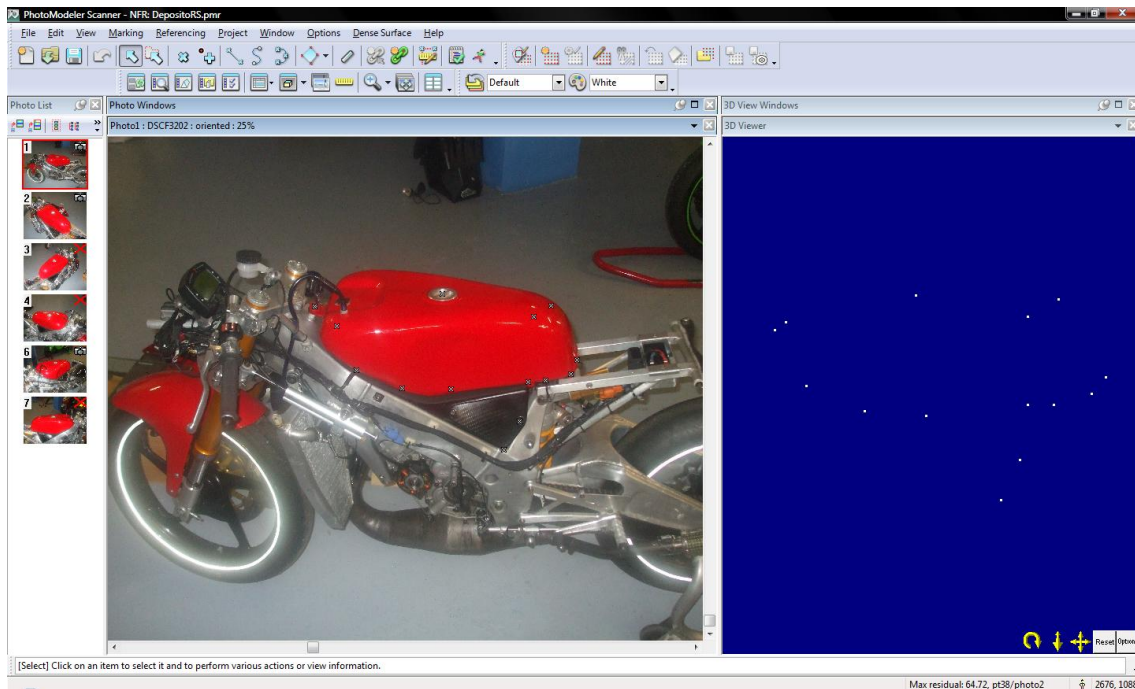


Figura 8.11: Al haber tan pocos puntos de referencia, 3 de las 6 imágenes que teníamos no se han podido orientar y por tanto se han quedado inutilizadas.

8.1.2 Generación y adaptación del modelo tridimensional con CATIA

A partir de los puntos obtenidos en el apartado de fotogrametría, se generó la geometría completa de un modelo de una moto que se adaptase a las necesidades que requiere el software CFD. Se crearon dos modelos con el frontal diferente. También era necesario dibujar un piloto en posición de máxima velocidad, es decir, tumbado. Finalmente se acoplaron los modelos a una especie de caja que representaría un túnel de viento, necesaria para hacer la simulación.

8.1.2.1 Creación de superficies de cada pieza del carenado

El primer paso fue crear las superficies que representan la capa exterior de cada pieza del carenado de la Honda RS. A partir de la nube de puntos obtenida se generan las líneas de forma que luego se utilizaron como soporte para generar estas superficies. Se intentó generar primero la mitad de todas las superficies y luego completar el resto mediante simetría, pero se desestimó esta posibilidad porque podían aparecer problemas de curvatura en el plano de simetría. Así que primero se generaron las líneas y superficies que no se viesan afectadas por el plano de simetría, luego se aplicó simetría y por último se completaron las líneas y superficies restantes.

GUARDABARROS

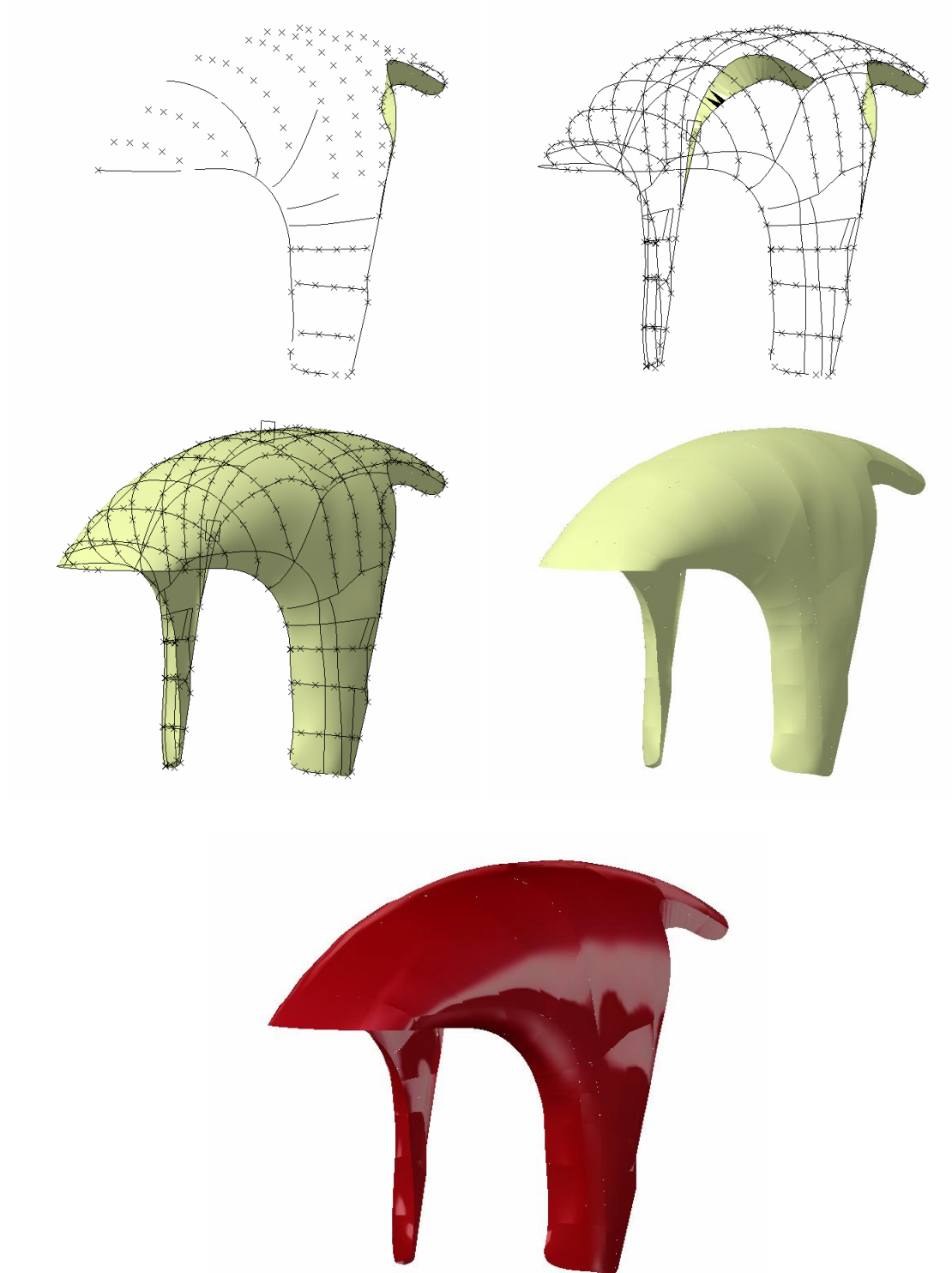


Figura 8.12

COLÍN

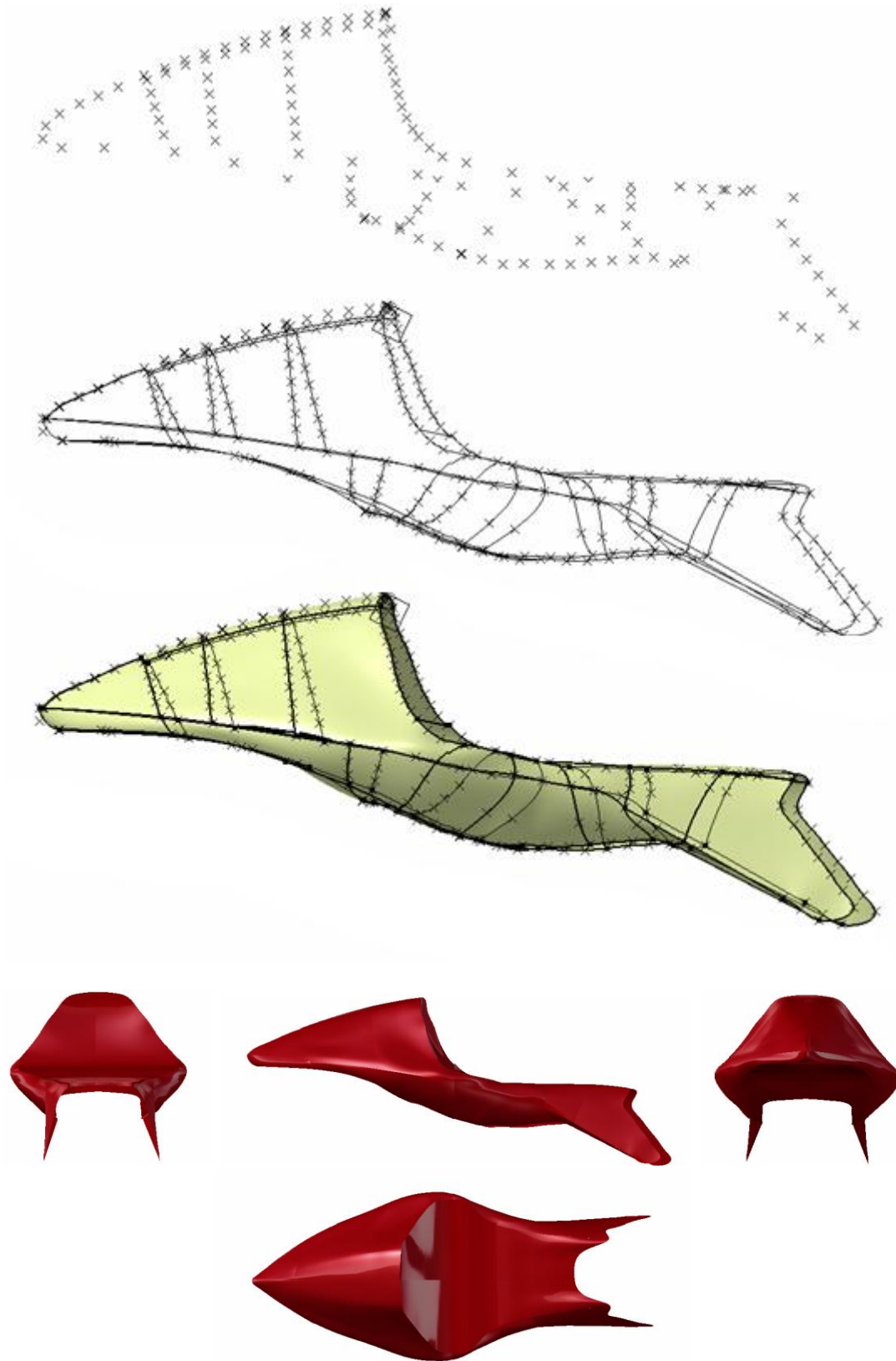


Figura 8.13

FRONTAL

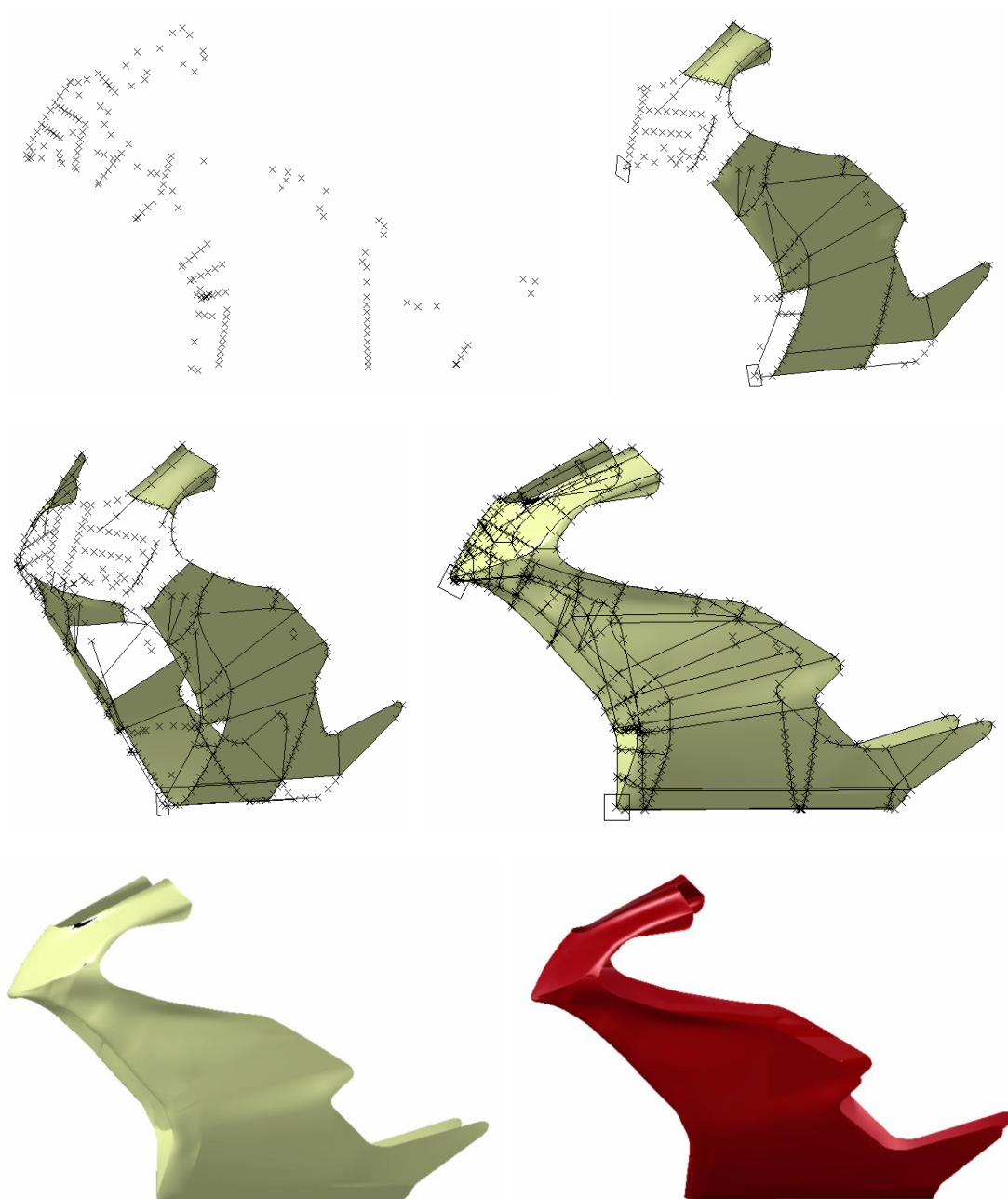


Figura 8.14: *Proceso de generación de superficies del frontal*

El frontal que nos prestaron no disponía de cúpula. Fue necesario dibujarla basándonos en imágenes de internet. No se tomo ninguna medida para crearla, pero como podemos ver a continuación cumple totalmente con su función.

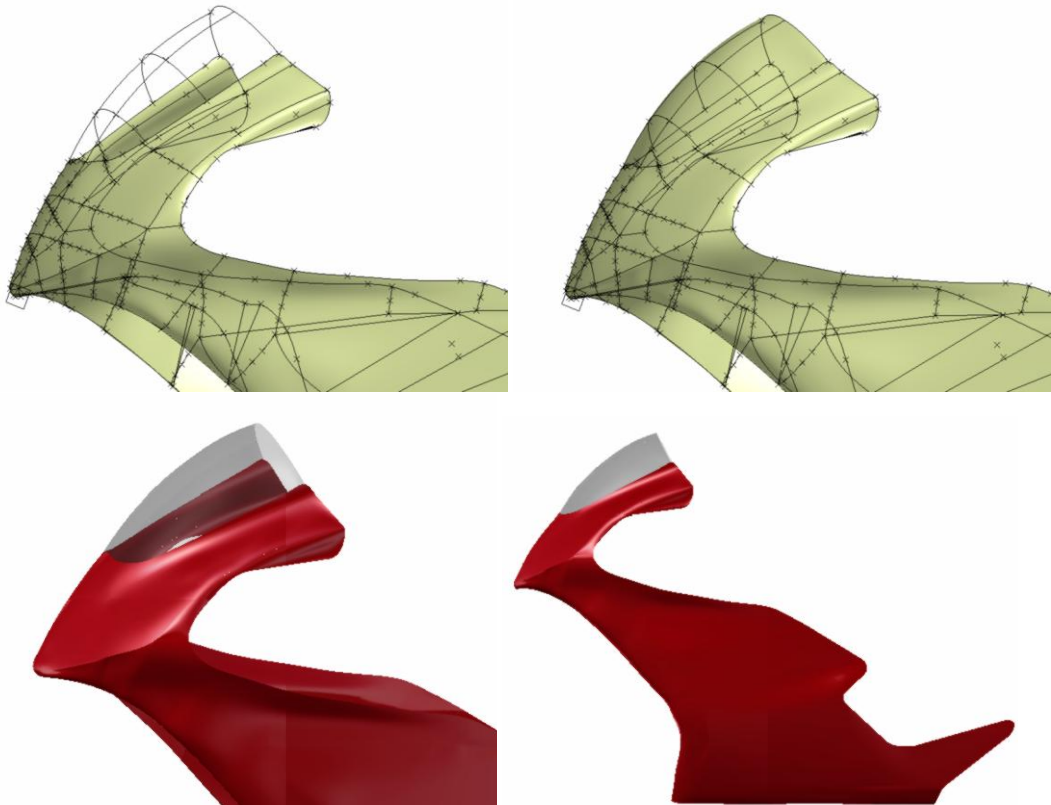


Figura 8.15: Diseño de la cúpula



Figura 8.15: Frontal completo de la Honda RS

DEPÓSITO

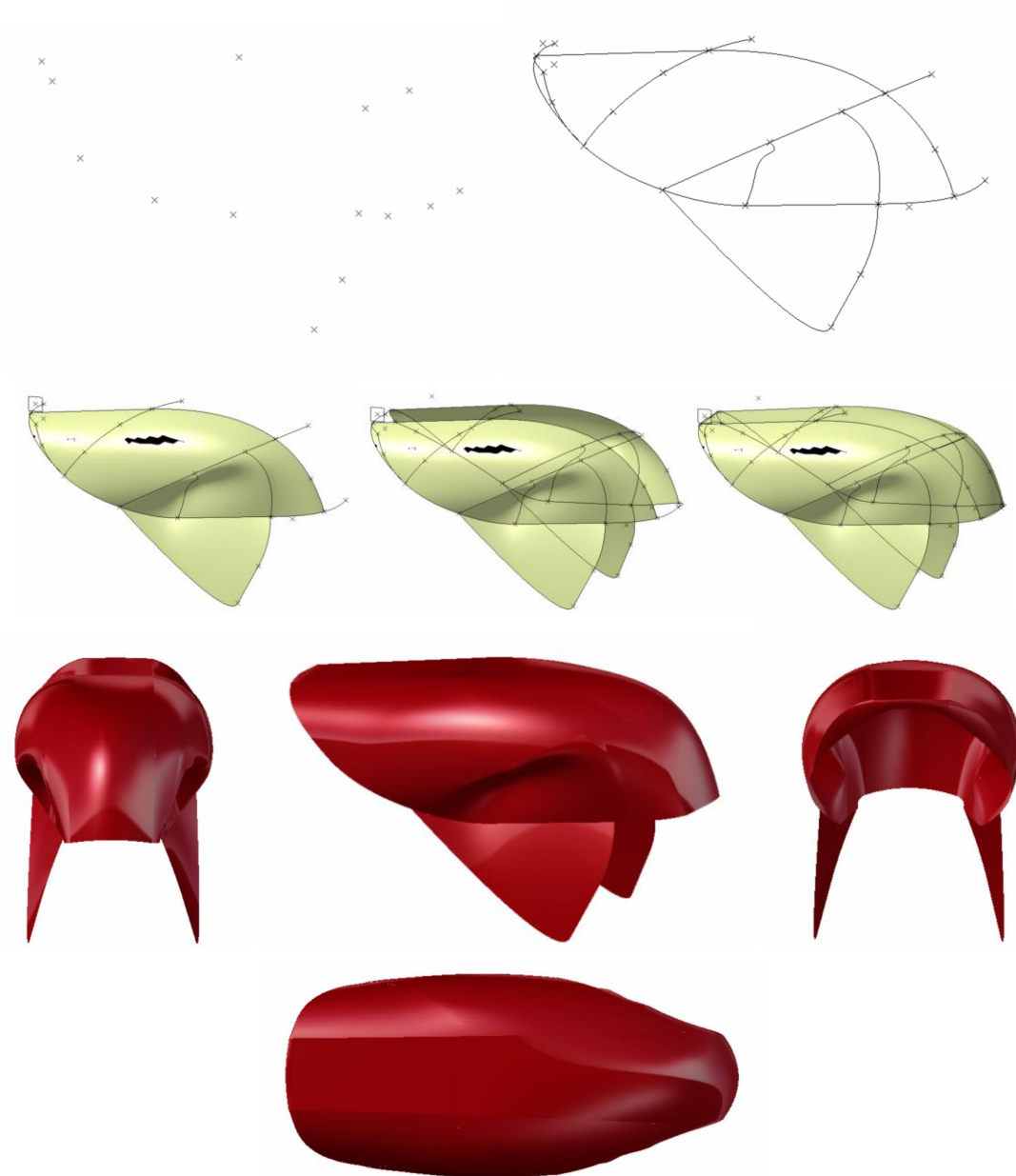


Figura 8.16

El depósito no corresponde al modelo original. Solo se pudieron obtener unos pocos puntos de referencia para modelizarlo. De todas maneras es muy probable que el depósito que utilizemos finalmente para la moto no sea este, además, debido a su posición, el depósito no influye demasiado en la aerodinámica. El estudio más característico de este proyecto es la comparación entre los dos frontales que disponemos y para ello cualquier depósito nos servirá. Eso no quita que el diseño sea representativo y que cumpla un mínimo de necesidades para completar un modelo. En los estudios aerodinámicos, éste nos debe servir para más que una simple comparativa. Por eso, a este depósito se le ha añadido en los laterales las tapas que cierran el airbox de la Honda RS.

8.1.2.2 Geometría y otras componentes de la motocicleta

Para completar la geometría de la motocicleta faltan componentes muy importantes que no hemos mencionado hasta ahora. La aerodinámica no solo se basa en el carenado. Las ruedas por ejemplo, juegan un papel fundamental en este aspecto. La mayoría de las piezas de la moto ejercen una resistencia al avance al chocar contra el aire, pero solo tendremos en cuenta algunas de ellas, ya que el modelo final que dibujemos no será un modelo real. Además, todavía no conocemos la geometría exacta que tendrá la moto, ya que todavía está en fase de diseño. No conocemos la forma, el tamaño, ni la posición del tubo de escape; el basculante no está diseñado; no conocemos la posición exacta de las manillas; etc. Luego aerodinámicamente hablando hay piezas que juegan un papel más importante que otras, así que se evitará al máximo dibujar piezas que no afecten a este estudio. Un ejemplo muy claro puede ser las manillas de los frenos, las estriberas o cualquier otra pieza por el estilo.

Por otro lado tenemos un factor que nos puede limitar mucho el detalle del estudio. Me refiero a la potencia y otras cualidades de la computadora con la que se vaya a hacer los cálculos. Un ordenador doméstico de hoy en día probablemente esté capacitado para hacer todo tipo de simulaciones, pero por lo general, el nivel de detalle no puede ser muy elevado, ya que requiere un mallado con un número mayor de elementos y por tanto la necesidad de emplear mucha memoria RAM. El hardware disponible para este proyecto es un ordenador portátil dotado con 4 Gb de Memoria RAM y un procesador Intel Core 2 Duo de 2,20 GHz. Actualmente un ordenador de sobremesa nuevo de alta gama puede llegar a tener casi el doble de potencia.

En definitiva, la maqueta virtual usada para el CFD es un modelo que dista de la versión real pero que se asemeja lo suficiente como para tener en cuenta las evaluaciones de estas simulaciones.

Para colocar y enlazar las piezas del carenado dibujadas anteriormente es necesario conocer la geometría general de la moto. Por suerte, los compañeros del equipo que están diseñando el chasis dibujaron en CATIA un boceto teniendo en cuenta la geometría y todas las piezas principales. Usaron este dibujo para obtener una aproximación del centro de gravedad. Ver *figura 8.17*. Este dibujo nos servirá para completar los modelos.

Más adelante se evaluará si es posible hacer la simulación incluyendo los flujos internos de la moto. Si no es así, habrá que cerrar la entrada de aire al radiador y no será necesario incluir las piezas internas en la maqueta virtual. En las simulaciones de coches que he visto hasta ahora, ninguna incluía los flujos internos. Para ello se requieren computadoras de muy elevadas características. En ocasiones, el análisis de estos flujos se hace de forma independiente.

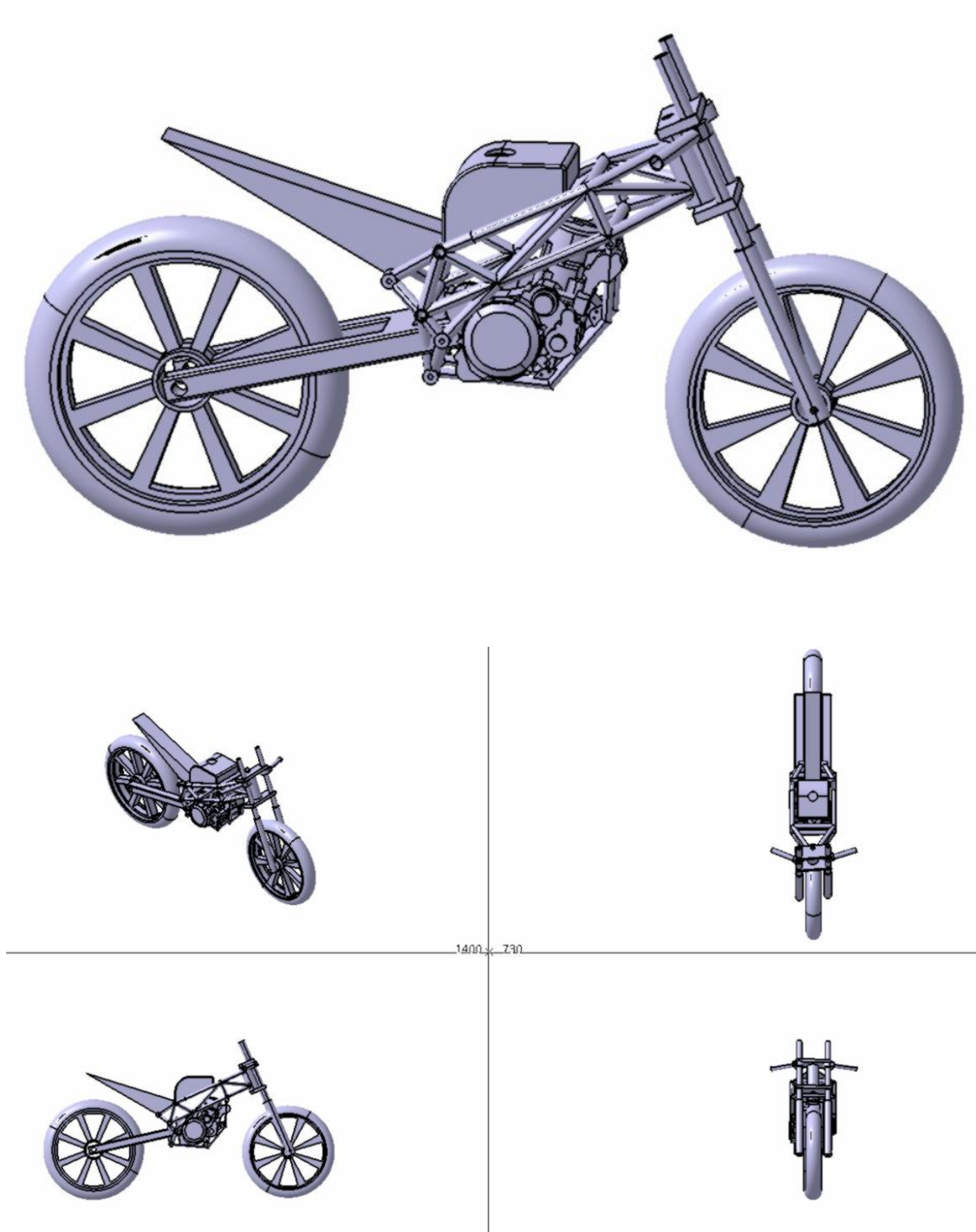


Figura 8.17: Boceto con las cotas generales dibujado por los compañeros encargados de diseñar el chasis. Lo dibujaron para obtener una aproximación del centro de gravedad.

Para adaptarlo a los carenados y a las necesidades del CFD se precisaron mejoras en este dibujo. Se suprimieron el colín y el depósito para dar paso a los nuevos. Se dibujó un basculante de geometría más común para cubrir el hueco que dejaba el anterior bajo el asiento. Se corrigió la posición del manillar a una posición más ergonómica para el piloto y también para que no entre en contacto con la parte superior del carenado. Se cerraron todos los agujeros para ejes. Se corrigió el tamaño y el perfil de los neumáticos para acercarlos más a la realidad y se modificaron las llantas. También se corrigieron pequeños fallos de ensamblaje.

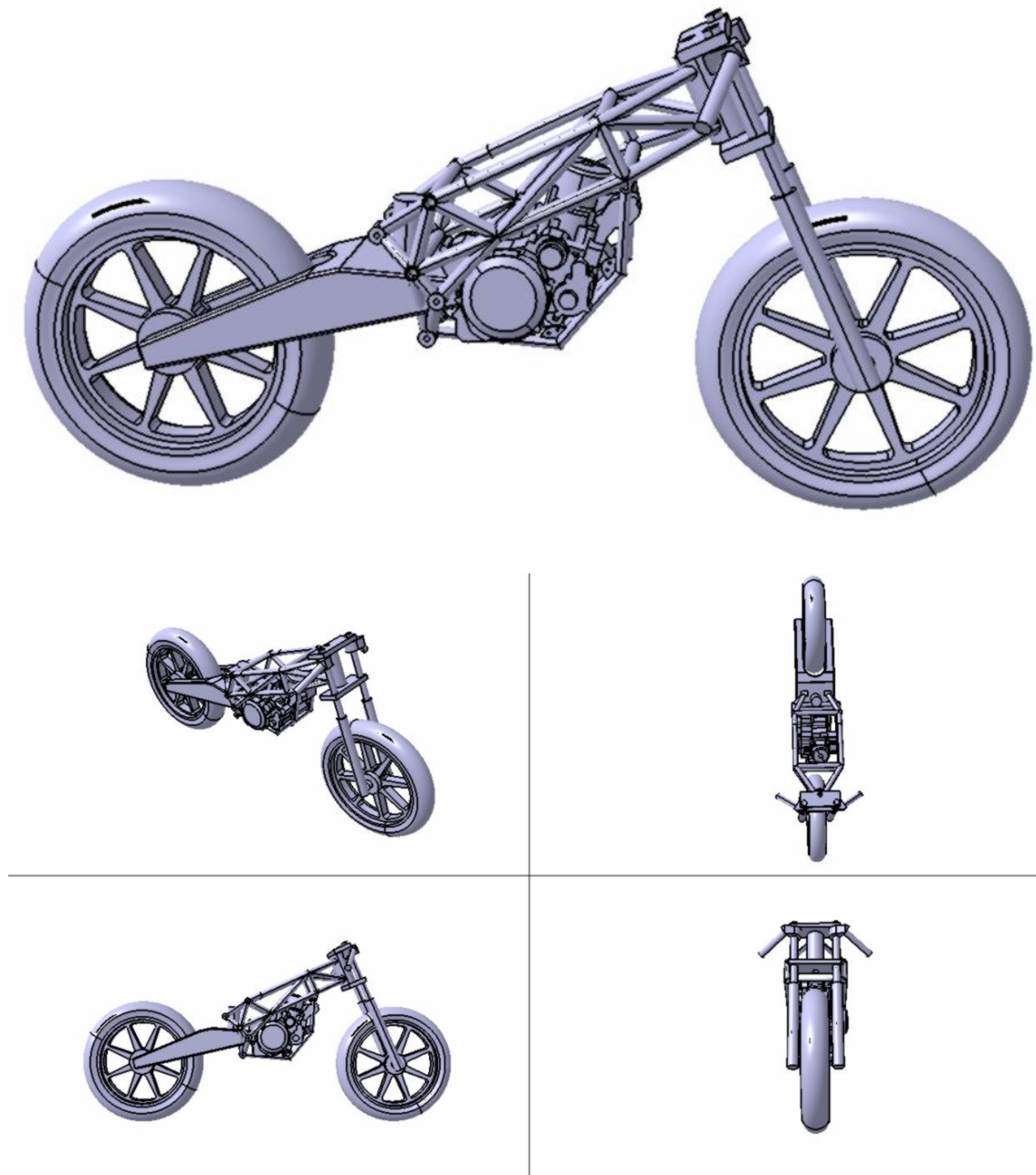


Figura 8.18: Boceto de geometría mejorado para adaptarlo a las necesidades del CFD.

A la hora de importar la geometría en Star CCM+ si se quieren importar piezas por separado es necesario que no estén en contacto. Importar geometría por separado puede facilitar las cosas e incluso resolver muchos problemas. En este caso es recomendable que las ruedas no estén en contacto con el resto de la geometría para simular los efectos del giro de estas.

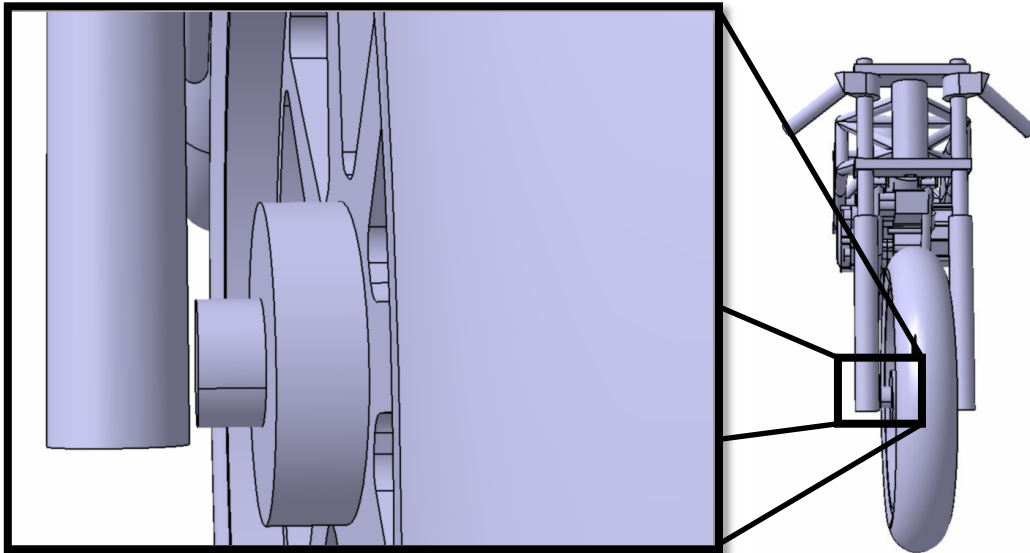


Figura 8.19: La rueda delantera no está en contacto con el resto de la motocicleta para facilitar la simulación de su giro.

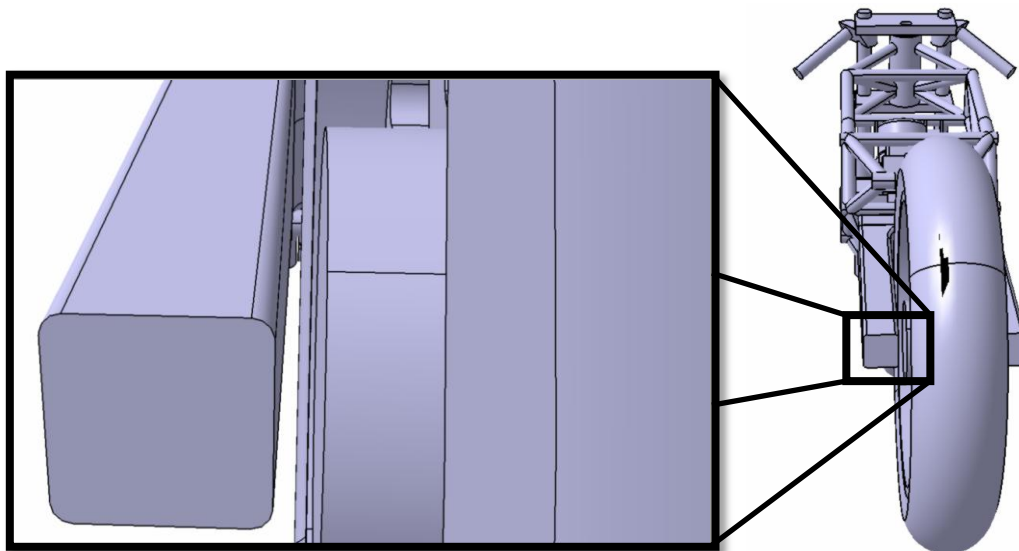


Figura 8.20: La rueda trasera no está en contacto con el resto de la motocicleta para facilitar la simulación de su giro.

8.1.2.3 Posicionamiento y enlace de las piezas

A continuación se puede ver el resultado tras colocar sobre la geometría cada pieza del carenado que se ha creado. Se ha intentado colocar el carenado de la mejor forma posible comparando con fotografías de este modelo. Lo de color gris son geometrías sólidas y lo de amarillo son únicamente superficies.

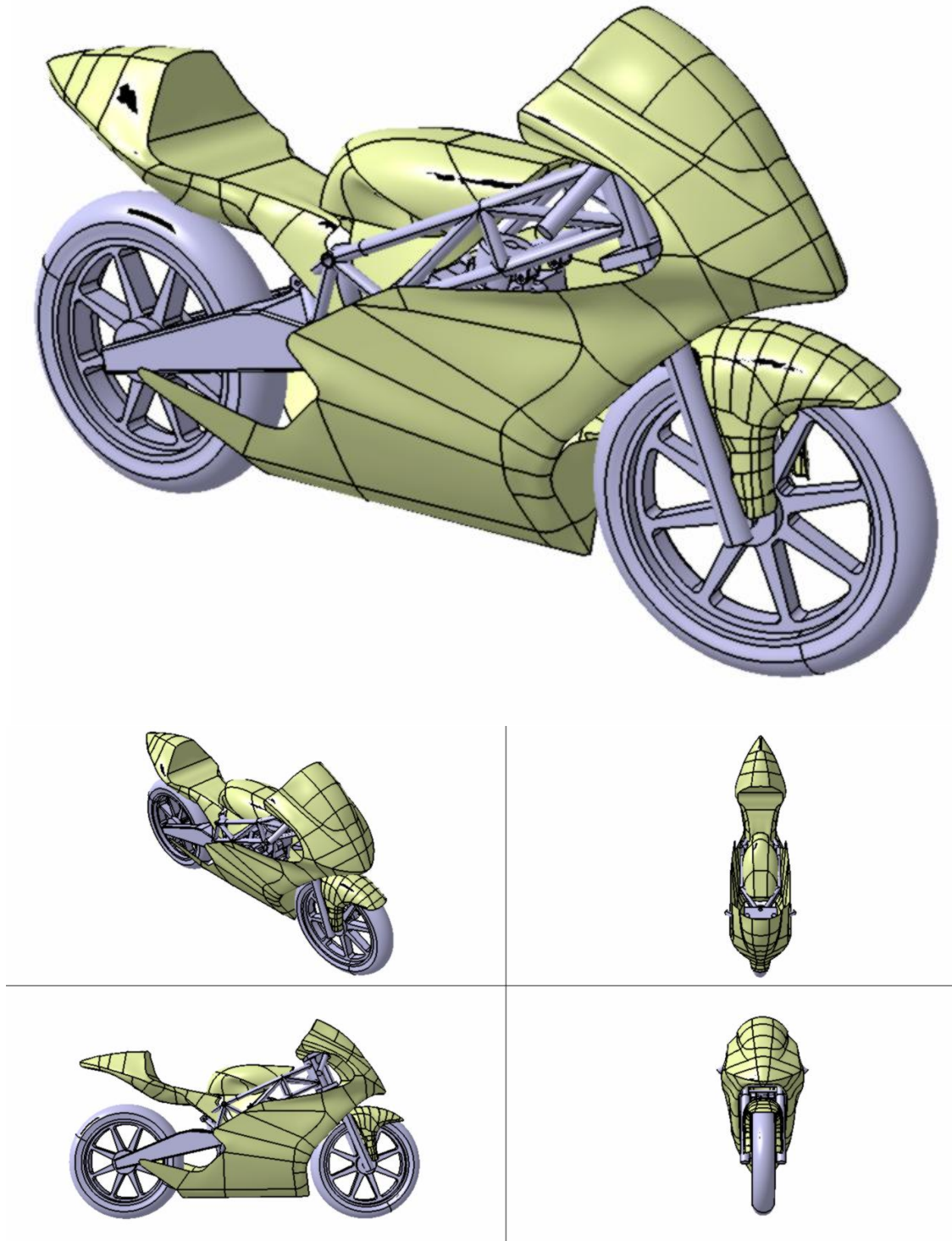


Figura 8.21: Superficies del carenado de la Honda RS acopladas a la motocicleta del equipo

Con CATIA podemos darle todo tipo de colores y aplicar muchos tipos de materiales para hacernos una idea de cómo quedaría. Esta sería una manera muy fácil y económica de diseñar estéticamente la moto. Podríamos hacer la elección de los colores, seleccionar la posición para los patrocinadores y otros adhesivos necesarios para la competición. En este caso hemos aplicado un renderizado simple para ver el resultado.

