

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA



UNIVERSITAS
Miguel Hernández

"DISEÑO Y ANÁLISIS DE LOS PONTONES
Y FONDO PLANO DE UN MONOPLAZA
DE FORMULA STUDENT"

TRABAJO FIN DE GRADO

Diciembre -2024

AUTOR: Alberto Alejandro Márquez
de la Plata Caballero

DIRECTORA: Carolina Senabre Blanes

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mis padres por apoyarme durante los años que he estado luchando por obtener este grado, por su paciencia y por enseñarme los valores que me han llevado a seguir adelante aún en los momentos mas complicados.

Me gustaría agradecer también a Carolina Senabre Blanes por su apoyo y guía a lo largo de la realización de este trabajo de fin de grado.

Por último debo agradecer a las más de 40 personas involucradas en Ilici Racing Team UMH, por ayudar a crear el primer equipo de la provincia de Alicante de Formula Student. De entre las cuales me gustaría dar gracias a Rubén Caballero Toro, figura docente que siempre ha apoyado al equipo desde la universidad.



RESUMEN

Este trabajo se centra en el diseño y análisis de los pontones y el fondo plano del monoplaza de Formula Student del equipo IRTUMH (Ilici Racing Team Universidad Miguel Hernández). En este contexto, se explora la historia de la aerodinámica, su implementación en el deporte del motor y su relevancia en la eficiencia y rendimiento en los vehículos de competición modernos. Partiendo de aquí, se presenta la competición de Formula Student, su contexto y limitaciones. Además, se detallan las herramientas disponibles y los materiales de construcción a utilizar. Con todo ello, se exploran diferentes diseños y su evolución hasta llegar al paquete aerodinámico final.



ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	I
RESUMEN EJECUTIVO	III
ÍNDICE DE TABLAS	IX
1. Introducción	1
1.1. Origen del automóvil y su relación con la competición	1
1.2. Historia de la aerodinámica	3
1.3. Importancia de la aerodinámica en la competición	4
1.4. Introducción a Formula Student	8
1.5. Descripción general de la competición	9
1.5.1. Eventos Estáticos	9
1.5.2. Eventos Dinámicos	9
1.6. Normativa y pruebas	11
1.6.1. Configuración del Vehículo	11
1.6.2. Restricciones para Dispositivos Aerodinámicos	13
1.6.3. Radio Mínimo de los Bordos de la Carrocería y Dispositivos Aerodinámicos	14
1.7. Motivación	16
1.8. Objetivos	17

2. Material y Métodos	18
2.1. Aerodinámica	18
2.1.1. Principios aereodinámicos aplicados	18
2.1.2. Ecuaciones de aereodinámica empleadas	24
2.2. Transmisión de calor	29
2.2.1. Ecuación de Transferencia de Calor	30
2.3. Programas utilizados	31
2.3.1. Ansys CFX	31
2.3.2. Autodesk Inventor	31
2.4. Materiales de Construcción	32
2.5. Metodología empleada	33
2.6. Diseño del vehículo	35
2.6.1. Refrigeración del Motor	35
2.7. Proceso de fabricación	36
3. Resultados y Discusión	37
3.1. Angulo del difusor	37
3.2. Diseño del fondo plano	38
3.3. Diseño de los pontones	39
3.4. Combinación de Fondo Plano y Pontones	40
3.5. Resultados obtenidos	40
3.6. Coeficiente de arrastre para contrastar resultados.	42

3.7. Presupuesto	43
4. Conclusiones	44
4.1. Conclusiones del trabajo	44
4.2. Trabajo futuro	45
5. ANEXOS	46
5.1. Anexo I: Planos	46
6. BIBLIOGRAFÍA	49



ÍNDICE DE TABLAS

- 3.1. Presupuesto estimado para la fabricación del fondo plano y pontones. 43



1. Introducción

1.1. Origen del automóvil y su relación con la competición

El automóvil surgió a finales del siglo XIX como alternativa a los carruajes tirados por caballos. En 1886, Karl Benz patentó el primer automóvil con motor de combustión interna, el Benz Patent-Motorwagen.



Figura 1.1: Benz Patent-Motorwagen, 1886

Poco después, comenzaron las primeras competiciones automovilísticas, donde tanto fabricantes como conductores querían demostrar la superioridad de sus vehículos frente a otros. Uno de los primeros eventos importantes fue la carrera París-Rouen en 1894.



Figura 1.2: Carrera Paris-Rouen, 1894

En esta época, los coches alcanzaban una gran velocidad en recta, aunque no tomaban bien las curvas.

Ya a principios del siglo XX, se celebraron los primeros "Grandes Premios". En particular, carreras en circuitos, donde las principales marcas de la época competían por ver cuál era el coche más rápido. En 1906, la primera carrera que llevó el nombre de Gran Premio era organizada por el Club del Automóvil de Francia (CAF), y se corría durante dos días en un circuito, localizado en Le Mans.



Figura 1.3: Gran Premio de Francia, 1906

En 1947, comenzaron las carreras de Fórmula 1, estableciéndose como la categoría referente en el automovilismo y la competición de coches más rápida del mundo. En 1950, se inauguró el Mundial de Fórmula 1, lo que impulsó diversos avances, partiendo desde coches simples, que apenas tenían en cuenta la aerodinámica, hasta los avanzados vehículos que tenemos hoy en día, con elementos aerodinámicos diseñados al milímetro adaptados para cada tipo de circuito.



Figura 1.4: Gran Premio de Italia, 1950

1.2. Historia de la aerodinámica

En la humanidad siempre ha existido el deseo de volar. Los avances en aerodinámica a finales del siglo XIX y principios del siglo XX permitieron a los hermanos Wright lograr su primer vuelo en 1903, aplicando principios aerodinámicos como la sustentación y la resistencia. A medida que la tecnología avanzaba, se empezó a experimentar con la incorporación de estos conceptos en una mayor cantidad de vehículos; los primeros coches que comenzaron a implementarlos fueron los de competición.



Figura 1.5: Los hermanos Wright realizando su primer vuelo en 1903.

En la década de 1930, algunos fabricantes de automóviles comenzaron a experimentar con diseños que redujeran la resistencia aerodinámica. Esto permitió aumentar significativamente las velocidades, ya que a altas velocidades la mayor parte de la potencia se pierde en la resistencia al avance, y también mejoró considerablemente la estabilidad.



Figura 1.6: Tatra T77, un ejemplo de diseño aerodinámico.

1.3. Importancia de la aerodinámica en la competición

En las primeras décadas de competiciones de automóviles, la aerodinámica no se veía como un pilar principal. Enzo Ferrari expuso esta idea en su famosa frase: “La aerodinámica es para fracasados que no saben hacer motores”. La potencia del motor se veía como la clave del éxito, mientras que la aerodinámica estaba en un segundo plano. A medida que fue aumentando la velocidad de las carreras, se vio que era la resistencia aerodinámica la que impedía alcanzar velocidades mayores y que la estabilidad se veía reducida a altas velocidades.

En los años 30, empezaron a aparecer coches con diseños alargados y líneas más estilizadas para reducir la resistencia al aire y mejorar la estabilidad.



Figura 1.7: Mercedes-Benz W125, un ejemplo de diseño aerodinámico en los años 30.

En la década de los 50, aparecieron los primeros túneles de viento, que permitieron estudiar la aerodinámica de los coches en mayor profundidad y tener una mayor precisión en el diseño de las carrocerías.



Figura 1.8: Mercedes-Benz W196 de 1955

Los avances aerodinámicos mejoraron aspectos como la adherencia, el paso por curva y el control a alta velocidad, además de llegar a velocidades más altas. Se comenzaron a implementar alerones basados en perfiles alares similares a los de los aviones, pero invertidos para generar sustentación negativa, lo que conocemos como carga aerodinámica. Estos perfiles alares invertidos son o que conocemos como alerones y tenían gran efectividad pegando los coches al suelo y aumentando la estabilidad.

En los 70, la Fórmula 1 experimentó otra revolución con la implementación del efecto suelo. Este descubrimiento aumentaba la estabilidad y tracción en curvas. El efecto suelo traía grandes beneficios sin aumentar mucho la resistencia al avance. En el efecto suelo, los fondos planos aceleraban el flujo de aire bajo el coche, generando una gran carga aerodinámica permitiendo un mejor paso por curva sin reducciones de velocidad punta. Esto permitió que monoplazas como el Lotus 79, al ser de los primeros en desarrollarlo, dominaran las carreras, estableciendo un estándar para el futuro.



Figura 1.9: Lotus 79, pionero en el uso del efecto suelo en Fórmula 1.

En los 80, los pontones comenzaron a tener una gran relevancia en los monoplazas. Estos pontones, no servían solo para la refrigeración, sino que también canalizaban el aire de forma eficiente alrededor del coche, favoreciendo así a la reducción de la resistencia aerodinámica y la refrigeración del motor.

En la década de los 90, se empezaron a incorporar suspensiones activas. Estas suspensiones, manteniendo una altura constante en el coche, aseguraban la efectividad del efecto suelo en todo momento. Un ejemplo clave es el Williams FW14B de 1992, que optimizaba la carga aerodinámica de una manera nunca antes vista, adaptándose

a las irregularidades de la pista.



Figura 1.10: Williams FW14B, con innovaciones en pontones y suspensiones activas.

A finales de siglo, aparecieron herramientas de simulación computacional (CFD), que permitieron hacer un análisis del flujo de aire para optimizar el diseño antes de producir los paquetes aerodinámicos. La simulación y el análisis del flujo de aire previos a la fabricación permitían mejorar el diseño de fondos planos y pontones a niveles inimaginables años antes. Los diseñadores de coches como los Ferraris de Michael Schumacher supieron extraer el potencial de estas herramientas. Esta adaptación a las nuevas tecnologías hicieron que ganaran la mayoría de las carreras de las primeras temporadas de este siglo, con una gran optimizaron de la refrigeración y carga aerodinámica.



Figura 1.11: Ferrari F2004, optimizado en fondos planos y pontones mediante simulación CFD.

