



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

Titulación:

INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL MECÁNICO

Título del proyecto:

“VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA, ANÁLISIS
AERODINÁMICO Y DISEÑO EXTERIOR DE UN
PROTOTIPO CAR - CROSS”

Autor: Ismael Arteta Tirapu

Tutor: Sara Marcelino Sádaba

Pamplona, 26 de Abril de 2012

ÍNDICE

1	Introducción	7
2	Objetivos	9
3	Antecedentes	11
4	Aerodinámica	13
4.1	Historia	13
4.2	Aerodinámica en los vehículos	14
4.3	Fundamentos de aerodinámica	17
5	Características del vehículo	31
6	Datos y diseño 3D	35
7	Validación de la geometría	39
8	Comparativa STAR-CCM+ / ANSYS	43
8.1	STAR-CCM+	44
8.2	ANSYS	49
8.3	Conclusiones	54
9	Proceso de cálculo	57
9.1	Pre – proceso	60
9.1.1	Desarrollo de errores	63
9.2	Solución	71
9.3	Post – proceso	73
10	Diseño Exterior	75
11	Prototipo 3D	81
12	Conclusiones	87

13 Bibliografía	89
14 Anexos	91
• Anexo 1	
• Anexo 2	
• Anexo 3	
• Anexo 4	

El presente proyecto se redacta como Proyecto Fin de Carrera. Ha sido realizado por D. Ismael Arteta Tirapu, alumno de Ingeniería Técnica Industrial especialidad Mecánica, perteneciente a la Universidad Pública de Navarra. El proyecto ha sido supervisado por la tutora Dña. Sara Marcelino Sádaba, profesora del Departamento de Proyectos e Ingeniería Rural de la misma universidad.

1. INTRODUCCIÓN

El proyecto que nos atañe fue elegido, entre otros varios presentados por la tutora del proyecto, por su relación con los coches de competición y las carreras. Es un proyecto sobre un tema real, ya que el coche existe y los resultados obtenidos pueden ser utilizados para el desarrollo del mismo.

Dicho proyecto consiste en validar la geometría de la carrocería del prototipo de competición modelo ST2, dentro de la categoría de los Car-Cross, realizar una comparativa de dos programas de simulación de fluidos y llevar a cabo un estudio de su comportamiento aerodinámico, en vistas de dar a la empresa fabricante, Silver-Car, unos resultados que sean de utilidad en el desarrollo del prototipo. Posteriormente se realizara el diseño exterior del mismo y un prototipo 3D real a escala.

La primera parte del proyecto consiste en, a partir de la geometría de la carrocería del prototipo de Car-Cross ST2, facilitada por la empresa Silver-Car, realizar un diseño en 3D del prototipo en un programa de CAD-CAM como CATIA.

Con el diseño del prototipo en 3D se comprobará si la geometría de éste es la adecuada a la reglamentación y garantiza un correcto comportamiento, si es necesario aplicar modificaciones en su geometría, y cuáles son las posibles mejoras que se podrían aplicar.

A partir del dibujo en 3D compararemos dos programas de simulación de fluidos para ver cuál de ellos nos da más facilidad para este tipo de trabajos, cual es más intuitivo, más fácil, da mejores resultados, etc... Los dos programas que vamos a comprar son STAR-CCM+ y ANSYS. No analizaremos el prototipo en ambos programas, solamente llegaremos hasta el paso anterior al proceso de mallar, pues lo que queremos ver es como resuelve el programa el proceso de conseguir una superficie perfecta, sin errores, que es donde más problemas hay a la hora de realizar una simulación.

Validada la geometría adecuada de la carrocería y comparados ambos programas se estudiará su comportamiento aerodinámico mediante el programa de simulación de fluidos ANSYS y se analizarán sus resultados para demostrar su correcto diseño o sus posibles mejoras de cara a conseguir un rendimiento óptimo en competición.

Una vez obtenidos los resultados se realizará el diseño exterior del prototipo Car-Cross en SOLIDWORKS. Se especificaran los materiales con los que esta conformado, y se le dará el acabado con la imagen real del prototipo, con sus colores y adhesivos. Se realizará también a partir de SOLIDWORKS un prototipo real en 3D a escala del real, mediante una máquina de prototipado, con el cual podremos ver con más claridad y estudiar las conclusiones obtenidas en el análisis CFD.

2. OBJETIVOS

Los objetivos de este Proyecto Fin de Carrera son:

1. *Validar el diseño de la carrocería actual.*

Se comprobará si la geometría de la carrocería es la adecuada y cumple los requisitos impuestos en el reglamento técnico de Car-Cross que la Real Federación Española de Automovilismo establece para las competiciones nacionales de Autocross.

2. *Realizar un estudio aerodinámico y obtener conclusiones*

Mediante un programa CFD específico de simulación de fluidos, ANSYS, se realizarán una serie de cálculos del comportamiento del vehículo frente al aire en condiciones de carrera. Previamente se comparará la forma de proceder de este programa y de STAR-CCM+ para corregir los posibles fallos que pueda presentar la superficie del prototipo antes de realizar la simulación.

Una vez obtenidos los resultados se estudiarán con el fin de presentar unas conclusiones válidas y posibles mejores para optimizar el comportamiento del vehículo y conseguir las máximas prestaciones.

3. *Realizar el diseño exterior del prototipo y el prototipo en 3D*

Se diseñará la apariencia exterior del prototipo acorde a como es en la realidad y se imprimirá un prototipo real en 3D.

Para lograr los objetivos anteriores, se deberán realizar los siguientes objetivos de trabajo:

1. Adquirir conocimientos de aerodinámica.
2. Realizar el diseño en 3D de la carrocería y del vehículo completo.
3. Realizar un análisis de la geometría y comprobar su validez frente al reglamento de la Real Federación Española de Automovilismo.
4. Realizar una comparativa de STAR-CCM+ y ANSYS.
5. Realizar un análisis aerodinámico con ANSYS y estudiar los resultados.
6. Realizar el diseño exterior y el prototipo.

En el proyecto se justificarán los resultados y las conclusiones obtenidas incluyendo anexos con todos los documentos, planos, gráficos, imágenes, artículos, catálogos, etc... y material suplementario que fuera necesario para la comprensión y explicación del estudio realizado.

3. ANTECEDENTES

El prototipo de Car-Cross objeto del estudio es el modelo ST2 del fabricante Silver-Car. Se encuadra dentro de la categoría Car-Cross, según la Real Federación Española de Automovilismo, pudiendo competir en certámenes de Autocross, tanto en circuitos de tierra como de asfalto.

El Car-Cross es una disciplina del automovilismo de las más espectaculares, baratas y sencillas de practicar, a la vez de las más competitivas por su relación precio-prestaciones-satisfacciones-mantenimiento.

Los Car Cross son unos pequeños monoplazas creados inicialmente para carreras de tierra pero gracias a su gran versatilidad son actualmente utilizados para todo tipo de pruebas automovilísticas.



Esta especialidad del automovilismo, tiene sus orígenes en los EEUU, siendo importada a Europa por Francia en la década de los 80, donde experimentó un espectacular desarrollo, desde los originales Car-Cross con motores automáticos, después con motores de Citroen 2 CV, hasta la actual categoría de motores de moto de 600 cc. y potencias superiores a los 100 CV, lo que unido a sus escasos 300 kg. hace que las prestaciones sean envidiables por la mayor parte de las categorías del automovilismo deportivo.



SILVER CAR es una empresa navarra, ubicada en Peralta, dedicada al mundo del automovilismo por parte de su creador Juan Carlos Silvestre. SILVER CAR se centra en el desarrollo de prototipos de vehículos de carreras de las categorías CM y Car Cross.

SILVER-CAR desde hace varios años se dedica al diseño, fabricación y mantenimiento de vehículos de competición. Tiene en su haber varios títulos y records nacionales.

En la actualidad dispone de dos modelos, el propio ST2 objeto del proyecto y encuadrado en la categoría Car Cross y el S2, modelo enfocado a competiciones de rallyes de asfalto, dentro de la categoría CM.

Ambos prototipos son punteros en sus respectivas categorías. En categoría CM, el S2 es el mejor coche de su categoría y además es el vehículo que mejor comportamiento tiene en la mayor parte de terrenos, habiendo conquistado el Campeonato de España y varios records.

En cuanto a la categoría Car Cross objeto del proyecto, el ST2 es el nuevo y novedoso vehículo realizado por SILVER-CAR para competir en las pruebas de la División IV de Autocross, sustituyendo al anterior ST1.

Tras la presentación del ST2 de SILVER CAR a finales de la temporada 2010, la temporada 2012 se plantea como la de la consagración del nuevo modelo, gracias a las soluciones técnicas aportadas por los técnicos de la empresa peraltesa, que debe permitir a los pilotos encontrarse en los puestos delanteros de la competición.



4. AERODINÁMICA

En este apartado vamos a definir unos fundamentos básicos de aerodinámica que nos servirán para entender el desarrollo del proyecto y las conclusiones obtenidas.