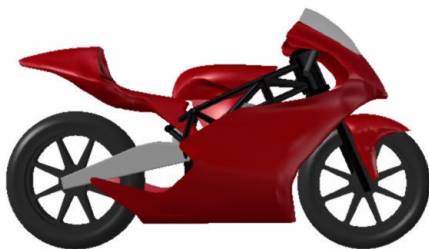
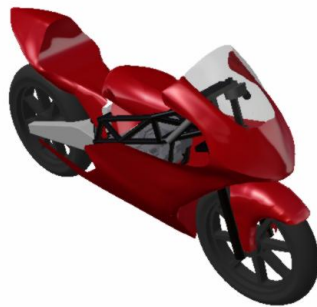
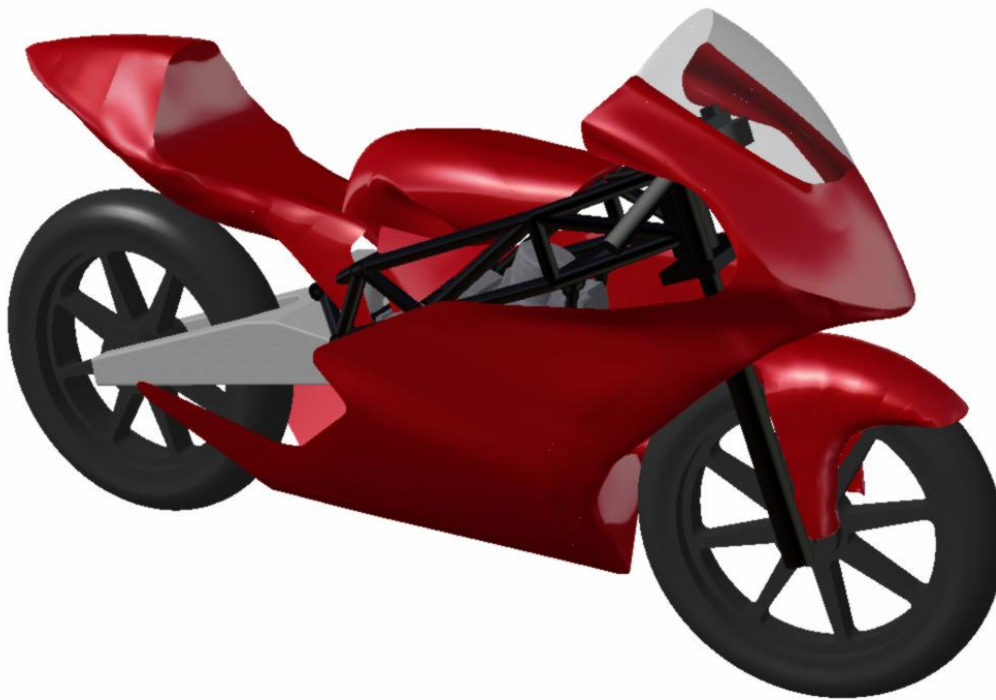


Figura 8.22: Renderizado de la moto con el carenado de la Honda RS. Esto nos puede dar una idea de cómo puede quedar estéticamente.

El siguiente modelo es el mismo que el anterior, pero lo único que cambia es el frontal. Pasa de ser el de la Honda RS generada con fotogrametría al de la Aprilia RS que fue escaneada por laser. Este frontal nos lo pasaron ya hecho. Al igual que antes, lo de color gris son geometrías sólidas y lo de amarillo son únicamente superficies.

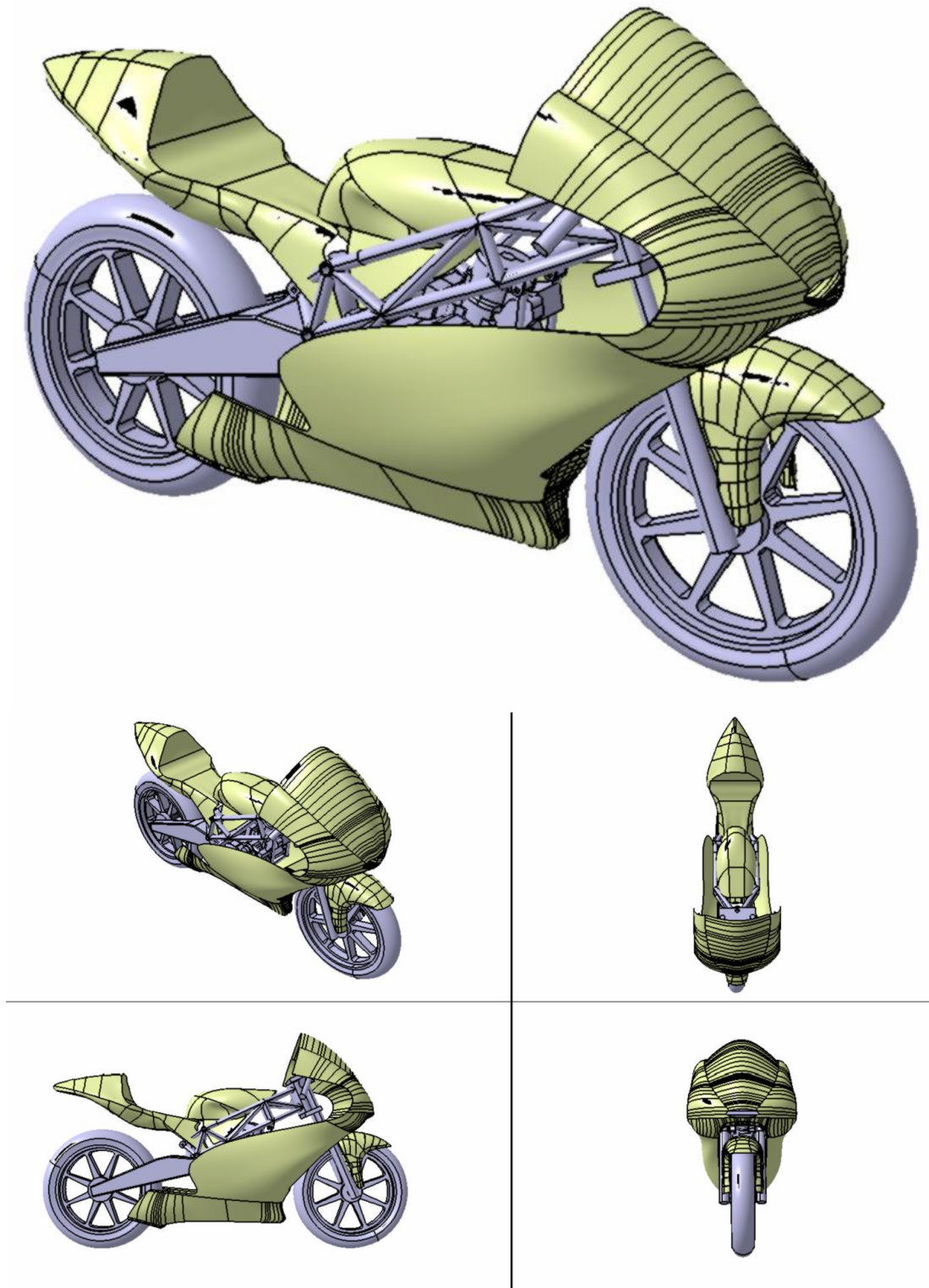


Figura 8.23: Superficies del carenado de la Honda RS y frontal de la Aprilia RS acopladas a la motocicleta del equipo

Aquí se le hizo el mismo renderizado de forma rápida para poder comparar la estética.



Figura 8.24: Renderizado de la moto con el frontal del carenado de la Aprilia.

8.1.2.4 El piloto

Se ha comentado en repetidas ocasiones que el piloto juega un papel fundamental en torno a la aerodinámica de la motocicleta. El piloto no va dentro de una cabina como ocurre en la automoción, sino que afecta directamente a la resistencia aerodinámica. La posición de éste afecta y mucho. Para alcanzar mayores velocidades debe adoptar una posición de tumbado y poco ergonómica. Una posición erguida contribuye a la frenada.

Realizar un análisis aerodinámico de toda la motocicleta no sirve de nada si no se incluye un piloto. No resultaría nada representativo ya que como hemos dicho el piloto y su posición afectan a la resistencia aerodinámica y al flujo de aire por donde circulan. La presencia del piloto no será necesaria únicamente cuando se quiera hacer un análisis detallado de una zona en concreto donde la presencia de este no afecte para nada. Por ejemplo a la hora de analizar que ocurre en la zona del guardabarros delantero, en un flujo interno, etc.

Dibujar una persona puede ser tan complicado como dibujar el modelo de la moto o incluso más. Por suerte CATIA incluye un modulo de diseño y análisis ergonómico donde vienen dibujados maniqués. Existen unos pocos tipos con diferentes formas, donde luego se puede elegir el tamaño y posición de diferentes partes del cuerpo, pudiendo así moldearlo al gusto de cada uno o según las necesidades.

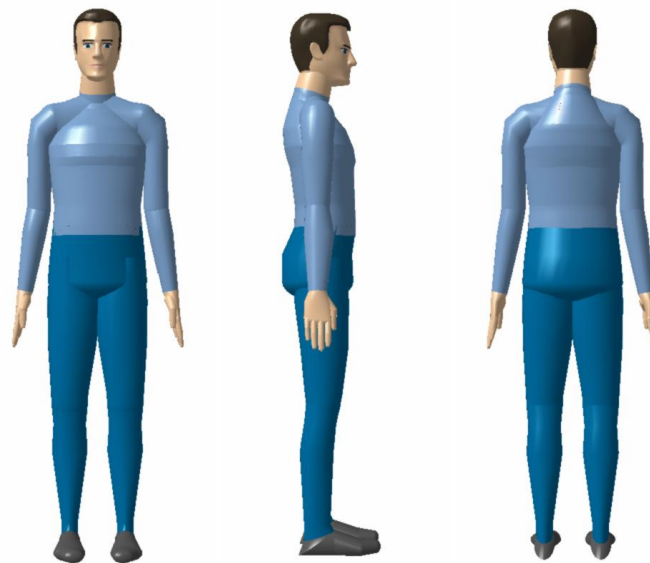


Figura 8.25: Maniqué de CATIA.

Como los pilotos se asignan por sorteo el día de la carrera no sabemos cuál será su envergadura. Por tanto se dibujo el maniqué con unas medidas estándar. Se usó la estatura media de los pilotos del campeonato del mundial, que es de unos 1,70 metros. Se buscará una posición de mínima resistencia al aire. Por otra parte faltaría sumarle el casco y la joroba del mono de competición, ya que influyen considerablemente a la aerodinámica.

Otra vez Timoteo Briet, la persona que nos facilitó el frontal de la Aprilia, también tuvo la amabilidad de enviarnos un casco de competición en formato digital. Este casco es el que se diseñó para el conocido piloto español Jorge Lorenzo en su último año en la categoría de 250cc del mundial.



Figura 8.26: Casco de competición.

La joroba se dibujó aparte para luego incrustarla en la espalda del piloto. Tras varias horas modificando la posición de cada parte del maniquí y de sus complementos para conseguir una posición de tumbado similar a la de los pilotos reales, este fue el resultado:



Figura 8.27: Piloto en posición de mínima resistencia aerodinámica

Pero una vez dibujado el piloto surgió un problema mayor que finalmente se pudo resolver. El problema es que los maniqués del apartado de ergonomía de CATIA no se pueden exportar a otros programas. Estos no computan ni como superficie ni como sólido, solo es una manera visual de introducir una persona en el dibujo en CATIA. No tienen una geometría definida y no se puede emplear para otros propósitos. Varios expertos nos advirtieron de este problema.

Finalmente se encontró un método poco convencional pero muy efectivo para nuestro propósito. Dentro de CATIA existe una opción llamada “wrapping” que lo que hace es crear una especie de envoltente alrededor de la geometría que tu le digas. Lo que se hizo fue introducir únicamente el piloto en la posición de la *figura 8.27*, se le aplicó este comando y tras unos cuantos pasos más se consiguió una superficie con la forma del piloto, construida a base de triángulos. Esta geometría se puede tratar y exportar sin mayor problema. El único inconveniente es que está compuesta por un número elevado de superficies. El detalle no es tan bueno como el del original pero es más que suficiente para nuestro propósito. A pesar de que se ha usado un método que no está pensado para ello, ha supuesto un ahorro de tiempo y de dificultad muy elevado.

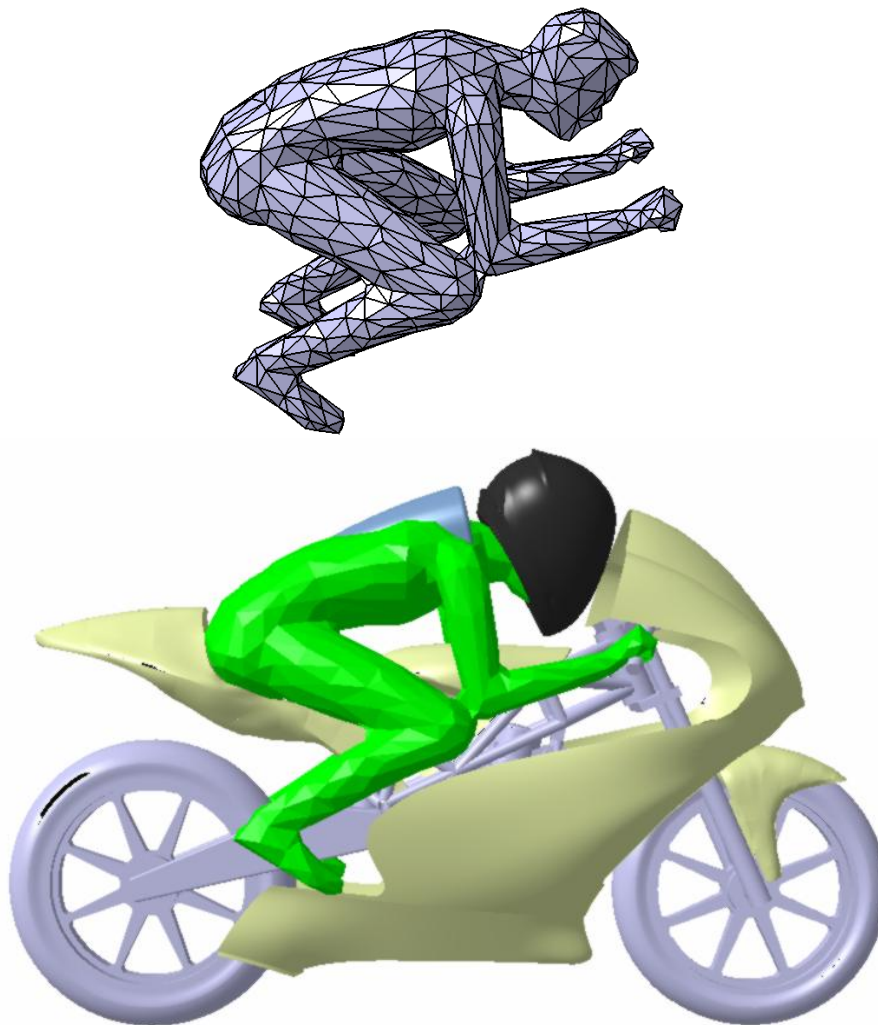


Figura 8.28: Geometría del piloto adaptada para poder exportarlo a otros programas.

8.1.2.5 Adecuación de la geometría para su tratado en CFD

En los programas de CFD no es posible analizar un objeto creado por superficies abiertas, ya que funcionan por volúmenes de control. Esto significa que toda la moto tiene que estar formado de forma volumétrica y no por superficies. Como podemos ver en las figuras 8.21 y 8.23, las partes de color amarillo, es decir, las partes del carenado, son superficies abiertas y no sirven como modelo para hacer simulaciones. Para solucionar este problema existen dos opciones:

- Darle espesor a todo el carenado.
- Unir todas las superficies creando un único bloque cerrado, suprimiendo así todos los flujos internos.

En un principio se pensó que la opción más rápida y sencilla sería darle un espesor de pocos milímetros a todo el carenado, pero luego se vio que no era así. Darle espesor a un número elevado de superficies de este tipo en CATIA resultó ser una tarea imposible.

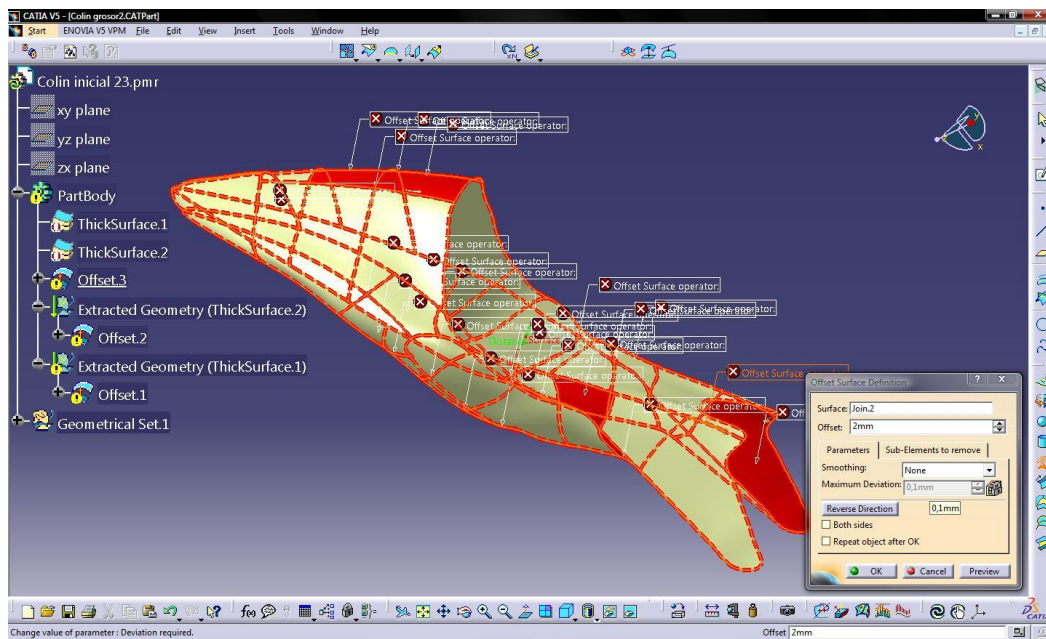


Figura 8.29: Ejemplo de los problemas para darle espesor a las superficies en CATIA.

Se consiguió hacerlo mediante otros métodos poco convencionales, pero para cada pieza se generaban tal cantidad secciones que luego no era posible importar esas geometrías en otros programas como el Star CCM+.

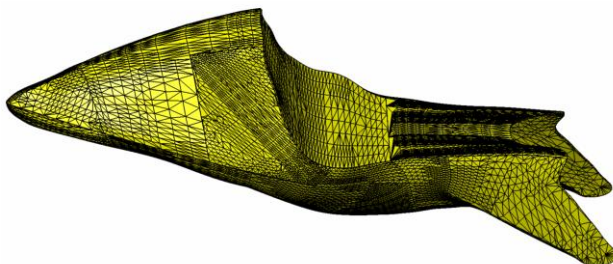


Figura 8.30: Las superficies de esta pieza tienen un grosor de 5mm, pero la cantidad de secciones que se han creado es tan elevada que no se puede trabajar con ella.

En caso de haber podido darles espesor, debido a las partes internas de la moto, el detalle del modelo hubiese sido tan elevado que probablemente el CFD hubiese requerido más requisitos de hardware que los que disponemos.

Por tanto solo quedaba la opción de unir todas las superficies creando un único bloque cerrado. Para crear los volúmenes de control, los modelos a usar pueden ser bloques sólidos o superficies cerradas (una pieza hueca).

En este caso se crearon unos modelos huecos añadiendo más superficies. Se intentó que las nuevas superficies afectasen lo mínimo para el análisis haciéndolas lo más representativas posible. Después, a partir de la geometría hueca se formaron unos bloques macizos con la forma del carenado. Como ya hemos comentado antes, lo que más afecta al análisis es el cierre de la entrada de aire al radiador.

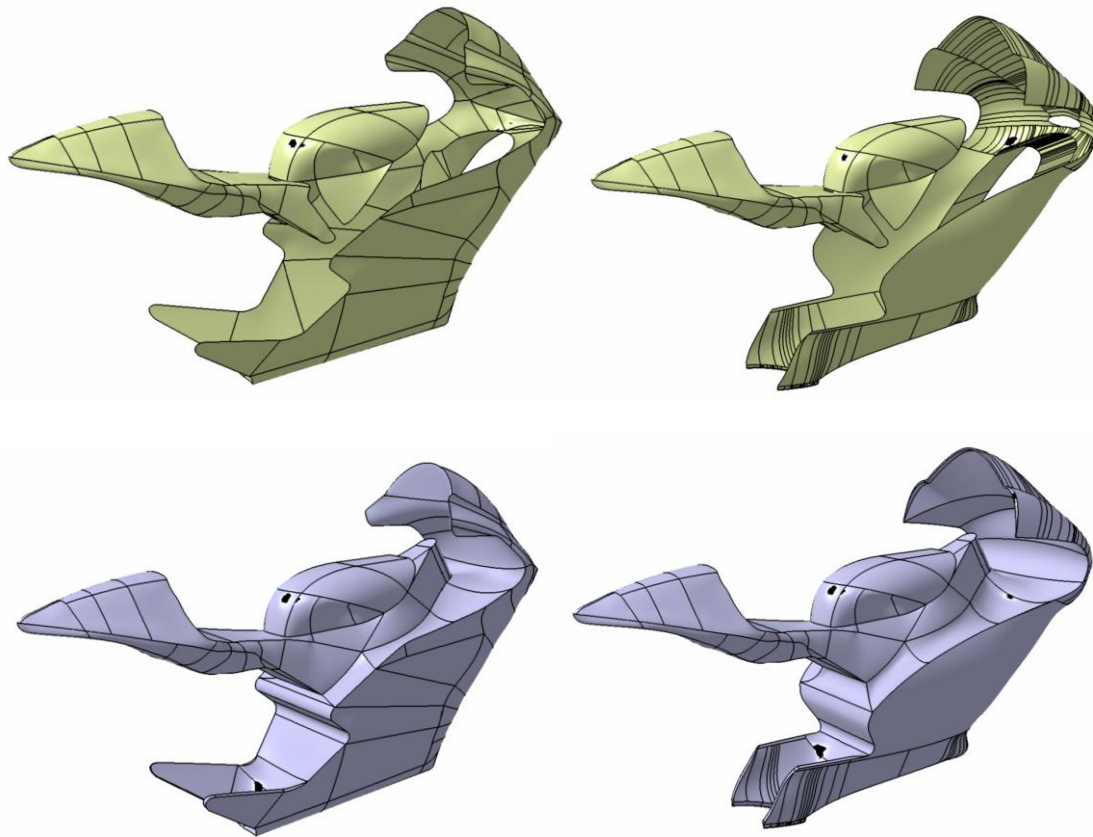


Figura 8.31: *Bloque equivalente de los dos carenados para el análisis con CFD*

Con estos modelos equivalentes se acaban eliminando componentes como el motor y el chasis que quedan en el interior.

Por otra parte, a la hora de mallar la geometría en Star CCM+, las superficies que generan el volumen tienen que estar bien unidas y conectadas. En caso de haber diferentes piezas, estas tampoco pueden estar entrelazadas o interfiriendo unas con otras. Para evitar esto se añadieron todas las piezas enlazadas con el carenado (piloto incluido) y se unieron, creando así de nuevo un único bloque macizo para cada modelo.

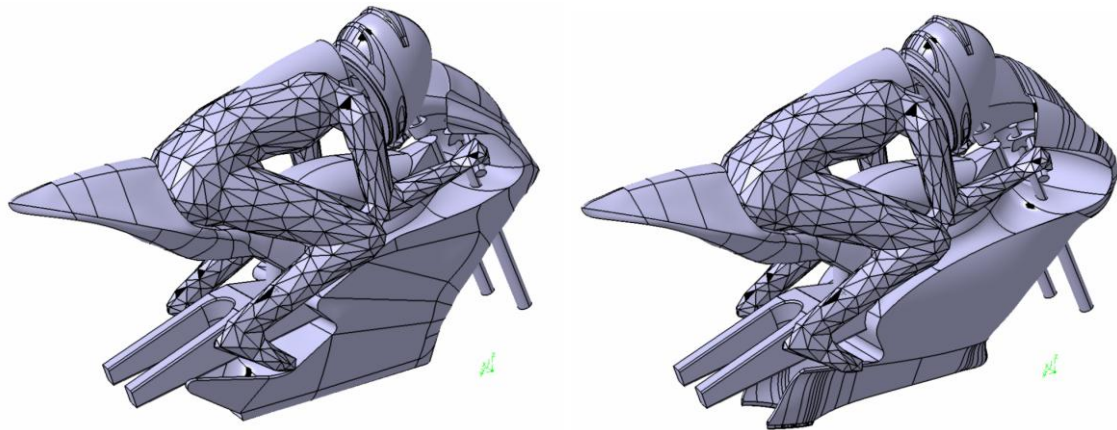


Figura 8.32: Unión de todas las piezas enlazadas con el carenado en único bloque.

Ya se comentó que las ruedas no están en contacto con el resto de la motocicleta (ver *figura 8.19* y *8.20*) y por eso no se incluyen en estos bloques. Ocurre algo similar con el guardabarros, que en la maqueta digital tampoco está en contacto con el resto de la motocicleta. El guardabarros está creado con muchas y no muy buenas superficies y para evitar complicaciones es mejor importar su geometría por separado. Esto también nos daba la posibilidad de ponerlo o quitarlo fácilmente en la simulación.

El guardabarros fue uno de los componentes más difíciles a los que darle volumen, ya que por pura geometría solo tendría cabida en la simulación dándole un espesor y como ya se ha comentado, no es tarea fácil hacer esto en CATIA. La solución fue copiar la superficie original del guardabarros y reducir su escala. De esta manera tendríamos un guardabarros dentro de otro separado por una distancia milimétrica. Luego se cerrarían a mano todos los bordes y finalmente se generaría un guardabarros sólido que rellenase la geometría hueca creada.

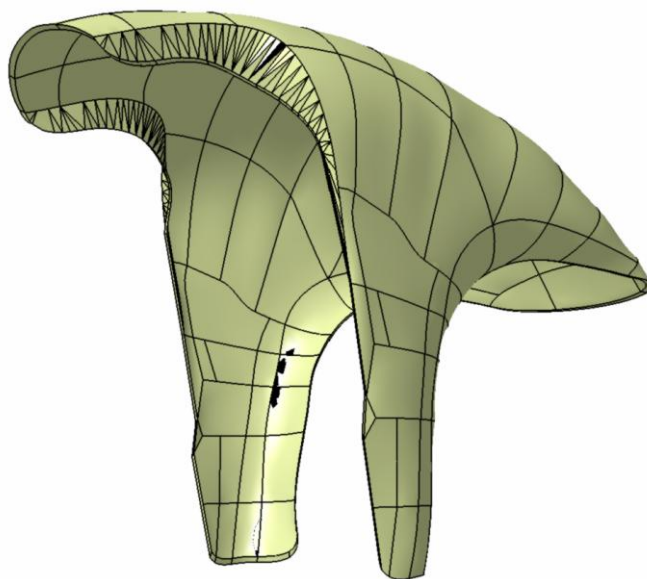


Figura 8.33: Guardabarros con un espesor de aproximadamente 3 milímetros.

Tras corregir diversos fallos de la geometría este es el resultado final:

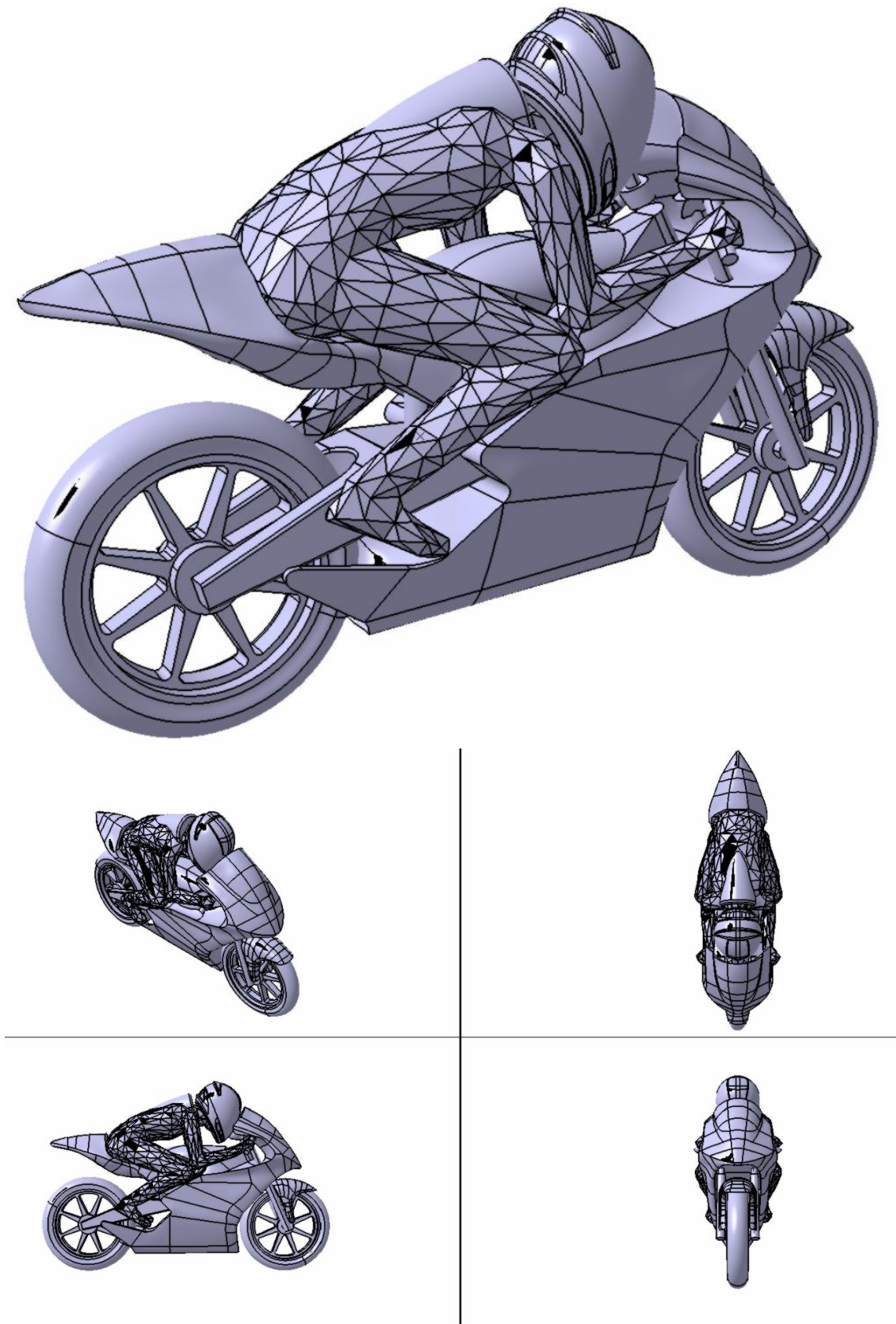


Figura 8.34: Modelo final completo con el carenado de una Honda RS

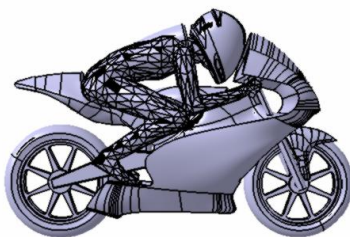
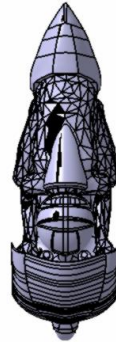
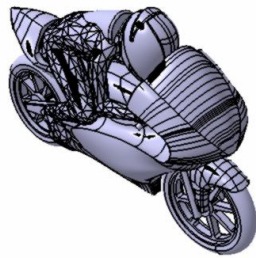
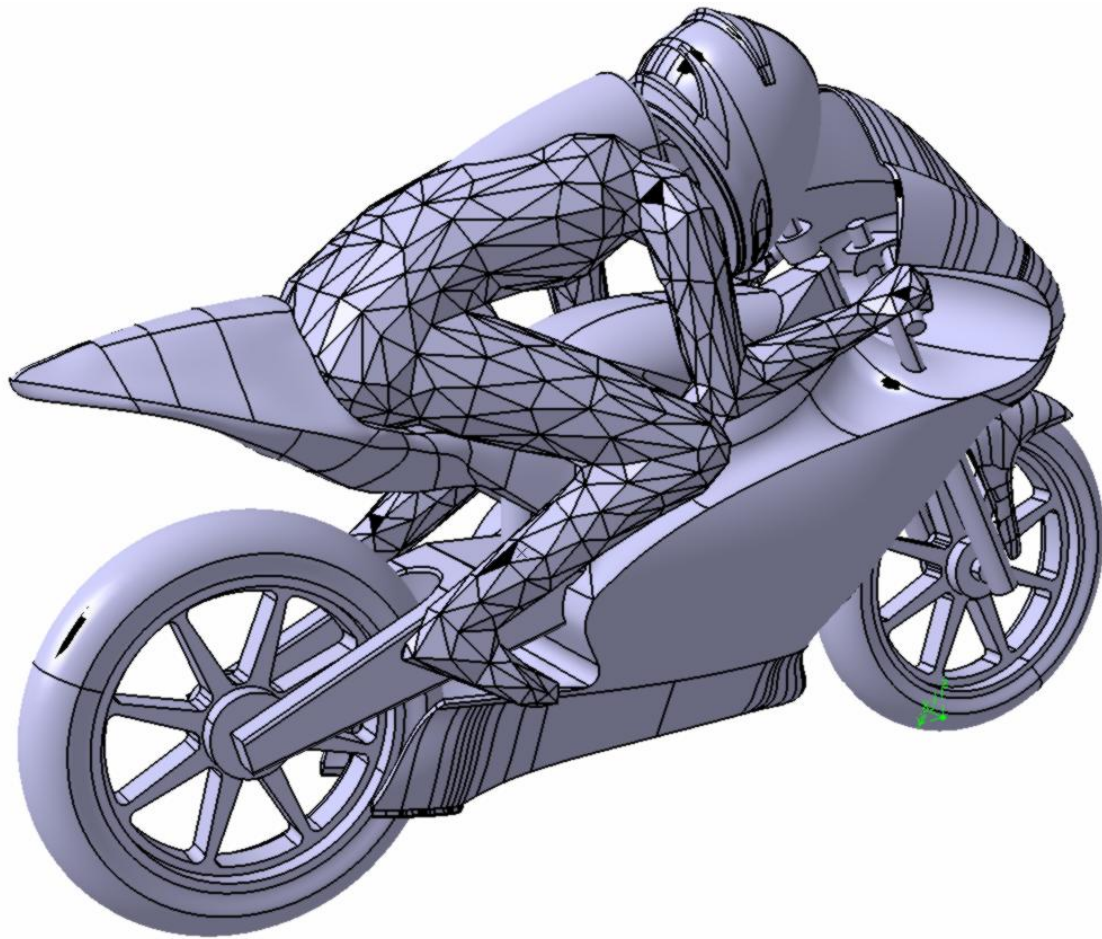


Figura 8.35: Modelo final completo con el frontal de una Aprilia RS.

8.1.2.6 Túnel de viento virtual

Para hacer la simulación con un CFD se necesita crear un conducto por donde circule el aire e introducir dentro el modelo que queremos analizar. En estos casos se dibuja una caja que simula a un túnel de viento donde una cara representa la entrada y otra la salida de aire. Un tamaño recomendado para un túnel es que de largo sea al menos unas 4 veces la longitud del vehículo y de ancho unas 10 veces la anchura del vehículo.

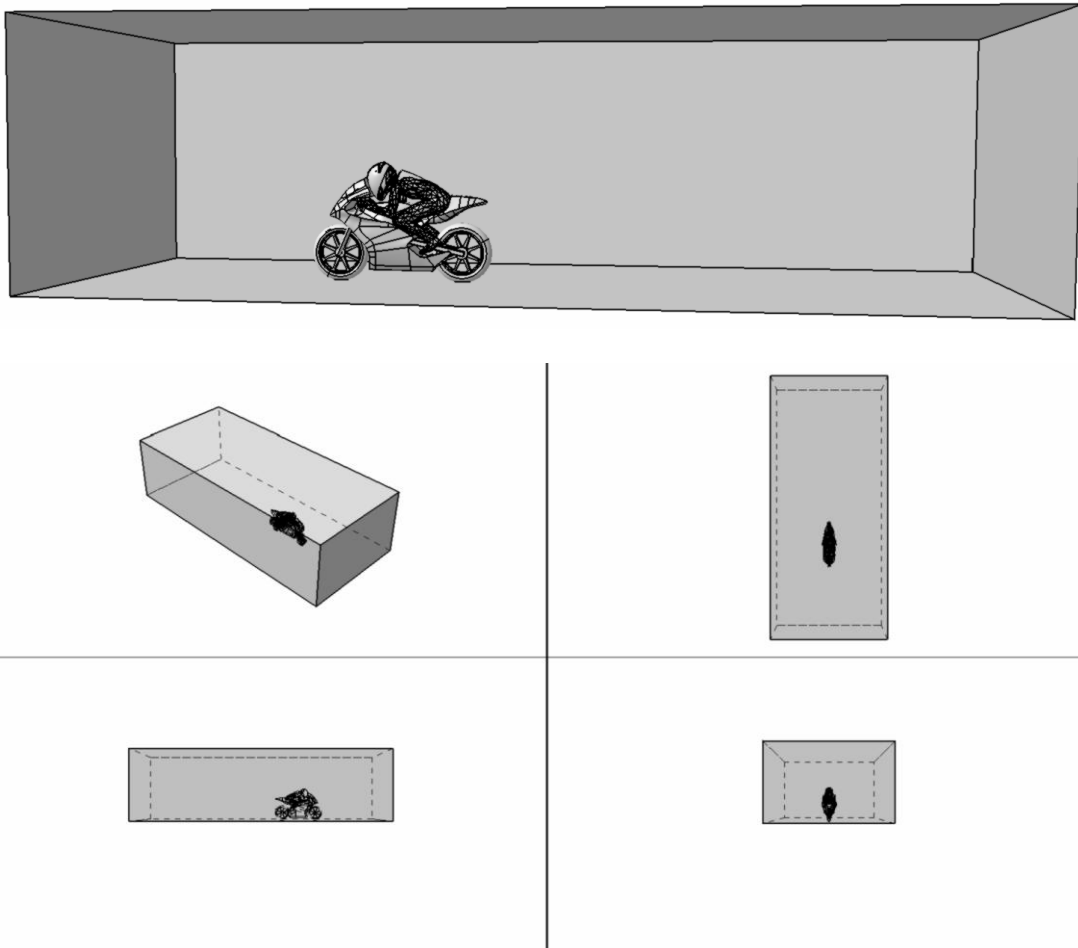
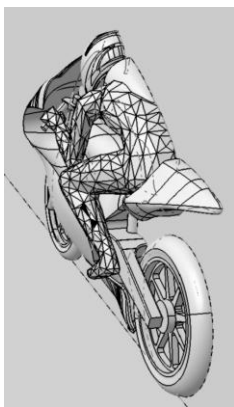


Figura 8.36: Se introduce el modelo en un túnel para hacer la simulación.



Si el modelo es simétrico, se puede simular solamente la mitad del vehículo para ahorrar coste computacional en el CFD. Existe la opción de usar un plano de simetría. De esta manera los cálculos de la simulación se reducen a la mitad y por tanto el tiempo necesario también. Para eso es necesario hacer una sección por la mitad al modelo y al túnel.

Figura 8.37: Modelo seccionado para hacer una simulación con simetría

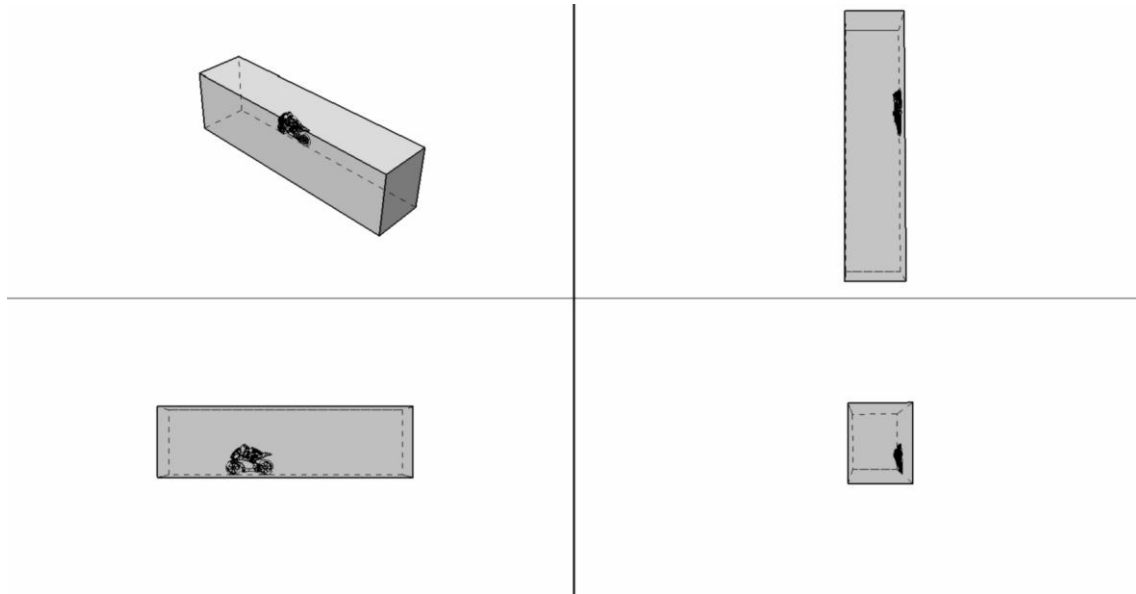


Figura 8.38: Túnel con plano de simetría

Es muy importante tener en cuenta el contacto del neumático con el suelo y la pequeña deformación que sufre. Lo que se hace es colocarlos de tal manera que se genere una pequeña intersección entre la rueda y el suelo. Se quita el sobrante y queda lo que sería la huella del neumático.