En las décadas de 2010 y 2020, la FIA (Federación Internacional del Automovilismo), encargada de establecer las normativas en la Formula 1, empezó a restringir los diseños aerodinámicos para mejorar la competitividad y la seguridad en pista. Estos

cambios en el reglamento, llevaron a los ingenieros a adaptar los fondos planos y pontones. Esto dio lugar a diseños donde los fondos planos y los pontones están ideados para maximizar la carga aerodinámica y mantener un flujo de aire eficiente, adaptándose a las restricciones reglamentarias y extrayendo el máximo potencial de cada pieza, tal como se pretende hacer en este TFG.



Figura 1.12: Mercedes-AMG F1 W11, ejemplo moderno de adaptación a normativas aerodinámicas.



1.4. Introducción a Formula Student

Formula Student es una competición entre universidades en la que los estudiantes participan en el diseño y fabricación de un monoplaza. Los equipos deben aplicar los conocimientos adquiridos en sus respectivos grados para construir un vehículo, gestionando todos los aspectos del desarrollo del equipo, diseño, plan financiero, logístico y organizativo, desarrollando así todas las aptitudes necesarias para un equipo de carreras real.

El monoplaza debe cumplir una normativa específica, contando con la cabina del piloto abierta y ruedas expuestas, al estilo de la Fórmula 1. Cada equipo tiene que desarrollar el coche dentro de las restricciones del reglamento, optimizando el coche en términos de rendimiento, seguridad y estabilidad. Además de los retos técnicos, Formula Student impulsa a los estudiantes a mejorar sus habilidades de gestión, trabajo en equipo y comunicación, fundamentales para desenvolverse en el mundo de la automoción. Es por ello, que esta competición es la puerta de entrada a cualquier estudiante que se quiera desarrollarse dentro del mundo de la competición automovilística. Haber pertenecido a un equipo de Formula Student es un requisito indispensable a la hora de acceder a un equipo de Formula 1.

1.5. Descripción general de la competición

La competición evalúa el desempeño de los coches en dos escenarios: estáticos y dinámicos, lo que permite un análisis del diseño, la construcción y el rendimiento en pista.

1.5.1. Eventos Estáticos

- **Diseño de Ingeniería:** Los jueces analizan el chasis, suspensión y dispositivos aerodinámicos, entre otros. Los equipos deben justificar las decisiones de diseño y mostrar cómo se ha optimizado cada componente.
- **Coste y Manufactura:** Se evalúa la estimación de costos y los métodos de fabricación empleados, valorando la eficiencia en el uso de materiales como la fibra de carbono y otros componentes avanzados.
- **Presentación de Negocio:** Los equipos simulan una propuesta de venta de su monoplaza ante potenciales inversores, demostrando la viabilidad y el atractivo del proyecto como una inversión.

1.5.2. Eventos Dinámicos

En estos eventos, el coche se somete a diversas pruebas en pista para evaluar su rendimiento:

- **Aceleración:** Mide la capacidad del coche para alcanzar la velocidad máxima en una distancia corta.
- **Skid Pad:** Evalúa la estabilidad en curva, utilizando un recorrido en forma de ocho.
- **Autocross/Sprint:** Mide la agilidad y velocidad en un circuito de corta distancia con cambios de dirección rápidos.

- **Resistencia:** Prueba la durabilidad y eficiencia del vehículo en un recorrido prolongado, simulando las condiciones de una carrera de larga distancia.



1.6. Normativa y pruebas

1.6.1. Configuración del Vehículo

El vehículo debe ser diseñado y fabricado de acuerdo con buenas prácticas de ingeniería. Debe ser de ruedas descubiertas, monoplaza y con cabina abierta (estilo de carrocería tipo fórmula 1) con cuatro ruedas que no estén en una línea recta.

Los vehículos de ruedas descubiertas deben cumplir con los siguientes requisitos (ver también la figura 1.13):

- El conjunto de rueda/neumático debe estar despejado cuando se vea desde el costado.
- Ninguna parte del vehículo puede entrar en una zona restringida definida por dos líneas que se extienden verticalmente desde posiciones 75 mm delante y 75 mm detrás del diámetro exterior de los neumáticos delanteros y traseros en la vista lateral del vehículo, con la dirección recta. Esta zona restringida se extiende lateralmente desde el plano exterior de la rueda/neumático hasta el plano interior del conjunto de rueda/neumático.

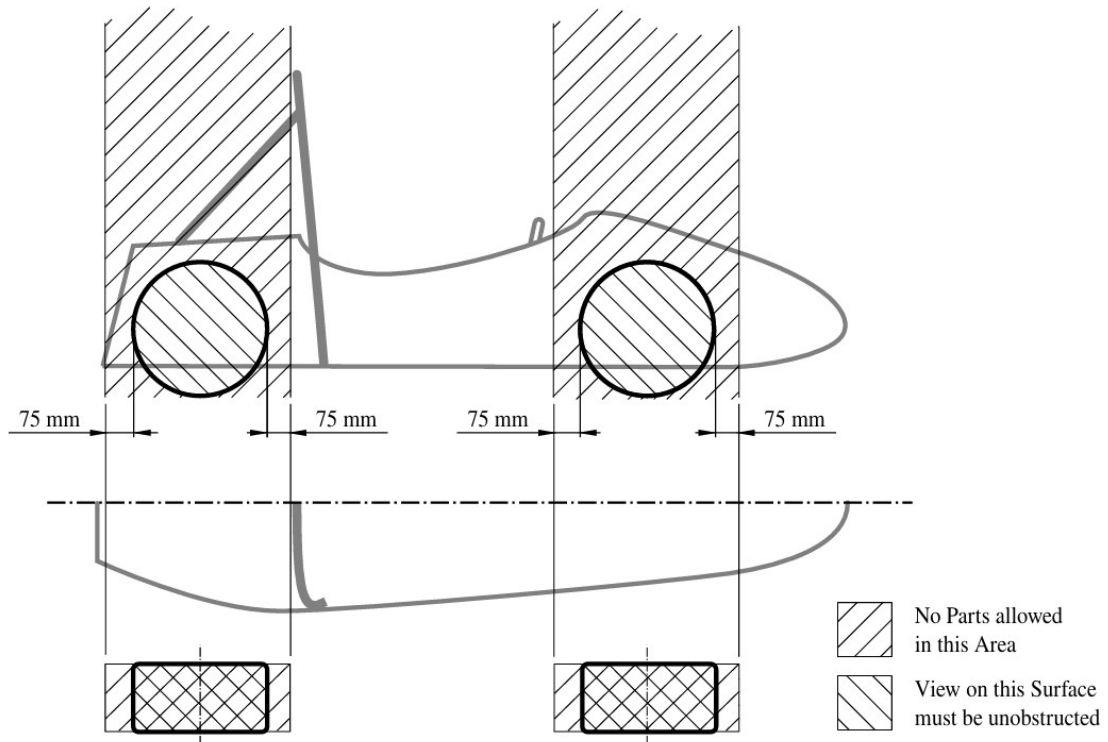


Figura 1.13: Zonas restringidas para la definición de un vehículo de ruedas descubiertas.

Altura Libre al Suelo

La altura libre al suelo mínima estática de cualquier parte del vehículo, excluyendo los neumáticos, y con el piloto incluido, debe ser de al menos 30 mm. Si se instala un sistema de suspensión activa, la altura libre estática se mide en la posición ajustable más baja.

Están prohibidas las faldas deslizantes u otros dispositivos aerodinámicos que, por diseño, fabricación o como consecuencia del movimiento, entren en contacto con la superficie de la pista.

Dispositivo Aerodinámico

Un dispositivo aerodinámico se define como una estructura diseñada específicamente y montada en el vehículo para guiar el flujo de aire a su alrededor, aumentando la carga aerodinámica que actúa sobre el vehículo y/o reduciendo su resistencia. El

montaje de esta estructura no se considera un dispositivo aerodinámico a menos que esté diseñado intencionalmente como tal.

1.6.2. Restricciones para Dispositivos Aerodinámicos

Restricciones de Altura

- Todos los dispositivos aerodinámicos situados por delante de un plano vertical a través de la parte más posterior de la cara frontal del soporte de la cabeza del piloto, excluyendo cualquier acolchado, ajustado en su posición más hacia atrás, deben estar a menos de 500 mm del suelo.
- Todos los dispositivos aerodinámicos delante del eje delantero y que se extiendan más allá del punto más interior del neumático/rueda delantero deben estar a menos de 250 mm del suelo.
- Todos los dispositivos aerodinámicos situados detrás de un plano vertical a través de la parte más posterior de la cara frontal del soporte de la cabeza del piloto, excluyendo cualquier acolchado, ajustado en su posición más hacia atrás, deben estar a menos de 1,2 m del suelo.

Restricciones de Ancho

- Todos los dispositivos aerodinámicos situados a menos de 500 mm del suelo y más atrás que el eje delantero no deben ser más anchos que un plano vertical tocando el punto más externo de la rueda/neumático delantero y trasero.
- Todos los dispositivos aerodinámicos situados a más de 500 mm del suelo no deben extenderse más allá del punto más interior de la rueda/neumático trasero.

Restricciones de Longitud

- Ningún dispositivo aerodinámico debe extenderse más de 250 mm hacia atrás desde la parte trasera de los neumáticos traseros.
- Ningún dispositivo aerodinámico debe extenderse más de 700 mm hacia adelante desde la parte delantera de los neumáticos delanteros.
- Todas las restricciones deben cumplirse con las ruedas apuntando hacia adelante y con cualquier configuración de suspensión, con o sin el conductor sentado en el vehículo.