La aerodinámica es la rama de la mecánica de fluidos que estudia los efectos que aparecen cuando un cuerpo es introducido en una corriente de aire, es decir, cuando existe un movimiento relativo entre éstos y el fluido que los baña. A los efectos del estudio es lo mismo que la masa de aire esté en reposo y el que se mueva sea el cuerpo o viceversa (túnel de viento), las fuerzas que intervienen son las mismas.

La presencia de dicho cuerpo modifica el reparto de presiones y velocidades de las partículas de aire, originando fuerzas denominadas sustentación y resistencia.

4.1 HISTORIA

En el mundo de las carreras, la eficacia aerodinámica fue, durante décadas, concebida sólo como un método para poder ir más rápido en las rectas, pero en realidad supone unas enormes mejoras tanto en el paso por las curvas como en el frenado. El reconocimiento y la explotación de este hecho ha significado, durante los últimos 30 años, el desarrollo tecnológico más importante.

La importancia de la aerodinámica ha sido reconocida a través de gran parte de la historia de las competiciones de coches de carrera. Desde los comienzos de las carreras, los vehículos ya eran construidos con cuerpos aerodinámicos. Sin embargo, la tecnología del motor, la suspensión, y los neumáticos era más importante en aquella época. La aerodinámica del automóvil no fue estudiada con detenimiento hasta principios de la década de 1960.



La reducción de la resistencia del aire sigue siendo importante, pero un nuevo concepto ha tomado prioridad: la producción de una fuerza aerodinámica dirigida hacia abajo (sustentación negativa), que es considerada más importante que la reducción de la resistencia, pues mejora el agarre en curva.

Desde el principio de las competiciones de coches de carreras, los vehículos se han vuelto más y más rápidos. Para contrarrestar el problema, los coches de carreras modernos están diseñados para producir sustentación negativa. Esto significa que al

vehículo se le agregan algunos dispositivos que hacen que el coche se presione contra el suelo y se mantenga más cerca de él. Estos dispositivos neutralizan la sustentación producida por el vehículo o crean de hecho sustentación negativa (fuerza que apunta hacia abajo).

Hasta el día de hoy se siguen desarrollando estudios sobre la aerodinámica y como sacar el mayor provecho de la misma, para lograr las máximas prestaciones posibles.



4.2 AERODINÁMICA EN LOS VEHÍCULOS

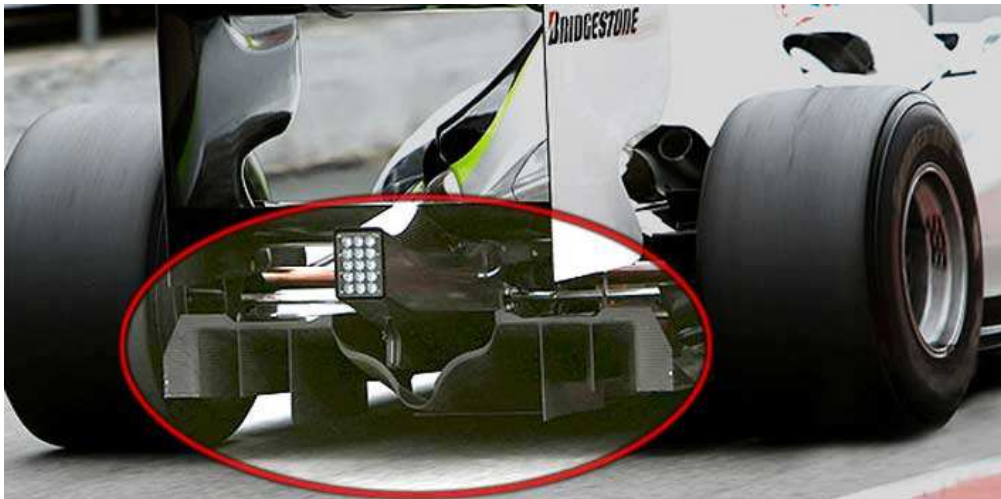
La aerodinámica, aplicada a los coches, se utiliza para añadir adherencia o agarre a los mismos, con el objeto de lograr mayor velocidad y seguridad al piloto.

Hay varios métodos que se utilizan para reducir la sustentación o para crear fuerza hacia abajo. Estos métodos incluyen alerones o spoilers y difusores.

Los alerones aumentan el apoyo aerodinámico y, por lo tanto, la velocidad en las curvas. Estos se ajustan a las características de cada circuito. En los circuitos rápidos, con largas rectas y pocas curvas, las alas son casi horizontales para reducir el apoyo aerodinámico y la resistencia al avance, con el fin de buscar una mayor velocidad máxima. En circuitos lentos, con pocas rectas y muchas curvas, las alas tienen mucha más inclinación, pues se sacrifica la velocidad máxima en función del agarre en las curvas, debido al aumento del apoyo aerodinámico. Un dato importante y curioso a resaltar sería el hecho de que un coche de Formula Uno genera hasta cuatro veces su peso en apoyos aerodinámicos.



Los difusores son elementos que se colocan en la parte trasera de los vehículos, en la parte baja, y su función, aparte de canalizar el aire y expulsarlo, es aumentar el flujo de aire que discurre por debajo del coche. Al aumentar la velocidad del aire disminuye la presión en la parte inferior del coche, por lo que se consigue un efecto de “succión” que crea una sustentación negativa y aumenta la carga aerodinámica del vehículo, mejorando el agarre del mismo.



De forma conjunta con los difusores, existen unos canales en la parte de debajo de los coches. Estos canales se extienden desde la parte delantera a la trasera. Conforme la velocidad del aire que corre a través de los canales aumenta, la presión disminuye. Si se permite que entre aire de los lados, se forma un vórtice muy fuerte. Este vórtice ayuda a estabilizar el flujo que corre por debajo de todo el vehículo. De esta forma, estos canales aumentan la fuerza hacia abajo y disminuyen la resistencia del aire del vehículo.

Se utilizan alas reales (como las de un avión común y corriente) en los coches de carreras. Sin embargo, las alas se invierten (se colocan con la parte de arriba hacia abajo) para producir una fuerza hacia abajo en lugar de sustentación hacia arriba. Al instalar las alas cerca del suelo, se pueden producir cantidades más grandes de esta fuerza que apunta hacia abajo. Esto se debe al aumento de la velocidad del flujo entre el ala y el suelo. El aumento en la velocidad del flujo causa que la presión en la superficie inferior del ala disminuya, y que, por consiguiente, la fuerza hacia abajo aumente.

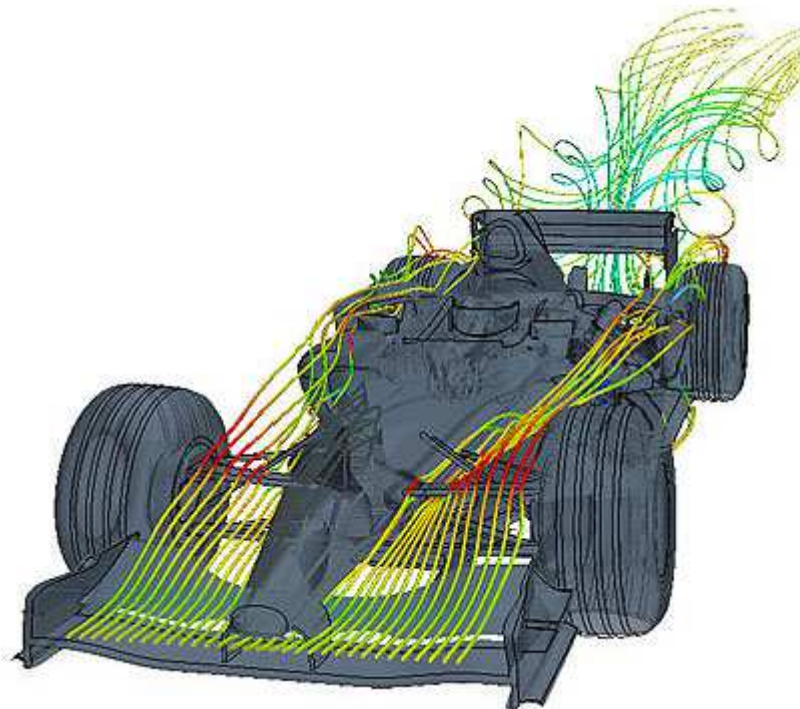
La carga aerodinámica tiene que estar bien distribuida entre la parte delantera y la parte trasera del coche. Si el coche tuviera una carga más grande en la parte delantera que en la parte de atrás, no sería estable. Cuando la parte trasera tiene una carga más grande, el coche se estabiliza. El balance no deja de ser importante, porque si el coche es demasiado estable, resultaría menos manejable en las curvas.

Las llantas también crean resistencia aerodinámica en los coches que tienen las ruedas descubiertas. Esto se debe a la separación del flujo de aire detrás de los neumáticos. Se han utilizado varios elementos para tratar de disminuir esta resistencia.