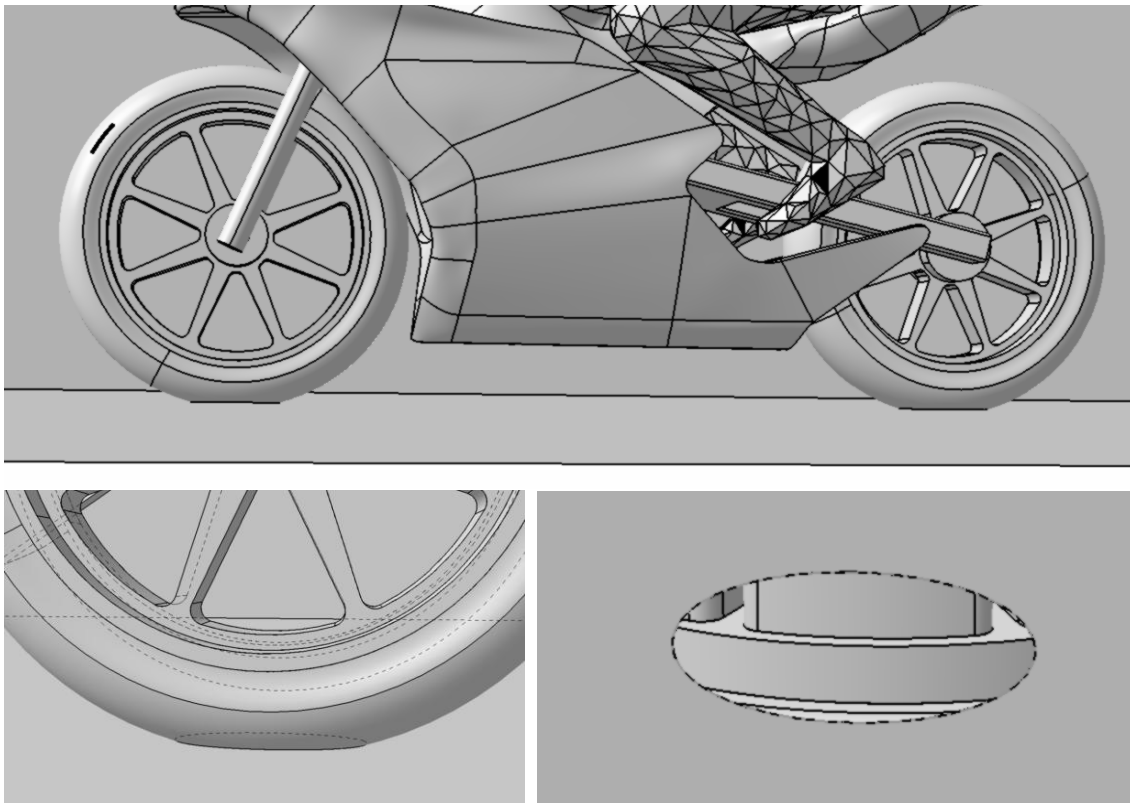


Figura 8.39: Contacto del neumático con el suelo del túnel.

8.2 CFD con STAR CCM+

Como ya se ha mencionado en repetidas ocasiones, el análisis aerodinámico se realizó con técnicas computacionales denominadas CFD (Dinámica de Fluidos Computacional). Esta técnica nos proporciona todo tipo de datos aerodinámicos a partir de una simulación virtual. A continuación se muestran detalladamente todos los pasos realizados y los datos necesarios para lanzar el análisis. Los resultados se mostrarán en el apartado número 9.

8.2.1 Medios informáticos de cálculo

8.2.1.1 Hardware

El hardware disponible para este proyecto es un ordenador portátil ASUS G1 dotado con 4 Gb de Memoria RAM y un procesador Intel Core 2 Duo de 2,20 GHz.

8.2.1.2 Software

Se ha utilizado el programa STAR CCM+ en su versión 4.04.011 de 32 bits, siendo este un programa de volúmenes finitos.

El método MVF es el utilizado por la mayoría de los códigos disponibles en el mercado, siendo el más extendido y desarrollado.

En lo que se refiere al modelo matemático utilizado para la resolución de las ecuaciones de Navier-Stokes, se ha utilizado un modelo RANS (Reynolds-Averaged Navier-Stokes) o de promedio de Reynolds de las ecuaciones de Navier-Stokes.

Este modelo es el utilizado por la práctica totalidad de los códigos CFD, siendo el empleado en este caso por STAR CCM+.

En lo que se refiere al tipo de turbulencia utilizado para el modelo RANS, se ha utilizado el modelo de turbulencia K- ξ (K-Épsilon), que es el más ampliamente utilizado.

8.2.2 Geometría a analizar

Se analizaron dos geometrías diferentes para hacer una comparativa, siendo estas las mostradas en las *figuras 8.34 y 8.35*. Para realizar las simulaciones se empleó el túnel virtual de la *figura 8.36*. Se ha considerado un volumen de aire lo suficientemente grande como para que las condiciones de contorno situadas en las superficies de este no influyan en los resultados de la simulación.

Para importar la geometría se emplearon archivos tipo IGES (.igs). Para evitar varios problemas, como por ejemplo el de sobrecarga en la memoria RAM, en este caso cada geometría se cargó a partir de tres archivos diferentes. Cada archivo contenía un bloque de la geometría. Estos bloques son independientes y no llegan a estar en contacto. Un bloque es el túnel con las dos ruedas adheridas al suelo, otro es el cuerpo de la moto junto con el piloto (*figura 8.32*) y el último es el guardabarros (*figura 8.33*).

En este caso, al no tener en cuenta el tubo de escape los modelos son simétricos, por lo tanto sería posible analizar solamente la mitad del vehículo para ahorrar coste computacional en el CFD. Como ya se ha comentado antes, existe la opción de usar un plano de simetría (ver *figura 8.37* y *8.38*). De esta manera los cálculos de la simulación se reducen a la mitad y por tanto el tiempo necesario también. El problema es que si se corta el modelo con un plano de simetría los bloques que hemos comentado antes dejan de ser independientes ya que quedan unidos por dicho plano. Se han intentado varias opciones a la hora de cargar la geometría pero siempre aparecen irregularidades al mallar la superficie. Si se intenta cargar toda la geometría con simetría en un único bloque con un único archivo, por falta de requisitos de hardware, el programa no puede cargarlo. Esto es debido al número elevado de superficies de estos modelos (con simetría superan las 1500 superficies).

8.2.3 Mallado

En lo que se refiere al mallado, para facilitar la elaboración de la malla, como ya hemos visto, previamente se han eliminado pequeños detalles geométricos que no influyen en el resultado final de la simulación, pero que sin embargo hubieran dificultado la elaboración de la malla. Evidentemente las propiedades de mallado son las mismas para ambos modelos.

Primero se hace un mallado de superficie. Automáticamente todas las superficies se mallan en pequeños triángulos que servirán como base para el posterior mallado de volumen. El número de triángulos en estos modelos superan las 100.000 unidades. En zonas con mayor detalle estos triángulos son de menor tamaño. Estas superficies deben estar bien enlazadas y no deben cruzarse unas con otras para poder continuar con el mallado de volumen. Es uno de los mayores problemas que encontramos a la hora de mallar.

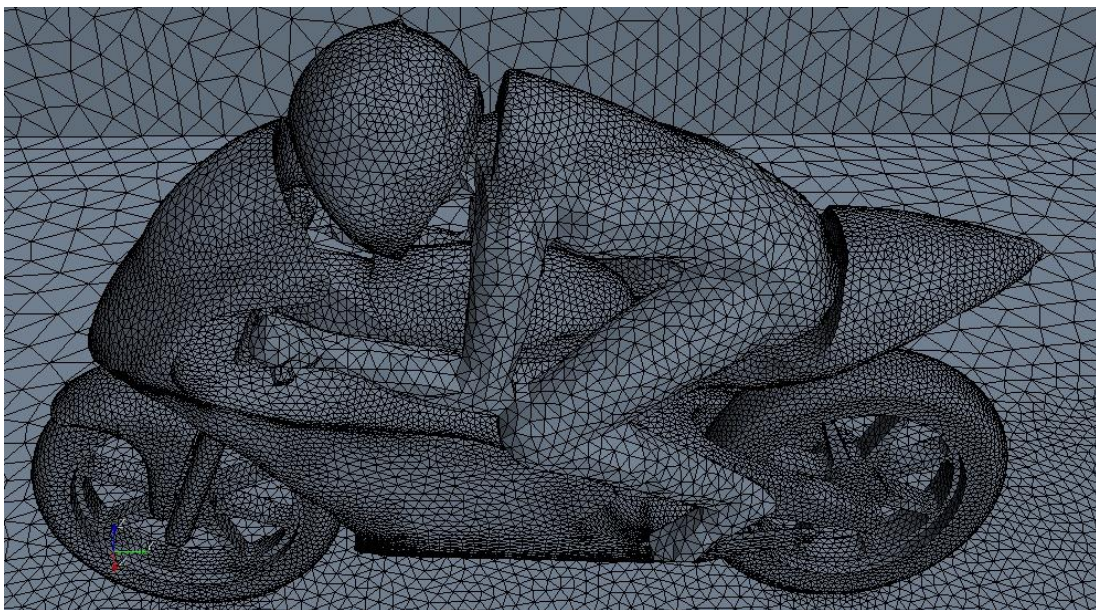


Figura 8.40: En esta imagen se pueden ver los triángulos del mallado de superficie.

Tras el mallado de superficie de nuevo se genera automáticamente otro mallado de volumen mediante pequeñas celdas dodecaedricas. Cuanto más pequeñas sean estas celdas y mayor sea su número, más precisa será la simulación. Con estos modelos la malla esta formada por unas 550.000 celdas, siendo este el mayor número que se ha conseguido lograr con las características de hardware disponible para este proyecto.

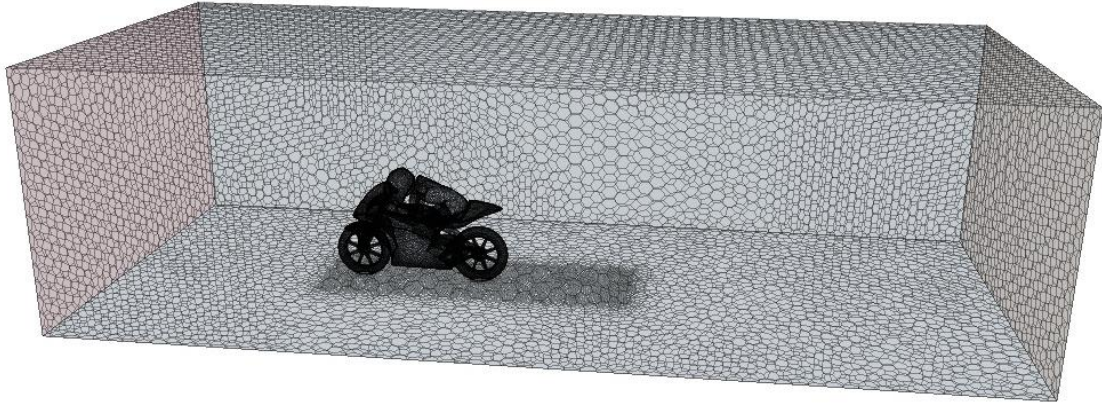


Figura 8.41: Mallado volumétrico total

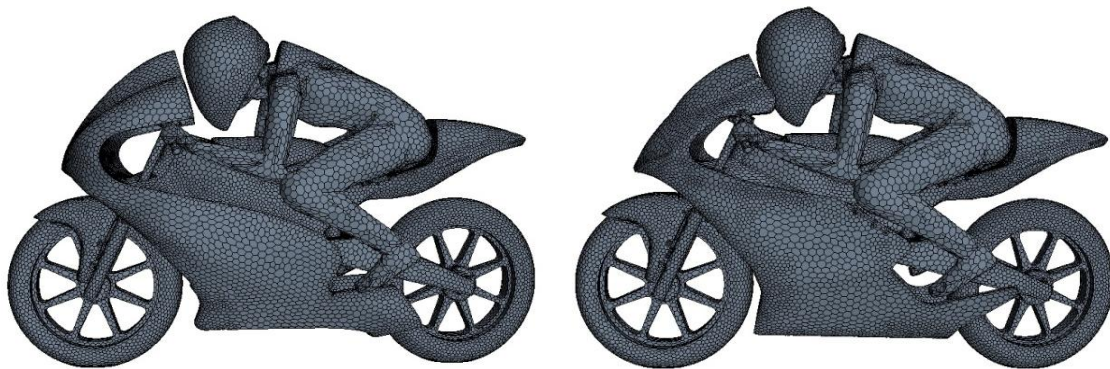


Figura 8.42: Imágenes de la malla en la superficie exterior de los dos modelos a analizar.

Como se puede observar en la figura anterior, tras el mallado, la silueta irregular que tenía el piloto se ha suavizado notablemente.

Por otra parte, como se puede ver en la *figura 8.41* existe un rectangulo más denso en el centro del tunel. Esto se debe a la creación de un bloque donde se exige un menor tamaño de las celdas de la malla para refinar la precisión entorno a el modelo y su estela inmediata.

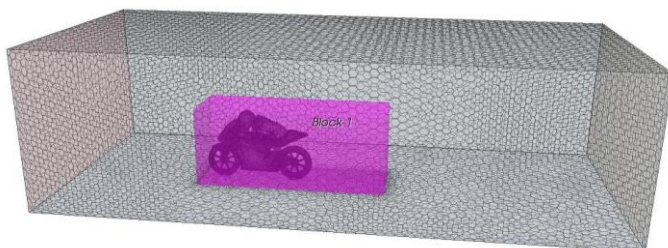


Figura 8.43: El bloque dibujado marca un volumen de control de mayor precisión.

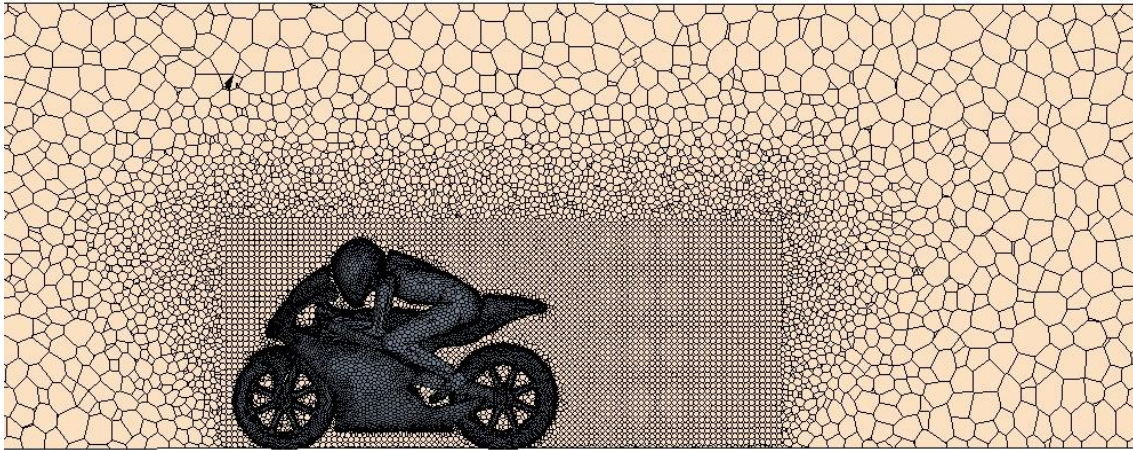


Figura 8.44: Malla utilizada en las cercanías del vehículo.

En la zona cercana a la superficie del modelo se han utilizado prismas de base pentagonal, para aumentar la precisión, debido a que en esta zona se encuentra la capa límite.

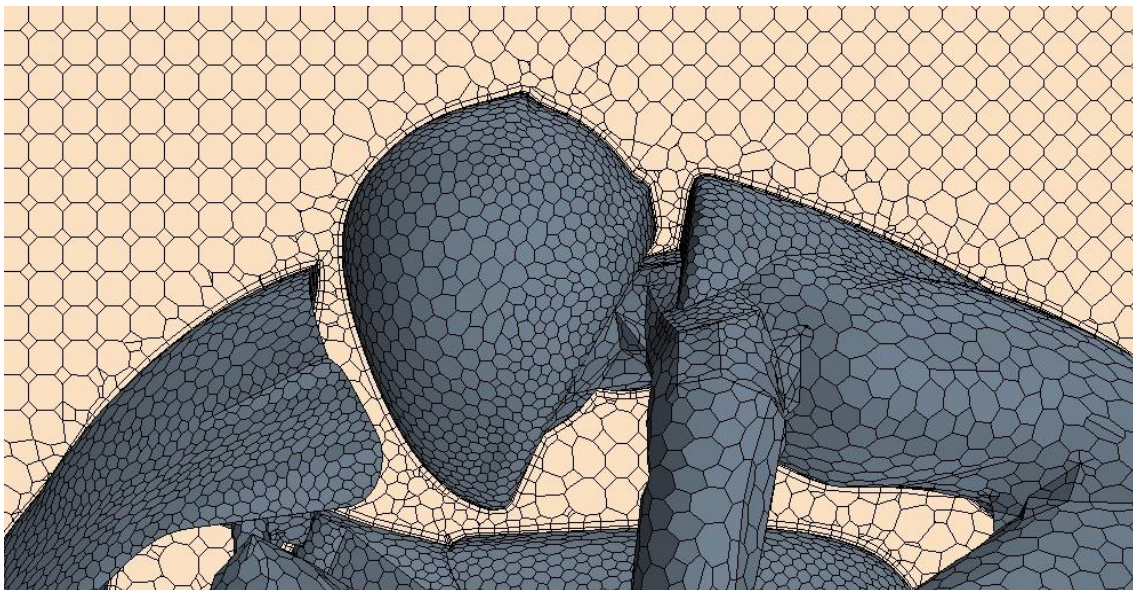


Figura 8.45: La capa de prismas que se emplea para analizar la capa límite, se puede variar tanto en número como en tamaño.

8.2.4 Condiciones de contorno

Para la mayoría de las simulaciones se ha supuesto que el vehículo está circulando a 38,8 m/s (140 Km/h), por lo que se ha simulado una corriente incidente de aire sobre el vehículo a esta velocidad.

A esta velocidad el número de Reynolds es suficientemente alto como para que el flujo sea completamente turbulento, y C_x aproximadamente constante independientemente de la velocidad.

El análisis se ha lanzado como incompresible, ya que en estos casos el número de Mach es menor que uno, por lo que se pueden despreciar los efectos de compresibilidad del fluido.

Las simulaciones que no se han hecho a esta velocidad han sido simplemente para determinar la gráfica de fuerza de arrastre frente a la velocidad como la de la *figura 5.12*.

En la entrada de aire definida en la superficie del ortoedro situada aguas arriba de la parte delantera del vehículo, se ha definido una velocidad de 38,8 m/s (140 Km/h).

En la salida de aire definida en la superficie del ortoedro situada aguas abajo de la parte trasera del vehículo, se ha definido una presión de referencia de 0 Pa (en teoría es la presión atmosférica, pero este valor es indiferente para el análisis de fuerzas, así que se usa el 0 relativo).

En la superficie correspondiente al terreno se ha definido una velocidad de 38,8 m/s, para simular correctamente el movimiento del vehículo respecto de este.

En las paredes exteriores del volumen de aire se ha definido una condición de deslizamiento, para que la influencia de estas en el flujo de aire sea mínima.

A la superficie de la motocicleta junto con el piloto se le aplicará una condición de no-deslizamiento para tener en cuenta el esfuerzo cortante sobre el aire.

A las ruedas también se les ha aplicado la condición de rodadura. Para ello, a las superficies de las ruedas se les ha dado una velocidad tangencial correspondiente a la velocidad de giro de las ruedas siendo la velocidad del vehículo 140 km/h. Considerando aproximadamente el radio de giro de la rueda delantera 0,282 m y de la rueda trasera 0,296 m, la velocidad de giro es de unos 137,5 y 131,0 rad/seg correspondientemente.

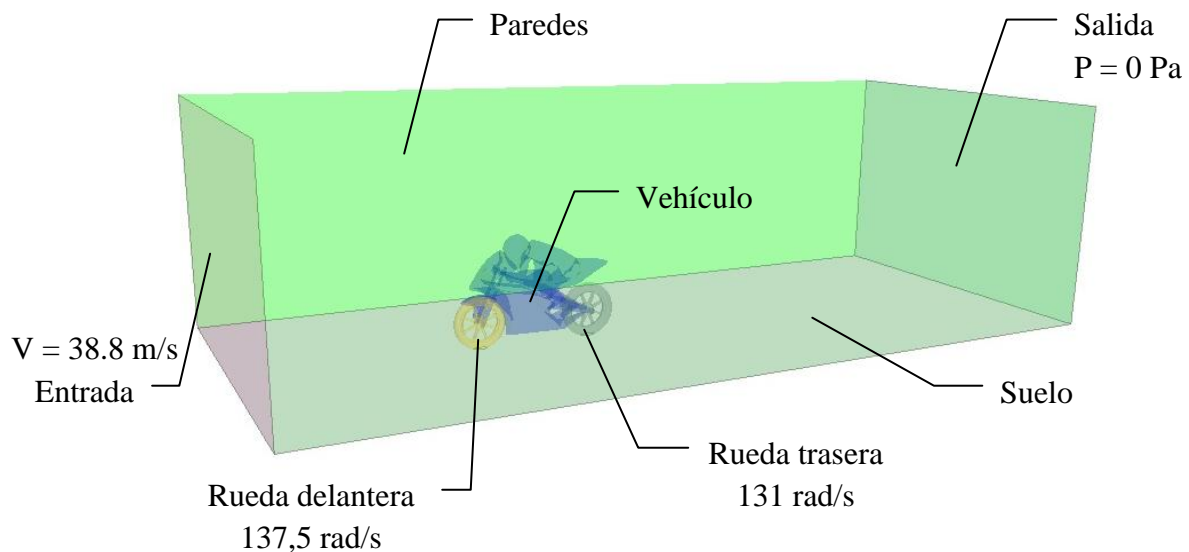


Figura 8.46: Condiciones de contorno.

En resumen, los modelos físicos que se han optado para que se tengan en cuenta en los cálculos son:

- Tridimensional
- Estacionario
- Fluido Gaseoso (Aire)
- Flujo segregado
- Densidad constante
- Continuo
- Turbulento
- Turbulencia K-Epsilon
- RANS (promedio de Reynolds de las ecuaciones de Navier-Stokes)
- Gravedad

La densidad del aire por defecto es de 1.18415 kg/m^3 .

8.2.5 Análisis

Se lanzaron los análisis como estacionarios, lanzándose tantas iteraciones como fueron necesarias para que el cálculo llegase a una condición estable y de convergencia, siendo los residuos mínimos como se muestra en las *figuras 8.46 y 8.47*.

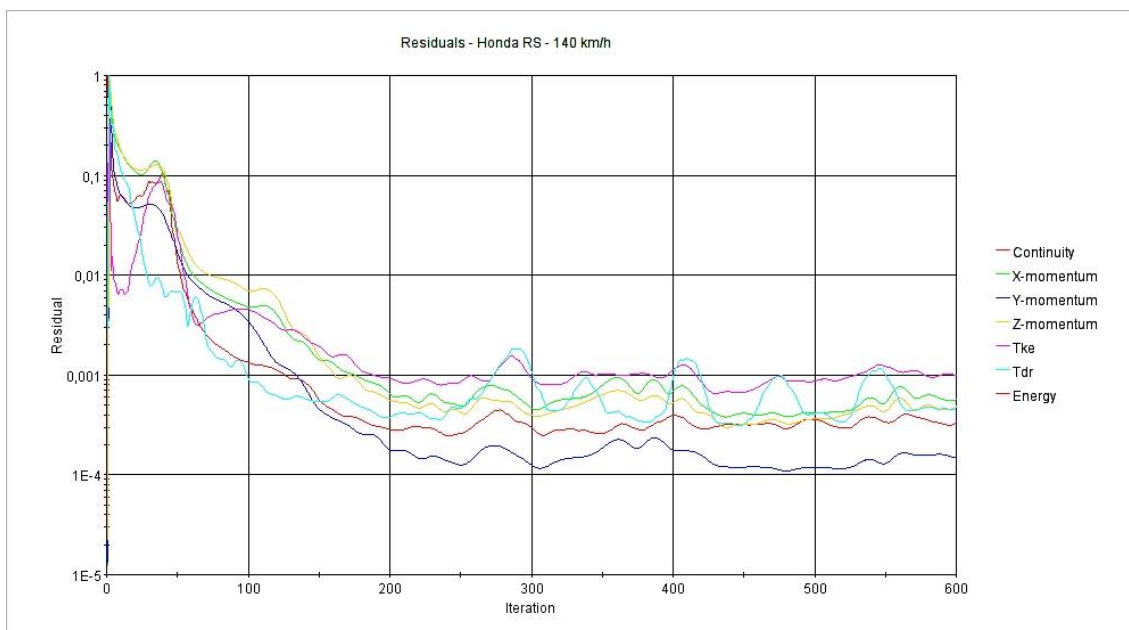


Figura 8.46: Residuales mínimos del análisis del modelo de la Honda a 140 km/h.

Los residuales de las iteraciones del modelo de la Honda RS se estabilizan después de unas 300 iteraciones.

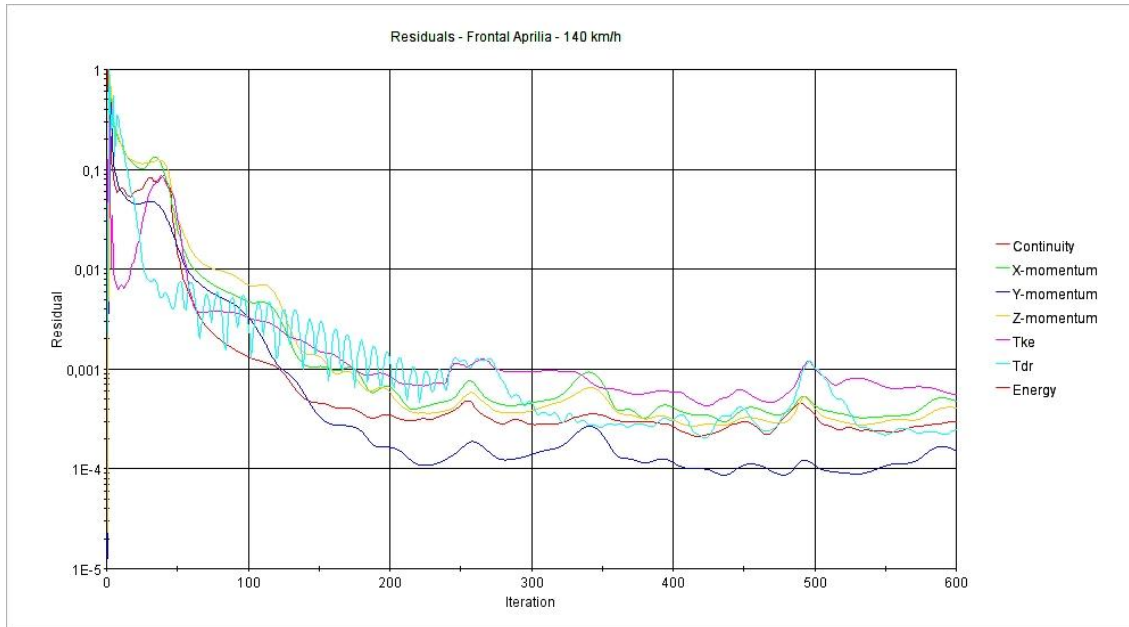


Figura 8.47: Residuales mínimos del análisis del modelo de la Aprilia a 140 km/h.

En el modelo de la Aprilia los residuales también se estabilizan después de unas 300 iteraciones.

Cuanto más rápido se reduzcan los residuales, mayor será la convergencia y cuanto menores sean los residuales mayor será la precisión de los resultados.

En este caso, con el material informático disponible, con estos modelos y con las condiciones de contorno aplicadas, 100 iteraciones tardan alrededor de una hora. A partir de aquí, sabemos que podemos obtener simulaciones con resultados aceptables a partir de un mínimo 3 o 4 horas de cálculos para cada una de ellas.

En caso de que los resultados no converjan o en caso de tener la necesidad de reducir los residuales, entonces es necesario mejorar la calidad de malla corrigiendo a mano la máxima cantidad de celdas posibles. En este caso la calidad de los resultados obtenida es más que suficiente.

9 SIMULACIONES

En este apartado se realiza una comparación exhaustiva de los dos modelos a partir de los resultados obtenidos. Se consideró una velocidad de 140 km/h para lanzar estos análisis.

9.1 Resultados numéricos

A este programa de CFD se le puede pedir que calcule directamente algunas variables que son fundamentales para el posterior análisis de las simulaciones.

9.1.1 Área frontal

El área frontal, o mejor dicho, la sección transversal máxima del vehículo (superficie de proyección de este sobre un plano transversal) afecta directamente a la resistencia aerodinámica. Aunque esto no quiere decir que por tener un área mayor el perfil aerodinámico sea peor.

El valor de esta sección en los dos modelos (incluido el piloto) es de:

$$A_{\text{Honda RS}} = 0,4043 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Frontal Aprilia}} = 0.4274 \text{ m}^2$$

Queda demostrado que el frontal de la Aprilia de competición es más ancho que el de la Honda.

9.1.2 Fuerza de arrastre

En el análisis se calcula la fuerza de arrastre o resistencia aerodinámica que ejerce el aire incidente sobre el vehículo cuando este circula a 140 km/h.

La fuerza sobre la superficie del modelo se computa como:

$$\mathbf{f} = \sum_f (\mathbf{f}_f^{\text{pressure}} + \mathbf{f}_f^{\text{shear}}) \cdot \mathbf{n}_f$$

Es decir, se tiene en cuenta la fuerza debida a la diferencia de presiones y al esfuerzo cortante en la dirección de avance de la motocicleta.

Esta es una de las variables más significativas de estos análisis a la hora de tomar decisiones ya que afecta directamente a la potencia necesaria del vehículo para poder alcanzar una a mayor velocidad.

En las siguientes graficas se puede ver el valor de esta fuerza en Newtons calculado en cada iteración. En este caso los cálculos de esta variable convergen y se estabilizan más rápido que el resto.

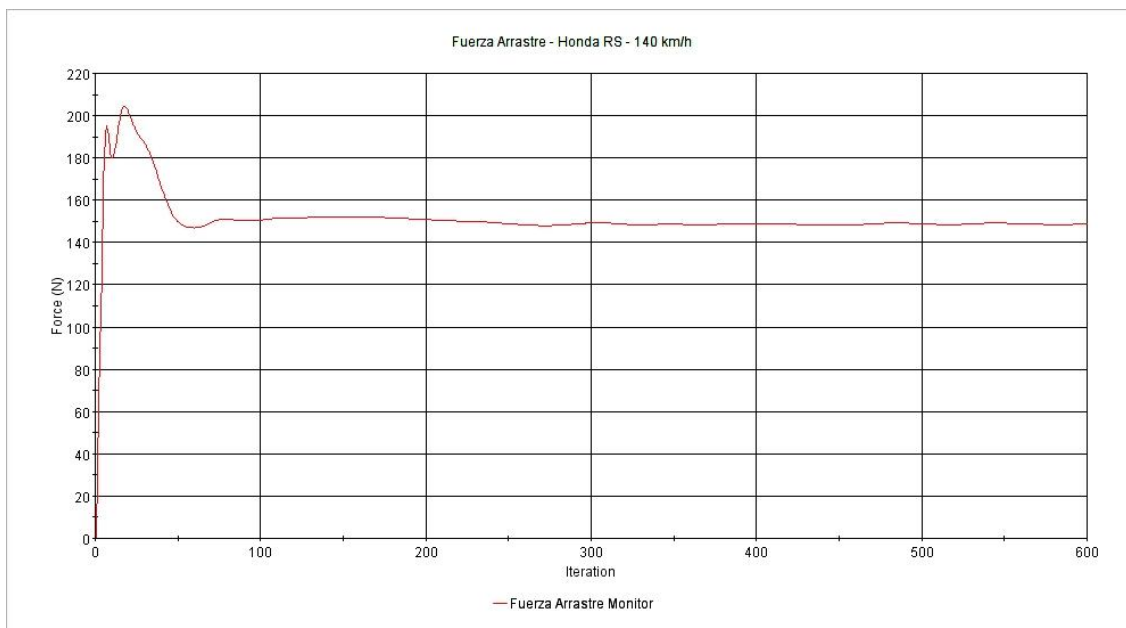


Figura 9.1: Resultados de los cálculos de la fuerza de arrastre de la Honda RS.

El valor de la resistencia aerodinámica con el modelo de la **Honda RS** según estos análisis es de unos **148,8 N**.

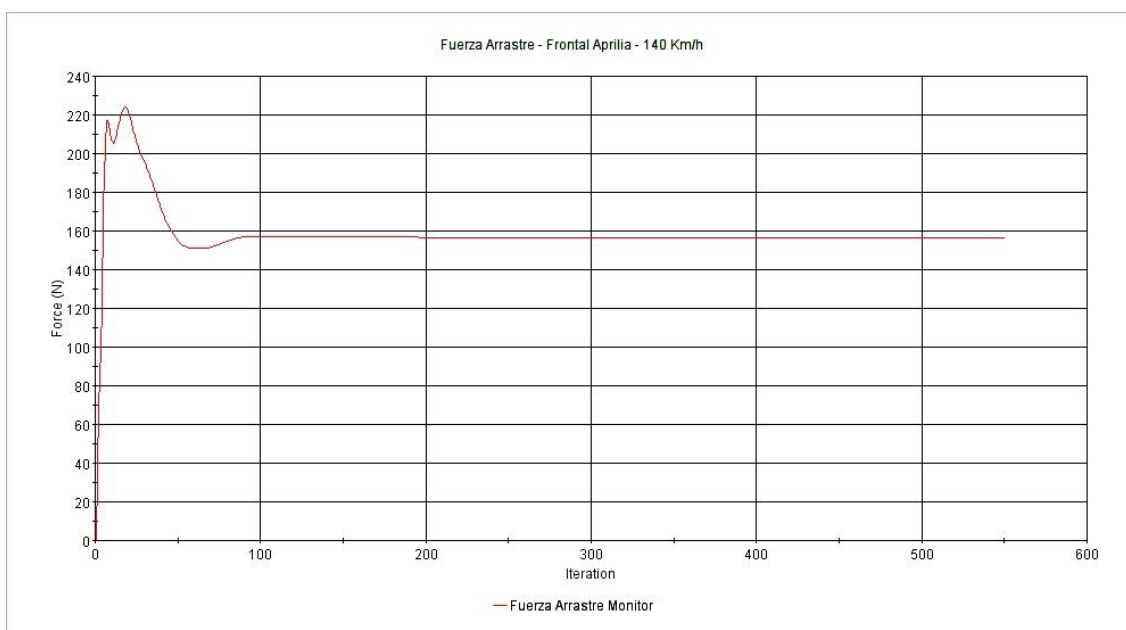


Figura 9.2: Resultados de los cálculos de la fuerza de arrastre con el frontal Aprilia.

El valor de la resistencia aerodinámica con el modelo que lleva el frontal de la **Aprilia** de competición según estos análisis es de unos **158,4 N**.

Existen casi 10 N de diferencia. Por tanto, el frontal de la Aprilia muestra una resistencia al avance en torno a un 6,7% superior a la ejercida por el frontal de la Honda RS.

9.1.3 Sustentación

En el análisis también se calcula la fuerza vertical o sustentación aerodinámica que ejerce el aire incidente sobre el vehículo cuando este circula a 140 km/h.

Una sustentación negativa hace que la moto se adhiera mejor al suelo, favoreciendo así el agarre y estabilidad de la motocicleta. Pero la aparición de fuerzas en el eje vertical puede llegar a traducirse en pérdidas en el eje horizontal.

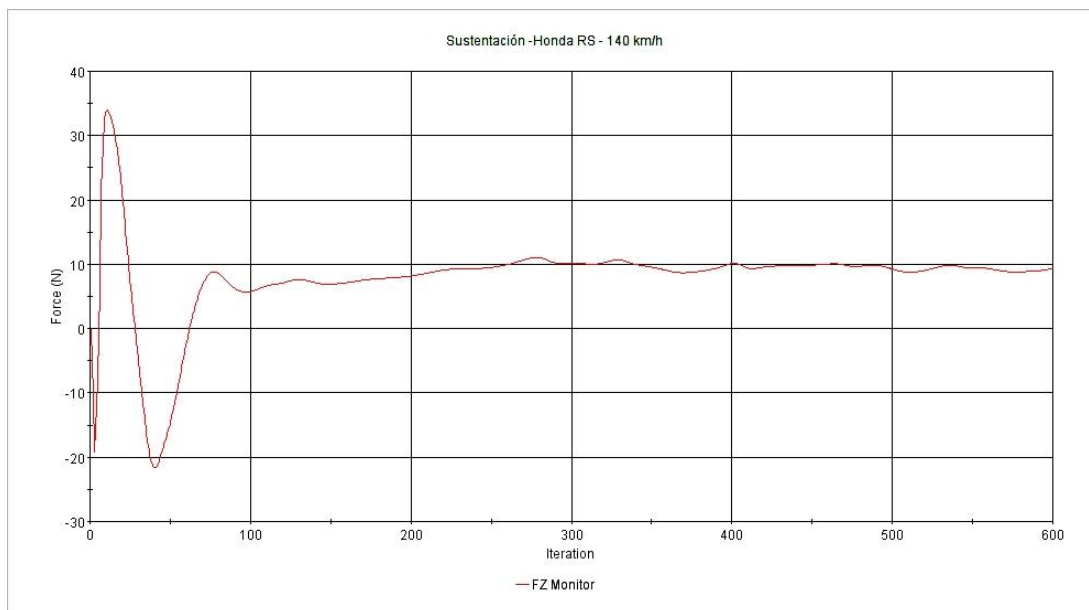


Figura 9.3: Resultados de los cálculos de la sustentación de la Honda RS.

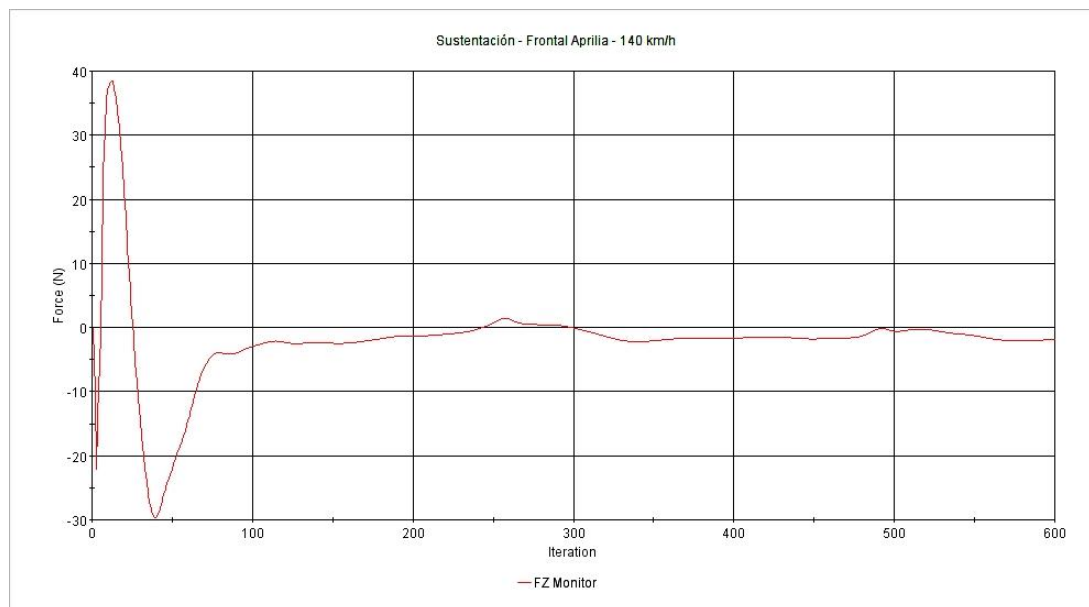


Figura 9.4: Resultados de los cálculos de la sustentación en la Aprilia.

El valor de la sustentación según estos análisis es de unos **9,3 N** en la **Honda** y unos **-1,8 N** en la **Aprilia**.

9.2 Mapas gráficos

El software crea una serie de gráficos que se usan para presentar los numerosos valores de forma que sean fáciles de interpretar. Estos mapas gráficos están pensados para analizarlos de forma visual mediante una escala de colores. En esta escala el rojo significa altos valores de presión relativa o de velocidad (según el tipo de gráfico) y el azul bajos valores.

En las siguientes páginas se muestran los distintos tipos de mapas. Se pondrán juntos los mismos gráficos de cada modelo para una mejor comparación.