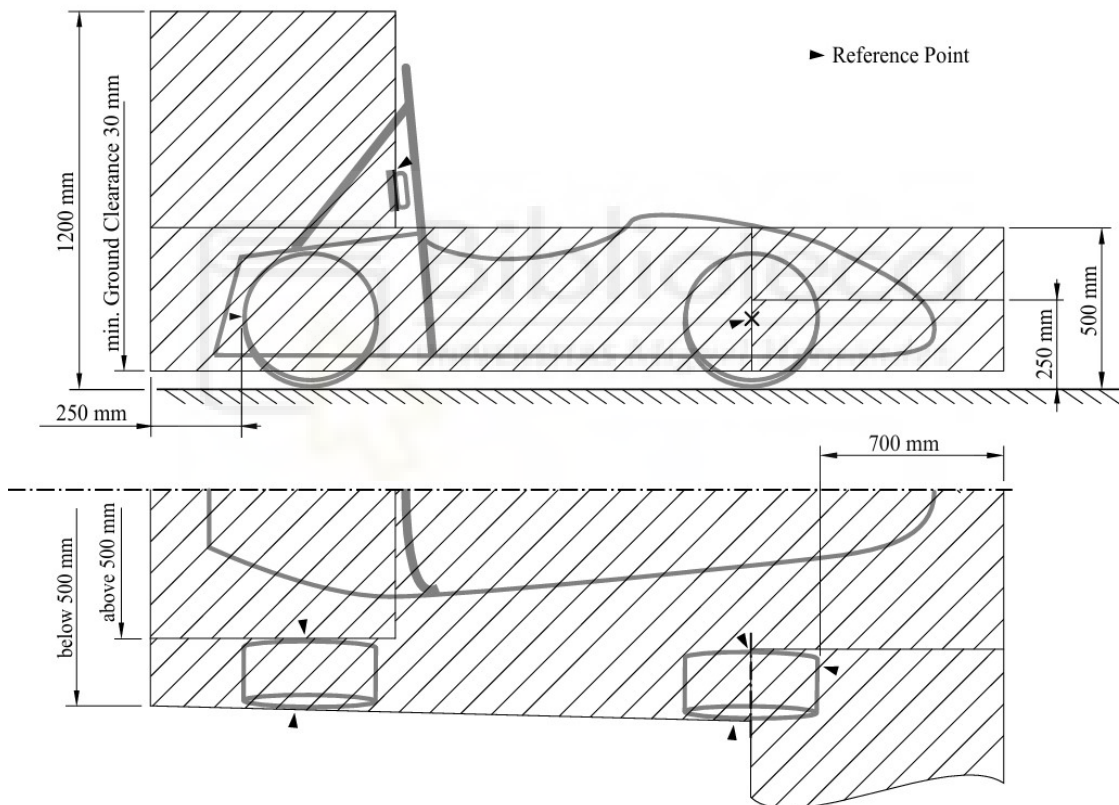


Figura 1.14: Dimensiones máximas y posicionamiento de dispositivos aerodinámicos.

1.6.3. Radio Mínimo de los Bordes de la Carrocería y Dispositivos Aerodinámicos

Para todos los bordes que podrían entrar en contacto con cualquier peatón en pie sin llegar al vehículo, el radio mínimo de la carrocería y de los dispositivos aerodinámicos

es de 3 mm para todos los bordes orientados hacia adelante y de 1 mm para todos los demás bordes.



1.7. Motivación

Desde pequeño, siempre me han apasionado los coches. Pasaba horas jugando con los Hot Wheels y aprendiendo todo lo posible sobre el coche más rápido del momento. Sin embargo, nunca imaginé que algún día podría formar parte de quienes innovan en el mundo del motor para romper barreras físicas y mejorar sus capacidades.

Además, los aviones también me fascinaron desde muy joven. Al haber viajado mucho durante mi infancia y visitado la NASA en varias ocasiones, desarrollé una profunda admiración por los vehículos que nos permiten volar. Esta combinación de intereses hacia los automóviles y la aeronáutica marcó mi visión del futuro.

Durante mi adolescencia, comencé a emprender pequeños negocios y a desarrollar ideas diversas. Fue entonces cuando descubrí lo satisfactorio que es iniciar un proyecto, dedicarle horas interminables y superar contratiempos. Aunque no siempre se tiene la certeza del éxito, el desafío y la determinación de completarlo siempre me han motivado.

Cuando terminé el Bachillerato y empecé a planificar mi futuro, tuve claro que quería dedicarme a un ámbito relacionado con la innovación y la superación de desafíos. Por ello, decidí estudiar una ingeniería. Apliqué a Ingeniería Aeronáutica e Ingeniería Mecánica, y finalmente fui aceptado en la segunda. A lo largo de la carrera, aprendí cómo funcionan las máquinas que mueven nuestro mundo, lo que me permitió reconectar con mi pasión por el motor.

Con el tiempo, me convertí en un verdadero fanático de la Fórmula 1, encontrando inspiración en mi ídolo, Sir Lewis Hamilton. Su dedicación, esfuerzo y búsqueda constante de la excelencia resonaron profundamente conmigo. A medida que adquiría más conocimientos en mi carrera, comencé a entender mejor el trabajo de ingeniería en este deporte. Esto me llevó a interesarme particularmente por la aerodinámica, un campo que une mis dos grandes pasiones: los automóviles y la aeronáutica.

El año pasado, mientras hablaba con compañeros que compartían ideas similares, surgió la idea de formar un equipo de Formula Student. Fue un proceso desafiante,

pero tras mucho esfuerzo y negociaciones con los organismos de la universidad, logramos establecerlo. No dudé en unirme desde el principio, para hacer realidad el sueño de diseñar nuestro primer monoplaza.

Desde entonces, hemos trabajado arduamente para avanzar en este proyecto. Cerramos los primeros patrocinios, asistimos a ferias para generar interés y, paso a paso, hemos materializado nuestra visión. Hoy, estoy diseñando gran parte del paquete aerodinámico de lo que será nuestro primer monoplaza, pensado para competir en la Formula Student Spain en Barcelona en Julio de 2025. Este logro simboliza no solo un sueño hecho realidad, sino también el resultado de años de pasión y esfuerzo.

Espero además, que el trabajo aquí realizado sirva de inspiración para futuros estudiantes, que también quieran seguir estos pasos, y que el equipo IRT UMH pueda llegar a lo mas alto del podio.

1.8. Objetivos

El objetivo de este trabajo es diseñar los pontones y el fondo plano de un monoplaza de Formula Student, optimizando su rendimiento aerodinámico mediante herramientas de simulación computacional de fluidos (CFD). Se evaluarán diferentes configuraciones para maximizar la estabilidad, la refrigeración y la carga aerodinámica, manteniendo todo en el marco de la normativa de la competición.

Se desarrollará un plan de fabricación que permita producir estas piezas durante el próximo año, abordando la selección de materiales y los procesos de manufactura necesarios. El objetivo es lograr un diseño adaptable y eficiente que cumpla con los requisitos de Formula Student y maximice el rendimiento del vehículo en pista.

2. Material y Métodos

2.1. Aerodinámica

Siendo la aerodinámica el objeto principal de esta investigación, es importante resaltar los diferentes conceptos aerodinámicos que tienen lugar. Esta sección define distintos procedimientos y útiles empleados en el trabajo desarrollado, de modo que se alcancen los distintos objetivos.

2.1.1. Principios aerodinámicos aplicados

Reducción de la Resistencia Aerodinámica (Drag)

La resistencia aerodinámica es la fuerza que se opone al movimiento del monoplaza a través del aire. Para mejorar la aceleración y la eficiencia, es esencial reducir el *drag* (fuerza opuesta a su movimiento). Con ese objetivo, los pontones y el fondo plano se diseñan con contornos aerodinámicos que minimizan el área frontal y optimizan el flujo de aire, utilizando superficies lisas y curvadas. Las simulaciones CFD permiten evaluar diferentes configuraciones y seleccionar el diseño del monoplaza que ofrezca la menor resistencia, sin comprometer la carga aerodinámica.

El perfil aerodinámico es un factor clave a la hora de minimizar la resistencia aerodinámica a niveles óptimos. Todo lo que nos permita asemejarnos a una gota de agua cayendo, con un borde de ataque redondeado y una parte trasera afilada, permite que el aire fluya suavemente a su alrededor, reduciendo el drag al mínimo sobre el automóvil. En el diseño de los pontones y el fondo plano de un monoplaza de Formula Student, esta geometría se aplica para dirigir el aire de manera controlada hacia áreas críticas como el radiador. La implementación de esta forma no solo reduce la resistencia, sino que también mejora la estabilidad, favoreciendo un rendimiento sobresaliente en velocidad y eficiencia energética.