Generalmente se utiliza una simple placa para desviar el aire alrededor de la llanta, reduciendo así la separación del flujo.

Los pilotos aprovechan la aerodinámica en las carreras para sacar ventaja. Siguiendo a otro coche lo más cerca posible, un piloto puede lograr reducir la resistencia de su coche y así tener más velocidad y poder adelantar. Por otro lado la resistencia del vehículo de enfrente también disminuye porque la separación del flujo en la parte posterior es menor debido al coche que lo sigue. Sin embargo, conforme los coches se acercan uno al otro, la cantidad de sustentación y fuerza hacia abajo varía. Esto representa un problema porque significa menos estabilidad para ambos coches.

Debido a la fuerza aerodinámica que se genera hacia abajo, la velocidad que alcanzan los coches de carreras sigue aumentando. Constantemente se realizan cambios en las reglas que rigen el uso de dispositivos en el vehículo, así como en los esfuerzos que realizan los diseñadores para desarrollar nuevos dispositivos que aumenten la velocidad.



4.3 FUNDAMENTOS DE AERODINÁMICA

A continuación se van a describir una serie de fuerzas que actúan sobre los vehículos que todo el mundo utiliza hoy en día como transporte. El avión y el coche. Todas las explicaciones se pueden aplicar a nuestro estudio aerodinámico, ya que se apliquen a un ala o un alerón, el fundamento es el mismo que aplicarlo sobre la propia carrocería del prototipo.

A la vez que presentamos las ideas referentes a la aerodinámica iremos obteniendo los datos de partida para realizar posteriormente el análisis aerodinámico.

Básicamente, nos centraremos en las fuerzas que influyen en estos aparatos y que pese a que parezcan dos mundos muy distintos, representan la misma fuerza.

En el caso del avión, existe la denominada sustentación, que como bien dice su nombre, es la fuerza que hace que el avión se sustente (permanezca) en el aire. En el caso de los automóviles de competición, se modifica la geometría del vehículo para obtener una fuerza que “aplaste” al vehículo contra el suelo. Es la denominada carga aerodinámica. También existe otra fuerza, denominada resistencia aerodinámica. Esta fuerza es la que se opone al avance de un cuerpo en un fluido.

FUERZAS AERODINÁMICAS

Cualquier elemento que se mueva a través del aire sufre una fuerza llamada fuerza aerodinámica.

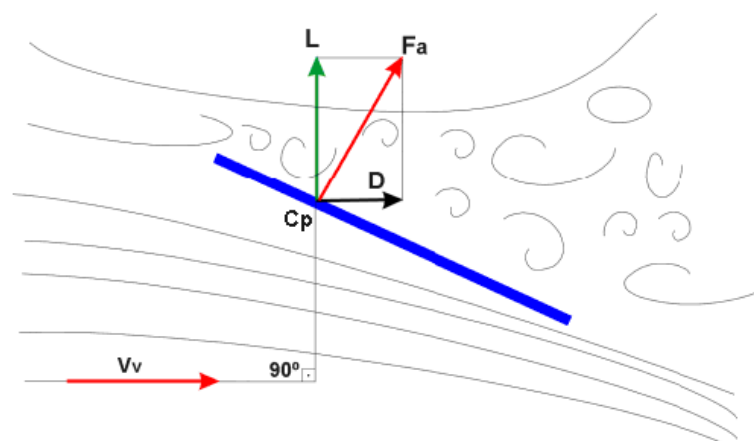


Fig. 1.1 Representación gráfica de la teoría de la fuerza aerodinámica.

En la figura 1.1 podemos ver una representación simple de un perfil de un ala de avión. Como hemos comentado antes, existe una fuerza aerodinámica (F_a) que a su vez está descompuesta en dos componentes: la sustentación y la resistencia aerodinámica, la primera perpendicular al viento relativo y la segunda paralela a éste.

En el caso de un alerón de automóvil lo único que cambia es que la sustentación es negativa y se llama **carga aerodinámica** como se ve en la figura 1.2.

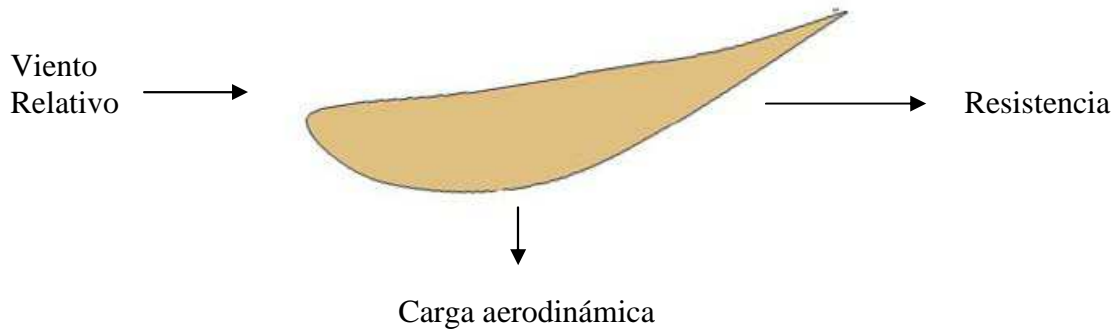


Fig. 1.2 Fuerza aerodinámica en un alerón

Antes de empezar a entender porque se crea esta fuerza aerodinámica, se explicarán una serie de conceptos básicos y que servirán para entender los principios físicos posteriores.

Carga aerodinámica y coeficiente de sustentación:

La carga aerodinámica (F_z) es la fuerza que empuja a un alerón hacia el suelo cuando este atraviesa un flujo de aire. Esta fuerza hace que el automóvil tenga mejor apoyo aerodinámico, es decir, tenga mayor fuerza de agarre con el suelo y se “pegue” literalmente, facilitando la adherencia y pudiendo hacer un paso por curva a mayores velocidades.

En la ecuación 1.1 se observa que la fuerza de agarre con el suelo (F en Newtons) es el resultado de la fuerza normal (N en Newtons) por el coeficiente de rozamiento del suelo (μ adimensional).

Al haber una carga aerodinámica sobre el automóvil, la fuerza normal es la suma del peso y la carga aerodinámica como se puede apreciar en la ecuación 1.2.

$$(1.1) \quad F = \mu N$$

$$(1.2) \quad N = m g + F$$

Nótese que si existe una carga aerodinámica sobre el vehículo, este tendrá más agarre con el suelo y podrá ir más rápido en las curvas sin que el automóvil derrape.

Los vehículo de competición suelen emular a los aviones, sus formas afiladas provocan que tengan tendencia a levantarse, es decir, tienen un coeficiente de sustentación positivo. Aquí es donde entran a trabajar la propia forma de los mismos y los alerones que, gracias a que provocan una carga aerodinámica, se encargan de evitar que el vehículo se levante.

Por otra parte, para poder comparar dos perfiles que crean una carga aerodinámica, no es posible utilizar la carga como modo comparativo, sino que se utiliza un coeficiente adimensional, C_l .

Este coeficiente, llamado de anti sustentación, se define como:

$$(1.3) \quad C_l = \frac{F_z}{\rho \frac{SV^2}{2}}$$

Donde F_z [N] es la carga aerodinámica, ρ [kg/m³] la densidad, V [m/s] la velocidad y S [m²] la superficie del perfil.

En la mayoría de coeficientes de anti sustentación de perfiles aerodinámicos se suele calcular la carga. Si en la ecuación 1.3 se despeja, la fuerza aerodinámica queda:

$$(1.4) \quad F_z = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_l(\alpha)$$

En esta ecuación el C_l depende de la forma del perfil y del ángulo de ataque. El ángulo de ataque es, como vemos al lado de la gráfica, la inclinación del perfil. Para un mismo perfil, la gráfica C_l en función del ángulo de ataque α es como en la figura 1.3.

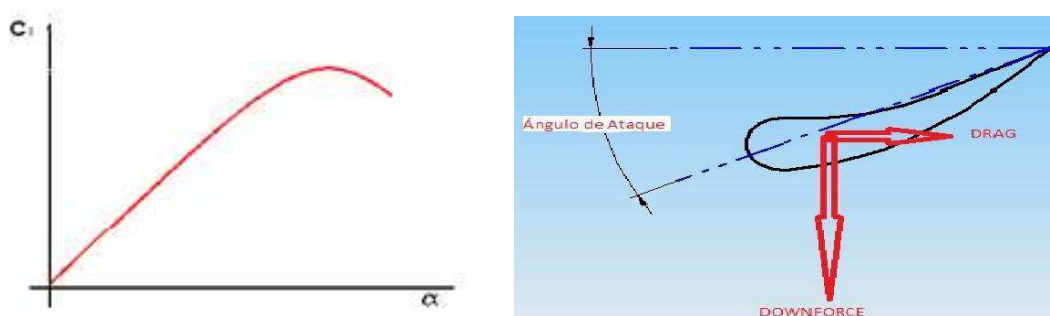


Fig. 1.3. Gráfica del coeficiente de anti sustentación en función del ángulo de ataque.