9.2.1 Mapa de presiones

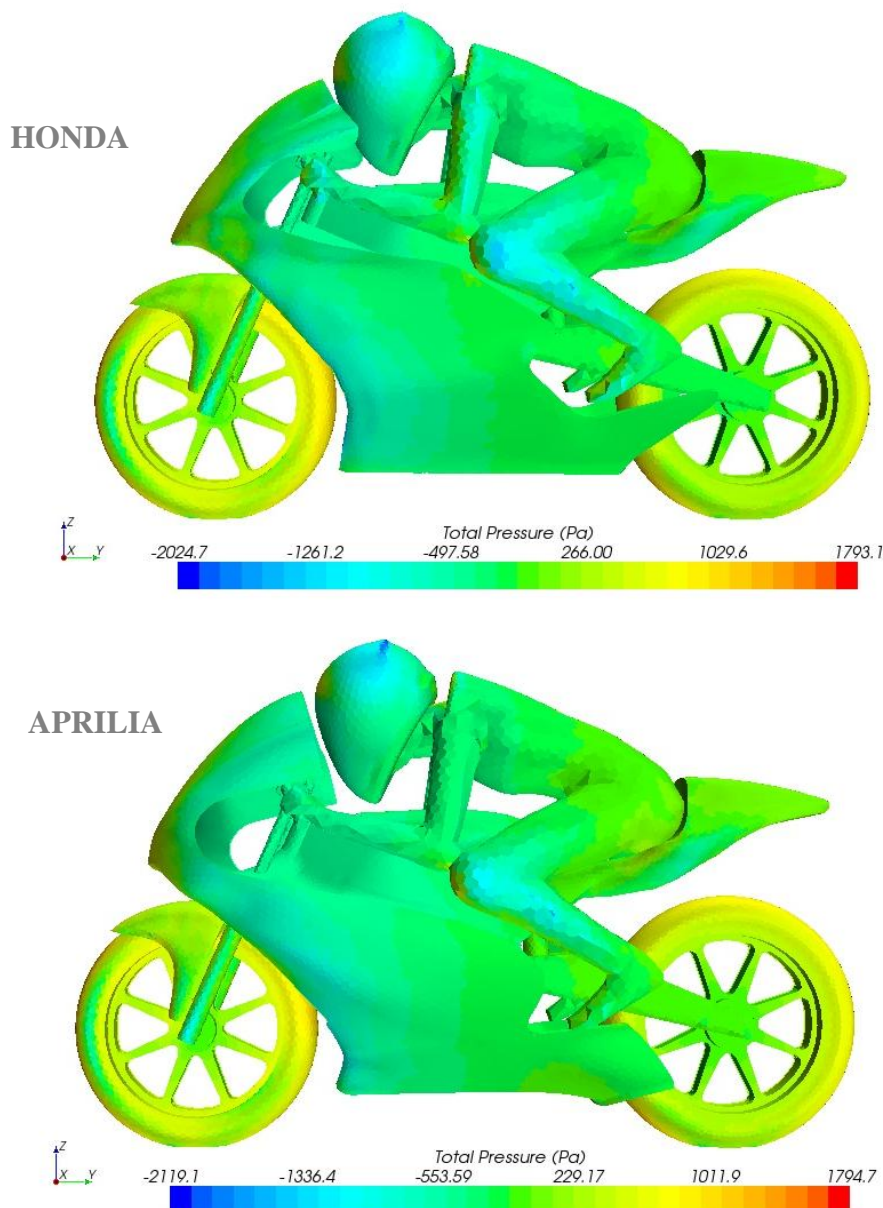
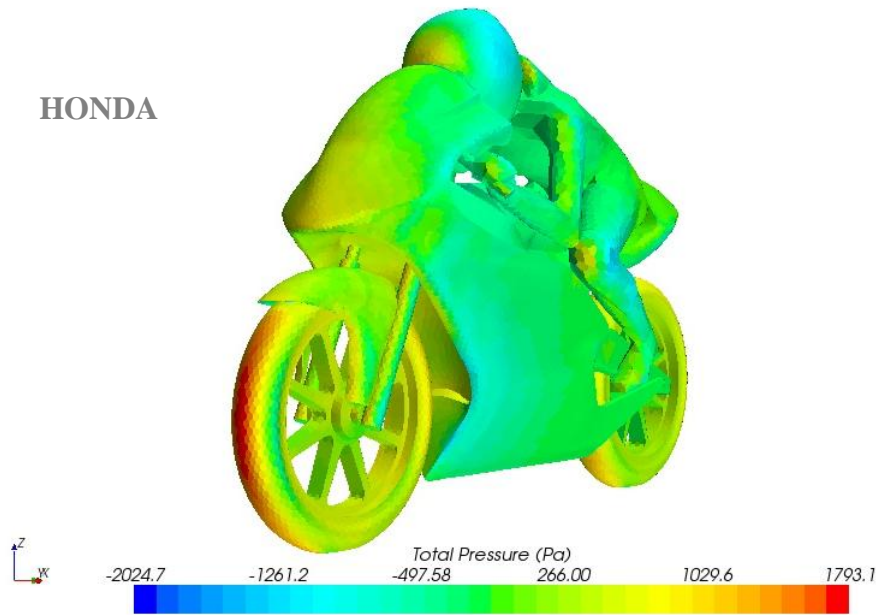


Figura 9.5: Vista lateral del mapa de presiones en las superficies de los modelos.

HONDA



APRILIA

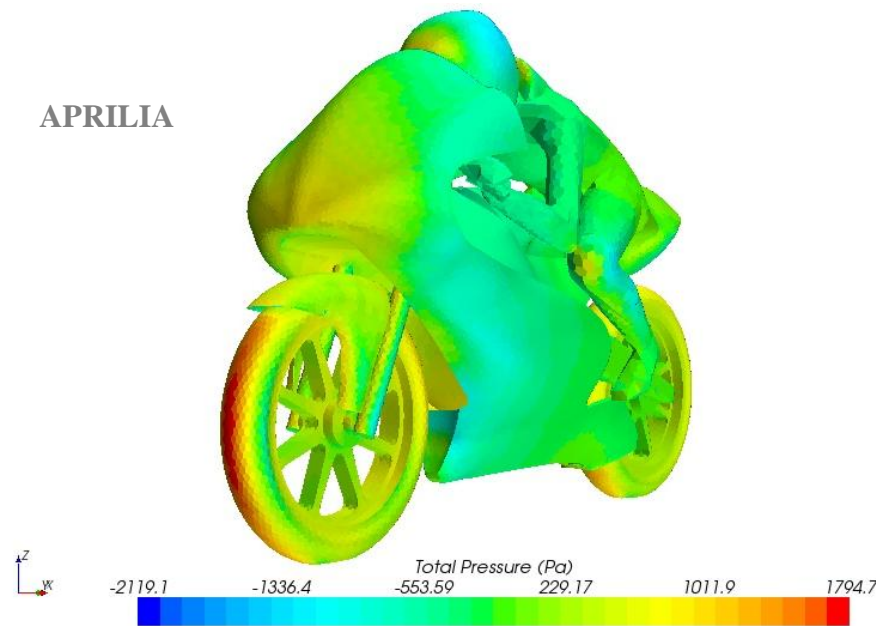


Figura 9.6: Mapa de presiones en las superficies frontales de los modelos.

Como es lógico, la parte delantera de los neumáticos es donde mayor es la presión, ya que es el primer elemento de la moto que incide directamente con el aire que debe atravesar. Si descartamos las ruedas, vemos que las puntas de los frontales y parte de la parte delantera del casco del piloto son los siguientes elementos que más sufren las altas presiones.

Por eso la punta del carenado es una de las mejores posiciones para poner la entrada del airbox. El airbox es una caja que envuelve el carburador y se emplea para que entre en la mezcla aire a mayor presión y conseguir así una mayor potencia en la combustión.

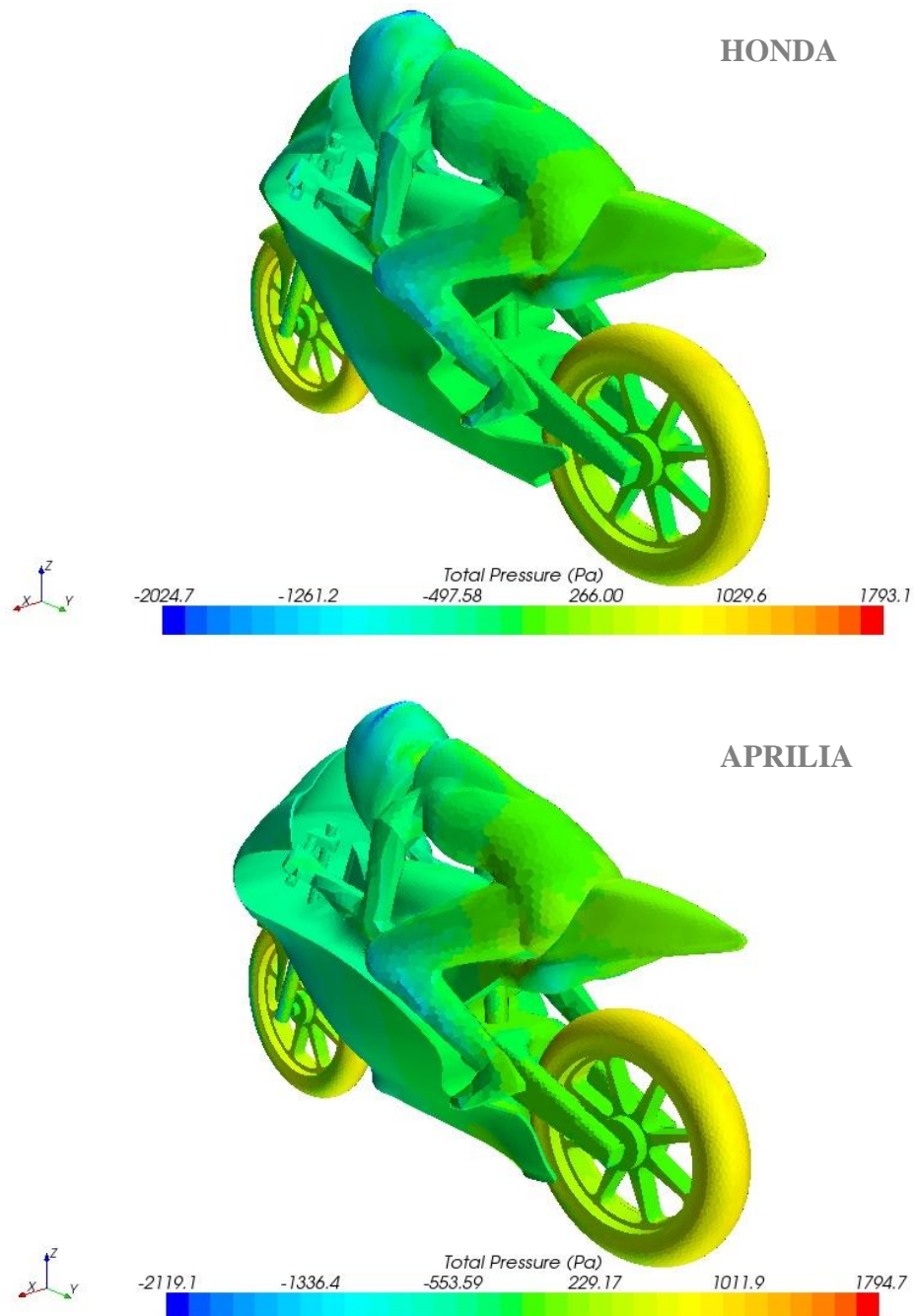


Figura 9.7: Mapa de presiones en las superficies traseras de los modelos.

En la parte trasera no se aprecia ninguna diferencia significativa en lo que a presiones en la superficie se refiere.

Si nos fijamos en la diferencia de presiones en la escala de colores de una y otra moto, se ve que la diferencia de máxima presión y mínima presión en la superficie, es mayor en la Aprilia, ya que existe una mayor depresión en algún punto en concreto.

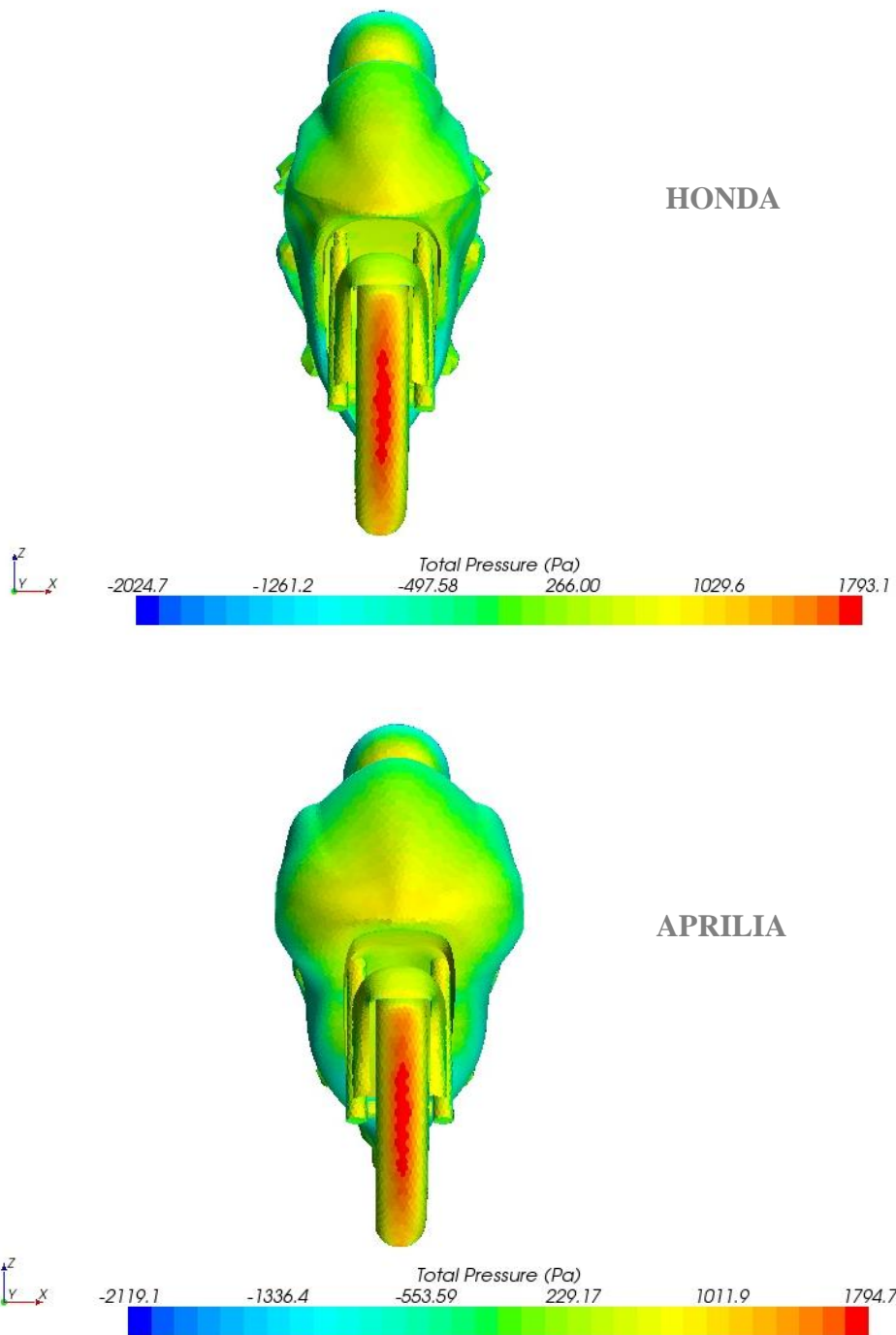


Figura 9.8: Vista frontal del mapa de presiones en las superficies de los modelos.

En la Honda, el casco del piloto tiene una mayor área de altas presiones relativas, por tanto el cuello del piloto deberá sufrir ligeramente mayores fuerzas que en la Aprilia, pero por el contrario, el frontal y la cúpula de la Honda muestra un área de altas presiones apreciablemente menor.

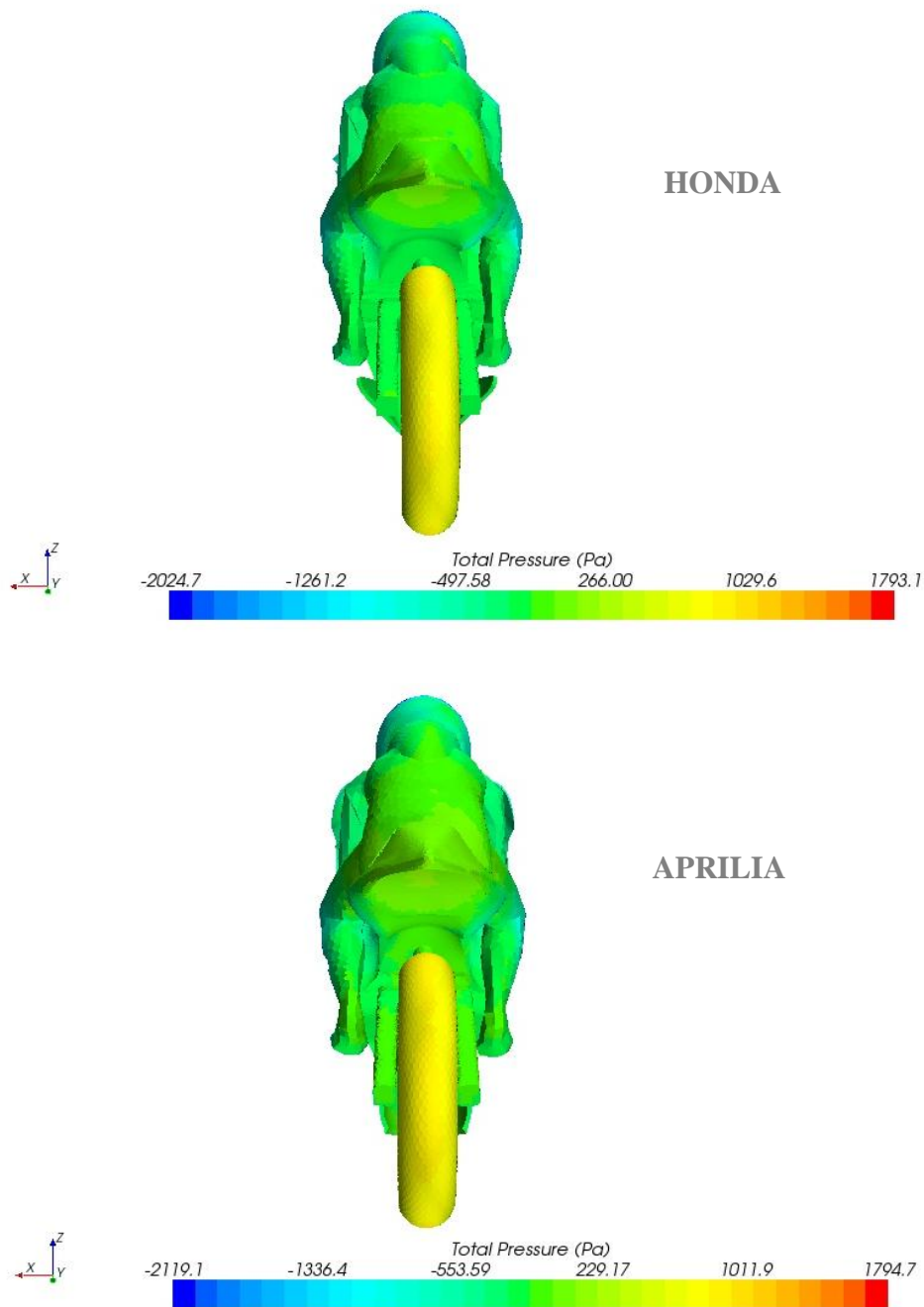
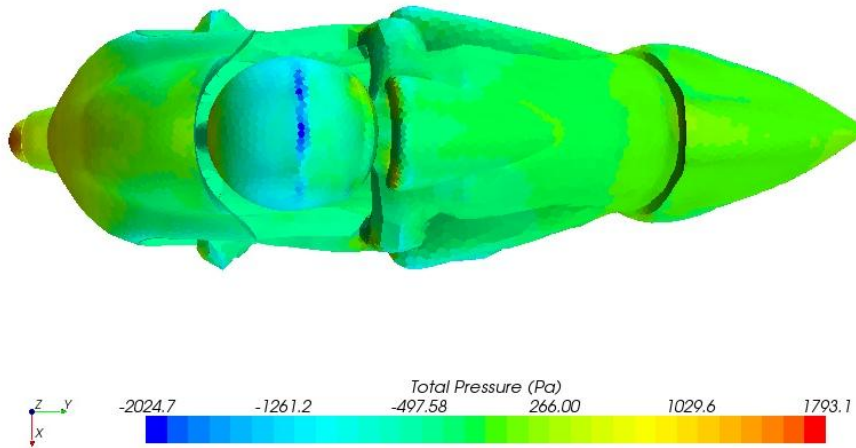


Figura 9.9: Vista trasera del mapa de presiones en las superficies de los modelos.

El colín está en un tono verdoso, y si vemos en la escala de colores podemos apreciar que está en torno a una presión relativa cercana a cero, es decir, en torno a la presión atmosférica. Al estar aguas abajo y no tener una depresión, lo más probable es que sobre esa superficie no circule aire a gran velocidad. Habrá que ver qué ocurre en esa zona en el mapa de velocidades.

HONDA



APRILIA

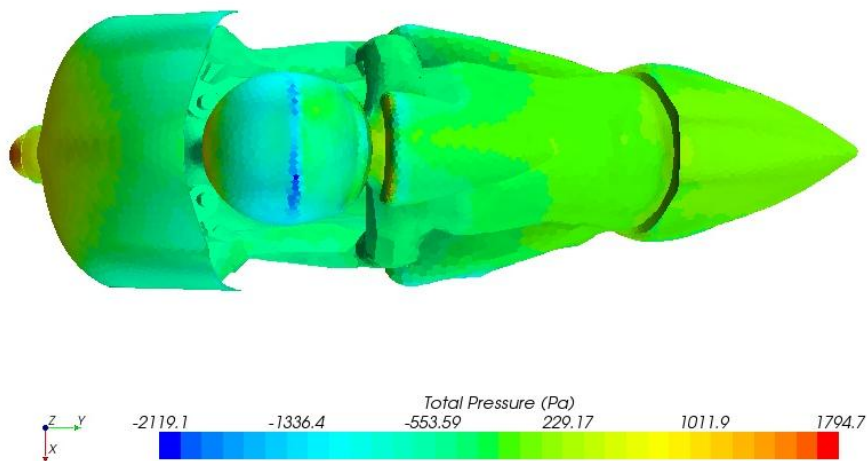


Figura 9.10: Vista superior del mapa de presiones en las superficies de los modelos.

La depresión en la visera trasera del casco es mayor en la Honda, pero las presiones en la espalda del piloto de la Aprilia es más irregular y tiene una sobrepresión en la nuca. Esta diferencia probablemente se deba al ángulo y posición de la incidencia del aire sobre el casco debido a la diferencia de tamaño y posición de la cúpula de ambos carenados.

En teoría este spoiler está diseñado para provocar el desprendimiento de la capa límite en esa zona forzando así a que pase el aire por encima de la joroba y no sobre el cuello, evitando así posibles turbulencias sobre la espalda del piloto. Estas turbulencias aparte de pérdidas, pueden generar inestabilidades y vibraciones en el piloto. Habrá que analizar detenidamente este comportamiento en los mapas de velocidades.

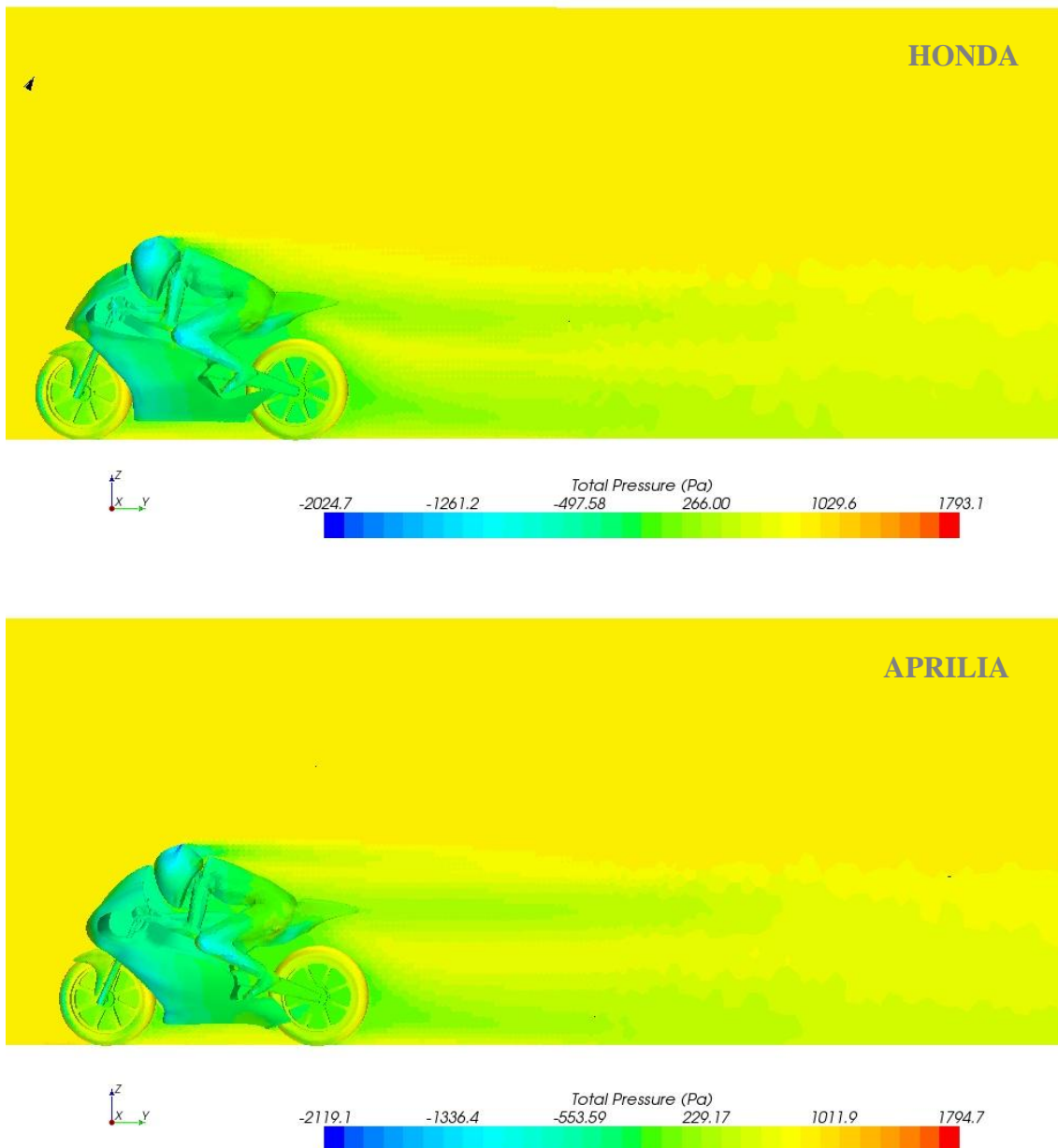


Figura 9.11: Mapa de presiones en el plano medio del vehículo y en las superficies de este.

Aunque cueste creerlo, la depresión que se genera en la estela toma mucha importancia en la resistencia al avance. Cuanto mayor sea la estela, mayor será la resistencia. Si hacemos un balance general, en esta imagen es muy fácil observar que al haber mayor presión en la parte delantera y menor presión en la estela, existirá una fuerza en la dirección opuesta al avance.

Si se pusiese otra moto justo detrás a rebufo, la depresión en la estela sería menor y por tanto la primera moto también podría alcanzar una velocidad mayor a la que llegaría a alcanzar yendo sola.

9.2.2 Mapa de velocidades

El valor de las velocidades se mide respecto a la velocidad de la moto, ya que se está simulando un túnel de viento y no una moto en carrera. Por tanto la velocidad de la moto se considera nula.

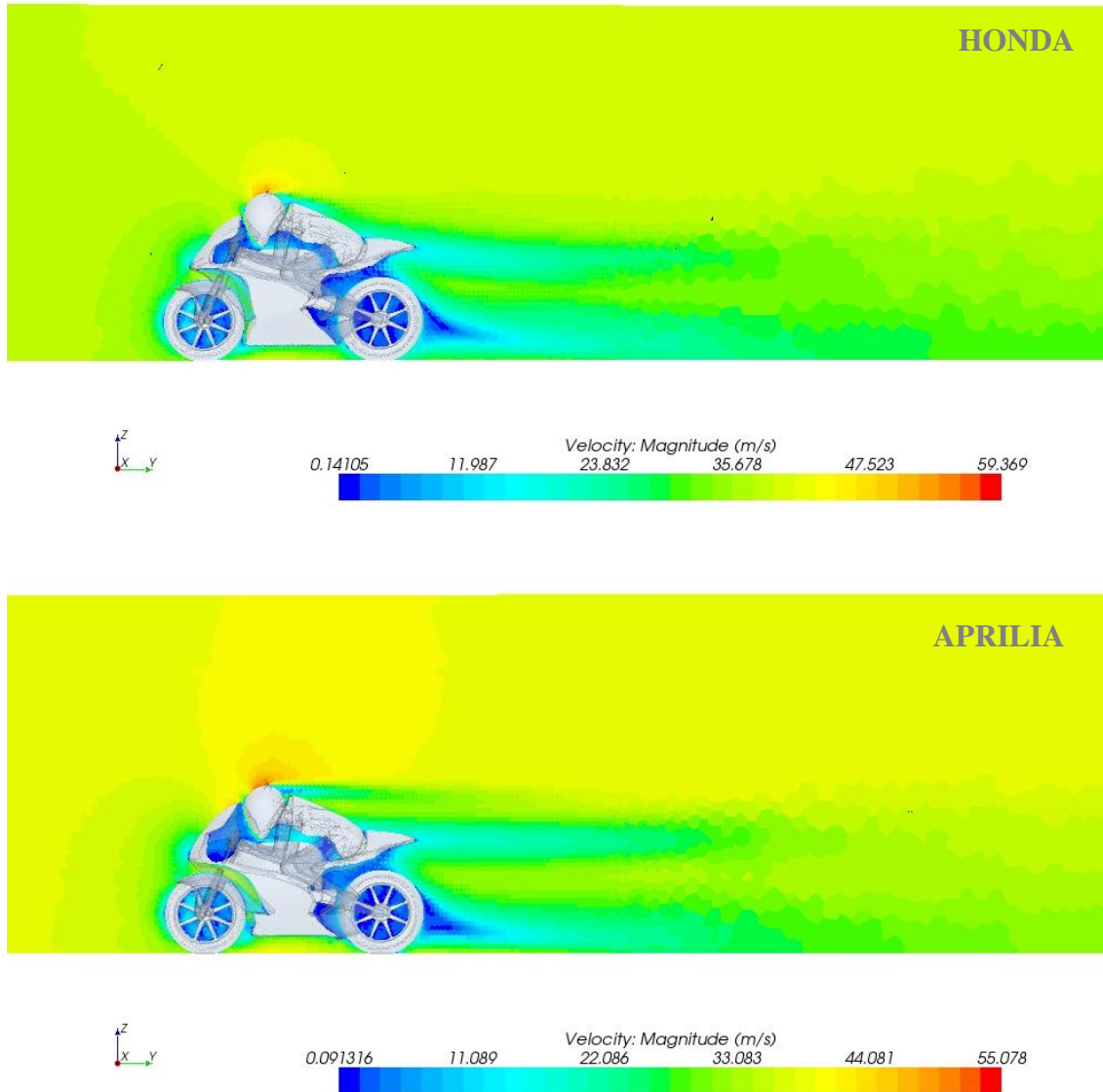


Figura 9.12: Mapa de velocidades en el plano medio del vehículo.

Las estelas que podemos ver en estos mapas de velocidades son muy parecidas a las de los mapas de presiones anteriores, ya que están directamente relacionados. Sin embargo en estas se puede ver todo de forma más clara e intuitiva.

La mayor diferencia en estos mapas de velocidades es que en la Honda se pueden diferenciar dos ramas de estelas de depresión y en la Aprilia tres. Por muy insignificante que parezca, esto seguramente se deba al spoiler trasero del casco y la diferencia de forma en la cúpula de los carenados mencionada anteriormente (figura 9.10).

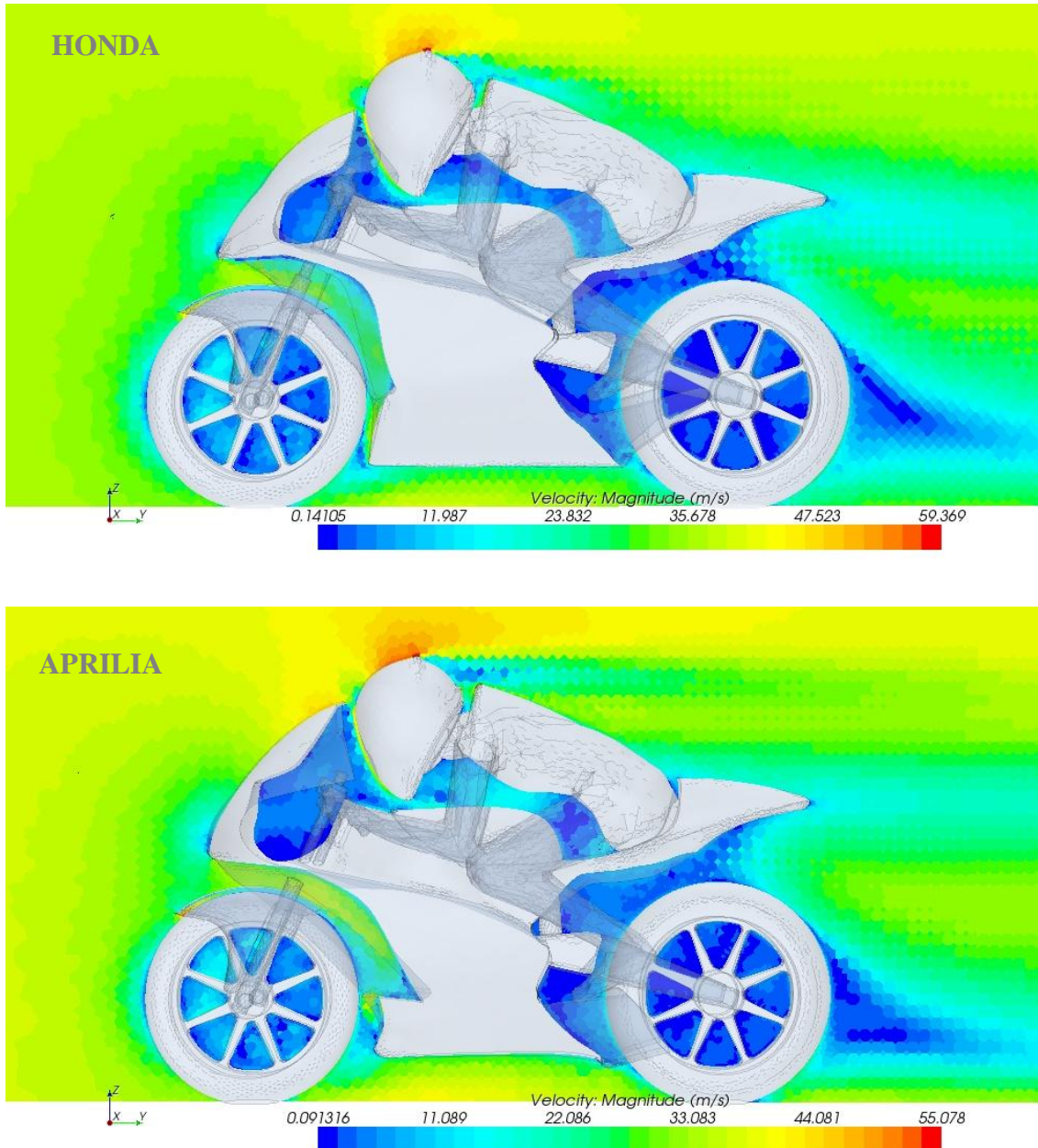


Figura 9.13: Mapa de velocidades en el plano medio y en las cercanías del vehículo.

En la Aprilia la visera del casco cumple su objetivo y evita que el flujo de aire pase por el cuello y la espalda del piloto, evitando así posibles recirculaciones. En la Honda el flujo circula adherido al piloto. Habrá que ver si surgen recirculaciones o turbulencias en esa zona mediante los vectores de velocidad que veremos más adelante. También es posible que en la Honda esta visera no llegue a crear un desprendimiento total de la capa límite pero si puede contribuir para que no aparezcan turbulencias.

Por otro lado, al adherirse el flujo del aire a la espalda del piloto el cómputo de todas las estelas resulta más estrecho en la Honda que en la Aprilia, obteniendo así un mejor perfil aerodinámico.

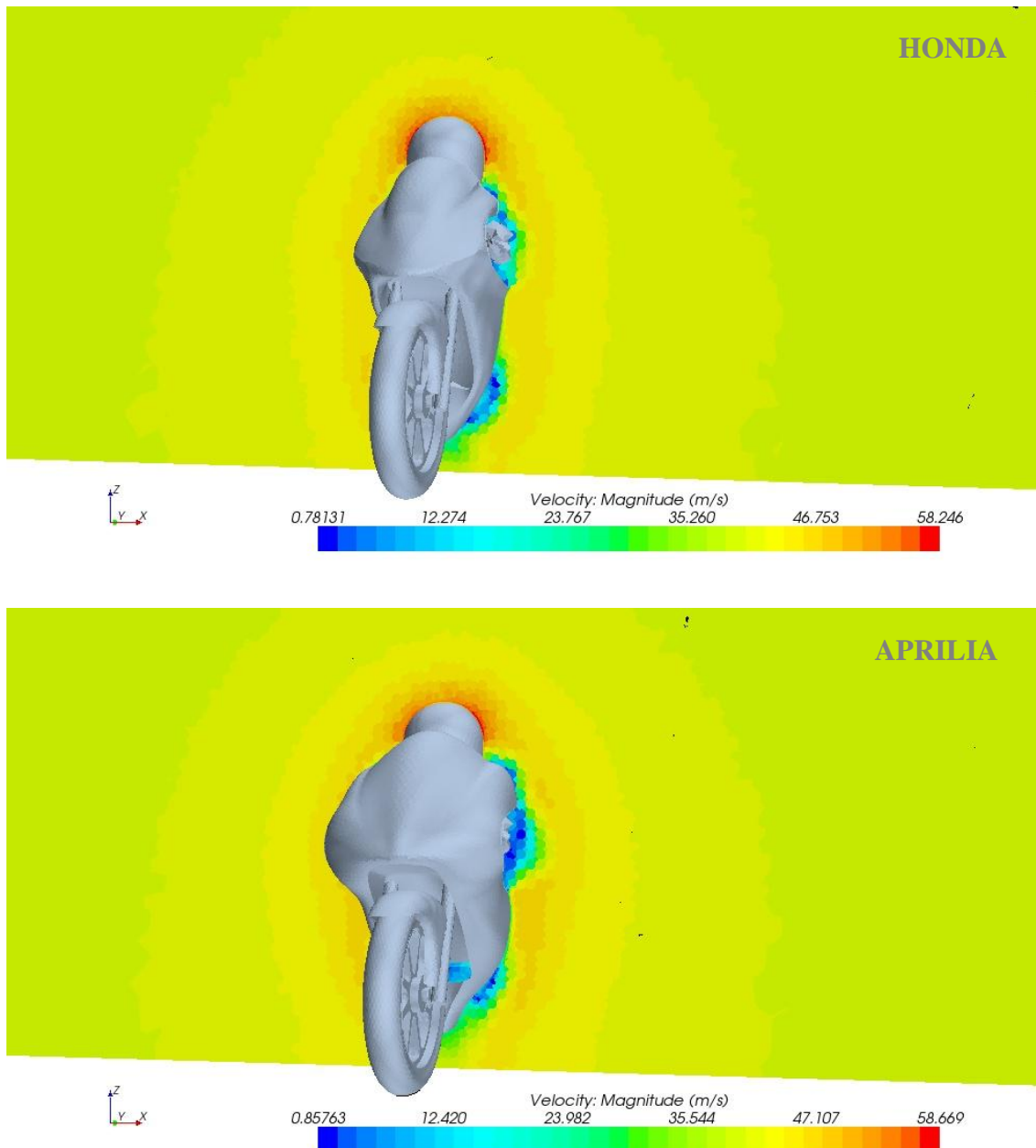


Figura 9.14: Mapa de velocidades perpendicular al plano de simetría del vehículo situado a la mitad del casco del piloto.

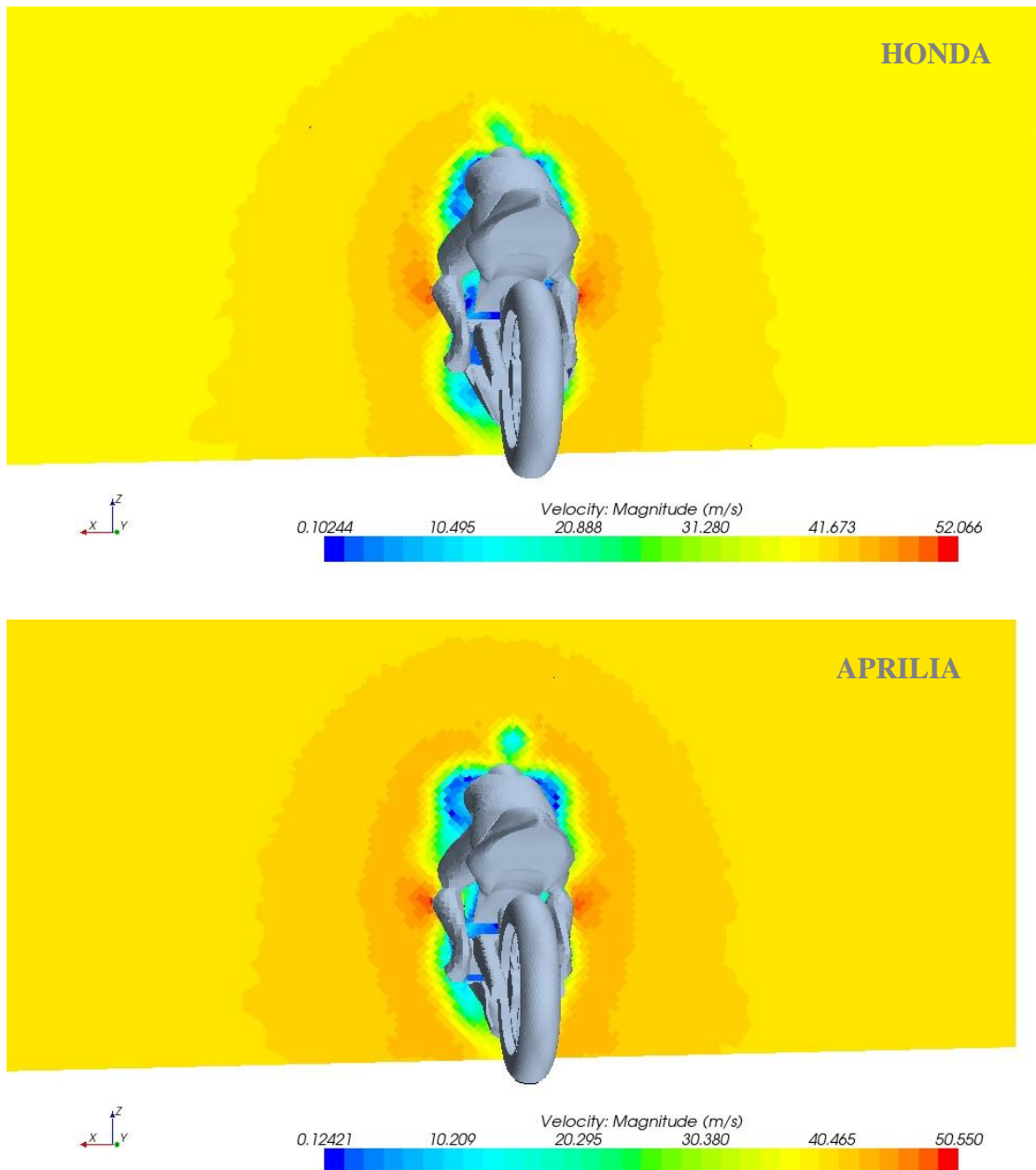


Figura 9.15: Mapa de velocidades perpendicular al plano de simetría del vehículo situado a la mitad del cuerpo del piloto.