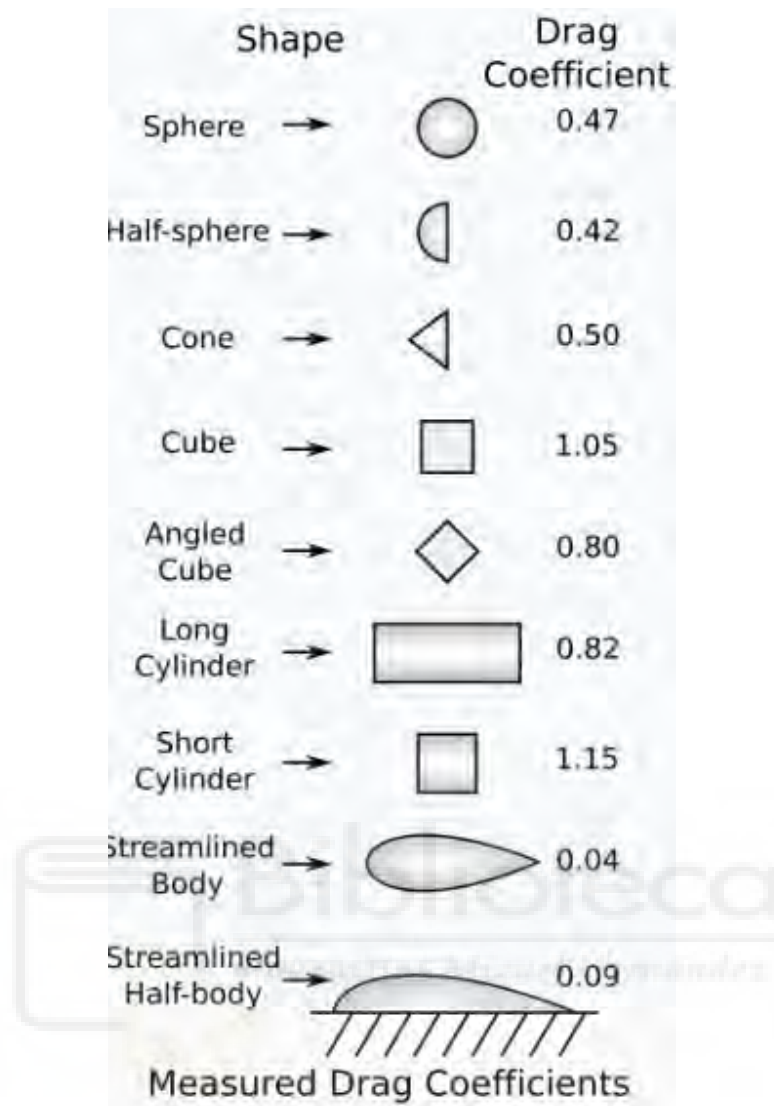


Figura 2.1: Coeficientes de resistencia aerodinámica

Control del Flujo de Aire hacia el Radiador

Los pontones incorporan entradas de aire que dirigen el flujo hacia los radiadores, garantizando una refrigeración adecuada del motor. La geometría de estas entradas debe ser cuidadosamente diseñada para maximizar el flujo de aire hacia los radiadores sin generar drag adicional. La optimización de la posición, tamaño y ángulo de ataque de estas entradas se realiza a través de simulaciones, garantizando que los componentes internos del vehículo mantengan temperaturas ideales.



Figura 2.2: Diseño preliminar de los pontones

Efecto suelo

El efecto suelo es un fenómeno crítico en el diseño aerodinámico de vehículos de alta competición, el cual permite generar carga aerodinámica aprovechando el flujo de aire bajo el vehículo. Este fenómeno se produce cuando el aire pasa a través del espacio entre el fondo plano del monoplaza y la superficie de la pista, generando una región de baja presión que adhiere el vehículo al suelo. A diferencia de los alerones que incrementan el drag sobre el mismo, el efecto suelo proporciona carga aerodinámica sin añadir resistencia aerodinámica significativa. Para maximizar su impacto en el monoplaza de Formula Student, se utiliza un difusor en la parte posterior del fondo plano que expande gradualmente el flujo de aire y provoca una reducción de la presión que refuerza el efecto de “succión”. Esta carga aerodinámica permite mejorar la estabilidad y el agarre del vehículo, especialmente en curvas de alta velocidad, sin penalizar excesivamente la eficiencia energética, una ventaja esencial en competiciones donde el balance entre rendimiento y consumo es clave.

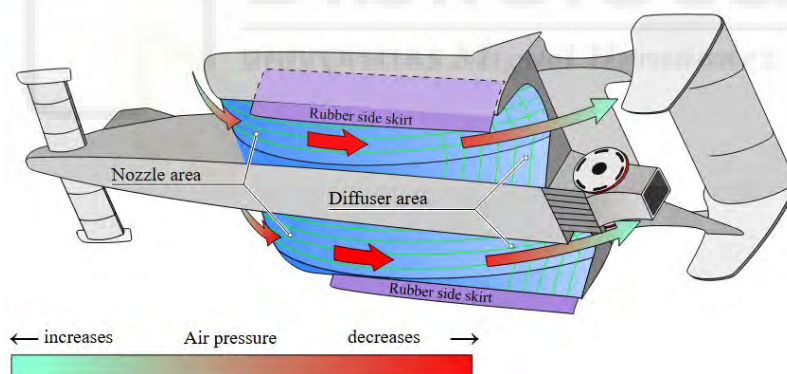


Figura 2.3: Efecto suelo en lotus 79

Difusores

El difusor es una parte del fondo plano ubicada en la parte trasera del monoplace, diseñada para expandir el flujo de aire de manera controlada, generando una zona de baja presión adicional que incrementa su carga aerodinámica. Los difusores juegan un papel crucial en el diseño de los coches de Formula Student al permitir una mayor adherencia en las curvas, esencial para obtener tiempos de vuelta competitivos. Para maximizar su eficiencia, los difusores se diseñan con ángulos de inclinación y geometrías específicas que evitan la separación del flujo, la cuál reduciría la carga aerodinámica y podría causar inestabilidad. Las simulaciones de CFD ayudan a analizar el rendimiento de diferentes geometrías de difusor, garantizando un diseño que refuerce el efecto suelo y mantenga la estabilidad del vehículo a altas velocidades.



Figura 2.4: Difusor en un Porsche 962

Flujo Laminar y Turbulento

En el diseño aerodinámico de un monoplaza de Formula Student, la distinción entre flujo laminar y flujo turbulento es fundamental. El flujo laminar es ordenado y suave, y minimiza la resistencia aerodinámica (drag) al adherirse a las superficies del vehículo. En cambio, el flujo turbulento, caracterizado por su caos, genera vórtices que incrementan el drag y afectan la estabilidad.

Mantener un flujo laminar en áreas críticas como los pontones y el fondo plano es esencial. A través de simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD), se optimiza la geometría del vehículo para reducir la resistencia y mejorar el rendimiento en competición. La gestión de la transición entre estos flujos es clave para maximizar la eficiencia aerodinámica.

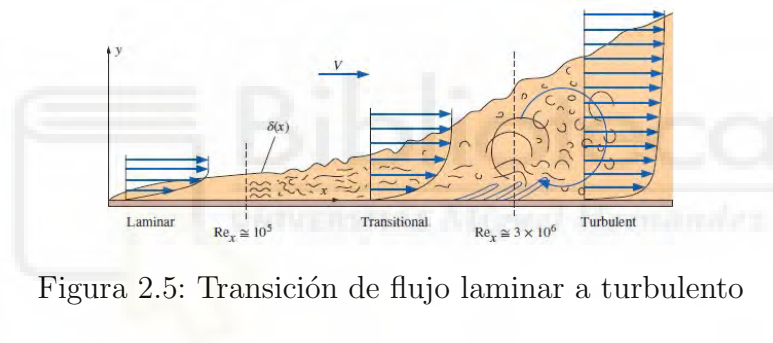


Figura 2.5: Transición de flujo laminar a turbulento

2.1.2. Ecuaciones de aerodinámica empleadas

Ecuación de Bernoulli

La Ecuación de Bernoulli es esencial en el análisis del flujo de aire sobre y debajo del vehículo, ya que relaciona la presión y la velocidad de un fluido en movimiento. En el diseño del fondo plano del monoplaza, esta ecuación permite comprender cómo la velocidad del flujo de aire bajo el vehículo genera una región de baja presión que incrementa la carga aerodinámica, mejorando el agarre en curvas.

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh = \text{constante} \quad (2.1)$$

Donde:

- P : Presión estática del aire.
- ρ : Densidad del aire.
- v : Velocidad del flujo de aire.
- h : Altura respecto a un nivel de referencia.

En el contexto de Formula Student, al diseñar el fondo plano se busca maximizar esta baja presión al aumentar la velocidad del flujo de aire bajo el vehículo, generando así una carga aerodinámica adicional sin incrementar significativamente la resistencia aerodinámica.

Número de Reynolds

El Número de Reynolds es clave para determinar la naturaleza del flujo alrededor de los componentes del monoplaza. Este número adimensional es útil para indicarnos si el flujo es laminar o turbulento, lo cual es fundamental para el diseño de los pontones y el fondo plano, ya que es interesante mantener un flujo laminar para reducir el drag, mientras que un flujo turbulento incrementa la resistencia aunque puede beneficiar en la estabilidad.

$$Re = \frac{\rho v L}{\mu} \quad (2.2)$$

Donde:

- Re : Número de Reynolds.
- L : Longitud característica (por ejemplo, el ancho de los pontones).
- μ : Viscosidad dinámica del aire.
- ρ : Densidad del aire.
- v : Velocidad del flujo de aire.

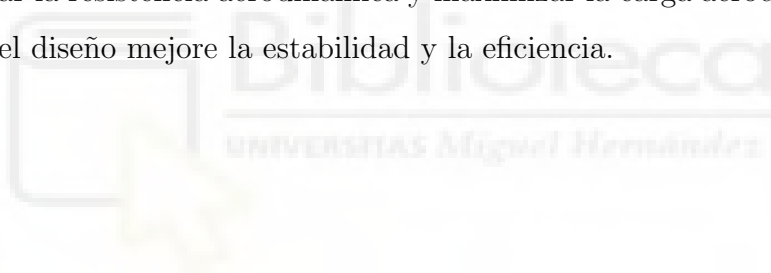
Para maximizar la eficiencia aerodinámica, varios ingenieros utilizan el Número de Reynolds para identificar las áreas donde es preferible un flujo laminar o turbulento, lo que ayuda a ajustar la geometría de los componentes y prever la transición entre ambos tipos de flujo.

Ecuaciones de Navier-Stokes

Las Ecuaciones de Navier-Stokes son fundamentales en simulaciones CFD (Dinámica de Fluidos Computacional), permitiendo modelar el comportamiento complejo del aire al fluir alrededor del monoplaza. Estas ecuaciones describen la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía en el flujo de fluidos, permitiendo predecir áreas de alta y baja presión, puntos de separación de flujo y formación de vórtices.

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + (v \cdot \nabla)v \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 v + \rho g \quad (2.3)$$

Mediante las Ecuaciones de Navier-Stokes, se simula el comportamiento del flujo alrededor de los pontones y el fondo plano. Esto permite optimizar la geometría para minimizar la resistencia aerodinámica y maximizar la carga aerodinámica, asegurando que el diseño mejore la estabilidad y la eficiencia.