Consta de una primera zona lineal hasta llegar a un punto en que empieza a descender el C_l aunque el ángulo crezca. En esta zona es donde se desprende la capa límite (el aire no es capaz de seguir el contorno del perfil y se separa de éste) y el perfil puede entrar en pérdida.

Resistencia aerodinámica y coeficiente de resistencia:

La resistencia aerodinámica (D) es la fuerza que se opone al avance de un objeto en un fluido. En vez de la fuerza total se utiliza el coeficiente de resistencia para comparar perfiles. El coeficiente de resistencia se define como:

$$(1.5) \quad C_d = \frac{D}{\frac{\rho S V^2}{2}}$$

En la mayoría de casos, al igual que se conocen muchos coeficientes de anti sustentación para diferentes ángulos de un perfil determinado, también se conocen los coeficientes de resistencia. Así que muchas veces nos interesará saber la resistencia aerodinámica que presenta un perfil.

Despejando de (1.5):

$$(1.6) \quad D = \frac{1}{2} \rho V^2 S C_d (\alpha)$$

En la figura 1.4 podemos ver como el coeficiente de resistencia aumenta si aumentamos el ángulo de ataque del perfil. Vemos que siempre es creciente y no llega a ningún punto crítico como el coeficiente de anti sustentación.

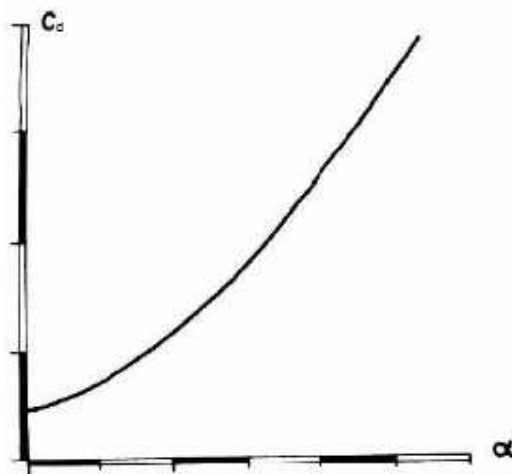


Fig. 1.4. Gráfica del coeficiente de resistencia en función del ángulo de ataque.

Esta resistencia aerodinámica se puede descomponer en dos componentes: la resistencia parásita y la resistencia inducida.

La **resistencia parásita** es la resistencia que ofrece el objeto por su propia geometría y es debida a la fricción con el aire. Esta resistencia crece con la velocidad.

La **resistencia inducida** es la resistencia que aparece en un cuerpo cuando este genera sustentación. Esta resistencia disminuye con la velocidad.

La **resistencia total** (figura 1.5) es la suma de la resistencia inducida y la resistencia parásita.



Fig. 1.5: Gráfica resistencia total y sus componentes.

Dado que la resistencia se opone al avance del objeto, esta tendrá repercusiones en la velocidad máxima que pueda alcanzar. Para un automóvil de carreras se puede obtener esta velocidad a partir de la expresión matemática 1.7, que relaciona la potencia que tiene con la velocidad máxima que podrá alcanzar.

$$(1.7) \quad C_v = \frac{C_d A V^3}{\rho}$$

Donde C_v es la potencia del motor disponible, C_d el coeficiente de resistencia, A el área frontal del automóvil y V la velocidad máxima que podrá alcanzar.

Eficiencia aerodinámica:

Los objetivos de los alerones y la propia forma de la carrocería son simples y básicos: conseguir maximizar la carga aerodinámica, minimizando la resistencia.

Este concepto se puede traducir como el de la eficiencia aerodinámica. Para calcular este coeficiente adimensional (fineza) se calcula con el cociente entre el coeficiente de anti sustentación y el coeficiente de resistencia (C_d) o lo que es lo mismo, entre la fuerza aerodinámica y la resistencia.

$$(1.8) \quad f = \frac{F_z}{\rho D} = \frac{|c_l|}{C_d}$$

Para tratar de tener la mejor eficiencia se intentará maximizar la fineza.

Una vez explicados las fuerzas básicas en aerodinámica podemos pasar a exponer por que se crean estas fuerzas aerodinámicas. Para ello, se tendrá que recurrir a tres principios físicos: la ecuación de continuidad, el teorema de Bernoulli y el efecto Venturi que deriva de los dos primeros.

PRINCIPIOS FÍSICOS

Ecuación de continuidad:

La ecuación de continuidad es que todo el flujo másico que hay a la entrada de un volumen de control (por ejemplo una tubería) es igual al flujo másico a su salida. Es decir:

$$(1.9) \quad \rho A v = cte$$

Siendo ρ la densidad del fluido, A el área del volumen de control y v la velocidad a la cuál circula el fluido por dicho volumen. Para un flujo incompresible, tenemos que:

$$(1.10) \quad A v = cte$$

Ecuación de Bernoulli:

“El principio de Bernoulli, describe el comportamiento de un fluido moviéndose a lo largo de una línea de corriente. Este teorema demuestra que en un fluido ideal (fluido sin viscosidad), la energía total permanece constante a lo largo de una línea de flujo”.

Como consecuencia, el aumento de velocidad del flujo corresponderá a una disminución de la presión.

Como el aire es un fluido incompresible a velocidades menores de 0,3 M, podemos considerar este teorema válido para el aire a velocidades menores a la citada. En nuestro estudio denotamos el fluido como un fluido incompresible y con viscosidad.

En la ecuación 1.11 se puede observar la "Ecuación de Bernoulli":

$$(1.11) \quad \frac{V^2}{2} + P = cte$$

Dónde:

- V = velocidad del fluido en la sección considerada. (m/s)
- P = presión a lo largo de la línea de corriente. (Pa)
- ρ = densidad del fluido. (kg/m^3).

Efecto Venturi:

El efecto Venturi, también conocido como tubo de Venturi, consiste en que un fluido en movimiento dentro de un conducto cerrado disminuye su presión al aumentar la velocidad después de pasar por una zona de sección menor. Se puede considerar como una combinación de la ecuación de Bernoulli y de continuidad.

A modo de ejemplo, y particularizando en nuestro proyecto, si cogemos un volumen de control cerrado donde esté nuestro alerón (figura 1.6) veremos que en el extradós de éste (parte inferior del alerón), al haber una curvatura mayor se reduce el área y por lo tanto, ateniéndose al efecto Venturi, se obliga al aire a pasar a mayor velocidad. En consecuencia, la presión disminuye. En el caso del intradós (parte superior), sucede lo contrario, el área es mayor, por lo tanto la velocidad del flujo disminuye y la presión aumenta, hecho que hace pegar el coche al suelo y mejorar su aerodinámica.

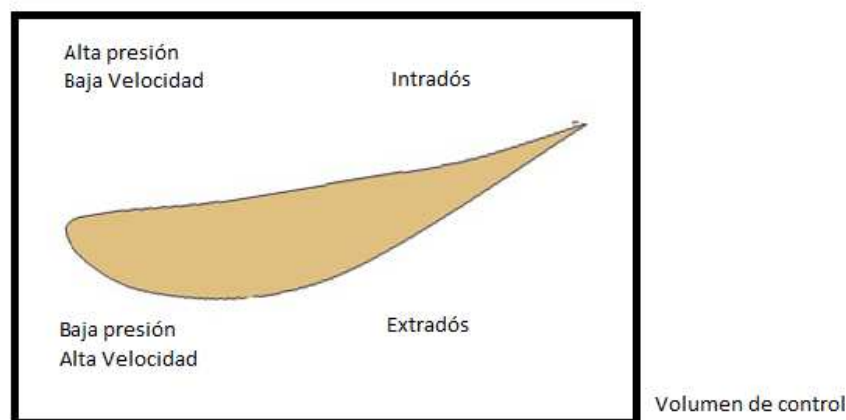


Fig. 1.6 Alerón dentro de un volumen de control.

Con una diferencia de presiones ΔP y una sección del alerón conocida S , se puede saber, que fuerza aerodinámica habrá en el perfil, tal y como se muestra en la ecuación 1.12.

$$(1.12) \quad F = S \Delta P$$

Esta fuerza va en dirección del gradiente de presiones, es decir, de alta a baja presión. En la práctica, para poder comparar los alerones, se utilizan coeficientes adimensionales, que simplifican los cálculos. Esto es debido a que la fuerza depende de factores externos tales como densidad, sección del perfil y los coeficientes adimensionales no dependen de estos factores, sino de la forma y del ángulo de ataque del perfil.

Para cada componente de la fuerza aerodinámica y de resistencia aerodinámica se utiliza un coeficiente, siendo los coeficientes vertical y horizontal, C_l y C_d respectivamente.