Alrededor de los hombros hay una mayor zona de baja velocidad en la Aprilia. Esto solo puede significar que el frontal del carenado pensado para cubrir aerodinámicamente los hombros del piloto es demasiado ancho (o que el piloto dibujado es más estrecho de lo habitual). Se consigue un perfil más aerodinámico reduciendo el frontal al tamaño del piloto, como se puede ver en la Honda.

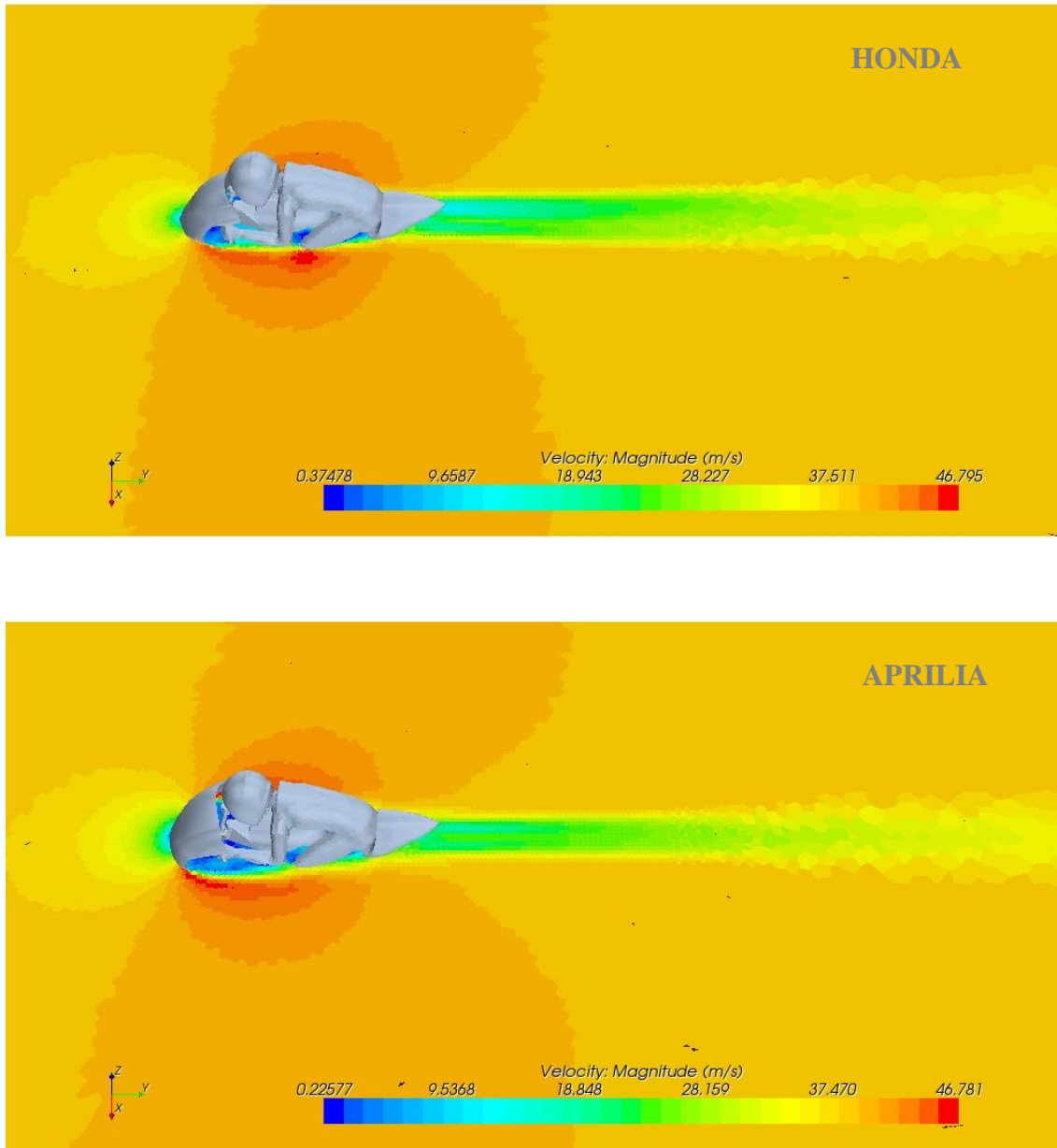


Figura 9.16: Mapa de velocidades paralelo al suelo situado a 65 cm de este, más o menos a la altura del morro del frontal.

Aquí se puede ver como el aire incide mucho más sobre las rodillas del piloto en la Honda debido a su estrecho y puntiagudo frontal. En cambio en la Aprilia da la sensación de que expulsa el flujo del aire hacia el exterior por no tener un carenado tan puntiagudo, forzando así un mayor desprendimiento y evitar así que gran parte del flujo incida sobre el piloto. Esto podría evitar mayores turbulencias, pero puede ocurrir que el coste aerodinámico final sea mayor.

9.2.3 Vectores de velocidad

Estos vectores muestran la dirección y la magnitud de la velocidad en cada punto. Este tipo de mapa gráfico es muy útil para identificar turbulencias.

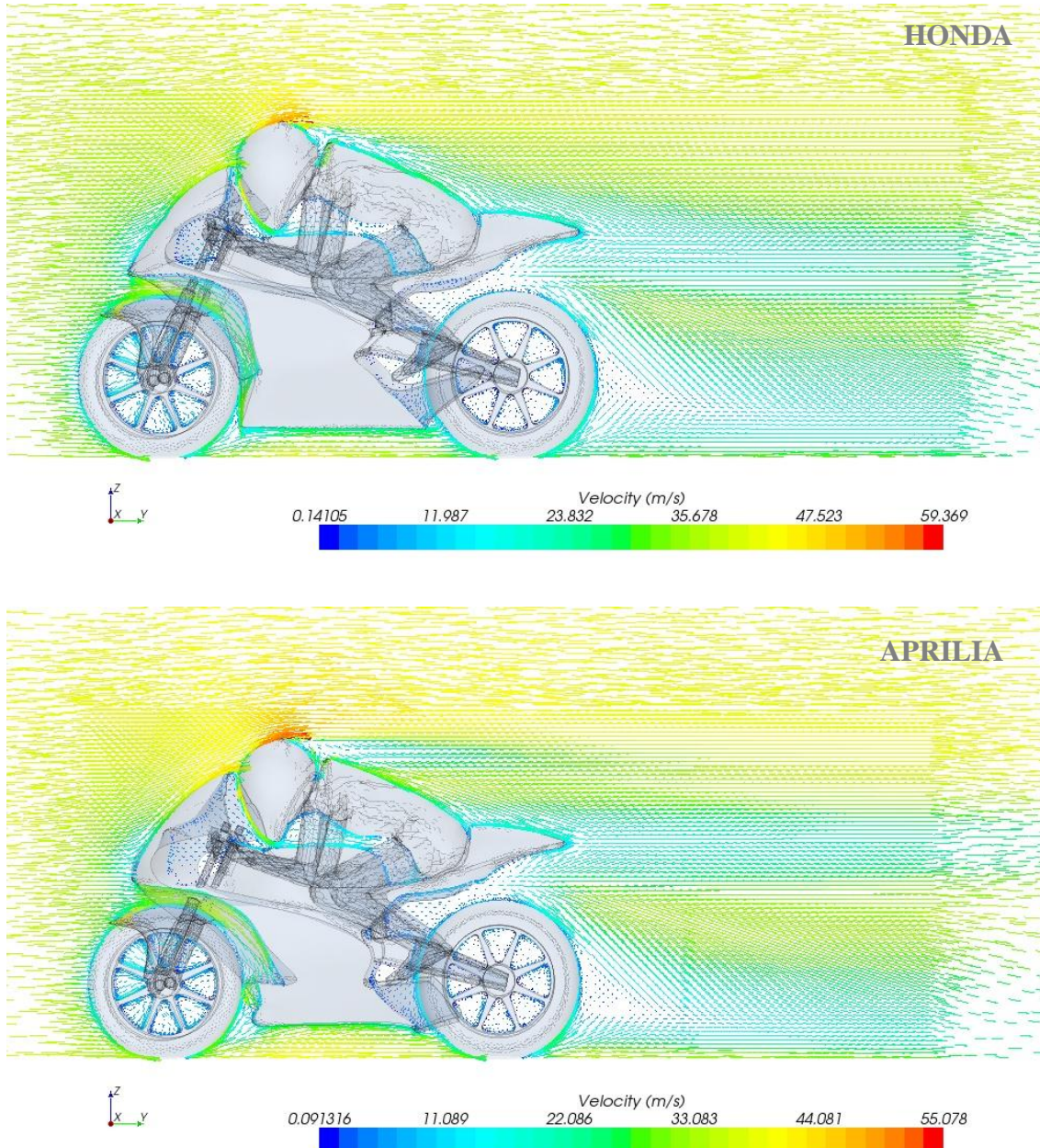


Figura 9.17: Plano de vectores de velocidad en el propio plano medio del vehículo.

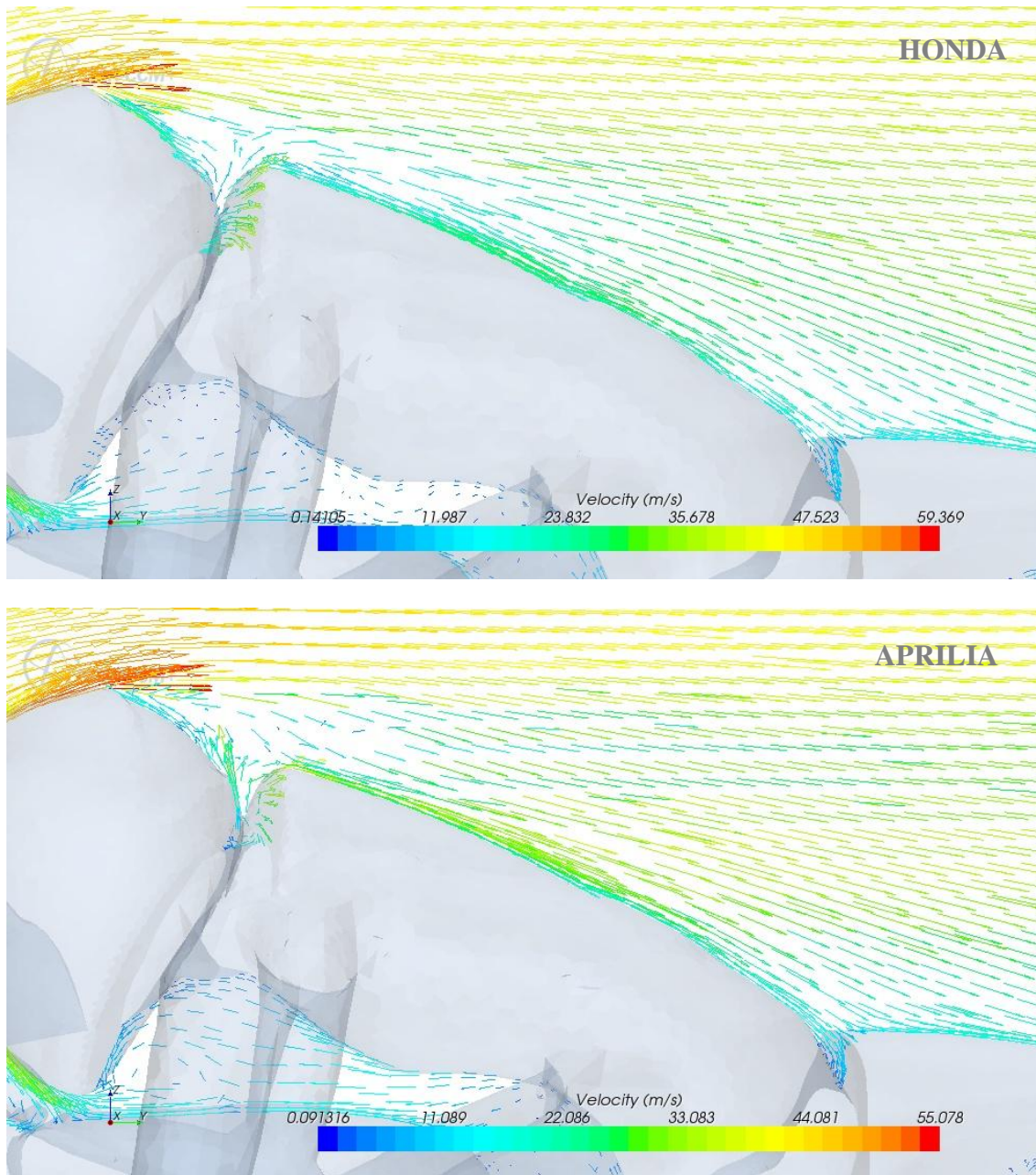


Figura 9.19: Vectores de velocidad en detalle en la zona de la espalda del piloto en el plano medio del vehículo.

Como ya se ha comentado antes, debido al spoiler del casco en la Honda no se consigue un desprendimiento total de la capa límite como en la Aprilia, pero consigue evitar que aparezcan reflujos y turbulencias en la espalda del piloto, provocando así un efecto aerodinámico más favorable.

Los reflujos que aparecen encima del cuello son parecidos en ambos casos y tampoco son muy grandes.

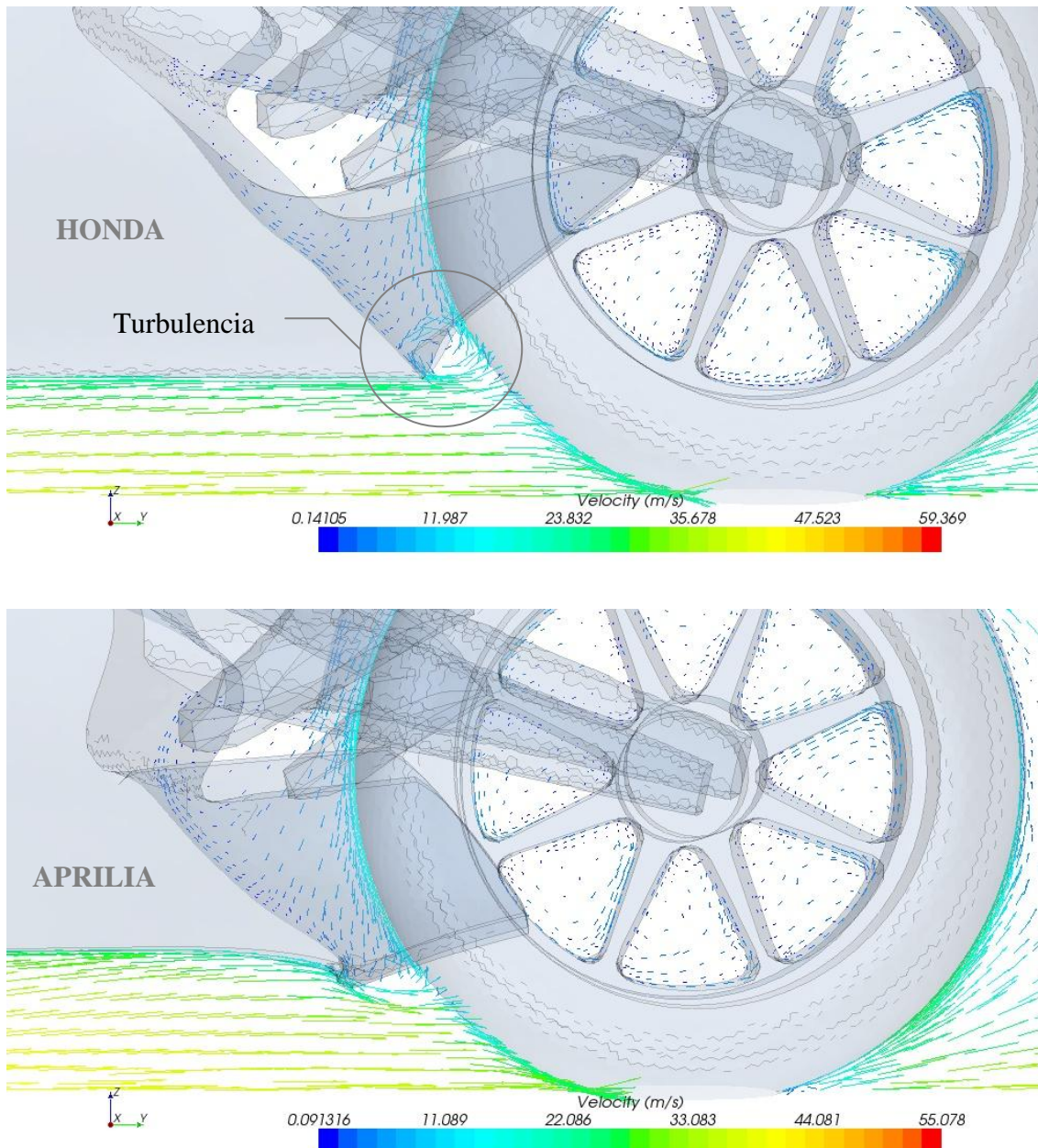


Figura 9.19: Vectores de velocidad en detalle en el plano medio del vehículo.

La parte inferior de la quilla es totalmente recta y plana en el carenado de la Honda y final de ella podemos ver claramente en la imagen como se crea una turbulencia. La solución adoptada en el carenado de la Aprilia para que no suceda esto es simplemente darle una pequeña curvatura a la quilla y sobre todo colocar un pequeño spoiler o muesca al final de esta.

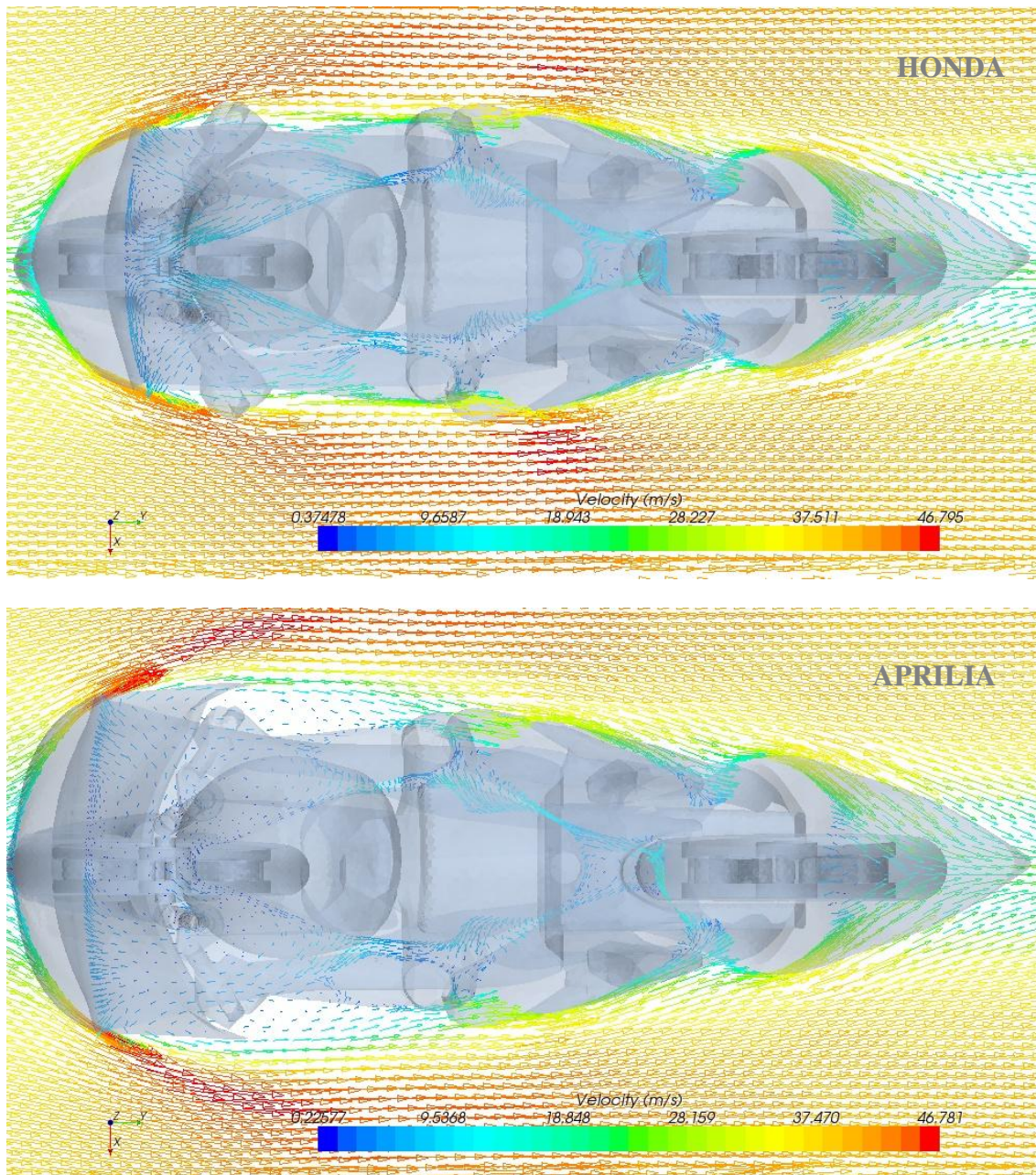


Figura 9.20: Plano de vectores de velocidad a 65 cm y paralelo al suelo.

Estas imágenes reafirman los argumentos mostrados en la figura 9.16. Se puede ver que detrás de la cúpula del carenado, en la zona del manillar, las turbulencias parecen más acusadas en la Honda.

9.2.4 Líneas de flujo

Este tipo de gráficos son los más intuitivos para ver por dónde y cómo circula el aire.

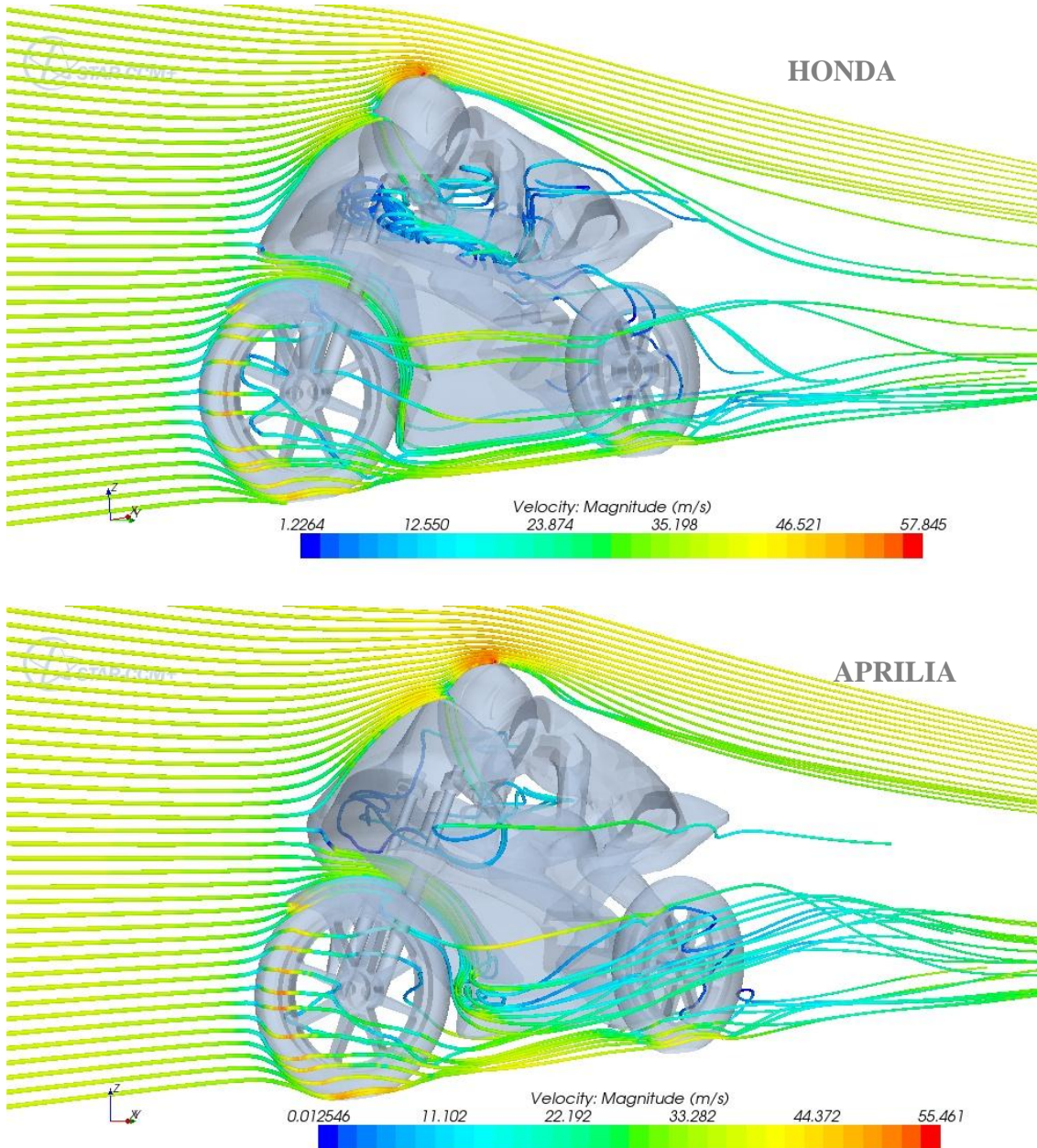


Figura 9.21: Líneas de flujo con origen en el plano medio.

Se ve claramente como se generan turbulencias entre el piloto y la motocicleta. También se puede intuir fácilmente como fluye el aire en la estela. El aire tiende a ir hacia las zonas de depresión.

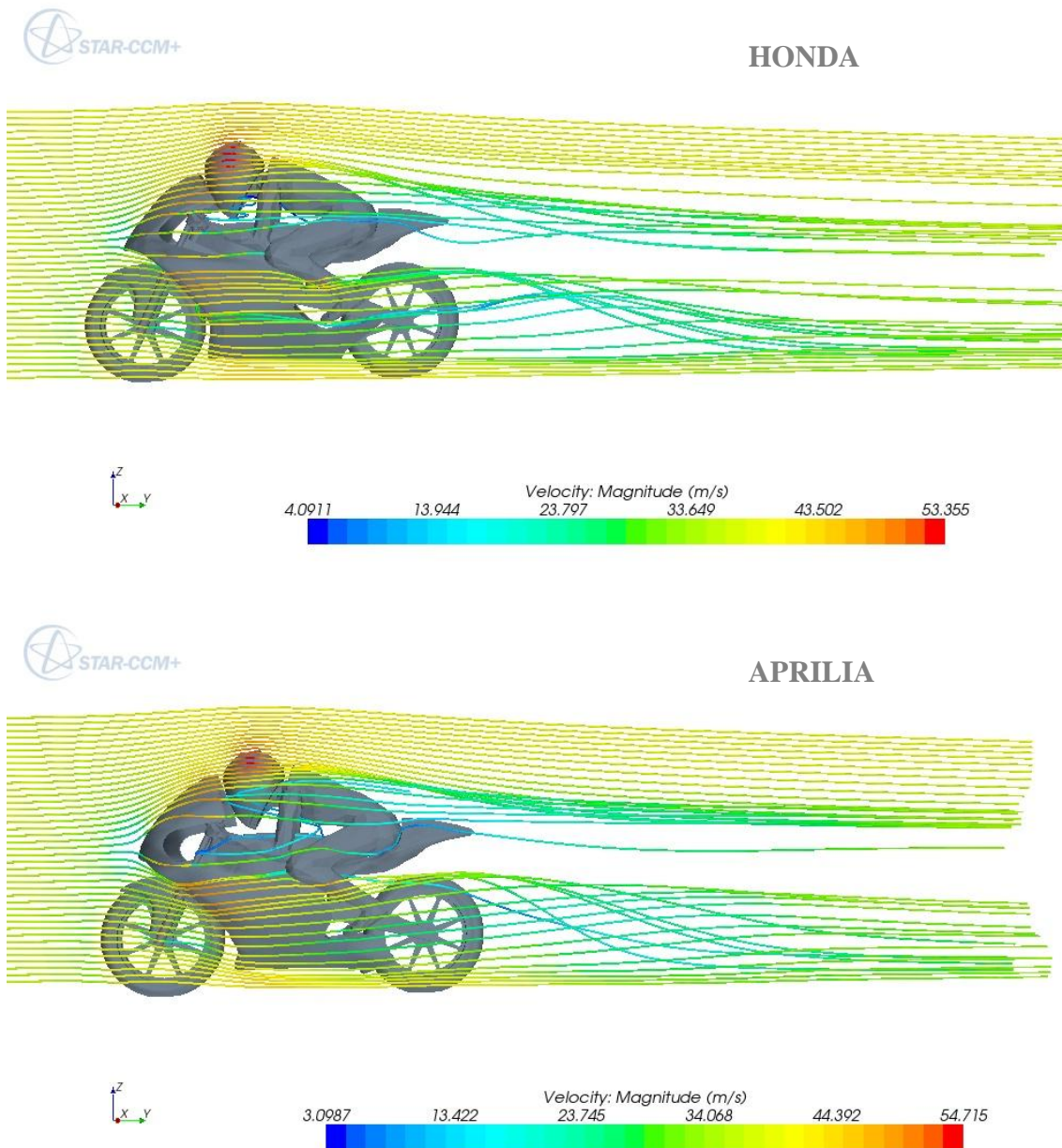


Figura 9.22: Líneas de flujo con origen a 5 cm del plano medio.



HONDA



APRILIA

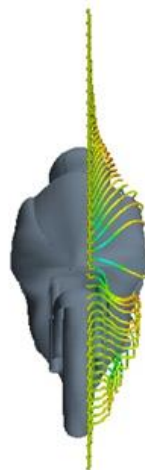


Figura 9.23: Líneas de flujo con origen a 5 cm del plano medio.

10 CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

10.1 COEFICIENTE AERODINÁMICO

Como se comentó en el apartado de teoría el coeficiente aerodinámico (C_x o C_d) es la expresión de la resistencia de cuerpo dentro de un fluido por razón de su forma. Se toma como un coeficiente adimensional. Hasta cierto punto, el C_x es independiente del tamaño del cuerpo y de la velocidad del fluido.

Se llama coeficiente de penetración « C_x » porque la x indica una dirección en un eje de tres coordenadas; al coeficiente vertical o de elevación se le denomina « C_z » por la misma causa. Otra forma de referirse al coeficiente de penetración es C_d , donde la d es la inicial de la palabra inglesa «drag»; según esta nomenclatura, el coeficiente de elevación es C_l , por «lift».

Teniendo en cuenta que $F = 1/2 \rho C_x A v^2$, siendo

$$\rho = 1,18415 \text{ kg/m}^3$$

$$v = 38,8 \text{ m/s}$$

$$A_{\text{Honda RS}} = 0,4043 \text{ m}^2$$

$$A_{\text{Frontal Aprilia}} = 0,4274 \text{ m}^2$$

$$F_{\text{Honda @ 140 km/h}} = 148,8 \text{ N}$$

$$F_{\text{Aprilia @ 140 km/h}} = 158,4 \text{ N}$$

Se tiene aproximadamente que:

$$C_{x \text{ Honda}} = 0,41$$

$$C_{x \text{ Aprilia}} = 0,42$$

Al multiplicar el coeficiente de penetración C_x , tomado como número adimensional, por la superficie frontal expresada en m^2 , queda un valor de resistencia aerodinámica SC_x expresado también en m^2 :

$$SC_{x \text{ Honda}} = 0,17 \text{ m}^2$$

$$SC_{x \text{ Aprilia}} = 0,18 \text{ m}^2$$

Si los comparamos con los de la tabla de la pagina 38, podemos ver que no están muy lejos de los valores 0,19 y 0,20 que muestran la Honda RS de 1990 y 1996 respectivamente.

Hay que tener en cuenta que estos datos se han obtenido de forma teórica. Aún así los cálculos mediante CFD se pueden llegar a aproximar mucho a los resultados obtenidos en túneles de viento. En este caso el mayor dato a tener en cuenta, es que en estos modelos se han suprimido los flujos internos y el escape. Aunque no lo parezca, los estos flujos, a pesar de permitir el paso de aire por el interior, generan una mayor resistencia aerodinámica. Esto se debe a que frenan el flujo del aire y generan turbulencias, provocando así mayores pérdidas.

Un ejemplo muy claro que demuestra esta teoría, es lo que les ocurrió a los ingenieros del equipo navarro "Inmotec". Crearon una maqueta solida (sin huecos) del prototipo que correría el mundial, lo ensayaron en el túnel de viento y les dio unos resultados muy esperanzadores. Más adelante, al repetir la prueba con el prototipo real, los buenos resultados se redujeron debido a los flujos internos.

De todas formas, al hacer una comparación y suponiendo que los flujos internos serán similares, no importa si tenemos estos detalles en cuenta o no para saber cuál de los dos modelos es mejor.

Por otro lado, la definición de C_z es análoga a la anterior C_x con la misma sección característica. Teniendo en cuenta que:

$$F_{Z \text{ Honda @ 140 km/h}} = 9,3 \text{ N}$$

$$F_{Z \text{ Aprilia @ 140 km/h}} = - 1,8 \text{ N}$$

Tenemos que C_z toma aproximadamente un valor de:

$$C_{z \text{ Honda}} = 0,026 \text{ (sentido en contra del terreno)}$$

$$C_{z \text{ Aprilia}} = - 0,005 \text{ (sentido hacia el terreno)}$$

Estos valores resultan ser muy pequeños en motociclismo, y no toman mucha importancia en comparación con el mundo del automóvil de competición.

Un coeficiente de elevación C_z negativo supone una mayor adherencia al terreno y mayor estabilidad. Pero en este caso, el coeficiente de penetración C_x que resulta más importante en el mundo del motociclismo, se muestra favorable al carenado de la Honda RS, ya que siendo este más pequeño, la resistencia al avance será menor. Esto implica una aceleración mayor a altas velocidades (aunque con resultados tan poco dispares apenas se notará diferencia) y ante todo, se podrá alcanzar una mayor velocidad punta.

10.2 FUERZA DE RESISTENCIA AERODINÁMICA

Como ya hemos visto en el apartado 9.1.2, las simulaciones a 140 km/h dan un resultado de fuerza de arrastre de 148,8 N en el modelo de la Honda RS y 158,4 N en el de la Aprilia.

Existen casi 10 N de diferencia. Por tanto, el frontal de la Aprilia muestra una resistencia al avance en torno a un 6,7% superior a la ejercida por el frontal de la Honda RS. Este porcentaje es independiente de la velocidad y se mantendrá más o menos constante. Eso significa que con el frontal de la Honda el vehículo siempre sufrirá una resistencia al avance menor que con el de la Aprilia independientemente de la velocidad. Como ya hemos repetido en varias ocasiones, esto implica una mayor velocidad punta y un menor consumo de combustible.

Sabiendo que el carenado de la Honda es más eficiente aerodinámicamente y por ello probablemente sea este el carenado que se escoja para la fabricación del prototipo, se hizo un análisis más exhaustivo de este modelo. Se le realizaron varios análisis a diferentes velocidades para hallar la curva de fuerza de arrastre en función de la velocidad del aire. Para ello fue necesario cambiar algunas condiciones de contorno:

- Velocidad de entrada del aire.
- Velocidad tangencial del suelo.
- Velocidad angular de ambas ruedas.

Como en todas las simulaciones, se supone que no hay viento en el entorno, por tanto la velocidad de la entrada de aire coincidirá con la velocidad a la que circula el vehículo.

	VELOCIDAD (km/h)							
	0	50	100	140	150	180	200	250
Resistencia Aerodinámica (N)	0	19,1	76,0	148,8	181,8	247,2	304,9	474,8

Figura 10.1: Los datos de esta tabla se han obtenido mediante una simulación para cada velocidad. Los cálculos con CFD de cada una de ellas suponen una duración mínima de tres horas.

Con estos datos obtenemos una gráfica semejante a la mostrada en la figura 5.12 del apartado teórico de esta memoria:

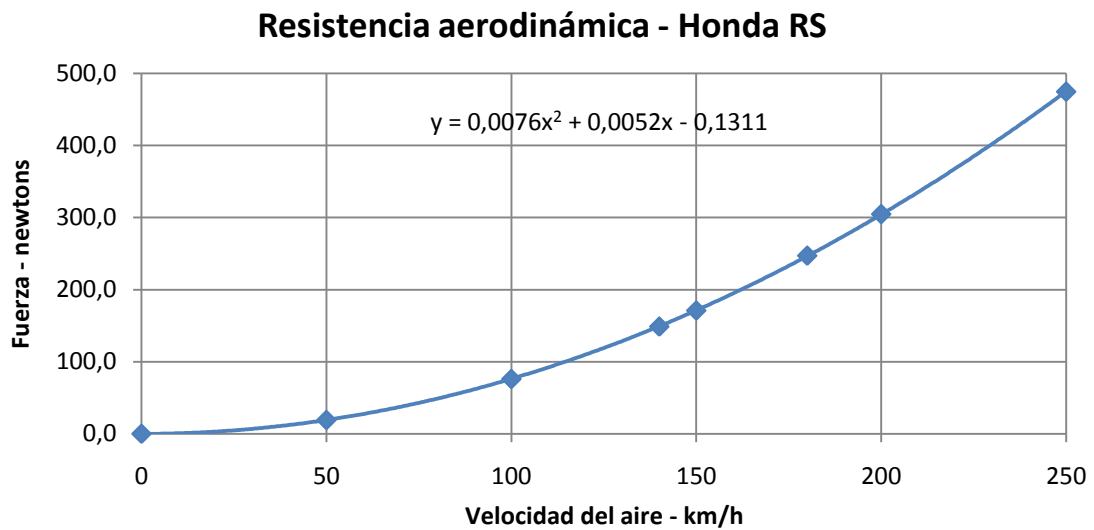


Figura10.2: Fuerza de resistencia aerodinámica frente a la velocidad del aire con el carenado de la Honda RS.

A los datos experimentales se le ha asignado una línea de tendencia polinómica de orden dos, ya que la curva debería seguir la función teórica $F = 1/2 \rho C_x A v^2$, que también es de orden dos.

Para hacer una buena comparación, es necesario ver la resistencia aerodinámica en función de la velocidad que sufriría el vehículo con el otro frontal, es decir, el de la Aprilia. En esta ocasión la curva se ha calculado únicamente de forma teórica, ya que mediante el método anterior ya hemos visto que se tarda mucho tiempo y el resultado se no es muy diferente. Sabiendo que $F = 1/2 \rho C_x A v^2$, obtenemos:

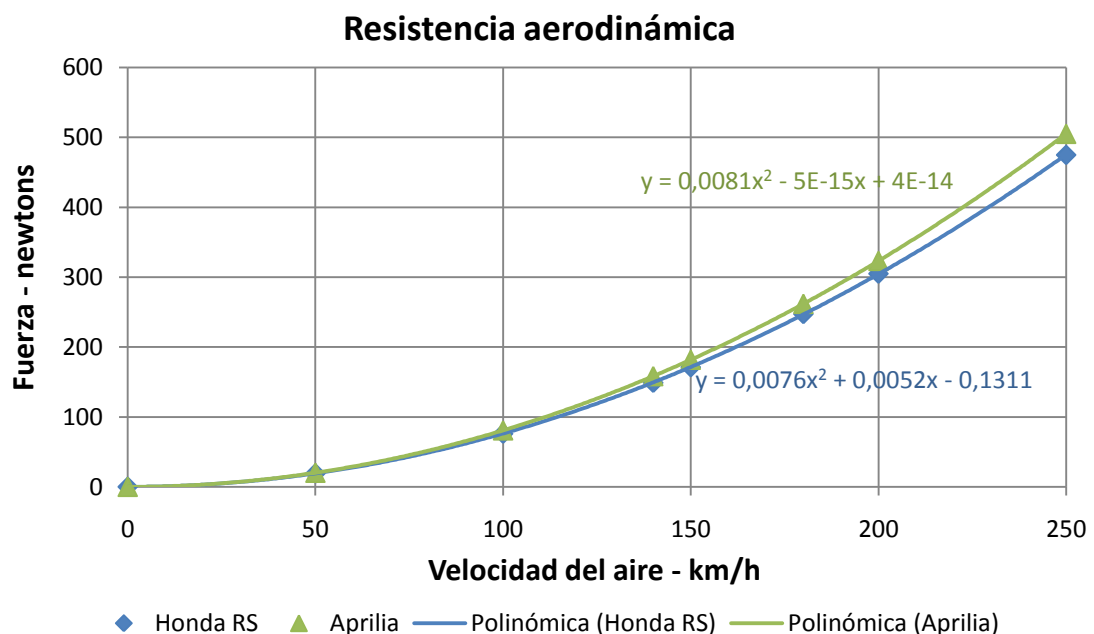


Figura 10.3: Fuerza de resistencia aerodinámica frente a la velocidad del aire.