Ecuación de Resistencia Aerodinámica (Drag)

La Ecuación de Resistencia Aerodinámica cuantifica la fuerza que se opone al avance del vehículo. Reducir el drag es crucial para mejorar la aceleración y la eficiencia del monoplaza, especialmente en Formula Student, donde el balance entre rendimiento y consumo energético es fundamental.

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A v^2 \quad (2.4)$$

Donde:

- F_d : Fuerza de arrastre (drag).
- C_d : Coeficiente de arrastre, dependiente de la forma del vehículo.
- A : Área frontal del monoplaza.
- v : Velocidad del flujo de aire.

Para minimizar el drag, el diseño de los pontones y el fondo plano se optimiza mediante simulaciones CFD para asegurar un flujo de aire limpio y reducir la fuerza de resistencia, sin comprometer la carga aerodinámica.

Generación de Carga Aerodinámica (Lift) por Efecto Suelo

La Ecuación de Lift permite calcular la carga aerodinámica generada por el efecto suelo, una ventaja crucial en vehículos de competición. Esta carga se genera mediante el flujo de aire bajo el fondo plano del monoplaça, proporcionando una fuerza hacia abajo que incrementa la adherencia del vehículo sin añadir resistencia significativa.

$$L = \frac{1}{2}C_l\rho Av^2 \quad (2.5)$$

Donde:

- L : Fuerza de lift o carga aerodinámica.
- C_l : Coeficiente de sustentación (negativo en el efecto suelo).
- A : Área de la superficie del fondo plano.

La aplicación de esta ecuación permite optimizar el diseño del fondo plano y del difusor trasero para maximizar el efecto de succión, mejorando la estabilidad en curvas sin aumentar el drag.

2.2. Transmisión de calor

Para asegurar la correcta refrigeración del radiador, es clave dirigir un flujo de aire adecuado hacia él. Cuando el aire atraviesa las aletas del radiador, extrae el calor del refrigerante que circula por los tubos internos. El objetivo es maximizar el contacto entre el flujo de aire y las aletas para optimizar el intercambio de calor. Cuanto mayor sea el caudal de aire, mayor será la capacidad del radiador para reducir la temperatura del refrigerante, pero tampoco se debe exceder para no generar resistencia aerodinámica adicional.

El diseño de las entradas de aire, situadas estratégicamente en los pontones, es crucial para guiar el aire de la manera más eficiente. Las simulaciones CFD permiten analizar el comportamiento del flujo en estas áreas, optimizando factores como el ángulo de las tomas y el tamaño de las aperturas para no crear demasiada resistencia aerodinámica. Al ajustar estas variables, se puede mejorar el flujo de aire hacia el radiador, garantizando un enfriamiento adecuado sin comprometer el rendimiento aerodinámico del automóvil.

2.2.1. Ecuación de Transferencia de Calor

Para un rendimiento óptimo, la Ecuación de Transferencia de Calor permite calcular la cantidad de calor que debe disiparse a través del radiador. La eficiencia de la refrigeración es vital, especialmente en el diseño de las tomas de aire en los pontones, que deben asegurar un flujo adecuado hacia el mismo.

$$Q = \dot{m}c_p\Delta T \quad (2.6)$$

Donde:

- Q : Calor transferido.
- \dot{m} : Flujo másico del aire.
- c_p : Capacidad calorífica del aire.
- ΔT : Diferencia de temperatura en el aire entre la entrada y salida del radiador.

Mediante esta ecuación se calcula el tamaño y la orientación óptima de las entradas de aire en los pontones para maximizar la eficiencia de la refrigeración sin aumentar el drag, asegurando que el motor se mantenga en la temperatura de operación adecuada.

2.3. Programas utilizados

En el desarrollo de este proyecto, se emplean herramientas avanzadas de modelado y simulación para diseñar y optimizar las piezas aerodinámicas del monoplaza de Formula Student. Estos programas permiten no solo visualizar y modelar los componentes, sino también analizar su rendimiento bajo condiciones reales de competencia.

2.3.1. Ansys CFX

Ansys CFX es un software estándar en la industria de la aerodinámica y es uno de los pilares de este TFG. CFX modela y resuelve ecuaciones complejas, permitiendo analizar el comportamiento del aire alrededor del monoplaza. Evalúa factores críticos como la presión, la velocidad del aire y fuerzas generadas. Este programa, es crucial para el diseño de los pontones y fondo plano, donde se busca minimizar la resistencia aerodinámica y optimizar la carga aerodinámica.

Para realizar las simulaciones en CFX, se establecerán los parámetros del flujo de aire con la intención de reproducir las condiciones que se verán en la pista. Permitted con este ajuste medir el rendimiento aerodinámico de los diseños. Con estos datos, será posible refinar la forma de los componentes para maximizar la carga aerodinámica sin incrementar el drag.

2.3.2. Autodesk Inventor

Autodesk Inventor es la herramienta de CAD utilizada para modelar las piezas del paquete aerodinámico mostradas en este trabajo. Dicho programa permite crear geometrías detalladas y precisas, permitiendo hacer una representación de cada componente de la forma que se llevará a la realidad. Una vez definidos los diseños en Inventor, estos modelos serán exportados para su análisis en Ansys CFX.

2.4. Materiales de Construcción

Para la elaboración de los componentes aerodinámicos del monoplaza, se valoró el uso de diferentes materiales en función de sus propiedades mecánicas y coste. En un principio, consideramos opciones como la fibra de carbono, la cual aportaba la mayor resistencia por peso, o la combinación de fibra de vidrio y aramida, que a pesar de no ofrecer una relación tan buena de resistencia por peso, es una opción más económica.

Debido a limitaciones presupuestarias, se había tomado inicialmente la decisión de fabricar todas las piezas con la combinación de fibra de vidrio y aramida en primera instancia. Aunque este material es menos resistente y requiere la aplicación de múltiples capas (lo que incrementaría el peso total), su coste accesible lo hacía viable para nuestras necesidades inmediatas.

Gracias al esfuerzo de nuestro equipo de marketing, conseguimos asegurar un proveedor que nos facilita fibra de carbono sin coste con la resina epoxi necesaria, la empresa Gurit. Este patrocinio, nos permitirá mejorar significativamente la eficiencia en términos de peso de nuestras piezas. No obstante, el uso de fibra de carbono conlleva mayores desafíos en su manipulación y producción, ya que se requerirá un horno, que tendrá que ser prestado por otra empresa y además poseer de una bomba de vacío para que la curación se realice de forma correcta.

2.5. Metodología empleada

La metodología a emplear en el diseño y análisis de las partes aerodinámicas del monoplaza de Formula Student se estructurará en varias etapas clave, cada una de las cuales jugará un papel fundamental en la optimización del rendimiento aerodinámico del vehículo.

1. En primer lugar, usando Autodesk Inventor, se aplicarán las restricciones de la normativa a las medidas preliminares del coche, para poder tener un concepto de las áreas disponibles para trabajar dentro del marco del cumplimiento del reglamento.
2. Una vez obtenido un modelo de las medidas máximas que se pueden utilizar. Se procederá a la elaboración de diseños 3D de diversas configuraciones de fondos planos y pontones, en este mismo programa. Estos diseños se realizarán respetando las medidas máximas, intentando adaptar los conceptos aerodinámicos mencionados en el apartado 2.1, con diferentes conceptos extremos para ver la influencia de diferentes efectos en el rendimiento.
3. Una vez creado cada uno de los modelos, se llevarán a cabo simulaciones de dinámica de fluidos computacional (CFD) utilizando ANSYS CFX. Estas simulaciones permitirán evaluar el comportamiento aerodinámico de cada diseño en condiciones de carrera (70 km/h), analizando cómo el flujo de aire se comporta al interactuar con los diferentes diseños.
4. Se prestará especial atención a las diferencias de presión, el mantenimiento del flujo laminar, la reducción de la resistencia aerodinámica y el aumento de la carga aerodinámica, elementos cruciales para optimizar la eficiencia y la velocidad del monoplaza.
5. En el caso del fondo plano, se dará el análisis de un diseño sencillo de fondo plano con difusores de diferente ángulo, para obtener un ángulo ideal de difusor sobre el que trabajar. Para ello, se tendrá especial atención en la transición del aire de régimen laminar a turbulento, buscando el mayor ángulo para el

que no haya separación de flujo. Una vez obtenido este ángulo, se probarán diferentes formas de curvar el fondo dentro de la normativa para extraer la máxima carga aerodinámica posible. Una vez hallada esta curva, se buscará la forma de mantener separado el aire del fondo plano con el del exterior con diferentes diseños de carriles que puedan separar el flujo de aire.

6. Para los pontones, los mismos se desarrollarán a partir de diseños simples en los que simplemente se busque cumplir con las necesidades de refrigeración. Tras el diseño de dichas geometrías, se irán realizando evoluciones con la intención de mejorar la resistencia aerodinámica, implementando curvas y buscando una forma de gota de agua óptima que evite un flujo turbulento del aire.
7. Tras las evaluaciones iniciales de estas piezas, se repetirán las simulaciones CFD de las combinaciones de los mejores pontones y fondos planos sobre un modelo simplificado del coche, para determinar cuál de estas configuraciones ofrece el mejor rendimiento. Tomando la más favorable de estas combinaciones como diseño final de este trabajo.

Con esta metodología, se busca no solo encontrar el diseño ideal, sino también adquirir información sobre el comportamiento de estos componentes aerodinámicos de cara a poder realizar un ajuste óptimo de cara a la competición.

2.6. Diseño del vehículo

2.6.1. Refrigeración del Motor

Para el sistema de refrigeración, se ha optado por reutilizar el radiador de la Honda CBR600RR, moto que el equipo comprará para utilizar componentes como el motor. Este radiador, está diseñado para soportar las exigencias de el motor a utilizar, convirtiéndolo en una opción ideal a la vez que económica en nuestra situación.