Para un turismo de gama media el coeficiente de resistencia se sitúa alrededor de 0,3 (entre 0,26 y 0,34), mientras que para un F1 varía según el circuito, este oscila entre 0,7 y 1,084, debido en gran parte a que se trata de vehículos “*open wheel*”, es decir, que no están carrozados por completo. El Car-Cross del proyecto se podría considerar entre medio de ambos, pues si bien es carrozado, no lo es en su totalidad.

LÍNEAS DE CORRIENTE, CAPA LÍMITE

Se denomina línea de corriente al lugar geométrico de los puntos tangentes al vector velocidad de las partículas de fluido en un instante t determinado.

El fluido puede ser estacionario cuando las líneas de corriente y las trayectorias coinciden, o bien no estacionario, que significa que los parámetros de velocidad, presión y densidad varían en función del tiempo. Esto puede producir una estela en un cuerpo.

En la figura 1.7 se puede apreciar un ejemplo de fluido estacionario (a la izquierda) y otro no estacionario (derecha).

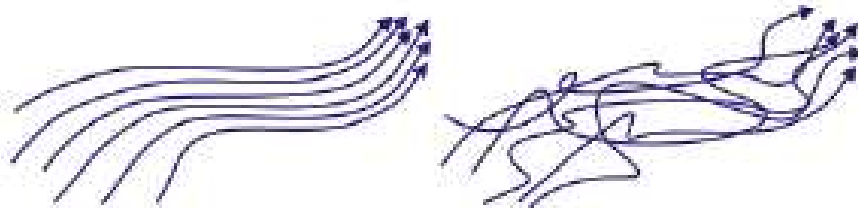


Fig. 1.7 Representación de líneas de corriente.

En relación con las líneas de corriente nace el concepto de capa límite. Dentro de esta pequeña capa es donde se tiene lugar a una parte importante de los fenómenos que conducen a la generación de las fuerzas aerodinámicas.

El aire viaja a una cierta velocidad y en el inicio del movimiento alrededor del ala, este aire que se encuentra libre, pasa inmediatamente a estar en contacto y a tener una velocidad nula debido a la condición de adherencia. A medida que nos alejamos del perfil, la velocidad del fluido va aumentando hasta que a una cierta distancia se asume la velocidad de corriente libre. Este punto se considera una frontera de la capa límite y se encuentra cuando se asume aproximadamente el 95% de la velocidad de corriente libre. En la figura 1.8 se muestra un gráfico de la capa límite.

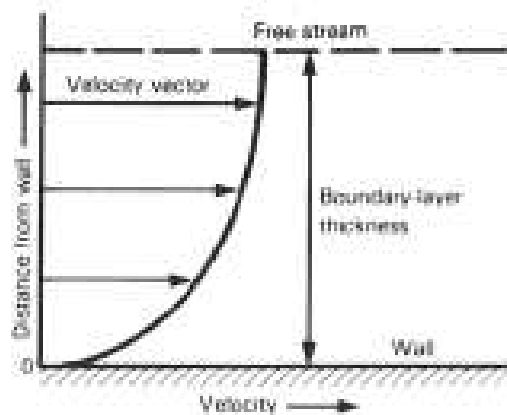


Fig. 1.8 Gráfico de la Capa Límite.

RÉGIMEN SUBSÓNICO, FLUIDOS COMPRESIBLE E INCOMPRESIBLE Y VISCOSIDAD

Una vez definidos todos los términos, se trata de centrarnos en las clasificaciones de los fluidos para las simulaciones. Una primera clasificación sería por la naturaleza del fluido, según esta clasificación encontraríamos:

Primero de todo se clasifica el flujo según su velocidad respecto a la velocidad del sonido. El valor resultante entre la velocidad del flujo y la del sonido es conocido como el número de Mach como se muestra en la ecuación 1.13.

$$(1.13) \quad M = \frac{V}{c}$$

- Si la velocidad del aire es menor que la velocidad del sonido, $M < 1$, se denomina flujo subsónico.
- Si la velocidad del aire está próxima a la velocidad del sonido, $M = 1$, se denomina flujo transónico.

- Si la velocidad del aire es mayor a la velocidad del sonido, $M > 1$, se denomina flujo supersónico.

Particularizando en nuestro estudio, primero de todo se debe calcular la velocidad del sonido, que viene determinada por una serie de parámetros como se muestra en la ecuación 1.14 y 1.15.

$$(1.14) \quad c = \sqrt{\gamma R T}$$

Según la ecuación 1.14, γ es la constante adiabática, que vale 1,4 (para el aire); R es la constante de los gases = 287 J/kg K y T la temperatura en Kelvin.

Si calculamos la velocidad del sonido a partir de los parámetros anteriores y para una temperatura del aire de nuestro estudio de 20°C, obtenemos:

$$(1.15) \quad c = \sqrt{1'4 \cdot 287 \cdot 288} = 343 \text{ m/s}$$

Una vez calculada la velocidad del sonido, y sabiendo a qué velocidad se va a querer hacer la simulación, se calcula el número de Mach.

Dadas las diferentes velocidades a las que pueden funcionar estos vehículos se analizaran una serie de velocidades de referencia, para cada una de las cuales será necesario calcular el número de Mach.

Si se aplican los datos anteriores a la ecuación del número de Mach, para una velocidad tip de 90 km/h (25 m/s) se obtiene:

$$(1.16) \quad M = \frac{v}{c} = \frac{25}{343} = 0'073$$

Una vez se tiene el número de Mach, se procede a definir si las simulaciones están en régimen incompresible o compresible. Para determinar en qué régimen se trabaja hay que prestar mucha atención a los cambios de densidad.

- Si los cambios en la densidad en el cuerpo son muy pequeños diremos que es un fluido incompresible, en el aire se toma cuando la velocidad del aire es menor a 0.3 M, donde M es el número de Mach. Se conoce como Aerodinámica incompresible. Así que la aproximación de aerodinámica incompresible es válida hasta una velocidad aproximada del aire de 100 m/s. En nuestro caso particular del Car-Cross está dentro de ese rango.
- El otro caso es cuando los cambios en la densidad ya no son tan pequeños y tenemos que tenerlos en cuenta, este régimen es el denominado Aerodinámica compresible, y trata problemas aerodinámicos en que el aire va a una velocidad mayor a 0.3M, es decir una velocidad mayor a 100 m/s aproximadamente.

Por último, una vez definido el tipo de fluido según su régimen y su compresibilidad, se clasifica el fluido en viscoso o no viscoso. Si es no viscoso diremos que es un flujo ideal y se deberán tener en cuenta un tipo de ecuaciones diferentes a la hora de resolver las simulaciones (Ecuaciones de Euler). Un fluido viscoso, como es nuestro caso, es aquél que se opone a esfuerzos tangenciales y se tienen que resolver mediante las ecuaciones de Navier – Stokes.

En conclusión, ahora que se conoce la velocidad a la que va a estar expuesto el Car-Cross, se puede asegurar que van a trabajar en régimen subsónico, incompresible y con viscosidad.

FLUJO LAMINAR Y TURBULENTO

Uno de los problemas más complejos de la aerodinámica es la turbulencia debido a que es difícil calcular. La turbulencia nace a partir de los gradientes de presión y la velocidad que hay en torno a una superficie. Cuando un fluido fluye por la superficie de un perfil alar, la capa del fluido que está tocando con la superficie del perfil, tiene una velocidad nula y las capas situadas más lejos van cogiendo mayor velocidad puesto que no hay fricción con la superficie. Llega un momento en el que una capa de flujo no nota que hay una superficie que hace que la velocidad varíe, es decir, que llegados a ese punto, esa capa tiene la misma velocidad que el flujo libre.

En un flujo turbulento el movimiento de las partículas es aleatorio, caótico y forman se forman remolinos. En cambio, en un flujo laminar el flujo se mueve de forma continua, ordenada y en láminas paralelas. A continuación se muestra en la figura 1.9 un flujo laminar y uno turbulento.

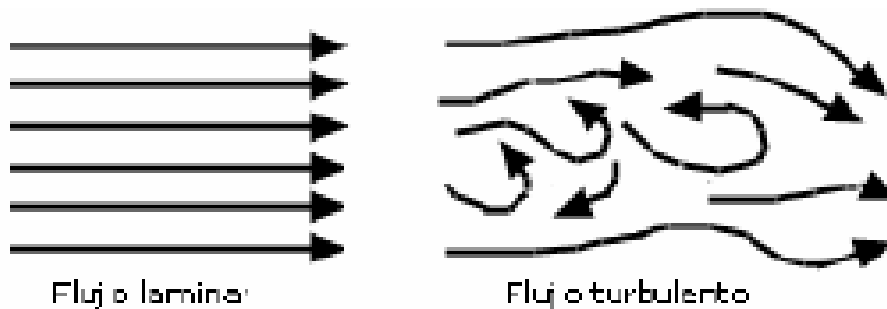


Fig. 1.9 Flujo laminar y flujo turbulento.