10.3 VELOCIDAD MÁXIMA

Para calcular la velocidad máxima que puede llegar a alcanzar el vehículo, es necesario conocer por un lado todas las fuerzas que ejercen resistencia al avance y por el otro, la fuerza de empuje que le contrarreste. Es decir, a la velocidad que la fuerza de resistencia al avance total coincida con la fuerza suministrada por el motor al vehículo la aceleración será nula, y por tanto se habrá alcanzado la velocidad máxima posible. Todo se verá más claro y comprensible siguiendo los siguientes cálculos y sus respectivas gráficas.

10.3.1 Fuerzas de resistencia al avance

En las fuerzas de resistencia al avance del vehículo influyen principalmente tres factores:

- La resistencia aerodinámica (calculada en la sección anterior).
- La resistencia de rodadura de los neumáticos.
- La pendiente de la calzada.

Para los siguientes cálculos, en la tabla Excel se ha tenido en cuenta la **pendiente de la calzada**, pero se le ha dado un valor de cero grados. Por tanto no influirá en estos resultados, pero si es necesario, estará disponible para futuras investigaciones.

La **resistencia de rodadura** de los neumáticos, es la resistencia debida a la deformación de estos al efectuar el giro.

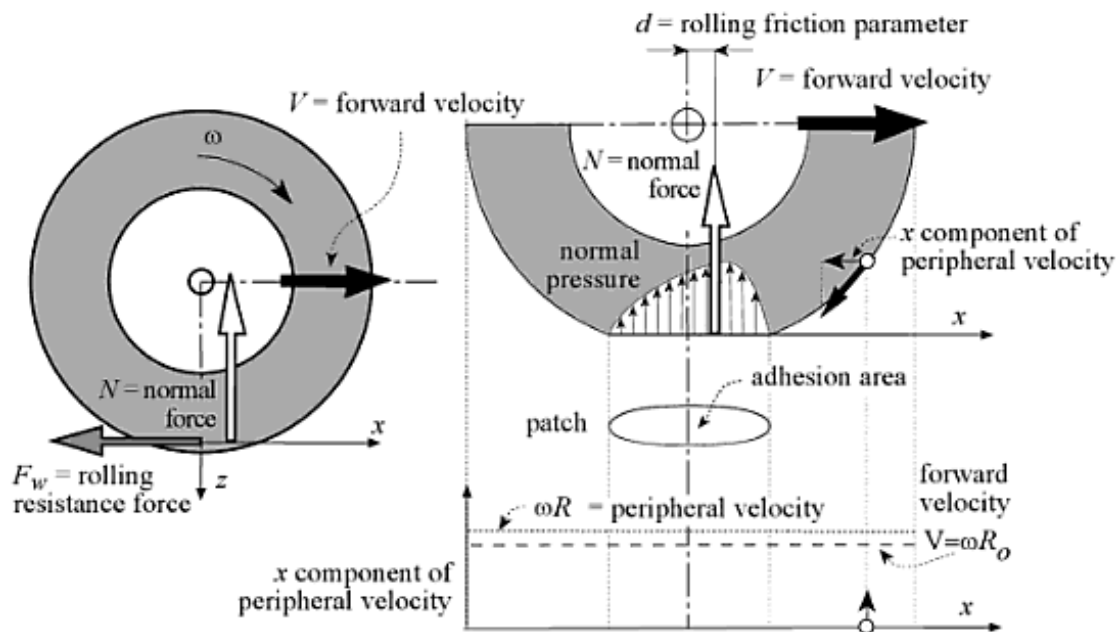


Figura 10.3: Descripción de presiones de contacto y fuerzas actuando en un neumático rodante.

El valor de esta fuerza opositora se obtiene a partir del producto de la carga en la rueda y el coeficiente de resistencia a la rodadura f_w :

$$F_w = f_w \cdot N$$

El valor de f_w varía en función del tipo de neumático, sus dimensiones, sus características y la temperatura. Pero principalmente este coeficiente se ve condicionado por la velocidad lineal y la presión en el neumático. Para calcular este parámetro Kevin Cooper propone las siguientes formulas empíricas donde solo se tienen en cuenta las variables de presión de inflado (bar) y velocidad (km/h):

$$f_w = 0.0085 + \frac{0.018}{p} + \frac{1.59 \cdot 10^{-6}}{p} V^2 \quad \text{para velocidades inferiores a 165 km/h}$$

$$f_w = \frac{0.018}{p} + \frac{2.91 \cdot 10^{-6}}{p} V^2 \quad \text{para velocidades superiores a 165 km/h}$$

Las cargas de los neumáticos se calculan sumando la carga estática con la transferencia de carga:

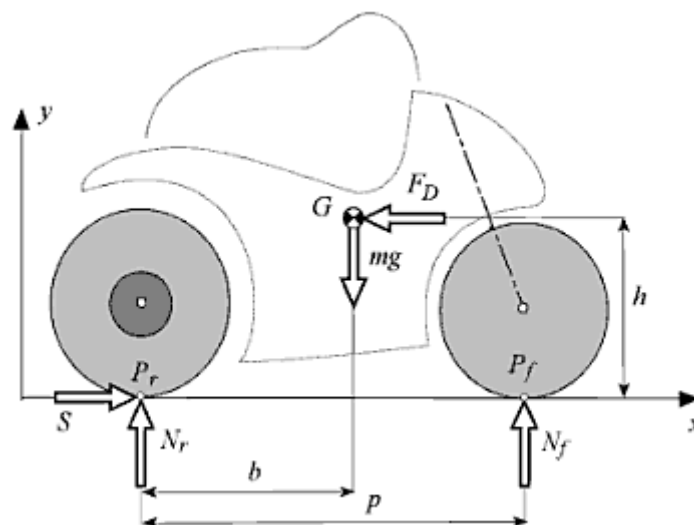


Figura 10.4: Fuerzas que actúan en una motocicleta.

Si hacemos un equilibrio de todas las fuerzas y momentos de la figura obtenemos las cargas dinámicas de los neumáticos:

- Rueda delantera:
$$N_f = mg \frac{b}{p} - S \frac{h}{p}$$

- Rueda trasera:
$$N_r = mg \frac{(p-b)}{p} + S \frac{h}{p}$$

Considerando $S = F_D = \text{fuerza de resistencia aerodinámica}$.

Para completar estos cálculos previamente se recopilaron datos de este y de otros proyectos realizados por compañeros del equipo:

DATOS GENERALES		DATOS CFD HONDA RS	
masa (total)	170	Area frontal	0,4043
Batalla	1250	Cx	0,41
CDGx	700	CxA	0,17
CDGy	650		
Gravedad	9,81	Cz	0,0257
P neum. del. (bar)	1,9	DATOS CFD FRONTAL APRILIA	
P neum. tra. (bar)	1,8	Area frontal	0,4274
Carga del. estática	933,912	Cx	0,41
Carga tras. Estática	733,788	CxA	0,18
Densidad ρ (kg/m ³)	1,18415	Cz	-0,0047
Pendiente (grados)	0		
Resist. Pendiente (N)	0,0		

Figura 10.5: Recopilación de datos necesarios para los cálculos.

Con todo esto tenemos los siguientes resultados en función de la velocidad:

Velocidad (km/h)	0	50	100	140	150	180	200	250
Resist. Aerodin. (N) [H.RS]	0	19,1	76	148,8	171,1	247,2	304,9	474,8
Resist. Aerodin. (N) [Aprilia]	0,0	20,2	80,8	158,4	181,8	261,8	323,3	505,1
Sustentación (N) [H.RS]	0,0	1,2	4,7	9,3	10,7	15,4	19,0	29,7
Sustentación (N) [Aprilia]	0,0	-0,2	-0,9	-1,8	-2,1	-3,0	-3,7	-5,7
Carga neum del. (N) [H.RS]	933,9	924,0	894,4	856,5	844,9	805,4	775,4	687,0
Carga neum tras. (N) [H.RS]	733,8	743,7	773,3	811,2	822,8	862,3	892,3	980,7
Carga neum del. (N) [Aprilia]	933,9	923,4	891,9	851,5	839,4	797,8	765,8	671,3
Carga neum tras. (N) [Aprilia]	733,8	744,3	775,8	816,2	828,3	869,9	901,9	996,4
Coef. Rodadura neum. del.	0,00947	0,01330	0,02479	0,03949	0,04393	0,04509	0,05145	0,07028
Coef. Rodadura neum. Tras.	0,01000	0,01404	0,02617	0,04169	0,04638	0,04712	0,05383	0,07371
Resist. rodadura neum. del. (N)	8,8	12,3	22,2	33,8	37,1	36,3	39,9	48,3
Resist. rodadura neum. tras. (N)	7,3	10,4	20,2	33,8	38,2	40,6	48,0	72,3
Resist rodadura TOTAL (N)	16,2	22,7	42,4	67,6	75,3	76,9	87,9	120,6
Resist. avance TOTAL (N) [H.RS]	16,2	41,8	118,4	216,4	246,4	324,1	392,8	595,4
Resist. avance TOTAL (N) [Apr]	16,2	42,9	123,2	226,0	257,1	338,8	411,2	625,7

Figura 10.6: Tabla de resultados de fuerzas de resistencia al avance.

En la siguiente gráfica se puede ver como hasta los 165 km/h los puntos de muestreo siguen una línea de tendencia y después otra. Esto se debe a las funciones empleadas para el cálculo del coeficiente de resistencia a la rodadura.

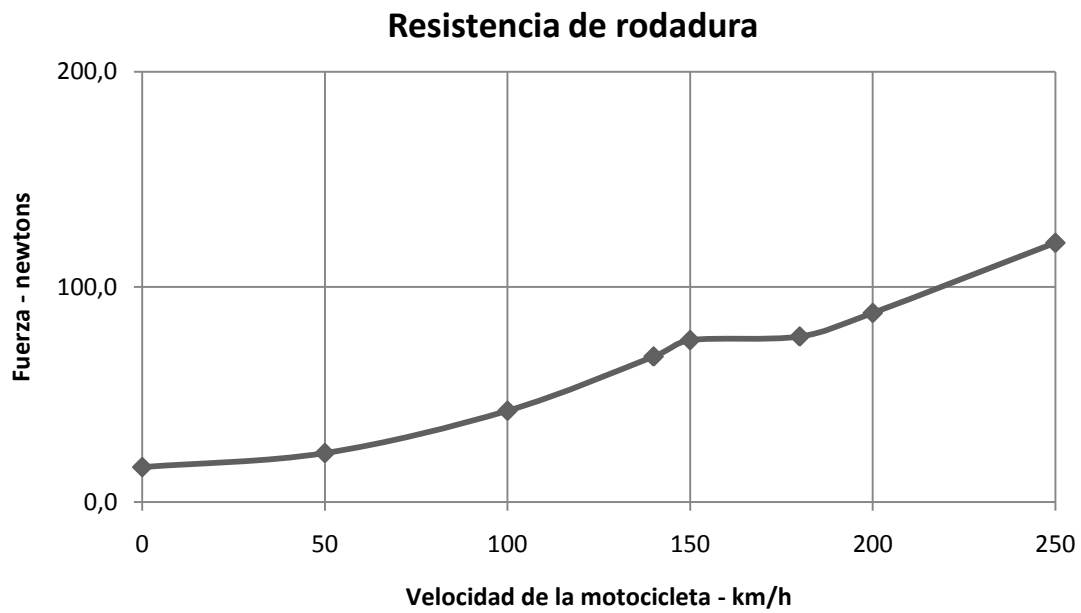


Figura 10.7: Grafica de la fuerza de resistencia de rodadura en la motocicleta, en función de la velocidad.

Si ahora sumamos la resistencia aerodinámica, con la resistencia de rodadura y con las fuerzas debidas a la pendiente (se suponen nulas en este caso), tenemos las fuerzas totales de resistencia al avance:

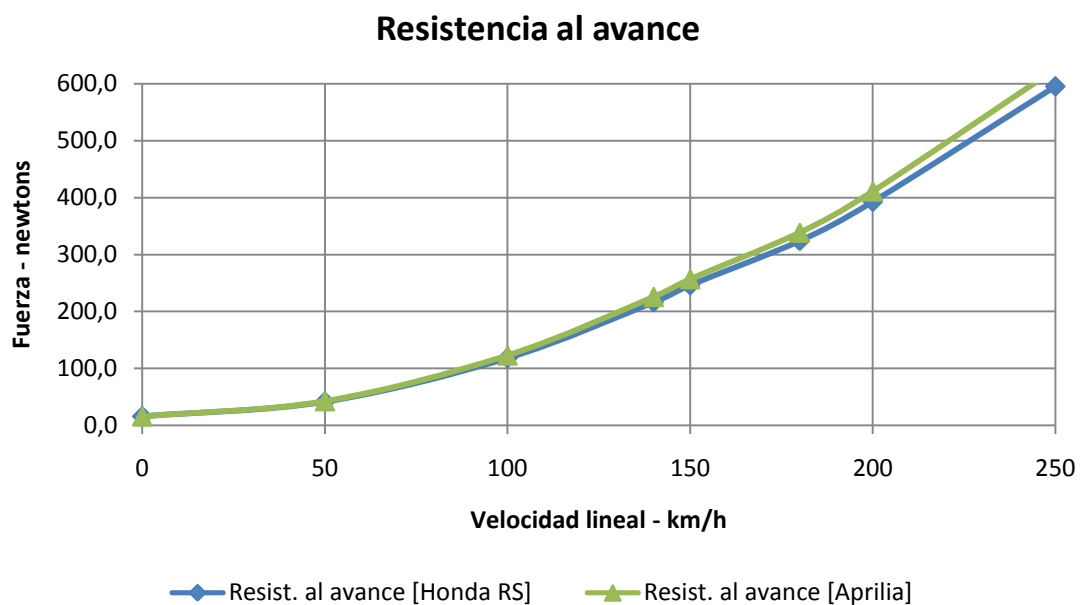


Figura 10.8: Fuerza de resistencia al avance total de los modelos en función de la velocidad.

10.3.2 Fuerza de empuje

La fuerza de empuje, es la fuerza que dispone en vehículo para avanzar. Ésta depende de la potencia del motor y de la serie de engranajes que la transmite a la calzada.

A día de hoy compañera de equipo está empezando a hacer estudios de nuestro motor en un banco de pruebas. Por lo tanto, de momento no disponemos de un mapa de potencias real. No en vano, existen datos teóricos obtenidos por otras dos compañeras de equipo, que se plasmaron sus proyectos finales de carrera ya finalizados. Estos datos se obtuvieron a partir de un software especializado introduciendo los datos del motor, de la admisión y del escape. No coincidirán con la realidad, pero nos pueden dar una idea general de los resultados prácticos. Además, una vez que tengamos los datos reales del banco de pruebas, no habrá más que sustituirlos en la tabla Excel para hallar los resultados finales.

Los datos teóricos del motor son:

rpm	par (Nm)
5000	11,626
6000	11,939
7000	11,726
8000	14,791
9000	19,714
10000	18,129
11000	14,002
12000	11,119
13000	9,163

Figura 10.9: Datos teóricos de par del motor en función de las revoluciones.

Ahora hay que traducir este par en fuerza de empuje en la rueda en función de las revoluciones y la marcha engranada:

$$F = \frac{\text{Par} \cdot \text{Relación primaria} \cdot \text{Relación marcha} \cdot \text{Desarrollo final}}{\text{Radio neumático trasero}}$$

Siendo el desarrollo final el número de dientes de la corona entre el número de dientes del piñón.

La velocidad de la moto en km/h en función de la marcha y las revoluciones se obtiene mediante la siguiente ecuación:

$$V = \frac{\text{rpm} \cdot 60 / 1000 \cdot 2 \cdot \pi \cdot \text{Radio neumático trasero}}{\text{Relación primaria} \cdot \text{Relación marcha} \cdot \text{Desarrollo final}}$$

El radio del neumático trasero es de 0,296 metros y la relación de marchas del motor y la caja de cambios es la siguiente:

Relación marchas	
Relación primaria	63/19
Marcha 1	30/13
Marcha 2	28/15
Marcha 3	26/17
Marcha 4	27/21
Marcha 5	26/23
Marcha 6	24/24

Figura 10.10

El desarrollo final es lo único que podemos variar para optimizar y adecuar la potencia del motor a nuestras necesidades.

CORONAS														
	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
PIÑONES	8	2.75	2.88	3.00	3.13	3.25	3.38	3.50	3.63	3.75	3.88	4.00	4.13	4.25
	9	2.44	2.56	2.67	2.78	2.89	3.00	3.11	3.22	3.33	3.44	3.56	3.67	3.78
	10	2.20	2.30	2.40	2.50	2.60	2.70	2.80	2.90	3.00	3.10	3.20	3.30	3.40
	11	2.00	2.09	2.18	2.27	2.36	2.45	2.55	2.64	2.73	2.82	2.91	3.00	3.09
	12	1.83	1.92	2.00	2.08	2.17	2.25	2.33	2.42	2.50	2.58	2.67	2.75	2.83
	13	1.69	1.77	1.85	1.92	2.00	2.08	2.15	2.23	2.31	2.38	2.46	2.54	2.62
	14	1.57	1.64	1.71	1.79	1.86	1.93	2.00	2.07	2.14	2.21	2.29	2.36	2.43
	15	1.47	1.53	1.60	1.67	1.73	1.80	1.87	1.93	2.00	2.07	2.13	2.20	2.27
16	1.38	1.44	1.50	1.56	1.63	1.69	1.75	1.81	1.88	1.94	2.00	2.06	2.13	
17	1.29	1.35	1.41	1.47	1.53	1.59	1.65	1.71	1.76	1.82	1.88	1.94	2.00	
18	1.22	1.28	1.33	1.39	1.44	1.50	1.56	1.61	1.67	1.72	1.78	1.83	1.89	

	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	
PIÑONES	8	4.38	4.50	4.63	4.75	4.88	5.00	5.13	5.25	5.38	5.50	5.63	5.75	5.88
	9	3.89	4.00	4.11	4.22	4.33	4.44	4.56	4.67	4.78	4.89	5.00	5.11	5.22
	10	3.50	3.60	3.70	3.80	3.90	4.00	4.10	4.20	4.30	4.40	4.50	4.60	4.70
	11	3.18	3.27	3.36	3.45	3.55	3.64	3.73	3.82	3.91	4.00	4.09	4.18	4.27
	12	2.92	3.00	3.08	3.17	3.25	3.33	3.42	3.50	3.58	3.67	3.75	3.83	3.92
	13	2.69	2.77	2.85	2.92	3.00	3.08	3.15	3.23	3.31	3.38	3.46	3.54	3.62
	14	2.50	2.57	2.64	2.71	2.79	2.86	2.93	3.00	3.07	3.14	3.21	3.29	3.36
	15	2.33	2.40	2.47	2.53	2.60	2.67	2.73	2.80	2.87	2.93	3.00	3.07	3.13
16	2.19	2.25	2.31	2.38	2.44	2.50	2.56	2.63	2.69	2.75	2.81	2.88	2.94	
17	2.06	2.12	2.18	2.24	2.29	2.35	2.41	2.47	2.53	2.59	2.65	2.71	2.76	
18	1.94	2.00	2.06	2.11	2.17	2.22	2.28	2.33	2.39	2.44	2.50	2.56	2.61	

	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
PIÑONES	8	6.00	6.13	6.25	6.38	6.50	6.63	6.75	6.88	7.00	7.13	7.25	7.38	7.50
	9	5.33	5.44	5.56	5.67	5.78	5.89	6.00	6.11	6.22	6.33	6.44	6.55	6.67
	10	4.80	4.90	5.00	5.10	5.20	5.30	5.40	5.50	5.60	5.70	5.80	5.90	6.00
	11	4.36	4.45	4.55	4.64	4.73	4.82	4.91	5.00	5.09	5.18	5.27	5.36	5.45
	12	4.00	4.08	4.17	4.25	4.33	4.42	4.50	4.58	4.67	4.75	4.83	4.92	5.00
	13	3.69	3.77	3.85	3.92	4.00	4.08	4.15	4.23	4.31	4.38	4.46	4.54	4.62
	14	3.43	3.50	3.57	3.64	3.71	3.79	3.86	3.93	4.00	4.07	4.14	4.21	4.28
	15	3.20	3.27	3.33	3.40	3.47	3.53	3.60	3.67	3.73	3.80	3.87	3.94	4.00
16	3.00	3.06	3.13	3.19	3.25	3.31	3.38	3.44	3.50	3.57	3.63	3.70	3.76	
17	2.82	2.88	2.94	3.00	3.06	3.12	3.18	3.24	3.29	3.35	3.41	3.47	3.53	
18	2.67	2.72	2.78	2.83	2.89	2.94	3.00	3.06	3.11	3.17	3.22	3.28	3.33	

FACTOR

→ MAYOR ARRANQUE
 ← MAYOR VELOCIDAD FINAL

Figura 10.11: Relación Corona-Piñón.

- Cuanto mayor es el factor, menor velocidad final y mayor arranque.
- Cuanto menor es el factor, mayor velocidad final y menor arranque.

Para los siguientes resultados se empleó un factor de valor 2 con una corona de 24 dientes y un piñón de 12. Si plasmamos en una gráfica la fuerza de empuje frente a la velocidad, este es el resultado:

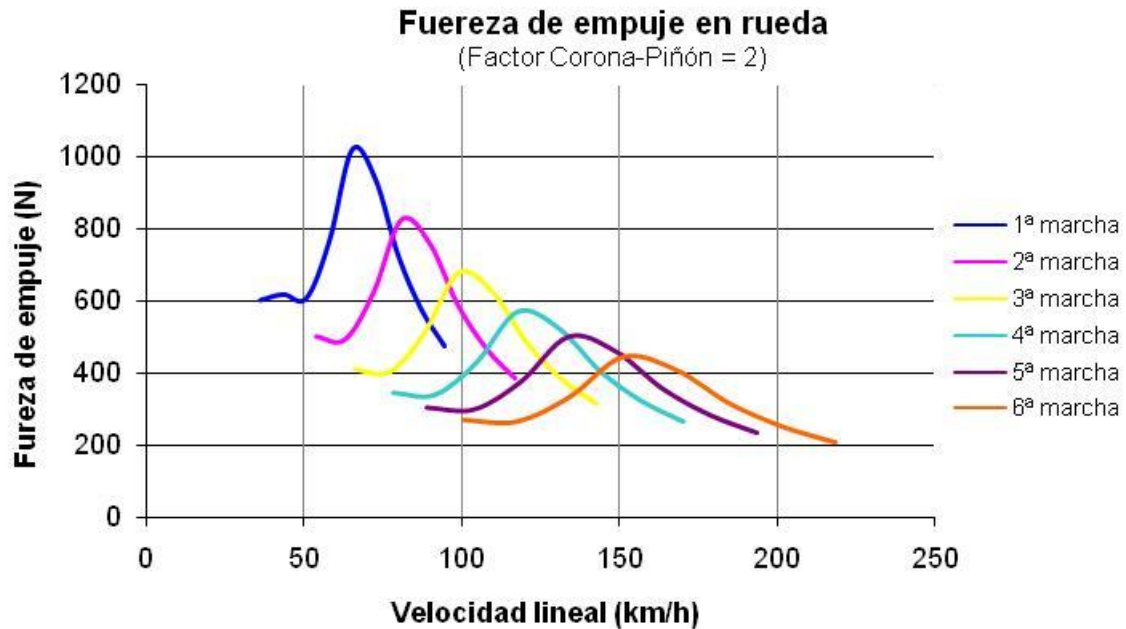


Figura 10.12: Datos teóricos de fuerza de empuje en la rueda en función de la velocidad con una relación corona-piñón igual a 2.

Por poner otro ejemplo y ver qué ocurre, vemos que si aumentamos el valor del factor corona-piñón a un valor de 2,86 con una corona de 40 dientes y un piñón de 14, las curvas de la gráfica tienden a aumentar en fuerza y a reducirse en velocidad:

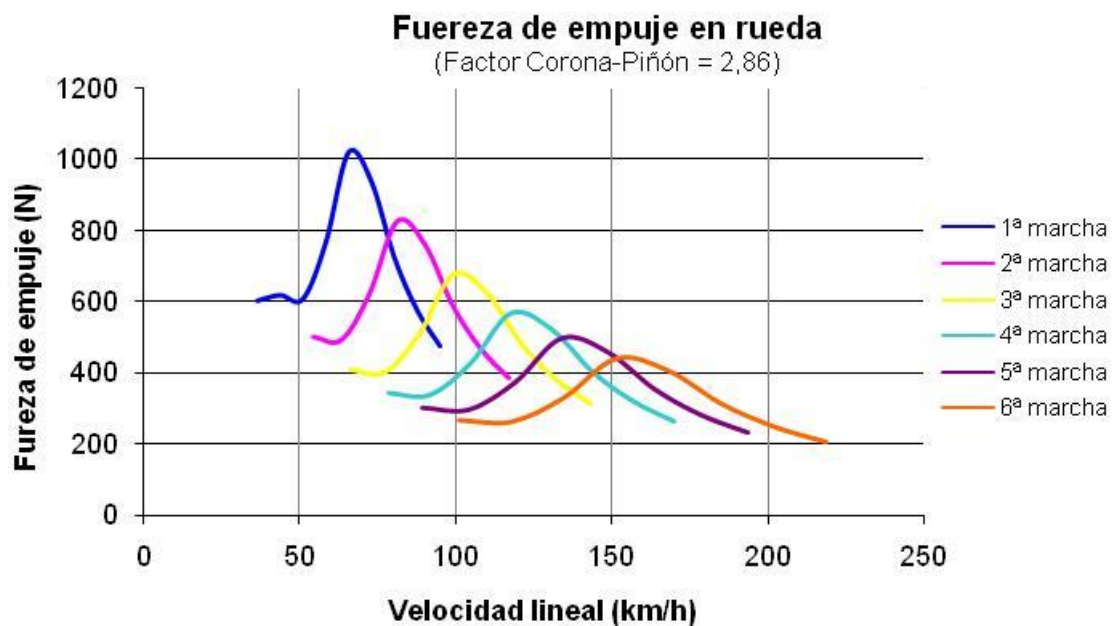


Figura 10.13: Datos teóricos de fuerza de empuje en la rueda en función de la velocidad con una relación corona-piñón igual a 2,86.

10.3.3 Optimización de velocidad máxima

Para hallar la velocidad máxima teórica con los datos que tenemos, simplemente hay que comparar la fuerza de empuje con la de resistencia al avance total y ver a qué velocidad se igualan. A esa velocidad se mantendrá un equilibrio de fuerzas en la dirección de avance y por tanto la aceleración del vehículo será nula. Es decir, esa será la velocidad máxima alcanzable con esas condiciones de contorno.

La velocidad máxima se alcanzará en 6ª marcha, así que con comparar la curva de esta marcha es suficiente.

Con una corona de 24 dientes y un piñón de 12 dientes, la velocidad final del modelo con el frontal Aprilia será de unos 180 km/h. En cambio, la del modelo de la Honda será de unos 182 km/h.

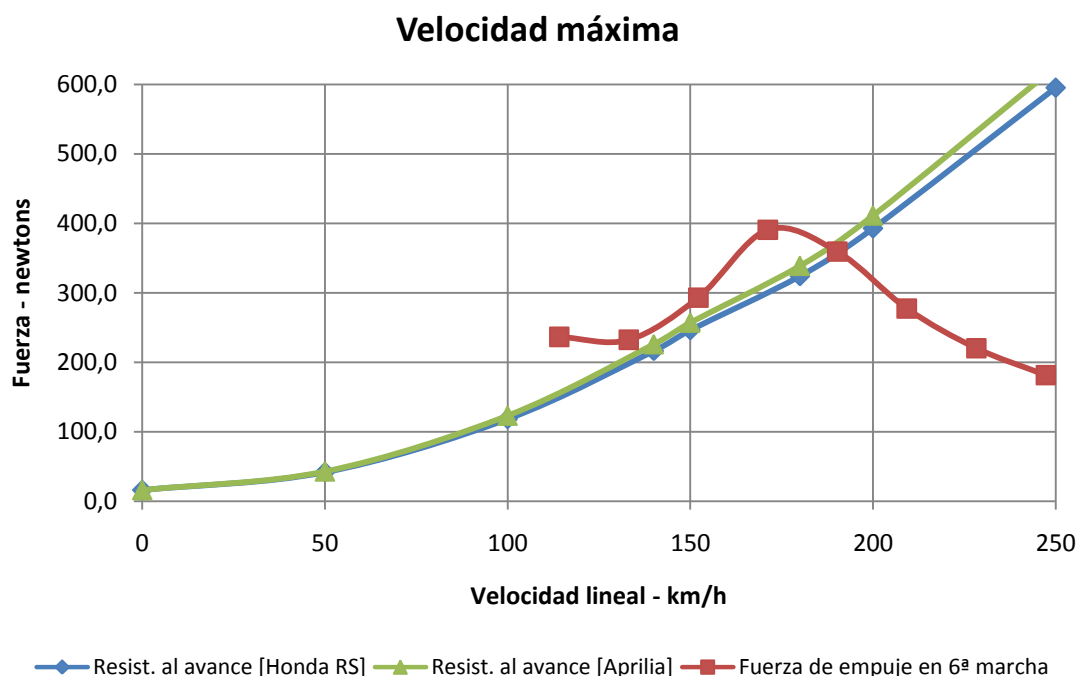


Figura 10.14: Velocidad máxima con un factor corona-piñón de 2.

El punto de intersección entre la curva de empuje y la de avance marca la velocidad que estamos buscando.

Si queremos optimizar la moto para alcanzar la mayor velocidad máxima posible, debemos buscar el tamaño del piñón y de la corona que nos dé un mayor resultado. En la tabla Excel se puede cambiar fácilmente el número de los dientes y observar cómo reacciona la curva de empuje.

En este caso, las relaciones de corona-piñón entorno a 1,75 son las que **mayor velocidad punta** alcanzan. Por ejemplo, con una corona de 23 y un piñón de 13 se alcanza una velocidad de **190,5 km/h con la Honda**.

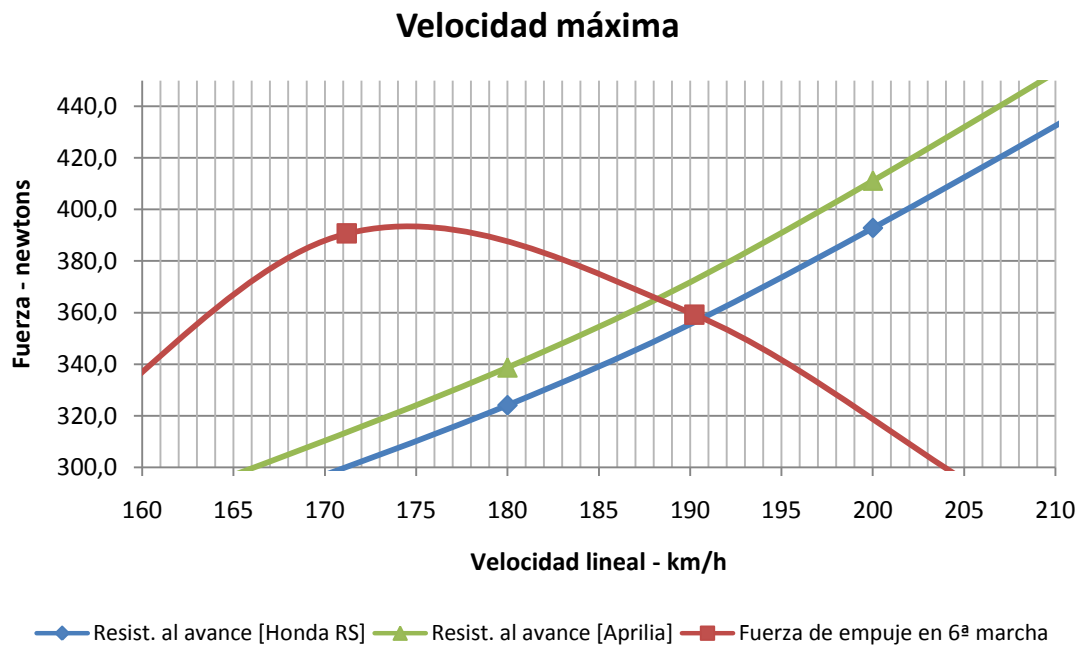
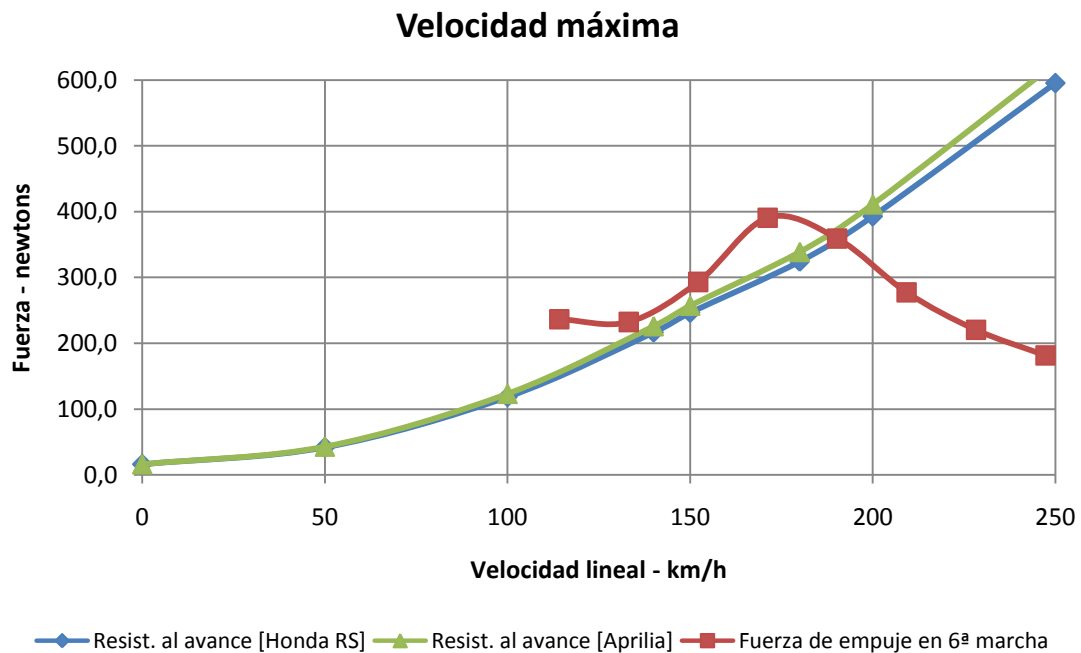


Figura 10.15: Velocidad máxima alcanzable.

El inconveniente de usar esta relación, es que el arranque será muy débil y habría que conducir en primera marcha hasta los 80 km/h. Seguramente el recorrido de las seis marchas sea muy corto debido a que el motor proviene de una motocicleta de campo y no está preparada para altas velocidades, sino para ofrecer un alto par. Por tanto este factor del desarrollo final será poco viable. Habrá que hacer un balance más detallado de las posibilidades con métodos prácticos.

11 CONCLUSIONES

Tras haber realizado un exhaustivo estudio y análisis aerodinámico, en este Proyecto se obtienen diversas **conclusiones** que se deberán tener en cuenta a la hora de fabricar y construir la motocicleta del equipo.

Después de evaluar todas las posibilidades para el desarrollo de la parte aerodinámica del proyecto y teniendo en cuenta el presupuesto disponible, el número de personas implicadas y las horas disponibles de dedicación, se decidió que la opción más adecuada era **adquirir un carenado existente** en el mercado y amoldarlo a las dimensiones de la motocicleta.

Se estudiaron los **carenados** de competición existentes y el posible método de adquisición. Finalmente se consiguió un préstamo temporal de unos de los más punteros en la competición de motocicletas de 125cc en los últimos años. Las motos originales de estos carenados son una **Honda RS 125** y una **Aprilia RS 125**.

Para hacer una comparativa y seleccionar el mejor de ellos, se recurrió al **análisis** mediante simulación por elementos finitos, es decir, a la **dinámica de fluidos computacional** (CFD). A través de la universidad, este es uno de los métodos más accesible y asequible para nuestro equipo. Además es de ámbito muy ingenieril, ya que se pueden obtener numerosos tipos de resultados. Enseguida se descartó la posibilidad de emplear otros métodos, como puede ser el túnel de viento, ya que no disponemos ni de medios ni de presupuesto suficiente.

De entre los dos carenados analizados mediante software CFD, la **Honda RS** muestra **mejores resultados** en la mayoría de prestaciones frente al carenado de la Aprilia, aunque la diferencia entre ellas no es muy significativa. A pesar de que la Aprilia parece tener un carenado más elaborado y estudiado aerodinámicamente, la Honda sufre una menor resistencia al avance. Por el contrario, también sufre de una mayor sustentación. Esto se traduce en una mayor velocidad punta pero con la posibilidad de tener menos estabilidad a altas velocidades. De entre estas dos propiedades, en este caso, la velocidad punta se considera más importante y además la diferencia es más acusada que en la estabilidad. A pesar de ello, la diferencia sigue siendo muy reducida, ya que los resultados indican que con el carenado de la Honda RS se llegaría a alcanzar entre 2 y 3 km/h más de velocidad punta, aunque podría aumentar con los datos reales del motor.

Hay que recordar que **las geometrías** empleadas en las simulaciones **son un modelo aproximado de la realidad**, ya que son modelos virtuales dibujados en tres dimensiones adaptados a los requisitos del análisis y a las limitaciones de hardware. La diferencia más notoria es la ausencia de flujos internos. Los resultados se ven afectados en la resistencia al avance y en la sustentación, pero muy probablemente afecten a los dos carenados por igual, así que la **comparación** sigue siendo **totalmente válida**.

	Honda RS 125	Aprilia RS 125
Area frontal (S)	0,4043 m ²	0,4274 m ²
Coeficiente aerodinámico (Cx)	0,41	0,41
SCx	0,17 m ²	0,18 m ²
Coeficiente de elevación (Cz)	0,0257	-0,0047
Resistencia aerodinámica (a 140 km/h)	148,8 N	158,4 N
Sustentación (a 140 km/h)	9,3 N	-1,8 N
Velocidad punta (relación corona piñón 23/13)	190,5 km/h	188 km/h

Figura 11.1: Tabla comparativa de resultados

Por otro lado, **los cálculos se han basado en datos teóricos** obtenidos de otros Proyectos Finales de Carrera realizados por otros compañeros de equipo. Por lo tanto, algunos de los resultados, como puede ser la velocidad punta final o el tamaño óptimo del piñón y la corona, son meramente orientativos. No en vano, estos cálculos ya estarán preparados para cuando se vayan obteniendo datos reales. De hecho, ya se están realizando análisis en un banco de pruebas y en breve se dispondrá de datos fiables de la potencia del motor. Entonces, los cálculos a partir de estos datos serán más que orientativos.

Finalmente, la conclusión más relevante del presente Proyecto Final de Carrera es que **el diseño de los carenados analizados más óptimo y el que mejor se adapta a las necesidades del equipo, es la Honda RS de 125cc del año 2004**. Por tanto se recomienda la adquisición de este modelo de carenado para posteriormente realizarle las modificaciones o adaptaciones pertinentes.

Una **modificación aconsejable**, sería añadirle unos pequeños spoilers en la parte final de la quilla, como tiene la Aprilia para evitar las turbulencias que se pueden apreciar en la *figura 9.19*.

Un nuevo **cálculo con el diseño final** sería muy recomendable para ver si todas estas pequeñas variaciones y adaptaciones que vayan surgiendo realmente mejoran la aerodinámica de la moto. Pero es mejor no hacer el análisis completo aún, ya que se tendrá que realizar en la parte final de la fabricación de la moto, teniendo en cuenta todos los cambios y adaptaciones aún no concretadas, conclusiones de otros proyectos, etc. La posición del tubo de escape y el tamaño del radiador son un claro ejemplo, ya que todavía están por concretar y puede afectar notablemente en la adaptación del carenado.

El modelo de simulación desarrollado a lo largo de este proyecto servirá para analizar la conveniencia de futuros cambios y adaptaciones. Así se podrá estudiar en un

breve espacio de tiempo si la modificación propuesta por otros miembros del equipo mejora o empeora el perfil aerodinámico de la motocicleta.

12 BIBLIOGRAFÍA

Lista de los libros de consulta, catálogos, documentos, artículos y páginas web que han sido usados para la realización del PFC:

- CURSO DE AERODINÁMICA Y CFD DE COMPETICIÓN. Timoteo Briet Blanes. Apuntes formativos 2009.
- MOTOCICLETAS, COMPORTAMIENTO DINÁMICO Y DISEÑO DE CHASIS. Tony Foale. Ed Tony Foale.
- MOTORCYCLE DYNAMICS. Vittore Cossalter. Second Edition. 2006.
- RACING MOTORCYCLE: A TECHNICAL GUIDE FOR CONSTRUCTORS. John Bradley. Broadland Leisure Publications, 2003.
- MOTOCICLETAS. M. Arias-Paz. Ed CIE Inversiones Editoriales Dossat 2.000 s.l. 2003.
- MOTOCICLETAS CHASIS. John Robinson. Ed Paraninfo S.A. 1992.
- INGENIERÍA DE MOTOCICLETAS. Cesar Diaz de Cerio y José Sancho. Apuntes formativos 2009.
- INGENIERÍA DE AUTOMOCIÓN. José Sancho. Apuntes formativos 2009.
- REGLAMENTO TÉCNICO. MotoStudent. 2009.
- AERODINÁMICA DEL AUTOMOVIL DE COMPETICIÓN. Simon Mcbeath. Ed CEAC (España).
- MECÁNICA DE FLUIDOS. Frank M. White. Ed Mc Graw Hill 2004.
- MECÁNICA DE LOS FLUIDOS. Victor L. Streeter, E. Benjamin Wyle. Ed Mc Graw Hill 1988.
- AERODINAMICA. Paolo Luchini & Maurizio Quadrio. Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Aerospaziale 2001-2002.
- MANUAL CATIA, Dassault Systemes.
- ANÁLISIS DE LA AERODINÁMICA DE UN AUTOMOVIL DE COMPETICIÓN. Carlos Sacco, E. Gonzalez y F. Giuggioloni. Dpto. Mec. Aer., Facultad de Ingeniería, Instituto Universitario Aeronáutico, Córdoba, Argentina. 2005.