Para la correcta refrigeración, el fabricante nos dice que se requiere un flujo de aire de 450 litros por minuto. Sin embargo, para aumentar nuestra seguridad en este sistema, y que el motor no se sobrecaliente, el diseño se va a realizar con un 150% del aire, haciendo los cálculos con un flujo de 675 litros por minuto. Mejorando no solo así la eficiencia del sistema de refrigeración, sino también optimizando la transferencia de calor, asegurando la fiabilidad de cara a la competición.

Para calcular la velocidad del aire que necesita fluir a través del radiador, podemos utilizar la siguiente ecuación de continuidad:

De acuerdo con las dimensiones del radiador $A \approx 0,1 \text{ m}^2$:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,01125}{0,1} = 0,1125 \text{ m/s} \approx 12,8 \text{ km/h}$$

donde:

- Q es el caudal en m^3/s ,
- A es el área de la sección transversal del radiador,
- v es la velocidad del aire en m/s .

La velocidad mínima del monoplaza en movimiento supera con creces esta cifra, por tanto, si proporcionamos un área de entrada mayor o igual a la del radiador, tendremos con seguridad un flujo de aire suficiente para los requerimientos de refrigeración del monoplaza.



Figura 2.6: Dimensiones del Radiador

2.7. Proceso de fabricación

La fabricación de los componentes aerodinámicos diseñados en este trabajo comenzará con la creación de un patrón, producido a partir de secciones impresas en 3D que se unirán con silicona para formar un conjunto completo. Posteriormente, sobre este patrón se aplicará un agente desmoldante y a continuación 2 capas de resina y fibra de vidrio para crear un molde. Este se dejará curar para después desmoldarlo, lijado y dejarlo listo para la fabricación de la pieza.

Una vez completado cada molde, se realizará el laminado de fibra de carbono y resina en él. Los moldes con la fibra de carbono y resina serán curados en condiciones de vacío dentro de un horno a unos 80 grados. Después, se procederá al desmoldeo de la resina y fibra de carbono endurecidas, obteniendo así nuestra pieza final. Por último, se verificará la ausencia de imperfecciones para garantizar que cumple los estándares necesarios para su uso en el automóvil de Formula Student.

3. Resultados y Discusión

3.1. Angulo del difusor

Con el objetivo de determinar el ángulo óptimo para el difusor, se diseñó un fondo plano simple cambiando el ángulo del difusor progresivamente, desde 5° hasta 30°, incrementando en intervalos de 5°. Se realizó un análisis de CFD para cada configuración, simulando las condiciones específicas de la prueba de manejo de la competición, con una velocidad constante de 70 km/h. Aquí se buscó el ángulo límite para el que todavía no se generaba separación de flujo del aire.

El análisis permitió evaluar la fuerza de carga aerodinámica generada por cada diseño, así como identificar las turbulencias asociadas al flujo de aire. Los resultados indicaron que el ángulo de 15° proporcionó la mayor contribución a la carga aerodinámica sin comprometer significativamente la estabilidad del flujo, lo que lo convierte en la configuración ideal para el difusor del coche.

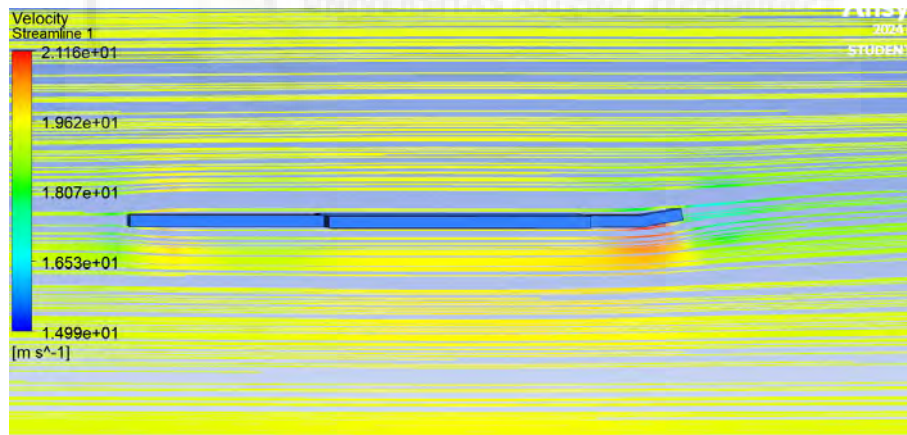


Figura 3.1: Líneas de flujo con un ángulo de 10 grados

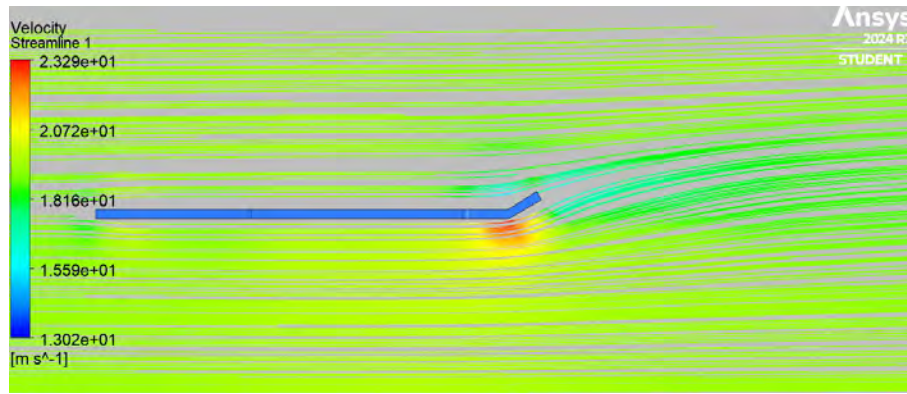


Figura 3.2: Líneas de flujo con un ángulo de 30 grados

3.2. Diseño del fondo plano

A partir del ángulo óptimo de 15° determinado para el difusor, se realizaron diseños de diferentes configuraciones de fondo plano. Durante el proceso, se implementaron aletas faldillas laterales en la parte inferior del monoplaza, minimizando así la mezcla entre el flujo de aire interior del fondo plano y el flujo exterior, y mejorando así la eficiencia aerodinámica.

Las simulaciones CFD realizadas con estos modelos identificaron como más eficiente un diseño que aprovechaba al máximo los límites interiores permitidos por la normativa en las áreas de las ruedas. Este enfoque permitió encontrar una mayor carga aerodinámica, mejorando significativamente el rendimiento del monoplaza en términos de estabilidad y tracción.

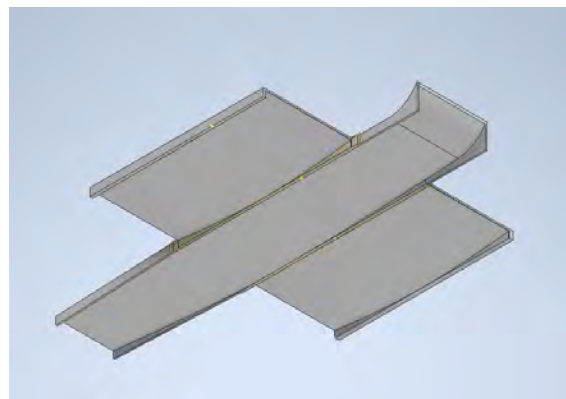


Figura 3.3: Fondo preliminar

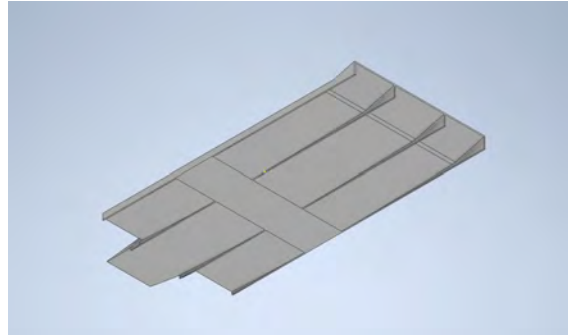


Figura 3.4: Fondo más favorable

3.3. Diseño de los pontones

Una vez definido el diseño óptimo para el fondo plano, se procedió al desarrollo de varios modelos de pontones que cumplieran con la normativa vigente y se integraran adecuadamente al diseño del suelo. Además, se aseguró que los pontones contaran con una entrada de aire de al menos 0.1 m^2 , garantizando un flujo adecuado hacia el radiador para cumplir con los requisitos de refrigeración del monoplaza.

El proceso de diseño comenzó con configuraciones más simples y cuadradas, las cuáles fueron evaluadas a través de CFD para comprobar su impacto en el flujo y fuerza de arrastre. A partir de dichas evaluaciones, los modelos fueron evolucionando hacia formas más estilizadas que imitaban el perfil aerodinámico de una gota de agua, permitiendo reducir el coeficiente de resistencia aerodinámica y optimizar la eficiencia del vehículo.

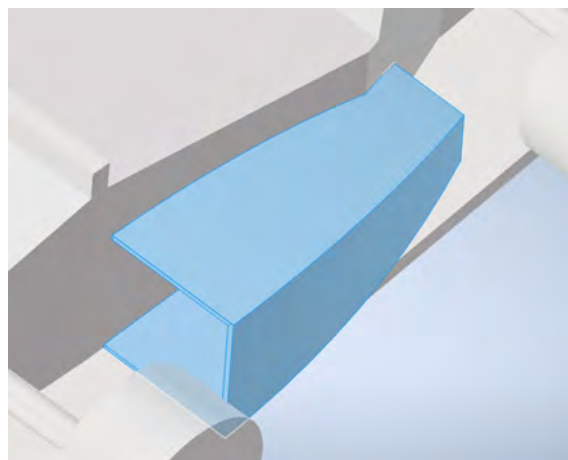


Figura 3.5: Un primer diseño de pontones

3.4. Combinación de Fondo Plano y Pontones

Después de obtener varios candidatos de fondo plano y pontones para el diseño final se estuvieron analizando diferentes combinaciones de estos componentes con las condiciones de la competición, y encontrando así la configuración más favorable para minimizar el arrastre y maximizar la carga aerodinámica del monoplaza.