Un recurso utilizado para saber si el flujo es laminar o turbulento es saber el número de Reynolds. Este se obtiene a partir de la ecuación:

$$(1.17) \quad Re = \frac{\rho v l}{\mu}$$

En este caso, μ representa el coeficiente absoluto de viscosidad (0'0000181), v la velocidad y l una dimensión característica del objeto. Para saber en qué zona nos encontramos, existe una relación entre Re y la zona en cuestión. Si Re es inferior a 2000, se puede considerar que se trabaja con flujo laminar. Si Re está comprendido entre 2000 y 10000, entonces se trabaja en zona de transición. Si Re es superior a 10000, el flujo será turbulento.

Si tomamos los valores de ρ del aire 1'2 kg/m³, velocidad tipo de 25 m/s y longitud característica 2400 mm (que es lo que mide la carrocería de largo en su parte superior aproximadamente) y se introducen en la ecuación 1.17, se obtiene:

$$(1.18) \quad Re = \frac{1'2 \cdot 25 \cdot 2'4}{0'0000181} = 397800$$

Como se preveía y se observa, las simulaciones estarán dentro de la zona turbulenta, es decir, las partículas dejan de estar ordenadas y empiezan a desprenderse unas con otras, para posteriormente empezar a arremolinarse.

En la figura 1.10 se puede ver un ejemplo de la zona laminar, zona de transición y zona turbulenta.

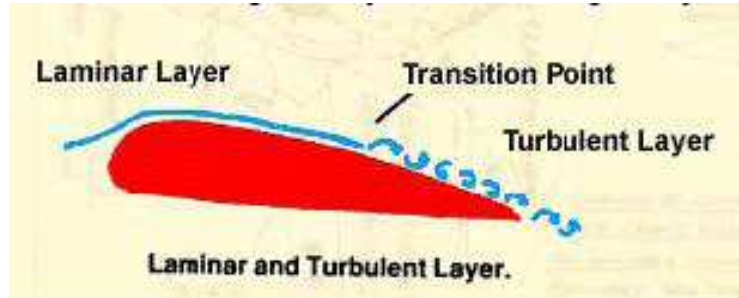


Fig. 1.10 Zona laminar, transición y turbulenta.

PERFILES ALARES

La forma de la carrocería del Car-Cross se asemeja al perfil de un alerón, pero sin las paredes en las extremidades. Se entiende por perfil alar la sección de un ala, es decir la geometría que representa el contorno de esta, obtenida mediante un corte transversal a su envergadura. En la figura 1.11 se representa un ejemplo dónde se ven identificadas las componentes de un perfil alar.

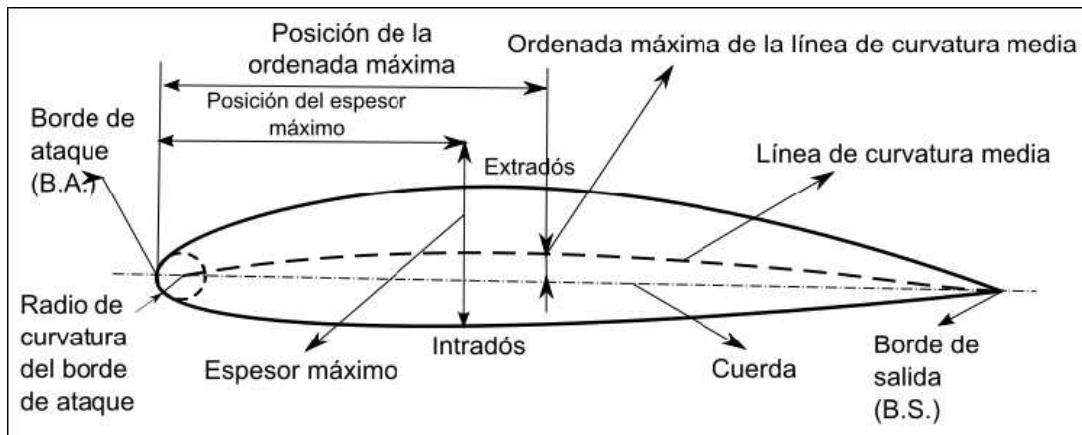


Fig. 1.11: Representación gráfica de cada componente de un perfil alar.

A continuación vemos una imagen del lateral del prototipo de Car-Cross ST2 para compararlo con la figura anterior y comprobar como se asemeja en su forma al perfil de un alerón.



5. CARACTERÍSTICAS DEL VEHÍCULO

Los vehículos Car Cross son prototipos que se construyen a partir de un chasis multi-tubular, al que se le acopla un motor de motocicleta de 600cc. en la parte trasera. Son de tracción trasera, poseen suspensiones independientes en ambos ejes y sólo tienen una plaza. Aunque pueden existir con dos plazas, no son aptos para competiciones.

El chasis de estos vehículos es de tubo de acero al carbono no aleado y cuenta con un arco de seguridad que envuelve al piloto. Emplean motores de moto de 600 centímetros cúbicos, con una potencia de alrededor de 130 CV, lo que les permite alcanzar los 130 km/h con una aceleración increíble. La transmisión puede ser manual o secuencial de 5 o 6 velocidades, con accionamiento hidráulico. Las suspensiones son regulables, así como las distintas distancias y caídas de los ejes y los neumáticos, con el fin de poner a punto el coche para cada circuito y /o estilo de conducción. La carrocería es de fibra de vidrio y cubre el chasis por completo.



Todo vehículo deberá estar diseñado y construido cumpliendo la normativa del Reglamento de la Real Federación Española de Automovilismo para las competiciones nacionales de Autocross, donde se engloban los Car Cross.

A continuación se van a señalar los artículos del reglamento que hagan referencia a la carrocería y características externas del prototipo, que son donde se centra el objetivo del proyecto. Se incluye el reglamento completo en el ANEXO 3.

CHASIS Y CARROCERÍA

Art. 3.2. Las dimensiones máximas de los vehículos, incluida la carrocería, serán las siguientes:

Longitud: 2600 mm.
Anchura: 1600 mm.
Altura: 1400 mm.

Art. 3.4. La carrocería debe ser rígida, de material duro y opaca, presentar una terminación irreprochable y no tener carácter provisional, debiendo estar firmemente sujeta al chasis mediante un mínimo de 4 anclajes: dos en la parte delantera y dos en la trasera, situados en lugares de difícil contacto con la tierra y protegidos de posibles golpes con otros vehículos.

- No podrá presentar ningún ángulo vivo, bordes cortantes o partes puntiagudas. Los ángulos y esquinas deben estar redondeados con un radio mínimo de 15mm.

- La carrocería, debe proteger de las proyecciones de piedras y otros objetos, tanto la parte frontal como laterales del vehículo. La altura de esta carrocería será, como mínimo, de 420 mm. medida desde el plano donde se ancla el asiento del piloto en el chasis hasta la parte superior.

- Visto el vehículo desde arriba todos los elementos mecánicos necesarios para la propulsión (motor, transmisión) deben estar cubiertos por la carrocería.

- Los paneles utilizados no podrán tener un espesor superior a 10mm.

PARABRISAS Y ABERTURAS LATERALES

Art. 6.1. El parabrisas, formado por vidrio laminado o policarbonato de un espesor mínimo de 5 mm podrá ser sustituido por una red metálica unida a la estructura del vehículo de manera segura y fija, que recubre toda su abertura. El paso de la malla estará comprendido entre 10mm. x 10mm. y 25mm. x 25mm., siendo el diámetro mínimo del hilo con el que se ha tejido la red de 1mm. La malla en todo su perímetro deberá estar soldada a un hilo con un diámetro mínimo de 5 mm.

Art. 6.2. Las aberturas laterales estarán cubiertas por una red metálica, fijada de forma segura a la estructura del vehículo, deberán tener un cierre de hebilla o similar. Las redes metálicas tendrán las mismas características que las utilizadas para el parabrisas. En las redes plásticas o de cuerda su paso de malla será como máximo de 50mm. x 50mm. y además deberán de ser suficientemente seguras según el criterio del Delegado Técnico del Campeonato de España de Autocross.

RUEDAS Y NEUMÁTICOS

Art. 11.1. El diámetro máximo de la llanta es de 10” y su anchura máxima es de 8”.

Art. 11.2. Se autorizan los neumáticos de tacos específicamente fabricados para estos vehículos.

Art. 11.3. Se permite la instalación en las ruedas traseras de tapacubos del mismo material que los faldones, fijados a la llanta de forma firme y segura mediante tornillos.

Art. 11.4. Es obligatoria la instalación de faldillas de 5 mm de espesor y de una altura máxima respecto al suelo de 50mm cuando el vehículo se encuentre detenido, sin nadie a bordo. Se deben instalar detrás de todas las ruedas y estar compuestas de un panel de material plástica flexible de una anchura máxima igual a la anchura de la rueda completa más 50 mm. En proyección vertical, no deben sobresalir de la carrocería.