Referencias en internet:

- <http://www.fisicanet.com.ar/>
- <http://www.racecartechnology-blog.com/>
- <http://www.racecartechnology.com/>
- <http://www.eurospares.com/>
- <http://www.photomodeler.com/>
- <http://www.catia5.es/>
- <http://www.km77.com/>



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO INDUSTRIAL

Título del proyecto:

DISEÑO Y ANÁLISIS AERODINÁMICO DE UNA
MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN

ANEXO I

Unai Zabala Versteeg

Pedro María Villanueva Roldán

Pamplona, 29 de Abril de 2010

ÍNDICE

1. NORMATIVA GENERAL MOTOSTUDENT

2. REGLAMENTO TÉCNICO MOTOSTUDENT

3. PRESUPUESTOS CARENADOS

3.1 - HONDA RS 125 - año 2002

3.2 - HONDA RSW 125 - año 2004

3.3 - APRILIA RS 125 GP - año 2002

3.4 - APRILIA RS 125 GP - año 2006

3.5 - APRILIA RS 125 GP - año 2007

3.6 - APRILIA RS 125 GP - año 2006-2008

3.7 - APRILIA RS 125 GP - año 2008

NORMATIVA GENERAL MOTOSTUDENT V10

ÍNDICE

1. OBJETIVO DE LA COMPETICIÓN	2
2. FASES DE LA COMPETICIÓN	3
3. CALENDARIO.....	4
4. REGLAMENTO.....	5
4.1. Idiomas oficiales.....	5
4.2. Autoridades sobre el reglamento	5
4.3. Validez del reglamento.....	5
4.4. Conocimiento del reglamento.....	5
4.5. Cumplimiento del reglamento.....	5
4.6. Violación de las normas del reglamento	5
4.7. Impugnación a otros vehículos.....	1
4.8. Cambios en la reglamentación.....	6
5. NORMATIVA SOBRE LOS EQUIPOS	7
5.1. Requisitos individuales de los participantes.....	7
5.2. Requisitos de los equipos	7
5.3. Mentor e Tutor del equipo. Representantes oficiales de los equipos	7
5.4. Aspectos federativos	7
5.5. Seguros	8
5.6. Asistencia externa a los equipos Universitarios.....	8
5.7. Número de equipos participantes.....	8
6. INSCRIPCIÓN	9
6.1. Cuotas de inscripción	9
6.2. Formalización de la inscripción	9
ANEXO A: DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS.....	10
A.1. Fases previas a las jornadas competitivas	10
A.2. Fase MS1.....	10
A.2.1. Demostración del prototipo.....	10
A.2.2. Presentación del proyecto industrial.....	11
A.2.3. Jurados	11
A.2.4. Premios.....	11
A.3. Fase MS2.....	12
A.3.1. Pruebas de seguridad en banco.....	12
A.3.2. Evaluación de prestaciones.....	12
A.3.3. Carrera.....	12
A.3. Premios	13

1. OBJETIVO DE LA COMPETICIÓN

La competición MotoStudent promovida por la fundación Moto Engineering Foundation (en adelante MEF) es un desafío entre equipos universitarios de distintas UNIVERSIDADES españolas, europeas y del resto del mundo.

Consiste en diseñar y desarrollar un prototipo de moto de competición de pequeña cilindrada 125 cm³, 2 tiempos, que competirán con su evaluación pertinente, en unas jornadas que se llevarán a cabo inicialmente en las instalaciones de la Ciudad del Motor de Aragón. Para el propósito de esta competición, el equipo universitario debe considerarse integrado en una empresa fabricante de motos de competición, para desarrollar y fabricar un prototipo bajo unos condicionantes técnicos y económicos dados. La competición en sí misma es un reto para los estudiantes, donde estos en un periodo de tiempo de tres semestres han de demostrar y probar su capacidad de creación e innovación y la habilidad de aplicar directamente sus capacidades como ingenieros en comparación con los otros equipos de universidades de todo el mundo.

2. FASES DE LA COMPETICIÓN

Las motos serán juzgadas en unas series de eventos tanto estáticos como dinámicos, que incluirán: exposiciones orales y de “panel”, inspecciones técnicas, demostraciones dinámicas, etc. Para poder evaluar y puntuar los proyectos, la competición tendrá un proceso de selección por fases.

Para que las motos y proyectos entren en competición o concurso deberán cumplir los requisitos previos de resistencia seguridad y funcionamiento indicados en el reglamento técnico.

Los equipos, que superen estos requisitos, competirán en la fase MS1 en la cual se evaluará el proyecto bajo el punto de vista industrial con especial atención a aspectos estéticos, técnico y económico. Esta evaluación, con sus criterios, jurado y premios se indican en el ANEXO a este documento.

Las motos que superen estas pruebas participarán en la fase de pruebas dinámicas denominada MS2.

Estas pruebas consistirán en una evaluación de cualidades de pilotaje efectuadas por probadores expertos. Para la valoración final se desarrollará una carrera en la que los participantes serán pilotos federados de copas de promoción, seleccionados por la organización. Las pruebas y su valoración se encuentran definidos en el ANEXO mencionado.

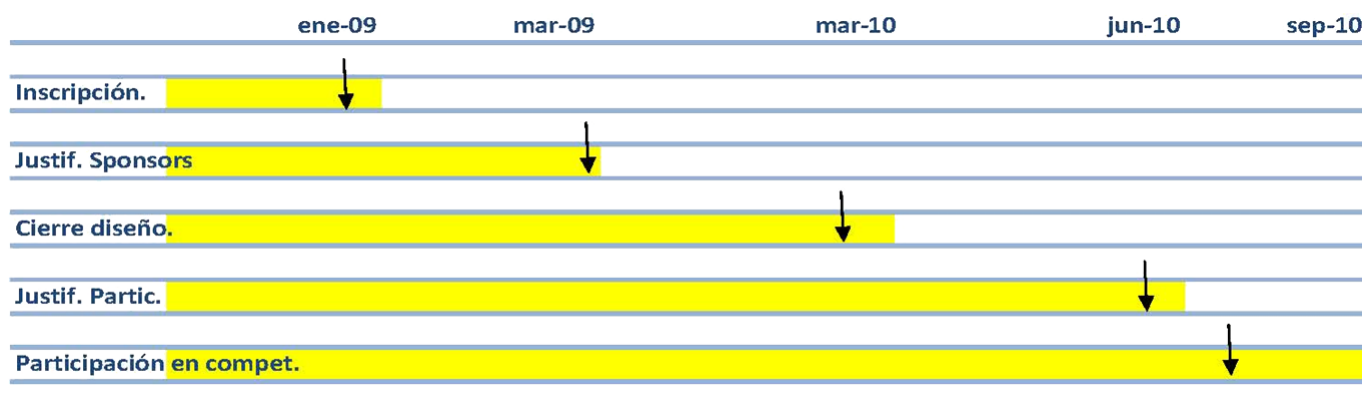
Niveles a superar por los equipos participantes:

	Excluyente	Puntuable
Requisitos mínimos	Si	No
Fase MS1 (Proyecto)	Si	Si
Fase MS2 (Seguridad)	Si	No
Fase MS2 (Pruebas dinámicas)	Si	Si
Fase MS2 (Carrera)	Si	Si

Todos los equipos participantes para ser evaluados en cualquiera de las categorías deben superar el nivel mínimo tanto en MS1 como en MS2, es decir ningún equipo puede fijarse como objetivo participar en una sola de las categorías ya que este hecho conculca el espíritu mismo de la competición.

3. CALENDARIO

El Calendario de la competición tiene una serie de fechas claves para los distintos equipos participantes y que deben cumplir con objeto de que entren en la evaluación final de la competición ya que se trata de desarrollar no solo un prototipo sino un proyecto de Ingeniería.



4. REGLAMENTO

4.1. Idiomas oficiales

Los idiomas oficiales de la competición MotoStudent serán español e inglés. La entrega de documentación, exposiciones públicas e información relativa a la competición será aceptable en ambos idiomas.

4.2. Autoridades sobre el reglamento

El reglamento de MotoStudent es de responsabilidad única de la fundación MEF. Cualquier comunicado oficial que parta de Moto Engineering Foundation se ha de considerar como parte y ha de tener la misma validez que el reglamento aquí publicado.

Las ambigüedades o cuestiones concernientes al significado o intenciones de este reglamento serán resueltas por la fundación MEF. Todas estas cuestiones, formularios de consulta, etc., se encontrarán disponibles, para los equipos participantes, en una base de datos preparada a tal efecto en la web. de MEF. Así mismo quedarán correspondientemente archivadas las consultas y respuestas en una estructura informática dispuestas a nivel general o a nivel particular para cada equipo.

4.3. Validez del reglamento

El reglamento de MotoStudent publicado en la web de la MEF y fechado en el calendario de la competición, serán las normas que tendrán efecto para cada una de las ediciones.

4.4. Conocimiento del reglamento

Se hace responsable a los equipos de la lectura y conocimiento del reglamento y sus normas para la competición a la que se presentan. El reglamento de la competición incluye no solo este reglamento base sino todos los anuncios oficiales que sean publicados en la web. de la competición motostudent.com.

4.5. Cumplimiento del reglamento

Al entrar en la competición, los equipos universitarios, tanto sus miembros individuales, los tutores de cada universidad, y cualquier otro personal adscrito al equipo universitario estarán sujetos al cumplimiento de las normas reflejadas por el reglamento y/o anunciadas por la MEF. Todos los equipos, tutores universitarios y representantes universitarios deben cooperar y seguir las instrucciones de organizadores y jueces de la MEF.

4.6. Violación de las normas del reglamento

La violación intencionada de las normas y reglas aquí expresadas supondrá la expulsión de la competición sin opción a la reclamación en caso de que se pruebe que fue intencionada y esté demostrada. Cualquier cuestión, duda o comentario se deberá remitir al comité organizador del evento según proceda.

4.7. Impugnación a otros equipos

El Comité Organizador de la prueba se reserva el derecho, en cualquier momento de la competición, de inspeccionar y examinar las actividades de los equipos en competición. Cualquier aspecto detectado en la inspección que vulnere los principios de la competición puede llevar aparejado al equipo correspondiente a verse apartado de la competición. Cualquier equipo puede impugnar a otro equipo participante en el caso de observar anomalías. No obstante, deberá presentar una fianza previa a la reclamación que será devuelta por la organización en caso de que la reclamación prospere. “La cuantía de la fianza” será fijada por la organización.

El Comité Organizador de la prueba se reserva el derecho, en cualquier momento de la competición, de inspeccionar y examinar las actividades de los equipos en competición. Cualquier aspecto detectado en la inspección que vulnere los principios de la competición puede llevar aparejado al equipo correspondiente a verse apartado de la competición. Cualquier equipo puede impugnar a otro equipo participante en el caso de observar anomalías. Las impugnaciones deberán obligatoriamente presentarse por escrito, indicando el artículo del reglamento que se considera violado, con pruebas suficientes para su verificación. Adicionalmente, deberá presentarse una fianza simultáneamente a la reclamación que será devuelta por la organización en caso de que la reclamación prospere. “La cuantía de la fianza” será fijada por la organización y podría llegar según el caso a la cuantía del primer premio.

4.8. Cambios en la reglamentación

El Comité Organizador se reserva el derecho de revisar el calendario de la competición y/o modificar el reglamento de la competición en cualquier momento y usando cualquier medio que haga mas eficiente la difusión de las mismas para el evento de MotoStudent, quedando registrado en la página web de la competición.

5. NORMATIVA SOBRE LOS EQUIPOS

5.1. Requisitos individuales de los participantes

La competición pretende, como aspecto fundamental ser un vehículo de formación complementaria para los estudiantes. La competición es puramente de ingeniería y no un campeonato de velocidad por estas consideraciones la elegibilidad esta limitada a estudiantes universitarios de grado o postgrado.

Para pertenecer a un equipo inscrito en la competición los alumnos deben estar matriculados en una Universidad Pública o Privada. Estos deben estar matriculados en un grado o postgrado. Como mínimo, tienen que haber superado el 50% de los créditos de su carrera de grado universitario. Se establece una edad mínima de 18 años para los miembros integrantes del equipo.

5.2. Requisitos de los equipos

Los equipos y los miembros que lo integran, registrados en la competición serán considerados como “participantes de la prueba” desde su inscripción, hasta la conclusión del evento. Cada equipo tendrá un mínimo de 7 participantes y un máximo de 15. Todo equipo universitario participante en MotoStudent deberá llevar como parte de su identificación el nombre de la Universidad o Centro Universitario a la que pertenece.

A su vez también pueden colaborar en la fase de desarrollo con el equipo otros centros Formativos como por ejemplo Centros de Formación de Educación Secundaria que por especiales características de equipamiento pueden complementar a la Universidad participante Sin embargo en las jornadas de Competición solamente podrán acceder a los distintos parques de trabajo los alumnos inscritos oficialmente.

Hasta seis meses (semestre académico) antes de la celebración de las pruebas será posible modificar la composición del equipo, siempre que un mínimo del 60% de sus componentes pertenezca al equipo inicial inscrito. En ningún caso se podrá reducir el número de componentes, es decir, en las modificaciones de la composición sólo se podrá sustituir o añadir participantes. Estas modificaciones deberán comunicarse puntualmente a la Organización. Las sustituciones no conllevan gasto adicional.

5.3. Tutor del equipo. Representantes oficiales de los equipos

Cada equipo debe nombrar un tutor de la universidad, siendo este un profesor de Universidad o personal técnico de la misma. Así mismo dicho tutor deberá acompañar al equipo de estudiantes a la competición y será considerado por los organizadores de la competición como el representante oficial del equipo de la universidad.

El tutor junto con el alumno Delegado, alumno elegido por los estudiantes, serán los responsables de mantener el contacto con la Organización y serán los únicos representantes oficiales de los equipos reconocidos por la Organización.

5.4. Aspectos federativos

Al ser pruebas de ingeniería y no de velocidad, los equipos no tendrán como requisito la necesidad de demostrar que algunos de los integrantes tengan licencias federativas expeditas por la autoridad competente, más

aun, cuando las pruebas dinámicas serán realizadas por pilotos externos a los equipos y elegidos por la organización.

5.5. Seguros

Las universidades inscritas deberán integrar el trabajo realizado en el currículum formativo de forma y manera que esta competición entre dentro de las actividades QUE CUBRE EL SEGURO escolar. No obstante, cada equipo tendrá un seguro privado como garantía ante cualquier accidente que se pudiera presentar y que cubrirá a cada uno de sus integrantes.

5.6. Asistencia externa a los equipos Universitarios

La involucración de Profesores y Técnicos de las Universidades, así como de Técnicos del Sector para el desarrollo de la actividad de los alumnos es de facto imprescindible y deseable para la competición. No obstante, es preciso recordar en este punto que el espíritu de la competición es fortalecer las habilidades de los estudiantes y ofrecer un marco para ello es también responsabilidad de todos. Por ello es preciso remarcar que se valorará como aspecto principal en el proyecto la demostración de que sean los propios estudiantes los que lleven a cabo las tareas y acciones directas en la construcción del prototipo.

5.7. Número de equipos participantes

El número máximo de equipos participantes en la edición 2009-10 se establece en 30 equipos.

Por Universidad pueden presentarse más de un equipo. Cada equipo solo puede presentar un proyecto y prototipo.

6. INSCRIPCIÓN

6.1. Cuotas de inscripción

La cuota de inscripción se establece en 350€ más IVA por estudiante integrante del equipo.

Las tasas de inscripción deberán ser abonadas a la organización de MOTOSTUDENT antes de finalizar el primer mes de Enero de la competición, que se establece con carácter bianual.

Las tasas de inscripción no serán reembolsables.

La inscripción da derecho a los alumnos inscritos a participar en el desarrollo de la competición y a los materiales y servicios que la organización pone a disposición de los equipos. Estos materiales o componentes se indican en el reglamento técnico.

6.2. Formalización de la inscripción

En la fase de constitución de los equipos se enviara a la Organización una página de preinscripción que figura en la página principal de la pagina web de motostudent. En ella se indican los estudiantes que inicialmente van a formar parte del equipo con datos de contacto e identificación.

Todos los miembros del equipo participante deberán aportar, en el momento de la inscripción o registro, los documentos que a continuación se detallan y, así mismo, proveer de datos de contacto para situaciones de emergencia.

La inscripción se formalizara rellenando los documentos que se encuentran en la pestaña de equipos /winchill de la pagina web motostudent.

- ✓ Doc MS_2009-01. Miembros del equipo.
- ✓ Doc MS-2009-02. Constitución del equipo.
- ✓ Doc MS_2009-03. Carta de oficialización del equipo.
- ✓ Doc MS_2009-04. Imagen copia de ingreso.
- ✓ Doc MS_2009-05. Imagen copia de seguro.
- ✓ Doc MS- 2009-06. Solicitud de sistema CAD.

Una vez los equipos hayan presentado la documentación indicada la organización les adjudicara su correspondiente código contraseña de forma que puedan acceder a su dominio particular en que el que se encontrará la información técnica digital correspondiente a los componentes suministrados.

ANEXO A: DESCRIPCION DE LAS PRUEBAS

Como se ha indicado anteriormente los equipos participantes tendrán que someterse a una serie de pruebas sucesivas eliminatorias agrupadas en dos fases MS1 y fase MS2.

A.1. Fases previas a las jornadas competitivas

Como se ha descrito en las informaciones de la competición, con objeto de que la misma tenga realmente carácter industrial se establecen unas fechas límite para una serie de actuaciones previas a las jornadas de competición.

- ✓ Presentación de justificación de patrocinadores. En la que los equipos participantes deben justificar de forma clara que empresas e instituciones sufragan la construcción del prototipo. Se formalizara a través del formulario en la página web y esta justificación debe presentarse antes del 1 de Abril del 2009. Tras esta justificación, al mes siguiente los equipos recibirán los componentes reglamentarios.
- ✓ Presentación de diseño cerrado. Antes del 31 de Marzo del 2010 los equipos participantes presentaran a la organización información gráfica de detalle del chasis y basculante o equivalente con cotas principales que será guardada por la organización. Esta información debe permitir a los jurados sin manipulación informática alguna verificar los futuros prototipos. La organización fija como formato específico documentos pdf de los planos de conjunto y/o detalle con tamaño máximo A3. Esta documentación solo será analizada por los jurados en las jornadas de competición y validarán que el prototipo presentado responde a esa información gráfica. Como es lógico se pueden aceptar modificaciones pero no de carácter sustancial.

El incumplimiento de estos hitos acarrea la separación de la competición.

A.2. Fase MS1

La fase MS1 es una fase demostrativa en la que los equipos participantes deberán mostrar y explicar el prototipo realizado y el proyecto de industrialización del citado prototipo.

A.2.1. Demostración del prototipo

Los grupos presentarán un prototipo para que sea revisado por los inspectores conforma los aspectos dimensionales y de seguridad que indica el reglamento técnico.

Los equipos pueden disponer de los elementos de recambio (cualquier componente o parte de la moto) que consideren oportunos. Estos recambios deberán ser presentados a la organización simultáneamente con el prototipo para su verificación, validación y sellado. La utilización de componentes no sellados por la organización significara la expulsión inmediata de la competición.

Por otra parte realizara una mínima prueba de funcionamiento en parque cerrado. La prueba consistirá en una prueba de arranque y parada y de maniobrabilidad a derechas e izquierdas entre 10 conos situados a 3 m de distancia.

También presentaran en el stand preparado por la organización los paneles informativos que consideren convenientes.

A.2.2. Presentación del proyecto industrial

El proyecto industrial será defendido ante un jurado de expertos elegidos por la organización y deberá contener la información siguiente:

El proyecto se desarrollara sobre los siguientes condicionantes:

Moto de circuito, con una serie anual de 500 unidades y un costo de fabricación máximo de 4500€. En este concepto se contemplan los conceptos siguientes: componentes (compras exteriores), amortización de utillajes en 5 años, mano de obra directa, repercusión infraestructura de empresa y gastos financieros. Esta moto de serie será derivada de la moto prototipo con las mínimas diferencias exigidas por el proceso de fabricación en la serie y por las adaptaciones a los componentes de la serie que no deben porque ser los mismos que en la moto prototipo.

El proyecto constará de cuatro apartados independientes, con las siguientes puntuaciones máximas.

- ✓ Diseño del vehículo (150 puntos).
- ✓ Análisis y cálculos técnicos (175 puntos).
- ✓ Definición del sistema de fabricación e industrialización (175 puntos).
- ✓ Análisis de costos del desarrollo del prototipo y proceso industrial de fabricación de la serie (100 puntos).

Cada apartado del proyecto industrial de los distintos equipos se presentará ante un mismo jurado de expertos, elegidos por la organización.

Para la exposición de cada apartado los equipos designaran uno o dos alumnos diferentes.

A.2.3. Jurados

Los jurados que evaluarán los proyectos estarán formados por técnicos del sector Industrial y de la competición de vehículos de dos ruedas elegidos por la organización, tanto para esta categoría como la categoría MS2.

Los jurados se establecerán por temáticas., un jurado de Diseño, otro de Análisis y Cálculos técnicos, otro de Definición del sistema de fabricación e industrialización y otro de Costes.

La evaluación del jurado será inapelable.

A.2.4. Premios

Se otorgarán premios a:

- ✓ Al mejor proyecto industrial que incluirá una mención a la mejor innovación o aplicación técnica (Todas las fases).

El premio será de 6000€ con trofeo para el equipo y un "stage" para integrantes del equipo en empresas industriales del sector o empresas de competición.

- ✓ Dos accésits de 3000€ a:

Mejor diseño.

Mejor innovación tecnológica.

A.3. Fase MS2

La fase MS2 es una fase de validación experimental en la que las motos prototipo de los equipos participantes que hayan superado la Fase MS1 deberán demostrar su calidad de actuación superando distintas pruebas en banco y en circuito.

A.3.1. Pruebas de seguridad en banco

Estas pruebas pretenden ser una garantía de robustez , fiabilidad y seguridad ante las pruebas en circuito.

Así las motos deberán superar las siguientes pruebas:

- ✓ Prueba de resistencia de chasis según especificaciones de reglamento técnico
- ✓ Prueba de frenada en banco de rodillos según especificaciones de reglamento técnico
- ✓ Prueba de ruidos

La sistemática de presentación y prueba de las motos se realizara mediante un proceso de verificación que se dará a conocer a los equipos con suficiente antelación.

A.3.2. Evaluación de prestaciones

Los equipos que hayan superado las pruebas de seguridad pondrán sus motos a disposición de profesionales de pruebas y ensayos elegidos por la organización que harán una valoración de sus prestaciones en el circuito de velocidad en una vuelta al circuito.

Cada moto será probada por un mínimo de tres pilotos, los cuales evaluarán:

- ✓ Capacidad de frenada (80 puntos)
- ✓ Capacidad de aceleración (80 puntos)
- ✓ Maniobrabilidad (80 puntos)
- ✓ Estabilidad (80 puntos)
- ✓ Velocidad punta (80 puntos)

La organización facilitará a los equipos piloto, circuito y tiempo de prueba limitado para la puesta a punto de la moto previo a la prueba de evaluación de prestaciones.

Los probadores serán designados por la organización de la prueba y su resolución será inapelable. Como consecuencia de la evaluación conjunta de sus prestaciones, se establecerá una clasificación de las motos. Si alguna de las motos no supera el 25% de la puntuación máxima en alguna de las capacidades valoradas se considerara no apta para la carrera.

A.3.3. Carrera

Las motos que hayan superado la prueba anterior, participarán en una carrera de velocidad en circuito.

Esta prueba tendrá carácter competitivo con una valoración en el computo de las pruebas dinámicas según la siguiente tabla de puntuación:

Posición	Puntos
1º	100
2º	90

Posición	Puntos
5º	76
6º	72

Posición	Puntos
9º	60
10º	57

Posición	Puntos
13º	48
14º	45

3º	85
4º	80

7º	68
8º	64

11º	54
12º	51

15º	42
16º al 30º	40

El equipo que no termine la carrera obtendrá 0 puntos por este concepto.

Para entrar en la puntuación los equipos que terminen deberán haber recorrido al menos el 50% de las vueltas recorridas por el primer clasificado.

Las motos se pilotarán por pilotos de categoría promoción seleccionados por la organización y sorteadas entre ellos.

Para facilitar la puesta a punto de la moto se facilitaran dos tandas de entrenamiento sin valor clasificatorio, cuyo desarrollo se comunicara oportunamente por parte de la organización.

La carrera se llevara a cabo sobre una longitud mínima de 45 km. La organización establecerá según el caso el número de vueltas o duración de la carrera. En el circuito de velocidad de ALCANIZ será de 8 vueltas.

El orden de la parrilla de salida se establecerá según la clasificación obtenida en la categoría MS1, de forma que el equipo con mejor puntuación ocupará el primer puesto de la parrilla. En caso de empate el orden de parrilla se establecerá por sorteo.

A.3. Premios

Se otorgarán premios a las tres primeras motos clasificadas.

Al equipo de la primera moto clasificada se le entregara un premio de 6000€ y trofeo.

Al equipo clasificado en segundo lugar se le entregara un premio de 3000€ y trofeo.

Al tercer equipo clasificado se le otorgara un premio de 1500€ y trofeo.

Al resto de equipos participantes que hayan finalizado la carrera recibirán un trofeo recordatorio de su participación en la prueba.

REGLAMENTO TÉCNICO MOTOSTUDENT

V8

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN: Objetivos fundamentales de este reglamento	3
2. LA MOTOCICLETA: Orientación general y definición del carácter de la misma	4
3. REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO	5
3.1. Dimensiones	5
3.2. Pesos	5
4. CICLÍSTICA	6
4.1. Bastidor	6
4.2. Suspensiones	6
4.2.1. Suspensión delantera	6
4.2.2. Suspensión trasera	6
4.3. Dirección	6
4.3.1. Diseño	6
4.3.2. Amortiguador de dirección	7
4.4. Sistema de frenos	7
4.4.1. Freno delantero	7
4.4.2. Freno trasero	7
4.5. Estriberas	7
4.6. Manillar	7
4.7. Basculante	8
4.8. Llantas y neumáticos	8
4.9. Protecciones para caídas	8
5. CARENADOS	9
5.1. Restricciones dimensionales	9
5.2. Seguridad	9
6. MOTOR	10
6.1. Tipo	10
6.2. Características	10
6.3. Cilindro	10
Caja de láminas: no se permite su modificación. En caso de rotura se permite el recambio original	10
6.4. Culata	10
6.5. Cáster	10
6.6. Caja de cambios	10
6.7. Transmisión secundaria	10
6.8. Embrague	10
6.9. Acelerador	11
7. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE	12
7.1. Carburador / Inyección	12
7.2. Depósito de combustible	12
7.3. Conductos de combustible	12
7.4. Sistema de llenado	12
7.5. Tipo de combustible	12

8. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN	13
8.1. Refrigeración interna del motor	13
8.2. Radiador	13
8.3. Líquidos refrigerantes.....	13
9. SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE.....	14
9.1. Conductos de admisión.....	14
9.2. Airbox	14
9.3. Sistemas de sobrepresión.....	14
10. SISTEMA DE ESCAPE	15
11. INSTALACIÓN ELÉCTRICA.....	16
11.1. Cableado	16
11.2. Conectores	16
11.3. Componentes	16
12. SISTEMAS ELECTRÓNICOS	17
12.1. Centralita	17
12.2. Tablier.....	17
12.3. Otros sistemas electrónicos	17
13. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS	18
14. OTROS COMPONENTES COMERCIALES	19
15. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS	20
15.1. Homologación del chasis	20
15.2. Verificación de cotas generales	20
15.3. Verificación de pesos	20
15.4. Verificación de ruidos	20
15.5. Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad	20
16. IDENTIFICACIÓN DE LA MOTOCICLETA	22
16.1. Números y fondos	22
16.2. Identificación frontal	22
16.3. Dorsales laterales.....	22
16.4. Número de identificación de bastidor de la motocicleta.....	22
16.5. Nombre de la universidad	22
16.6. Espacio en el bastidor para adhesivo de verificación técnica.....	22
16.7. Espacio para soporte y alojamiento del transponder	22
17. FIGURAS	24

1. INTRODUCCIÓN: Objetivos fundamentales de este reglamento

Este documento contiene la normativa técnica reguladora de la competición denominada "Motostudent". El principal objetivo consiste en estandarizar y acotar el amplio abanico de posibilidades de construcción de un prototipo. De este modo todos los proyectos se ajustarán a una línea de trabajo orientativa y común. Así pues, se posibilita una competencia objetiva entre los participantes.

2. LA MOTOCICLETA: Orientación general y definición del carácter de la misma

El objeto de la competición es un vehículo de dos ruedas a motor de combustión interna. Dicho vehículo será concebido para el pilotaje de un solo ocupante.

La motocicleta deberá ser un prototipo diseñado y construido para la competición. La especialidad son las carreras de velocidad.

3. REQUERIMIENTOS GENERALES DE DISEÑO

3.1. Dimensiones

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos:

- ✓ La anchura mínima entre los extremos de los semimanillares (o manillar en su caso) ha de ser de 450 mm. (Figura 1)
- ✓ El ángulo mínimo de inclinación lateral de la motocicleta sin que ningún elemento de la misma (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realiza con la motocicleta descargada (sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento. (Figura 1)
- ✓ La distancia libre al pavimento con la motocicleta en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en cualquier situación de compresión de suspensiones y reglajes de geometrías. (Figura 2)
- ✓ Límite posterior: Ningún elemento de la motocicleta podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero. (Figura 2)
- ✓ La distancia de los neumáticos a cualquier elemento de la motocicleta diferente de la rueda no podrá ser inferior a 15 mm. en toda posición de la misma y reglaje de geometría.
- ✓ La anchura máxima del asiento debe ser de 450 mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento de la motocicleta del asiento hacia detrás excepto el sistema de escape. (Figura 3)

3.2. Pesos

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos en ningún momento de las pruebas deberá ser inferior a 90 kg. El peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y final de la competición.

Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo.

4. CICLÍSTICA

4.1. Bastidor

El diseño, el proceso y el material utilizado para la fabricación del bastidor es libre excepto en las siguientes consideraciones:

- ✓ No está permitido fabricar el chasis en titanio ni aleaciones de titanio.
- ✓ El bastidor definitivo a presentar en la competición deberá haber superado el proceso de homologación por parte de la organización. (Ver criterios de verificación)
- ✓ No se permite el uso de un chasis comercial ni tan siquiera una unidad modificada. Deberá tratarse de un chasis prototipo de fabricación propia.

4.2. Suspensiones

4.2.1. Suspensión delantera

El diseño de la composición del sistema de suspensión delantera es libre.

En el caso de uso de horquilla en la composición de la suspensión delantera se deberá utilizar la proporcionada por la organización solo autorizándose el cambio de las tijas.

La horquilla proporcionada por la organización no puede ser modificada estructuralmente. Solo está permitido el cambio de características de la horquilla con el cambio de la viscosidad del aceite hidráulico y muelles.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión delantera.

4.2.2. Suspensión trasera

El diseño de la composición del sistema de suspensión trasera es libre.

En el caso de uso de amortiguador en la composición de la suspensión trasera se deberá utilizar el proporcionado por la organización.

El amortiguador proporcionado por la organización no puede ser modificado estructuralmente. Solo se permite el cambio del muelle.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en los ejes de rotación de los componentes del sistema de suspensión trasera.

4.3. Dirección

4.3.1. Diseño

En todo el recorrido de giro de la dirección no deberá existir ningún elemento que interfiera en una tolerancia de 30 mm entorno a los puños del manillar y accionamientos. El objetivo es evitar daños en las manos y dedos del piloto en caso de caída. (Figura 3)

El ángulo mínimo de giro de la dirección deberá ser de 15° medidos a cada lado del eje longitudinal de la motocicleta. (Figura 3)

El ángulo de giro de la dirección deberá estar limitado con un tope a cada lado.

4.3.2. Amortiguador de dirección

Está permitido el uso de amortiguador de dirección.

4.4. Sistema de frenos

La motocicleta deberá disponer tanto de freno delantero como freno trasero.

4.4.1. Freno delantero

Deberá utilizarse el conjunto de freno delantero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas de freno y disco.

Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm.

4.4.2. Freno trasero

Deberá utilizarse el conjunto de freno trasero (bomba, latiguillos y pinza) proporcionado por la organización.

Se permite la elección del tipo de pastillas de freno y disco.

Se permite la sustitución de los latiguillos de freno por otros de diferente longitud.

La situación del accionamiento de la bomba de freno y la modificación de la leva de accionamiento es libre con la restricción de que, si su ubicación fuese el manillar, su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm.

4.5. Estriberas

Como requisito deberán tener protegidos los extremos con un tope de nilón de un radio mínimo de 8 mm.

Deberán disponer de protectores laterales para evitar que la bota del piloto pueda interferir con elementos móviles como cadena o neumático trasero.

4.6. Manillar

La anchura del manillar medida entre los extremos de los puños no podrá ser inferior a 450 mm. (Figura 1)

Las puntas del manillar deberán ir protegidas con un tope de nilón redondeado de un radio mínimo de 8 mm.

No está permitido el uso la de manillares o semimanillares contruidos en **materiales y/o ALEACIONES de comportamiento FRAGIL**.

Los soportes del manillar o semimanillares deberán estar diseñados con el fin de minimizar el riesgo de fractura en caso de caída. Se deberán utilizar radios mínimos de 2 mm en el anclaje para facilitar deformaciones sin fractura.

4.7. Basculante

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de rotación del basculante.

Es obligatorio el uso de un protector de cadena que impida la interferencia entre el cuerpo del piloto y el punto de engrane cadena-corona en la rueda trasera.

4.8. Llantas y neumáticos

La organización suministrará las llantas y neumáticos y se prohíbe su modificación, salvo en anclajes de disco salvaguardando en todo caso la rigidez de las mismas.

Está prohibido el uso de titanio, aleaciones ligeras y compuestos de fibra en la fabricación de los ejes de ruedas.

Esta permitido el uso de protectores de nilón en los extremos del eje para posibles caídas. Estos protectores deberán ser redondeados con un diámetro igual o superior al del eje utilizado.

Los ejes de rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30 mm. No se consideran en esta medida posibles protectores de nilón.

4.9. Protecciones para caídas

Se aconseja el uso de topes de nilón para proteger la motocicleta en caso de caída. También se permite el uso de protectores de fibra para chasis y cárter de motor.

5. CARENADOS

5.1. Restricciones dimensionales

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

La anchura máxima del carenado será de 600 mm. (Figura 3)

Límite frontal: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical frontal trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático delantero.

Límite posterior: el carenado en ningún caso podrá sobrepasar la vertical posterior trazada tangencialmente a la circunferencia exterior del neumático trasero.

Lateralmente: El carenado no podrá cubrir lateralmente al piloto a excepción de los antebrazos (esta excepción solamente en posición de mínima resistencia aerodinámica del piloto). La llanta posterior no podrá cubrirse en más de 180°.

Entre la altura del asiento y la parte más elevada del colín la cota máxima será de 150 mm.

La utilización de guardabarros no es obligatoria.

El guardabarros delantero 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 que pasa por el eje de rueda. En esos 135° las dimensiones del guardabarros son libres.

Esta permitido el uso de alerones como pieza del carenado. Deberán no superar la anchura del carenado o del colín ni superar la altura de los extremos del manillar. El radio mínimo será de 2 mm. Se permite el uso de dispositivos móviles aerodinámicos.

5.2. Seguridad

Todos los sobraderos de la motocicleta deberán redirigirse a un depósito de un mínimo de 250 cm³ de capacidad para evitar vertido de líquidos. (Sobradero de aceite cárter, depósito de gasolina, refrigerante).

6. MOTOR

Deberá utilizarse el motor proporcionado por la organización. El motor se entregará sellado y se prohíbe totalmente su manipulación interna.

6.1. Tipo

Motor monocilíndrico de 125 cm³ 2 tiempos con refrigeración líquida.

6.2. Características

Descritas en las hojas técnicas en la WEB.

6.3. Cilindro

Caja de láminas: no se permite su modificación. En caso de rotura se permite el recambio original.

6.4. Culata

No se permite el mecanizado de la culata para el uso de sensor de detonación.

6.5. Cáster

No se permite la modificación del mismo ni tan siquiera en sus anclajes externos.

6.6. Caja de cambios

Está prohibida la modificación de la caja de cambios en cualquiera de sus componentes. Tan sólo se permite la instalación de sensores para la adquisición de datos.

6.7. Transmisión secundaria

El tipo de transmisión es libre.

6.8. Embrague

La situación del accionamiento de la leva del embrague es libre con la restricción de que su longitud no podrá ser superior a 200 mm y su extremo deberá ser una esfera de un diámetro mínimo de 18 mm. La esfera puede estar rectificadas con un plano de una anchura mínima de 14 mm, los bordes del plano han de ser redondeados.

6.9. Acelerador

El acelerador ha de ser de retorno automático de manera que se asegure su cierre en caso de que el piloto suelte el mismo.

7. SISTEMA DE ALIMENTACIÓN DE COMBUSTIBLE

7.1. Carburador / Inyección

El carburador es de libre elección. Se prohíbe el uso de carburadores cerámicos.

Está permitido el uso de sistemas de inyección de carburante adicionales al carburador y la programación electrónica de los mismos. (Sistemas “powerjet”)

7.2. Depósito de combustible

El respiradero del depósito de combustible deberá estar provisto de una válvula de retención. El respiradero deberá verter en el depósito de sobrantes de líquidos.

El depósito de carburante de cualquier tipo deberá ir relleno con material retardante de llama o disponer de otro depósito flexible interno de seguridad. En el caso de los depósitos “no metálicos” es obligatorio el uso de este segundo depósito adicional de goma o resina. El fin de esta vejiga de seguridad no es otro que impedir el derrame de carburante en caso de rotura del depósito.

Está prohibido presurizar el depósito de carburante.

El tanque de gasolina deberá ser calificado como “apto” por la organización antes de la realización de las pruebas en cumplimiento de las consideraciones anteriormente expuestas.

7.3. Conductos de combustible

Todos los conductos de combustible del depósito al carburador o sistema de inyección deberán estar provistos de racords estancos de seguridad. De manera que en caso de desprendimiento del depósito de la motocicleta sea el racord el que se desconecte y no otras uniones del conducto. Por tanto, para la apertura del racord la fuerza aplicada deberá ser, máximo, el 50% de la fuerza necesaria para desprender cualquier otra unión o rotura del material componente del conducto.

7.4. Sistema de llenado

El tapón del depósito de combustible deberá ser estanco y estar provisto de un sistema seguro de cierre que impida a posibilidad de desprenderse en caso de caída.

7.5. Tipo de combustible

El combustible será administrado por la organización y corresponderá a gasolina comercial de 98 Octnos.

El aceite para la realización de la mezcla será de libre elección.

Está prohibida la utilización de aditivos al carburante mejoradores del índice de Octano.

8. SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

8.1. Refrigeración interna del motor

No se permite la modificación del sistema de refrigeración interna del motor.

8.2. Radiador

El número, la situación, el tamaño y la composición de los radiadores son libres siempre y cuando cumplan con los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

8.3. Líquidos refrigerantes

Los líquidos refrigerantes utilizados podrán ser agua o refrigerantes comerciales.

9. SISTEMA DE ADMISIÓN DE AIRE

9.1. Conductos de admisión

La composición, dimensiones y situación de los conductos de admisión de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

9.2. Airbox

La composición, dimensiones y situación de las cajas de aire son libres siempre que éstas cumplan los requerimientos dimensionales de las cotas generales de la motocicleta.

9.3. Sistemas de sobrepresión

Está prohibido el uso de sistemas “turbo” para el aumento de presión de gases en la admisión. Únicamente se permite el aprovechamiento aerodinámico del movimiento del vehículo mediante el uso de tomas de aire y sistemas de airbox.

10. SISTEMA DE ESCAPE

El sistema de escape será de libre elección siempre que cumpla los requerimientos dimensionales generales de la motocicleta y la normativa sonora.

11. INSTALACIÓN ELÉCTRICA

La composición de la instalación eléctrica deberá ser elaborada por cada equipo competidor. Esta prohibido el uso de una instalación comercial.

11.1. Cableado

El tipo de cable a utilizar, el diseño y la ejecución del mazo de cables son libres.

11.2. Conectores

El tipo de conectores es libre. Se deberá tener en cuenta la posibilidad del correcto funcionamiento eléctrico de la motocicleta en condiciones de lluvia.

11.3. Componentes

Se permite el uso de componentes comerciales. (bobinas, baterías, reguladores, conectores).

Todas las motocicletas deberán ir provistas de un botón de paro de seguridad en el lado izquierdo del manillar. Deberá estar indicado en color rojo para su fácil localización en caso de emergencia. Dicho botón de paro deberá cortar el suministro eléctrico a cualquier componente de la motocicleta.

12. SISTEMAS ELECTRÓNICOS

12.1. Centralita

La centralita para la gestión electrónica será proporcionada por la organización (coste aparte) a los equipos que la requieran. Se permite la utilización libre de otras centralitas.

12.2. Tablier

El sistema de información utilizado en el tablier es libre.