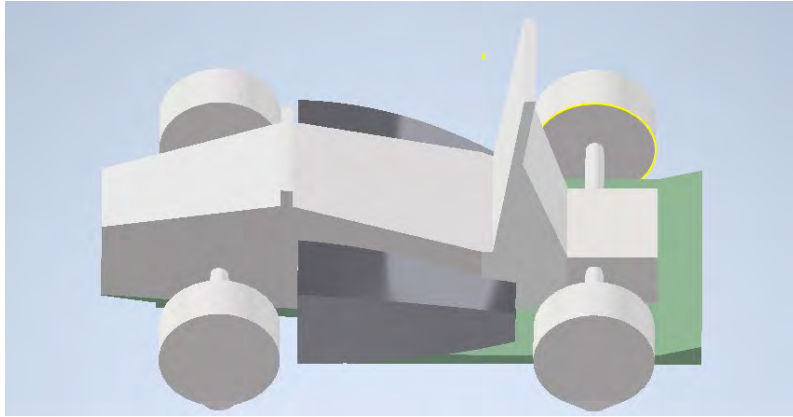


Figura 3.6: Una de las combinaciones de fondo plano y pontones

3.5. Resultados obtenidos

A partir de este proceso iterativo de diseño y simulación, se obtuvo un diseño de coche, que además de aportar la refrigeración necesaria a los componentes, mejora significativamente las prestaciones aerodinámicas del vehículo tanto en curvas como en rectas. Este diseño representa una ventaja frente a la alternativa de utilizar un radiador flotante, que resultaría menos eficiente desde el punto de vista aerodinámico.



Figura 3.7: Una vista de la combinación final

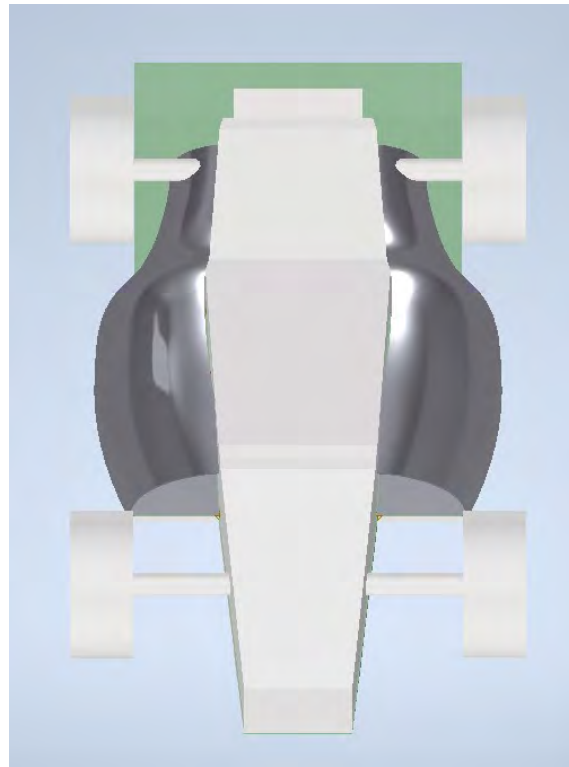


Figura 3.8: Otra vista de la combinación final

Gracias a las simulaciones, podemos obtener los valores de la fuerza de arrastre y la carga aerodinámica en condiciones de competición (70 km/h). Mostrando una fuerza de resistencia al avance de 1953.06N y una fuerza de empuje al suelo de 200N.

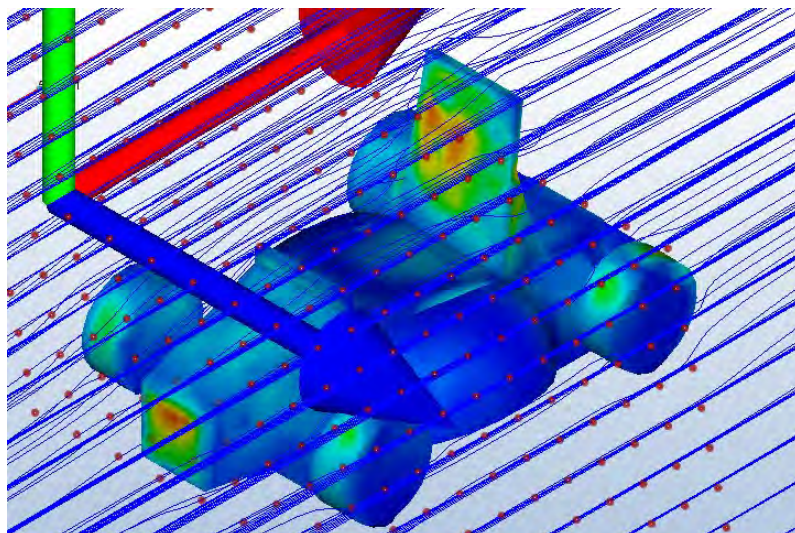


Figura 3.9: Flujo de aire alrededor del monoplaza

3.6. Coeficiente de arrastre para contrastar resultados.

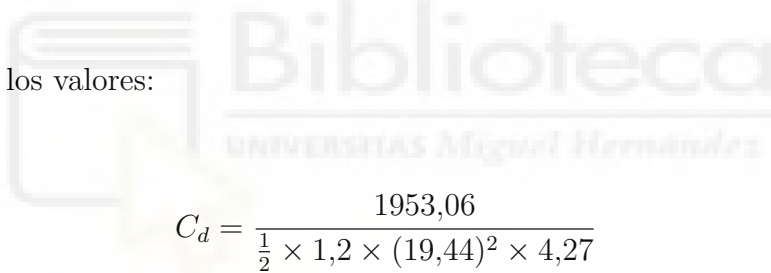
El coeficiente de arrastre C_d se puede calcular mediante la siguiente fórmula:

$$C_d = \frac{F_d}{\frac{1}{2}\rho v^2 A}$$

Donde:

- $F_d = 1953,06$ N es la fuerza de arrastre,
- $\rho = 1,2$ kg/m³ es la densidad del aire a nivel del mar,
- $v = 19,44$ m/s es la velocidad del vehículo (convertida de 70 km/h),
- $A = 4,27$ m² es el área frontal.

Sustituyendo los valores:


$$C_d = \frac{1953,06}{\frac{1}{2} \times 1,2 \times (19,44)^2 \times 4,27}$$

El resultado es:

$$C_d = 2,017$$

3.7. Presupuesto

Como se ha indicado en el punto 2.7 los patrones y moldes para la producción del fondo plano y los pontones se fabricarán utilizando impresión 3D, silicona, resina y refuerzo de fibra de vidrio para garantizar una superficie lisa y resistente al calor, así como la rigidez necesaria durante el laminado. Las piezas estarán hechas a partir de resina y fibra de carbono.

El presupuesto estimado para la fabricación de los componentes de fibra de carbono es el siguiente:

Presupuesto

Concepto	Cantidad	Coste (€)
Materiales principales		
Fibra de carbono (fondo plano, 3 capas)	8.808 m ²	428.27
Fibra de carbono (pontones, 3 capas)	4.347 m ²	211.33
Resina (fondo plano y pontones)	26.46 kg	529.20
Moldes y Patrones		
Fondo plano (silicona, refuerzo, impresión 3D)	-	245.00
Pontones (silicona, refuerzo, impresión 3D)	-	150.00
Procesos y herramientas		
Mano de obra (fondo plano y pontones, 20 h)	-	1,000.00
Horno (fondo plano y pontones, 10 h)	-	1,000.00
Cámara de vacío (fondo plano y pontones, 10 h)	-	200.00
Total (€)		3,763.80

Tabla 3.1: Presupuesto estimado para la fabricación del fondo plano y pontones.

4. Conclusiones

4.1. Conclusiones del trabajo

El diseño final cumple perfectamente con todos los requisitos establecidos por la normativa de Formula Student, lo cual se debe a que todo el proceso de diseño se llevó a cabo teniendo en cuenta los límites que la directiva de la competición establece. Esto asegura que los elementos del monoplaza diseñados se encuentran dentro de los márgenes permitidos, garantizando su viabilidad para competiciones.

Dado que el principal objetivo de este trabajo era diseñar un fondo plano y unos pontones competitivos para el monoplaza de nuestro equipo de Formula Student, se comprobó que finalmente el mismo se pudo cumplir, como se ha podido comprobar en las simulaciones realizadas. También, se buscaba que estos componentes contaran con formas sencillas de producir con los métodos previamente mencionados. A partir de estas consideraciones y siguiendo los principios teóricos, se ha ido dando forma al fondo plano y los pontones.

El diseño final cumple perfectamente con todos los requisitos establecidos por la normativa de Formula Student, lo cual se debe a que todo el proceso de diseño se llevó a cabo teniendo en cuenta los límites establecidos por la directiva de la competición, realizando planos de los límites adaptados a nuestro coche y asegurando así que los elementos del monoplaza se encuentren dentro de los márgenes permitidos y posibilitando una vez más su uso en competición.

Como se ha podido ver en el apartado de resultados, la combinación seleccionada ha sido la de unos pontones con un área de entrada de 0.105 m^2 donde predominan las curvas, un fondo plano con 3 carriles para el flujo del aire y un difusor de 15 grados de inclinación. Los valores de fuerza de sustentación y resistencia al avance han sido de 200N y 1953.06N respectivamente. Además el diseño provee de aire suficiente a través de los radiadores para mantener la temperatura de trabajo de los componentes internos en un rango adecuado. Los resultados obtenidos han sido positivos, pero sería necesaria la verificación de la existencia de dichos beneficios

dados por el diseño aerodinámico junto al resto de componentes del vehículo.

Otro objetivo, puesto que esta será la primera edición del monoplaza, fue que futuros miembros del equipo IRT UMH pudieran emplear dicho trabajo para la futura evolución del coche. Esto se ha logrado detallando los pasos que me han llevado a esta ruta de desarrollo, y explicando la metodología de la mejor manera para que pueda ser comprendido por otros estudiantes en el futuro.

4.2. Trabajo futuro

Se debe tener en cuenta que todas las partes aerodinámicas trabajan en conjunto entre sí, y a la vez con otras partes del coche. Por lo tanto, el diseño aquí mostrado puede no ser el final para el vehículo.