6. DATOS Y DISEÑO EN 3D

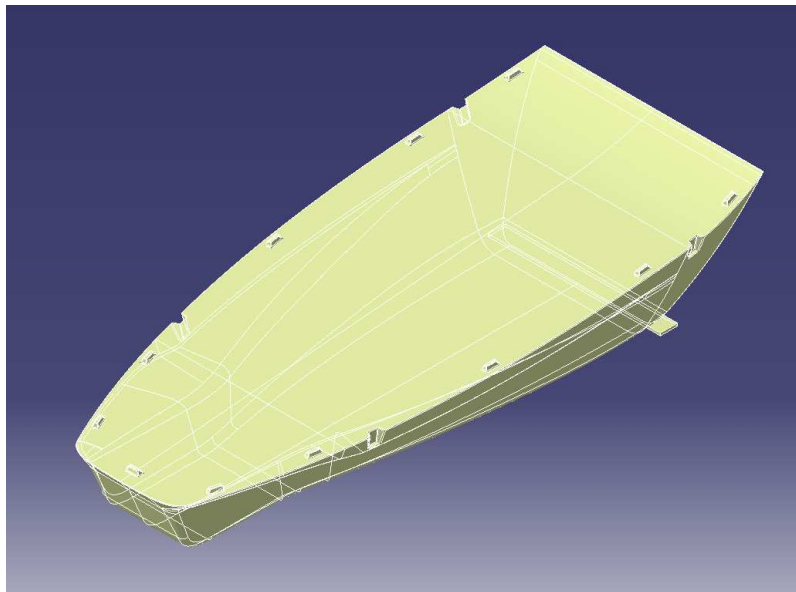
En este apartado se va a exponer el proceso llevado a cabo para el diseño del prototipo con un programa de CAD-CAM, en este caso con CATIA. El diseño en 3D del prototipo es necesario, primero para verificar si cumple la reglamentación vigente y validar la geometría y segundo, para importarlo a un programa CFD, ANSYS, y realizar el correspondiente estudio aerodinámico.

El diseño en 3D debe ser lo más preciso posible, ya que de eso dependerá que los resultados del posterior estudio aerodinámico sean correctos y fiables. Por otro lado, y lo más importante, el diseño en 3D no debe tener huecos en la superficie de la carrocería porque si no ANSYS dará errores y no podremos realizar el estudio.

Apartado este de los huecos y errores de la superficie que estudiaremos aparte mediante la comparativa entre ANSYS y STAR-CCM+.

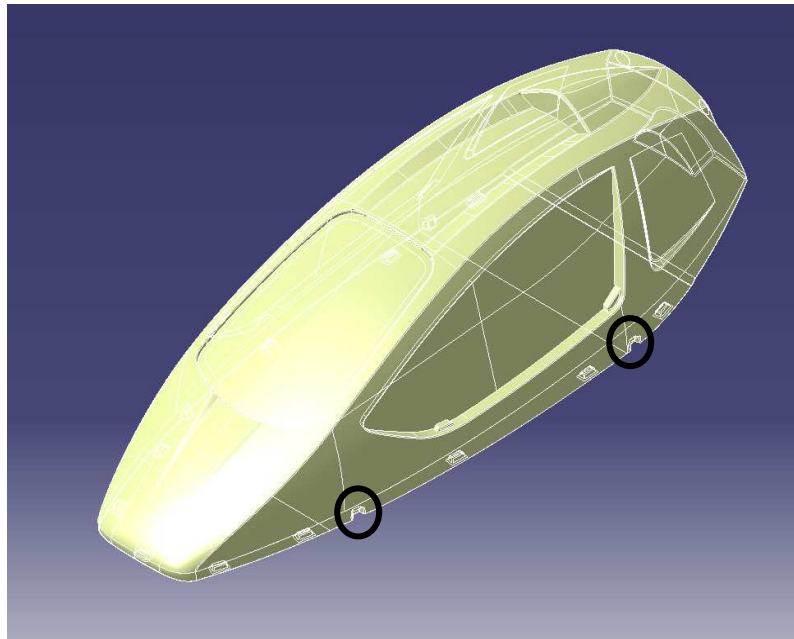
Para realizar el diseño en 3D partimos de los archivos de la carrocería, la parte que envuelve al piloto, facilitados por la empresa SILVER CAR a través de la tutora del proyecto. Los archivos facilitados por la empresa estaban en una extensión del programa de CAD-CAM Pro Engineer, por lo que hubo que transformarlos a archivos IGS para poder abrirlos con CATIA y trabajar con ellos. Se podía haber trabajado también con Pro Engineer, pero por cercanía al programa se ha elegido CATIA.

La carrocería del coche consta de dos partes, una parte envuelve y protege toda la parte inferior del prototipo, y llega aproximadamente hasta un tercio de la altura de la carrocería. Esta parte está unida al chasis, y es fija.



La segunda parte es, por así llamarlo, la principal. Se une a la parte inferior mediante dos cierres en cada lado (señalados en la imagen) según el reglamento, y es móvil, se puede quitar y poner de manera sencilla para facilitar las labores de mantenimiento del coche o incluso para que el piloto salga y entre con más facilidad.

Esta parte es la que envuelve al piloto y lleva las aberturas practicadas para el parabrisas frontal y las aperturas laterales, que llevan sus respectivas mallas de protección. Lleva incorporada un espejo retrovisor en cada lado de la misma, pilotos posteriores y una entrada de aire en la parte superior.

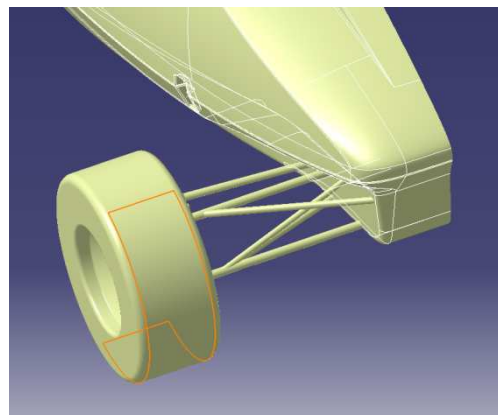


En la parte trasera, por debajo de la parte superior de la carrocería se encuentra situado todo el sistema motriz del vehículo, es decir, el motor junto con la transmisión y sus respectivos elementos auxiliares.

Con esta base partimos para realizar el diseño completo del coche, dibujando los sistemas de suspensión, las ruedas, la parte trasera, etc...

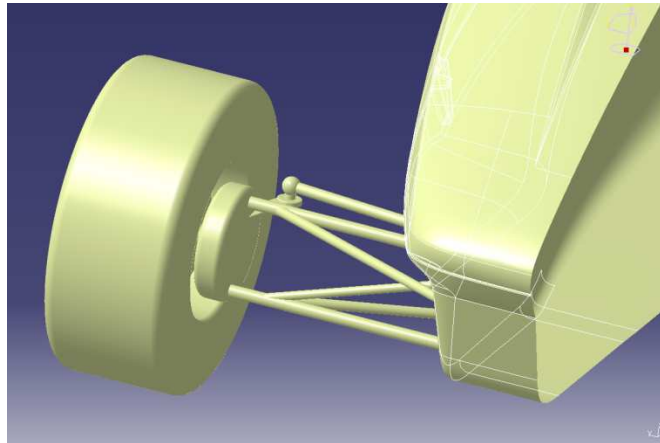
Empezando por la parte inferior de la carrocería, vamos modelando y acoplando los trapecios de la suspensión y los brazos de dirección. Como no tenemos medidas ni dato alguno, nos tenemos que basar en las fotos que disponemos del coche.

La suspensión delantera es independiente, y consta de dobles trapecios, formando un paralelogramo. El amortiguador va colocado en el interior de la carrocería, para estar menos expuesto a suciedad o golpes.



La mangueta que une la rueda con el amortiguador se conecta al trapecio inferior, y el brazo de dirección mediante una rótula al cubo de la rueda.

A continuación se dibuja la llanta con el neumático. En la realidad y para cumplir el reglamento las ruedas llevan sus correspondientes faldillas, que protegen de las proyecciones de piedras y barro, pero para el diseño en 3D no las hemos incluido, pues en el procesado posterior en STAR CCM+ nos daría errores, y no son relevancia en el tema aerodinámico.

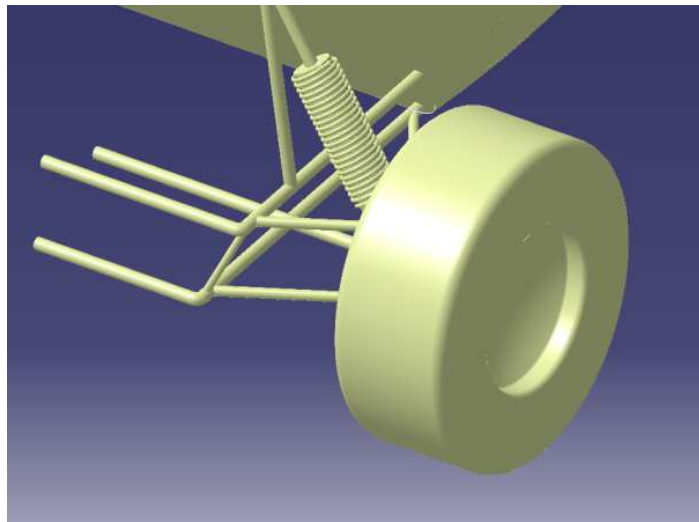


Como el coche es simétrico respecto al eje longitudinal, la parte del otro lado es idéntica a la ya dibujada.