12.3. Otros sistemas electrónicos

Está permitido el uso libre de otros sistemas electrónicos como cambio semiautomático, limitadores de vueltas, sistemas de información, limitadores de velocidad, control de servos...

13. SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Esta permitido el uso de sistemas de adquisición de datos relativos a parámetros de motor, dinámica de la motocicleta y comportamiento del piloto.

Se podrán utilizar sistemas comerciales o la adaptación de sistemas de otro tipo de vehículos.

Así mismo, se permite la utilización libre de todo tipo de sensores tanto de fabricación propia como reutilización de adaptaciones.

El software utilizado podrá ser comercial o de diseño propio.

14. OTROS COMPONENTES COMERCIALES

Se permite el uso de elementos de adquisición comercial excepto los prohibidos explícitamente en este reglamento.

15. PROCEDIMIENTO DE VERIFICACIONES TÉCNICAS

Para el control y verificación de vehículos se creará una ficha para cada prototipo. Este documento será relleno por los verificadores técnicos en la fase previa a la competición. Una vez contrastados todos los apartados se deberá dar la calificación de “apto” para poder participar en las diferentes pruebas. Tras la verificación se fijará un adhesivo de la organización comprobante de la aceptación del prototipo.

15.1. Homologación del chasis

La organización se reserva el derecho de verificar el chasis mediante una prueba previa a la competición. Se habrá de presentar previo a la competición un estudio teórico de cargas sobre el chasis.

La prueba se realizará en un potro de ensayo. Se aplicarán dos tipos de carga no simultaneas. Una carga horizontal progresiva de 250 daN longitudinalmente a la motocicleta en los ejes de rueda delantera y otra vertical de 200 daN . No se admitirán deformaciones permanentes en la estructura del chasis.

Introducir sistema y dibujo de anclaje a las bridas de la tija para aplicar carga sistema de medición.

15.2. Verificación de cotas generales

Se medirán y supervisarán las cotas generales de diseño estipuladas en este reglamento.

15.3. Verificación de pesos

Se acondicionará un centro de verificaciones y controles donde los participantes podrán verificar su vehículo.

Se podrá solicitar por la organización controles de pesos en cualquier fase de la competición.

Los controles se realizarán sobre el vehículo en orden de marcha con todos sus sistemas y componentes además de los líquidos necesarios para su uso.

Inicialmente se realizará una calibración del sistema de medida.

Se realizarán tres pesadas del vehículo y la media de los tres resultados será el valor asignado.

La tolerancia en la medida es 1 kg por debajo del mínimo.

15.4. Verificación de ruidos

El prototipo será analizado en un espacio abierto donde no existan obstáculos en un radio de 10 m.

El ruido ambiente no podrá ser superior a 90 dB/A en un radio de 10 m.

La medida se realizará a 50 cm del extremo del tubo de escape y en un ángulo de 45°.

La medida límite será de 113 dB/A.

La verificación se realizará a un rango fijo de revoluciones del motor 5000 rpm.

15.5. Verificación del cumplimiento de la normativa de seguridad

Se realizará una verificación completa de cada uno de los puntos referentes a seguridad de cada uno de los apartados descritos en este reglamento. Por encima de cualquier criterio técnico a nivel de prestaciones o

construcción del vehículo deberá prevalecer, como prioritario, la seguridad de los participantes. Para ello, todos los prototipos deberán cumplir los requisitos de seguridad en cualquier fase de la competición. De manera especial se hace hincapié en la verificación del vehículo tras haber sufrido un accidente con el fin de garantizar la seguridad del mismo.

16. IDENTIFICACIÓN DE LA MOTOCICLETA

16.1. Números y fondos

Las medidas mínimas de los números serán de 140 mm de alto por 30 mm de ancho.

Las medidas mínimas de los fondos serán de 275 mm de ancho por 200 mm de alto.

El color de los números deberá ser negro y el fondo blanco.

Al menos 25 mm entorno a los números deberán estar libres de otros grafismos.

16.2. Identificación frontal

La motocicleta deberá ser identificada con un dorsal frontal que permita una visualización clara del vehículo durante la competición.

16.3. Dorsales laterales

Del mismo modo se deberá identificar la motocicleta lateralmente con el dorsal asignado.

16.4. Número de identificación de bastidor de la motocicleta

Cada prototipo deberá disponer de número de chasis grabado en el mismo para la identificación del mismo en cualquier situación.

16.5. Nombre de la universidad

En todos los prototipos deberá aparecer el nombre de la universidad o las iniciales en caracteres de un tamaño no inferior a 50 mm de alto por 30 mm de ancho.

16.6. Espacio en el bastidor para adhesivo de verificación técnica

Se deberá proveer al bastidor de un espacio mínimo de 70 mm de ancho por 40 mm de alto para la fijación del adhesivo de verificación de la organización. Si no directamente en el bastidor, se deberá habilitar una placa para la fijación del mismo.

16.7. Espacio para soporte y alojamiento del transponder

Se deberá habilitar un espacio para la fijación del transponder y su soporte. Este espacio deberá ser de un mínimo de 120 mm de alto por 120 mm de ancho, 60 mm de fondo.

El espacio deberá estar localizado en la parte derecha del vehículo y en una posición protegida de posibles caídas.

No deberá existir obstáculo de interferencia en la línea entre el transponder y el receptor en el lugar de medición. La organización suministrará las características dimensionales del transponder así como el tipo de soporte.

Es responsabilidad del equipo la correcta fijación del transponder.

17. FIGURAS

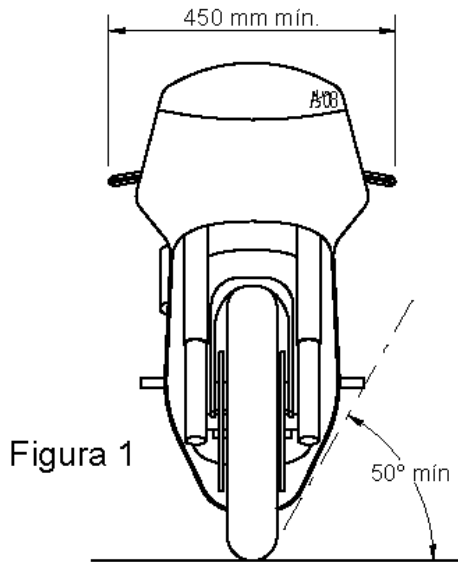


Figura 1

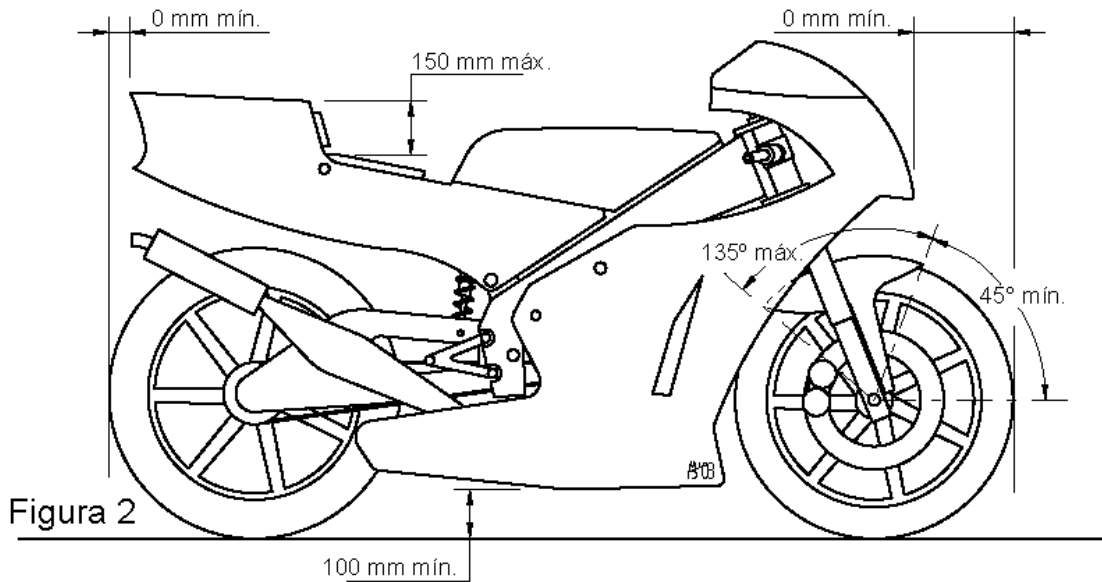


Figura 2

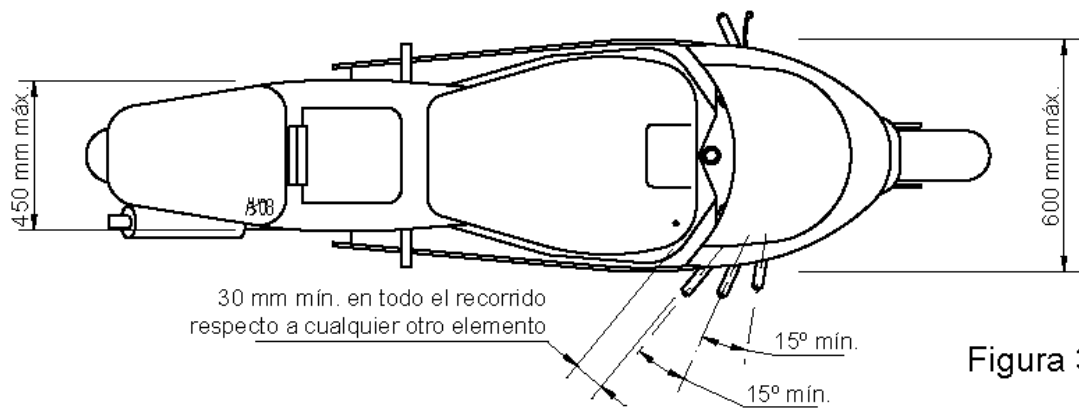
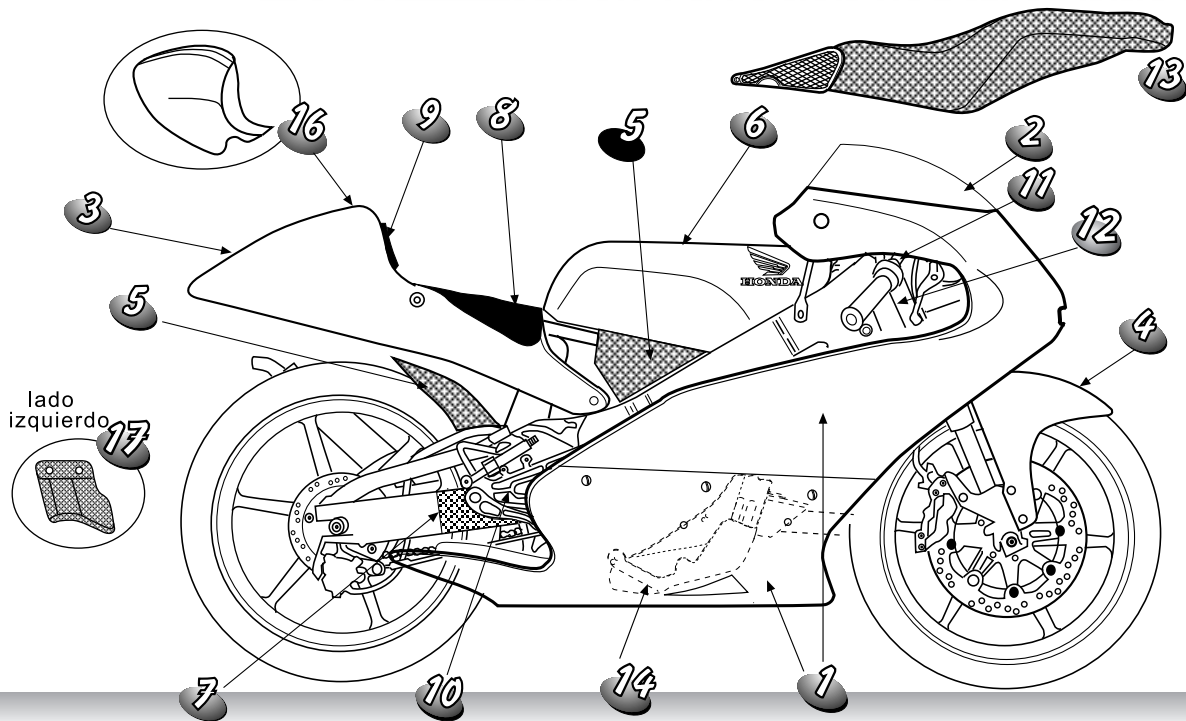


Figura 3

PRESUPUESTOS DE CARENADOS “*SPEEDFIBER*”

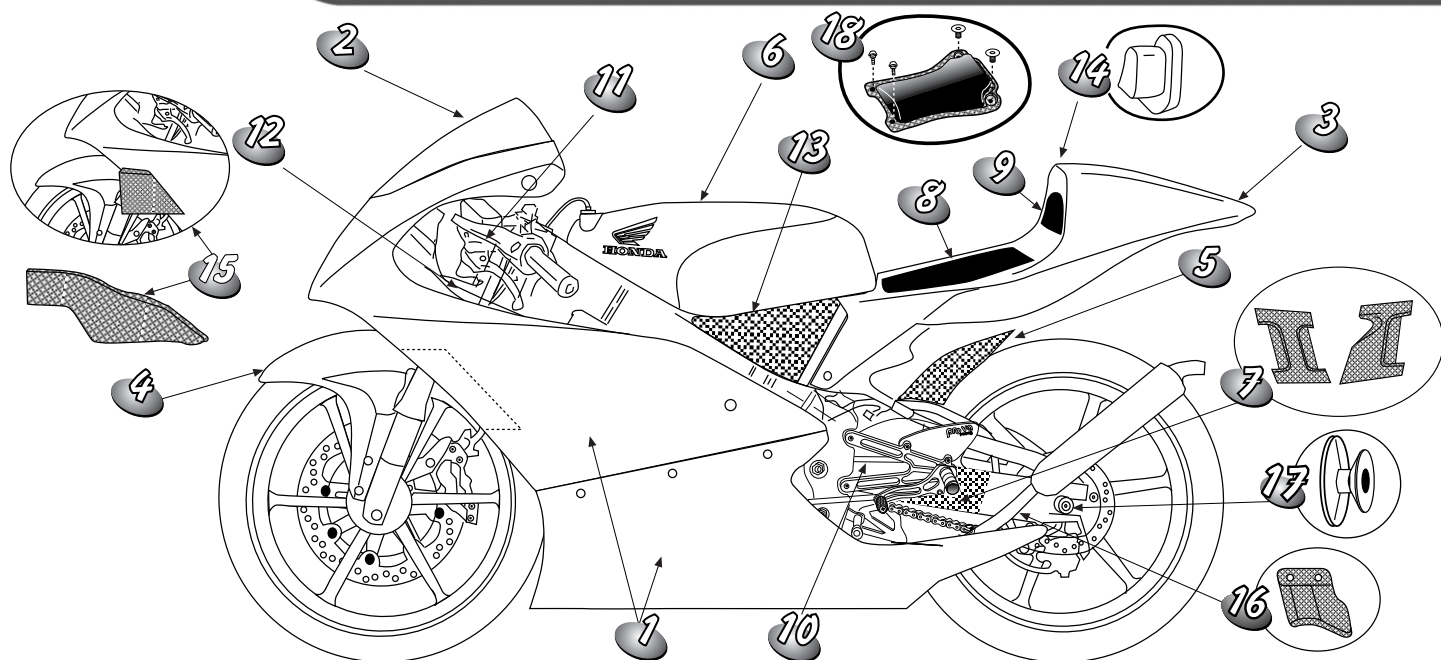
HONDA RS 125 02-03 KIT A



Nº	Cod	Peso	Neto €	HONDA RS 125 02-03 KIT A	Cod	Peso	Neto €
	fibra	fibra	fibra		Carbono	Carbono	Carbono
1	00449		245,00	Carenado KIT A HRC	00450	1.375 gr	427,00
2	21210		42,00	Pantalla KIT 02 S.F.			
3	17324		112,00	Colín KIT-HRC	17325		179,00
	17326		156,00	Colín KIT-HRC rebufo	17327		248,00
	17330		112,00	Colín KIT-E.Alza+15 ele-15retr	17331		179,00
	17332		156,00	Colín KIT-E.Alza+15ele-15ret,reb	17333	650 gr	250,00
4	16207		54,00	Guardabarros D/	16208		101,00
5				Guardabarros T/	16210		85,00
6				Depósito 13,8 litros	22461		497,00
7				Prot basculante (igo)	22255		90,00
8	22650		5,00	Tapizado asiento 12mm			
9	22456		2,00	Tapizado respaldo 12mm			
10	70002		220,71	Kit estriberas 95- std	prova		
	70020		229,93	Kit estriberas 95- retrasado	prova		
11	72125		174,73	Manillar # 44 17°	prova		
	72109		174,73	Manillar # 44 18°adelantado	prova		
12	70032		537,35	Conjunto tijas excéntricas	prova		
13				Tobera larga completa	22469	370 gr	275,00
14				Canalizador motor carbono	22465	100 gr	128,00
15	22479		186,00	Air box sin tobera std	22480	500 gr	258,00
16	22137		75,00	Suple. respaldo colín			
17				Protector cadena carbono	22278		29,00



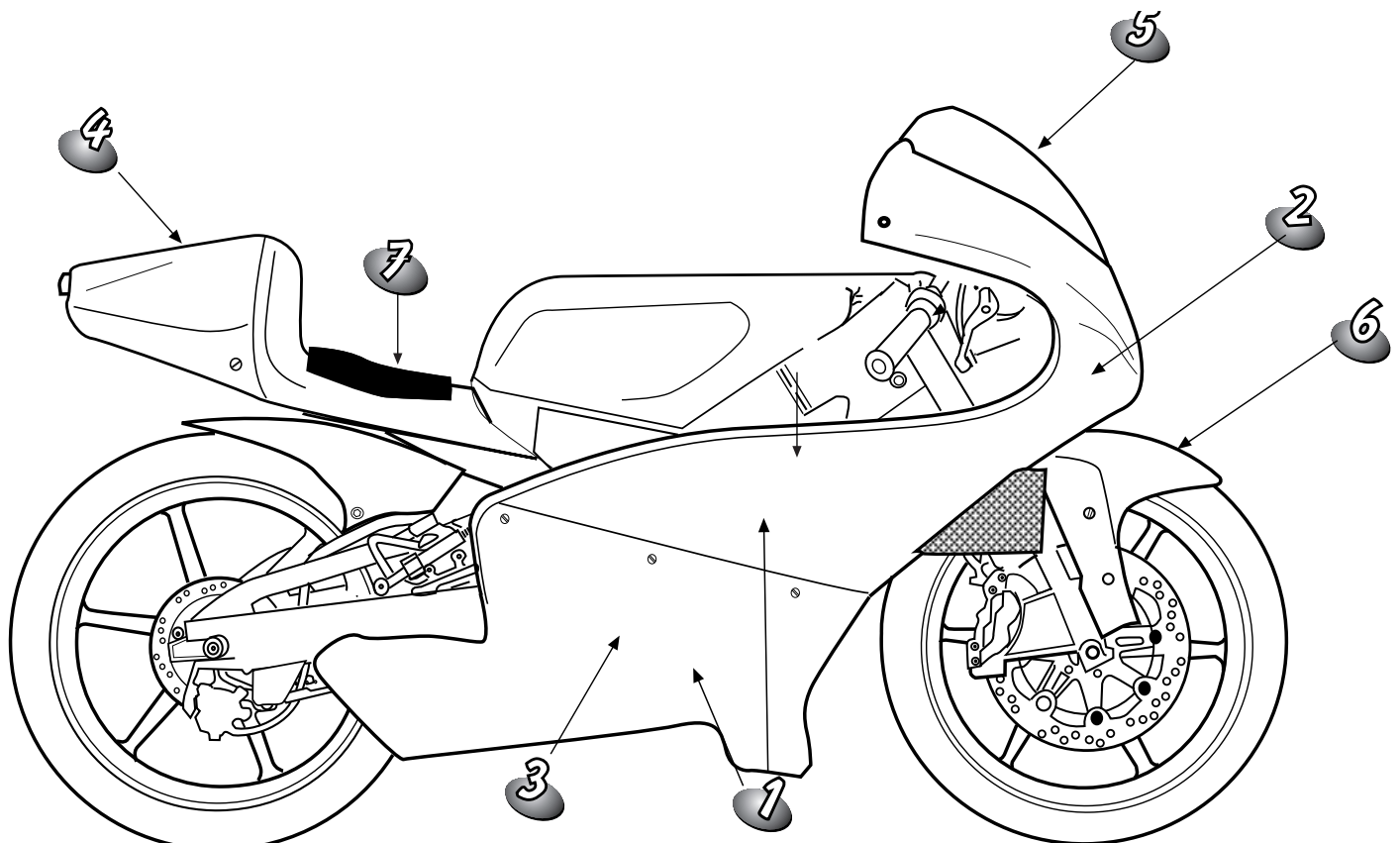
HONDA RSW 125 04



N°	Peso		Neto €		HONDA RSW 125 04	Peso		Neto €	
	fibra	fibra	fibra	fibra		Carbono	Carbono	Carbono	Carbono
1	00452	1760 gr	245,00		Carenado KIT A HRC	00453	1364 gr	506,00	
2	21250		42,00		Pantalla KIT S.F.				
3	17335	770 gr	120,00		Colín KIT-HRC	17336	460 gr	213,00	
4	16218		54,00		Guardabarros D/horq.SHOWA	16219	145 gr	133,00	
	16221	220 gr	54,00		Guardabarros D/horq. std	16222		123,00	
5					Guardabarros T/ carb trans	16210	123 gr	85,00	
					Guardab T/ Bascul JHA carb trans	16217		116,00	
6					Depósito 15,5 litros	22802	781 gr	578,00	
					Prot basculante std carb trans	22255		90,00	
7					Prot Basculante kit carb trans	22256		156,00	
8	22667		5,00		Tapizado asiento 12 mm				
	22668		14,00		Tapizado asiento 20 mm				
9	22677		2,00		Tapizado respaldo 12 mm				
	22678		3,00		Tapizado respaldo 20 mm				
10	70066		227,66		Kit estriberas 95-std	prova			
	70068		237,70		Kit estriberas 95-retrasado	prova			
11	72125		174,73		Manillar #44 17	prova			
	72109		174,73		Manillar #44 18 adelantado	prova			
12	70032		537,35		Conjunto tijas excéntricas	prova			
13	22479		186,00		Air-box sin tobera std	22480		258,00	
14	22878		44,00		Suple respaldo colin				
15					Tobera air-box caab trans	22804		231,00	
					Protector cadena carb trans	22278		29,00	
16					Prote caden Bascul JHA carb trans	22282		38,00	
17	22812		9,00		Soporte caballete negro				
18					Carcasa base tapiz asto + 20 mm	22724		82,50	



APRILIA RS 125 GP 02



Nº	Cod	Peso	Neto €	APRILIA RS 125 GP 02	Cod	Peso	Neto €
	fibra	fibra	fibra		carbono	carbono	carbono
1	00732		342,00	Carenado	00734	1595gr	548,00
				Carenado carb nomex	00733	1350gr	768,00
2	03083			Parte superior	03087	980gr	314,00
				Parte superior carb nomex	03085	790gr	546,00
3	03084			Bajos	03088	615gr	280,00
				Bajos carb vacío	03086	560gr	439,00
4	17608		99,00	Colín	17610	220gr	133,00
				Colín carb nomex	17609	225gr	188,00
5	21321		42,00	Pantalla			
6	16213		92,00	Guardabarros delantero WP	16206		136,00
7	22744		4,60	Tapiz. asto 12 mm.			

A. BAUTISTA

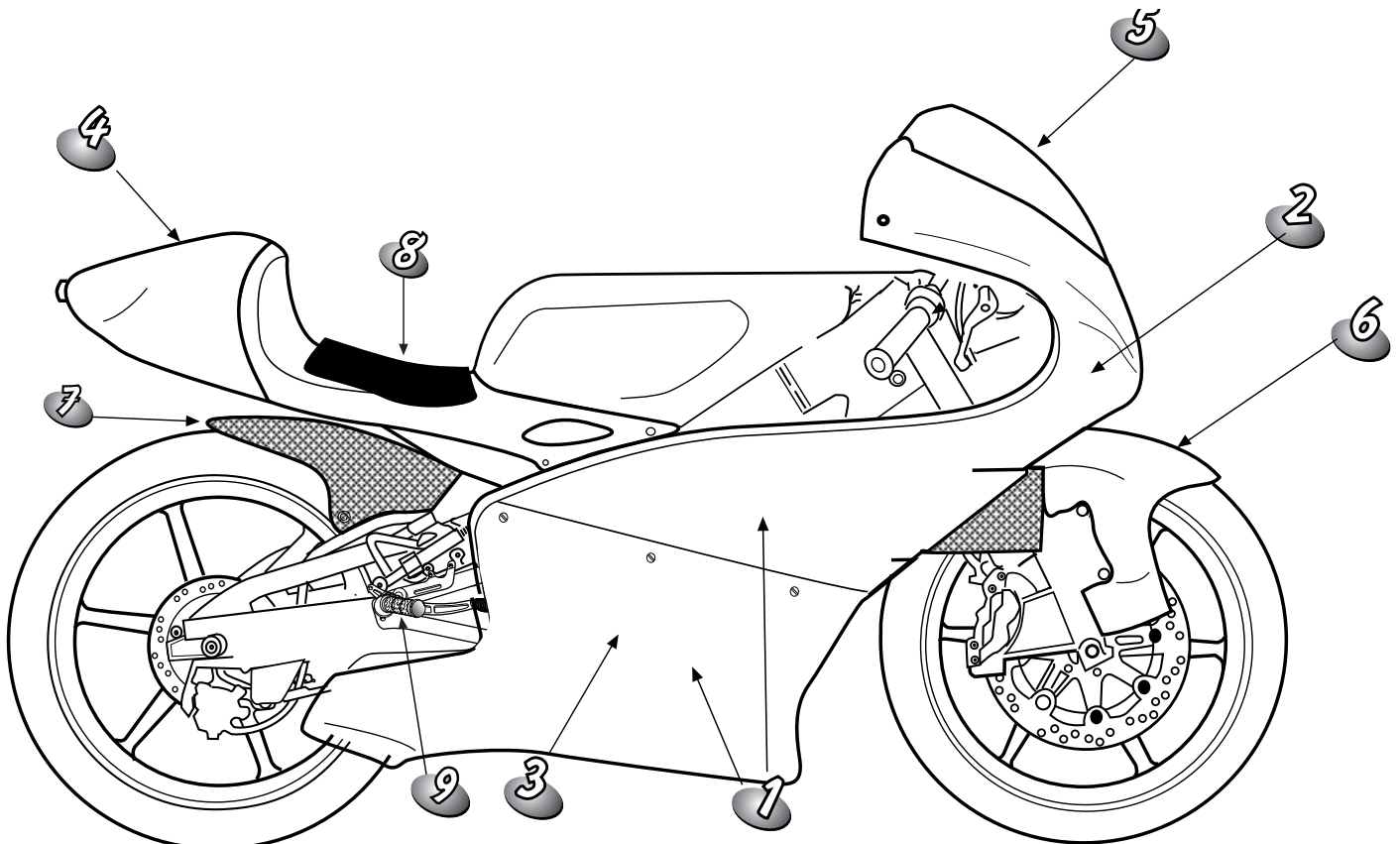
PRESTACIONES

PESO

FICHA TÉCNICA
Poliéster + tejido
Epoxi + carbóno

Speed fiber

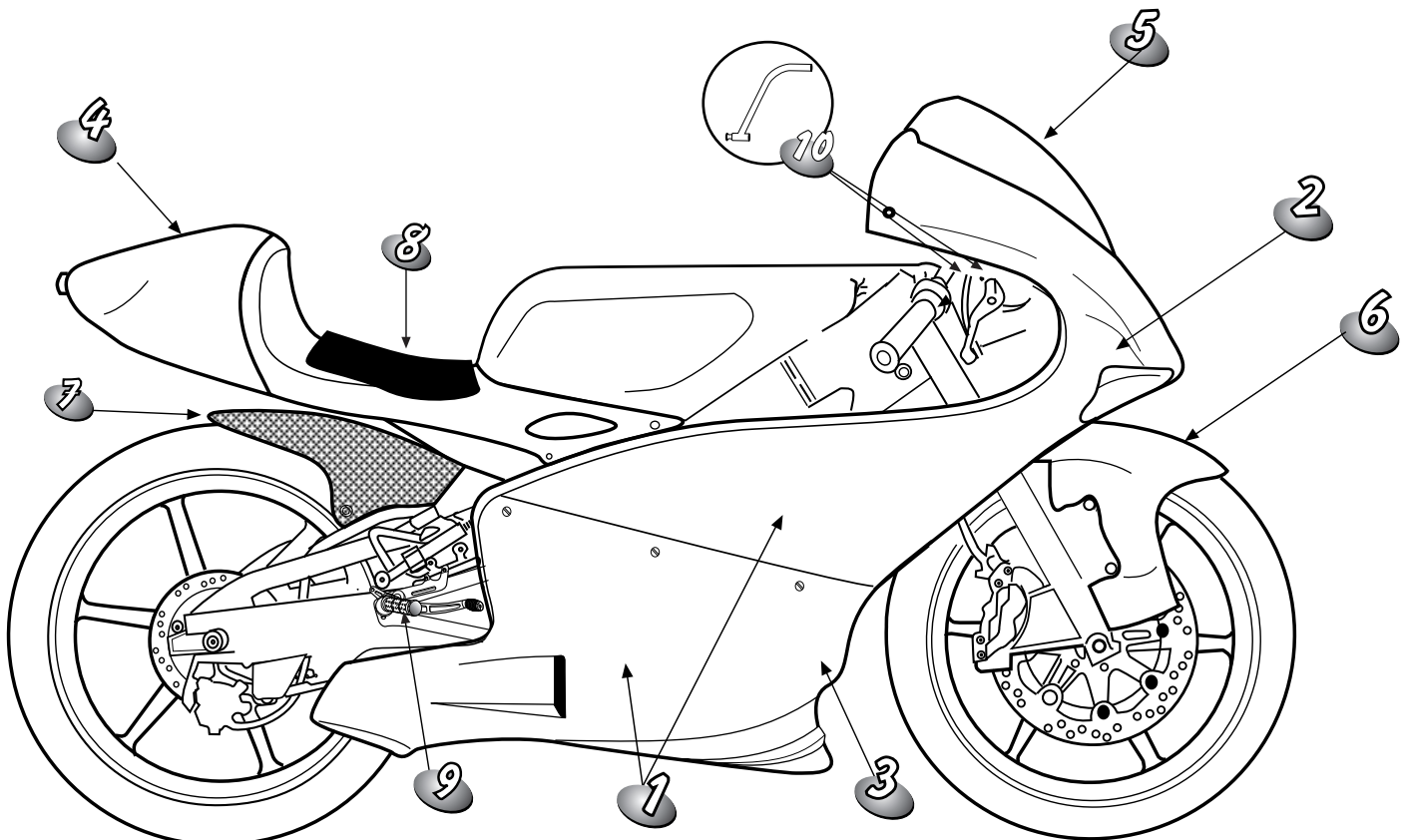
APRILIA RS 125 GP 06



N°	Cod	Peso	Neto €	APRILIA RS 125 GP 06	Cod	Peso	Neto €
	fibra	fibra	fibra		carbono	carbono	carbono
1	00668		340,00	Carenado	00638		425,00
				Carenado carb nomex	00735		676,00
2	02419		198,00	Parte superior	02386		266,00
				Parte superior carb nomex	02387		401,00
3	02418		152,00	Bajos	02388		159,00
				Bajos carb vacío	02389		275,00
4	17612		110,00	Colín carb nomex	17611		198,00
5	21317		49,00	Pantalla			
6				Guardabarros del. Carb. Transp	16228		176,00
	16239		92,00	Guardabarros delantero Ohlins	16227		170,00
7				Guardabarros trasero	16099		119,00
8	22744		4,60	Tapiz asto. 12 mm.			
9	72608		330,00	Kit estriberas	prova		



APRILIA RSW 125 GP 07 KIT



Nº	Cod	Peso	Neto €	APRILIA RSW 125 GP 07 KIT	Cod	Peso	Neto €
	fibra	fibra	fibra		carbono	carbono	carbono
1	00794		360,00	Carenado carbono	00699		465,00
				Carenado carbono nomex	00698		698,00
2				Parte superior carbono	02437		290,00
				Parte superior carbon nomex	02435		409,00
3				Bajos carbono	02438		176,00
				Bajos carbono nomex	02436		291,00
4	17612		110,00	Colín carbono nomex	17611		198,00
5	21317		49,00	Pantalla			
6	16239		92,00	Guardabarr D/Ohlins carb tran	16228		180,00
				Guardabarr D/Ohlins carbono	16227		170,00
7				Guardabarr T/ carbono trans	16099		119,00
8	22744		4,60	Tapiz asto. 12 mm.			
9	72608		330,00	Kit estriberas	prova		
10	15266		13,00	Soporte carenado			

SCOTT REDDING

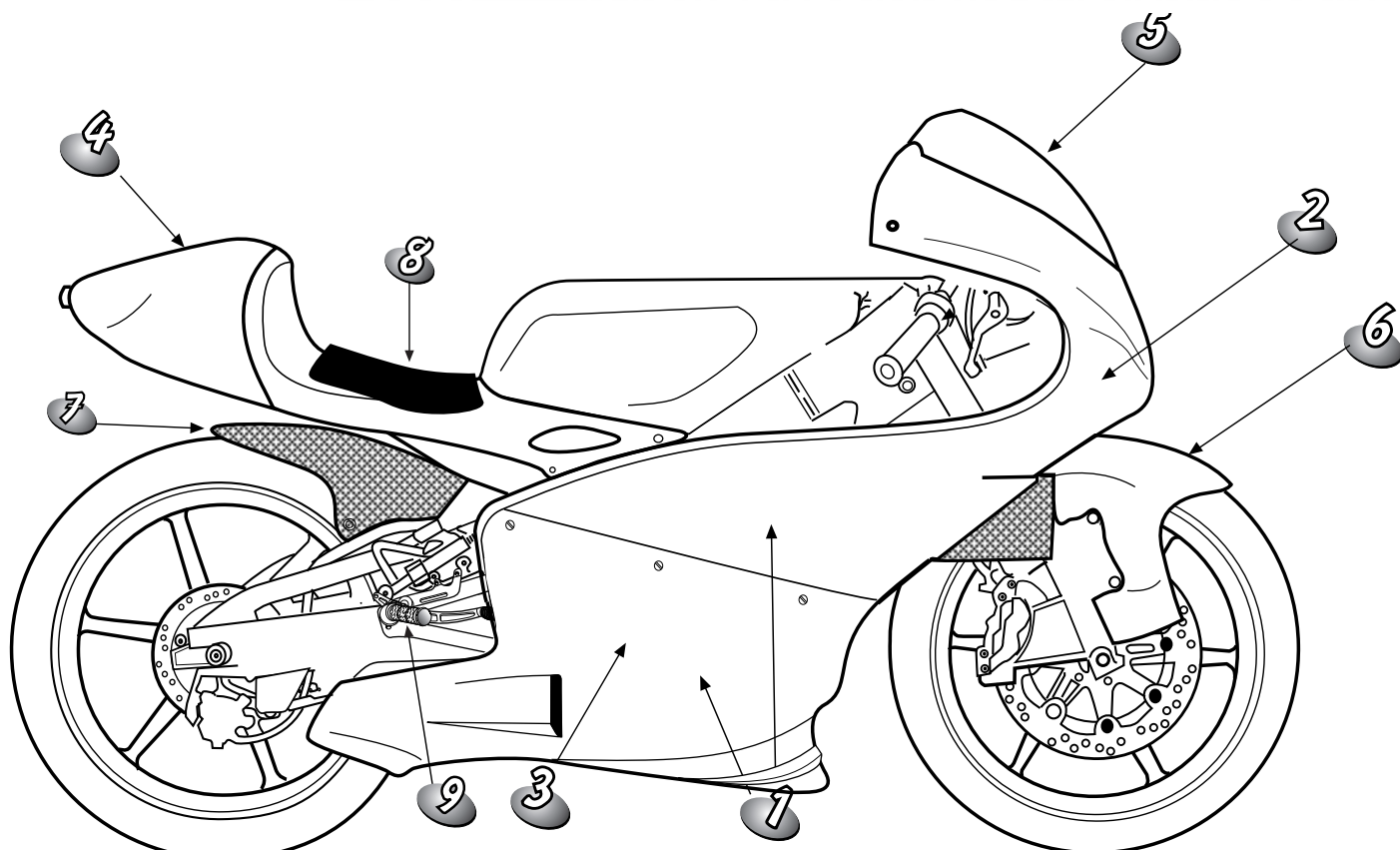
PRESTACIONES

PESO

FICHA TÉCNICA
Poliéster + tejido
Epoxi + carbono

Speed fiber

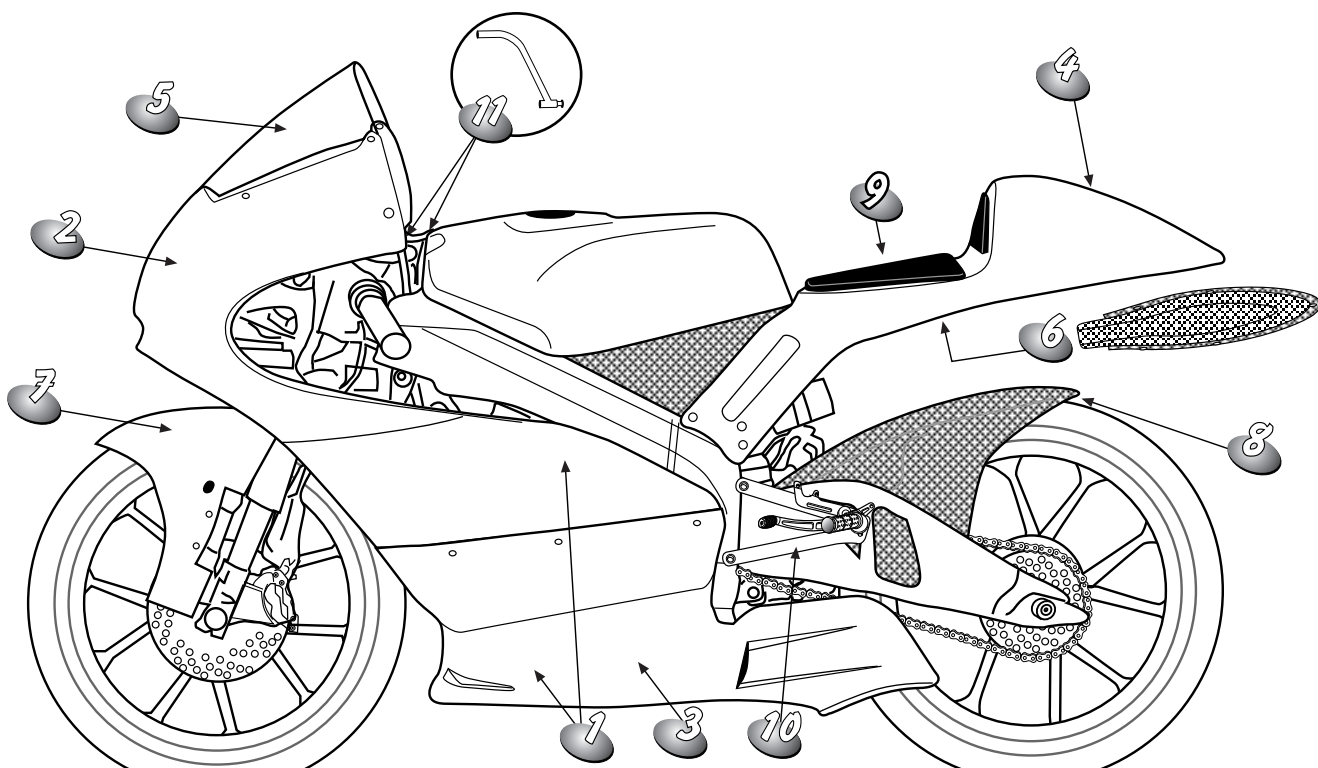
APRILIA RS 125 GP 06-08



N°	Cod	Peso	Neto €	APRILIA RS 125 GP 06-08	Cod	Peso	Neto €
	fibra	fibra	fibra		carbono	carbono	carbono
1	00702		350,00	Carenado	00703		442,00
				Carenado carb nomex vacio	00735		69800
2	02419		198,00	Parte superior	02386		266,00
				Parte super. carb nomex vacio	02387		401,00
3	02547		167,00	Bajos	02519		176,00
				Bajos carb nomex vacio	02401		291,00
4	17612		110,00	Colín carb nomex vacio	17611		198,00
5	21317		49,00	Pantalla			
6				Guardabarros D/ carb trans	16228		180,00
	16239		92,00	Guardabarros D/ Ohlins carb	16227		170,00
7				Guardabarros T/ carb trans	16099		119,00
8	22744		4,60	Tapiz asto. 12 mm.			
9	72608		330,00	Kit estriberas	prova		



APRILIA RSA 125 GP 08-



Nº	Cod fibra	Peso fibra	Neto € fibra	APRILIA RSA 125 GP 08	Carbono		
					Cod	Peso	Neto €
1				Carenado			
				Carenado carb nomex vacio	00704		725,00
2				Parte super. carb nomex vacio	02441		409,00
3				Bajos carb nomex vacio	02442		316,00
4				Colín + antirr carb nomx vacio	17613		495,00
5	21319		50,00	Pantalla			
6				Antirrebufo carb trans	22311		130,00
7				Guardab. D/ Ohlins carb trans	16228		180,00
	16239		92,00	Guardabarros D/ Ohlins carb	16227		170,00
8				Guardabarros T/ carb trans	16104		119,00
9	22888		8,38	Tapiz asto. 12 mm.			
10	72680	prova	328,51	Kit estriberas / Hoja despiece			
11				Soporte carenado			