No haber contado con la suspensión delantera y el frontal del monoplaza definitivos deja dudas de sus efectos en el aire, ya que al pasar por otros componentes es posible que éste llegue de manera distinta a las piezas aquí diseñadas. Es por ello que probablemente hagan falta adaptaciones en los pontones y fondo plano para aprovechar al máximo el potencial de la aerodinámica en el coche.

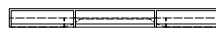
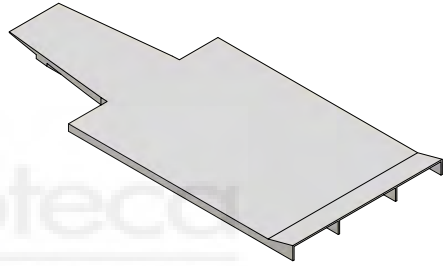
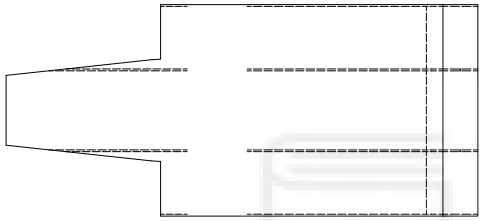
En consecuencia, que son necesarias más simulaciones con todo el paquete aerodinámico en conjunto y refinados al máximo. También, habrá que hacer una simulación cuando se conozcan los parámetros de la suspensión para encontrar los efectos de la aerodinámica en frenadas.

Una vez el diseño global esté acabado, habrá que llevar a cabo la fabricación; para ello, se tendrán que seguir los pasos descritos en el punto 2.7 del proceso de manufactura del modelo. Habrá que elegir las secciones que se imprimirán en 3D para hacer los patrones, y tanto la fibra de carbono como la resina (provistas por un patrocinador) deberán ser empleadas correctamente, y consecuentemente será necesario encontrar un horno donde se pueda realizar el curado y una bomba de vacío.

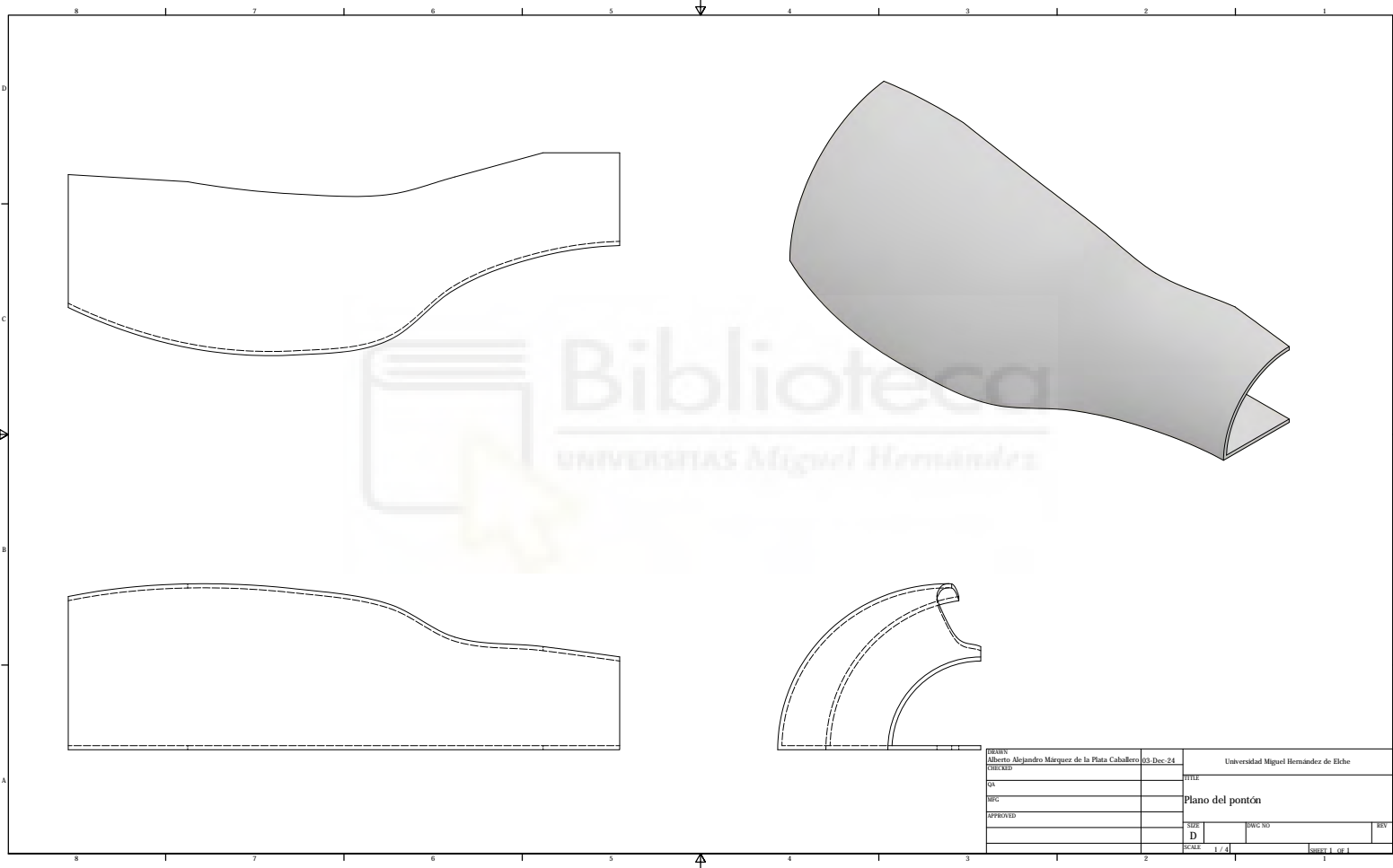
5. ANEXOS

5.1. Anexo I: Planos





DESIGN	03 Dec 24	Universidad Miguel Hernandez de Elche	
CHECKED		TITLE	
QA		Plano del Fondo Plano	
IPC		SIZE	DWG NO
APPROVED		D	REV
		SCALE 1 / 10	SHEET 1 OF 1



DESIGN	Alberto Alejandro Márquez de la Plata Caballero	03 Dec 21	Universidad Miguel Hernández de Elche	
CHECKED			TITLE	
QA			Plano del pontón	
RFC			SIZE	DWG NO
APPROVED			D	REV
			SCALE	SHEET 1 OF 1

6. BIBLIOGRAFÍA

Referencias

- [1] Smith, J. (2020). *Introducción a la Fórmula 1*. Editorial del Automóvil.
- [2] García, A. (2019). El impacto de la aerodinámica en la Fórmula 1. *Revista de Ingeniería Automotriz*, 12(4), 45-60.
- [3] F1 Official. (2023). Historia de la Fórmula 1. Recuperado de <https://www.formula1.com/history>
- [4] Wright, O. Wright, W. (2003). *The Wright Brothers*. Scribner.
- [5] Brazda, J. (2015). *Tatra: The Legend*. Mladá Fronta.
- [6] Smith, J. (2020). Aerodynamics in Formula 1. *Journal of Automotive Engineering*, 30(4), 22-30.
- [7] Meyer, W. (2016). *Aerodynamics of Road Vehicles: Fundamentals and Design*. Butterworth-Heinemann. ISBN 0408014229.
- [8] Cox, J. (2020). *The Art of Racing in the Rain: The Role of Aerodynamics in Race Cars*. HarperCollins. ISBN 9780062370462.
- [9] Smith, A. (2018). The Role of Downforce in Vehicle Performance. *International Journal of Vehicle Design*, 76(4), 317-335.
- [10] Mansoor, A. (2019). *Understanding Vehicle Aerodynamics*. Springer. ISBN 9783030183746.
- [11] Glaeser, J. (2014). *The Fundamentals of Race Car Aerodynamics*. McGraw-Hill. ISBN 9780071821934.
- [12] Johnson, E. (2021). Ground Effects and Their Importance in Race Car Design. *Journal of Automobile Engineering*, 235(7), 1294-1302.

- [13] Smith, R. (2020). *Race Car Aerodynamics: A Practical Approach*. Routledge. ISBN 9780367337993.
- [14] Taylor, J. (2017). The Evolution of Aerodynamics in Formula 1. *Automotive Engineering Review*, 12(2), 15-22.
- [15] Harris, M. (2018). *Racing Aerodynamics: The New Rules of Performance*. Motorbooks. ISBN 9780760364203.
- [16] Starkey, M. (2015). *Advanced Race Car Chassis Technology: A Comprehensive Guide to the Design of Race Car Chassis and Suspension*. CarTech. ISBN 9781613251788.
- [17] Noble, J. (2019). *Motor Vehicle Aerodynamics*. Routledge. ISBN 9780367337993.
- [18] Fletcher, B. (2008). *Race Car Vehicle Dynamics*. CRC Press. ISBN 9781439824985.
- [19] Cork, R. (2015). The Evolution of Aerodynamic Design in Formula 1. *Automotive Engineering Review*, 11(3), 25-33.
- [20] Barker, J. (2017). *Design and Simulation of a Formula Student Race Car*. SAE International. ISBN 9780768085802.
- [21] Davis, T. (2011). Aerodynamics and Race Car Design. *Journal of Mechanical Engineering Science*, 225(10), 2345-2358.
- [22] Hughes, S. (2000). *Race Car Engineering and Mechanics*. Motorbooks. ISBN 9780760307831.
- [23] Parker, R. (2013). *Fundamentals of Vehicle Design and Aerodynamics*. McGraw-Hill Education. ISBN 9780071781417.
- [24] Alderman, P. (2019). The Role of Ground Effects in Modern F1 Car Design. *Race Tech Magazine*, 5(3), 18-24.
- [25] Harmel, D. (2020). Pontoon Designs in Racing Cars: An Aerodynamic Analysis. *International Journal of Motorsport Engineering*, 9(2), 42-50.