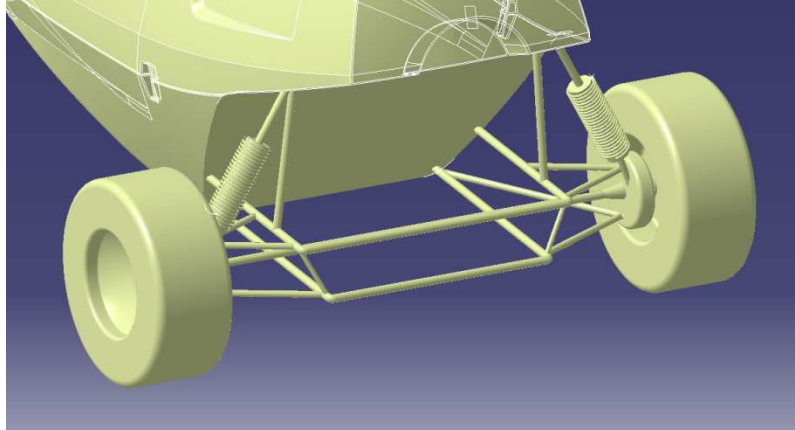
Para la rueda trasera existen más dificultades, pues en las fotos de que disponemos, que son pocas, no se aprecia apenas, en todas prima ver el prototipo de frente, y al ser una disciplina no muy conocida, tampoco aparece mucha información, ni en libros ni en Internet.

La suspensión trasera es también independiente, consta de dobles trapecios y en vez de brazo de dirección, va el eje de transmisión, que transmite la rotación que produce el motor a las ruedas, para mover el coche.

El amortiguador va colocado en posición vertical, unido con una rótula al trapecio superior y por el otro extremo al chasis.

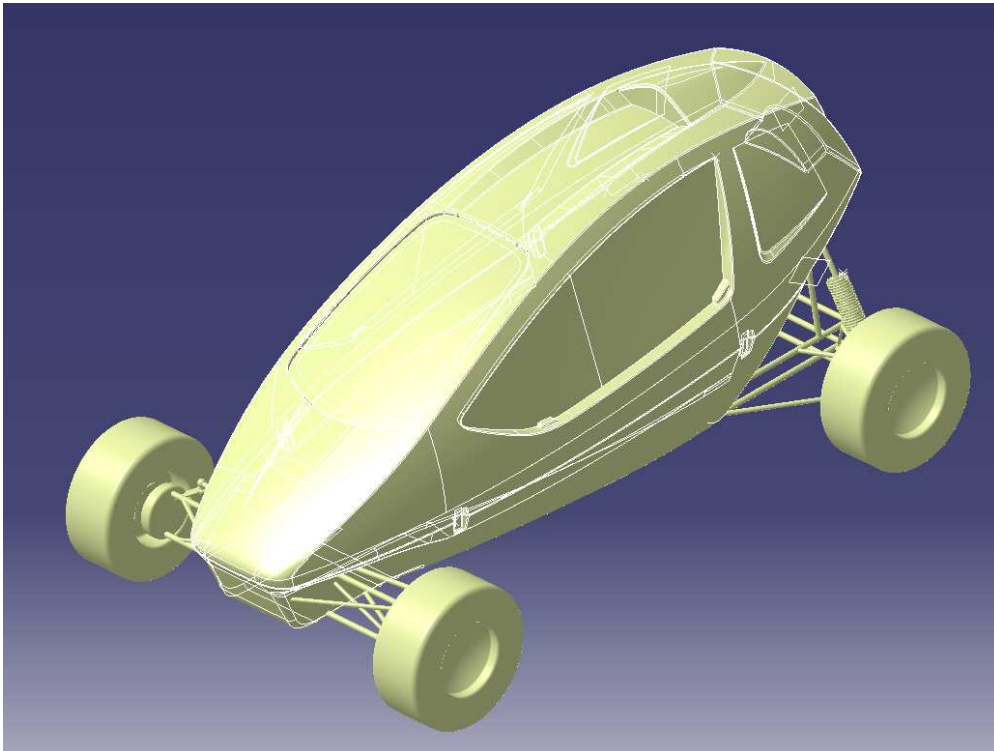


El motor va situado entre las dos ruedas traseras, sobre el chasis, y por detrás de él va situado un ventilador de grandes dimensiones para su refrigeración.



Para terminar el dibujo del prototipo en CATIA V5, realizamos la simetría y tenemos el coche totalmente dibujado. En el ANEXO 1 y 4 se van a mostrar diferentes planos y vistas del diseño del prototipo en 3D para conocer mejor su geometría y fotos de detalle a tamaño más grande.

Los retrovisores no se han dibujado por no ser de relevancia para el estudio aerodinámico de la carrocería.



7. VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA

Una vez tenemos el diseño de prototipo en CATIA, en 3D, podemos proceder a comprobar si la geometría de éste se ajusta a la reglamentación actual impuesta para las competiciones, y validar la geometría.

Tenemos que comprobar, según la normativa del vehículo, del apartado 5, si ésta se cumple. En primer lugar comprobamos las longitudes máximas que puede tener el prototipo.

Las longitudes reales del prototipo, medidas en CATIA, son las siguientes:

Longitud: 2588 mm.

Anchura: 1600 mm.

Altura: 1262 mm.

Como podemos comprobar con las referencias del apartado 5, las longitudes reales del prototipo están dentro de las máximas exigidas por el reglamento. Podemos ver un plano acotado, con las medidas reales del prototipo, en el ANEXO 4.

La carrocería del prototipo es de fibra de vidrio. La fibra de vidrio es un material fibroso obtenido al hacer fluir vidrio fundido a través de una pieza de agujeros muy finos y al solidificarse tiene suficiente flexibilidad para ser usado como fibra. Sus principales propiedades son: buen aislamiento térmico, inerte ante ácidos, soporta altas temperaturas. Estas propiedades y el bajo precio de sus materias primas, le han dado popularidad en muchas aplicaciones industriales. Las características del material permiten que la fibra de vidrio sea moldeable con mínimos recursos, la habilidad artesana suele ser suficiente para la autoconstrucción de piezas de bricolaje tales como kayak, cascos de veleros, terminaciones de tablas de surf o esculturas, etc.

Se cumple pues también que la carrocería del vehículo sea rígida, de un material duro y opaca. Tampoco presenta aristas ni partes cortantes y todas sus formas son redondeadas.



La altura de la carrocería desde donde se ancla el asiento del piloto en el chasis hasta la parte superior es de 1098mm., por lo que también cumple el siguiente apartado del reglamento.

Visto de arriba, los elementos necesarios para la propulsión del vehículo (motor, transmisión, ventilador, y demás elementos auxiliares) están cubiertos por la carrocería.

Los paneles de fibra de vidrio, con los que está realizada la carrocería tienen un espesor de menos de 10mm.

Como se puede apreciar en las fotos, el parabrisas se sustituye por una red metálica que cubre toda la apertura frontal de la carrocería, y soldada en todo su perímetro. Las mallas que cubren las aberturas laterales también son metálicas, de similares características a la del parabrisas pero practicables, para que el piloto pueda salir y entrar sin necesidad de desmontar la parte superior de la carrocería.



Realizadas las mediciones de las medidas de las ruedas se comprueba que están dentro de las exigidas en el reglamento, y los neumáticos de tacos que utilizan para las competiciones sobre circuitos de tierra son también autorizados, habiendo en este apartado diferentes marcas proveedoras de neumáticos y con distintos diseños del dibujo de los tacos, adaptándose a cada estado de la superficie.

Aunque se permite la instalación de tapacubos en las ruedas traseras para mejorar la aerodinámica del vehículo, el modelo que nos ocupa no los utiliza.

Todas las ruedas llevan sus correspondientes faldillas, con las medidas reglamentarias, para proteger de las proyecciones de piedras y tierra.



Con todo esto podemos concluir que cumple con el reglamento que la Real Federación Española de Automovilismo establece para las competiciones nacionales de Autocross, y podemos validar el diseño de la carrocería actual del prototipo ST2 de la categoría Car Cross de SILVER CAR.

8. COMPARATIVA STAR-CCM+ / ANSYS

En este Proyecto Fin de Carrera se debe realizar una simulación mediante un programa de elementos finitos, ANSYS, para el estudio de la aerodinámica externa del prototipo de competición.

Previamente vamos a trabajar con ANSYS y STAR-CCM+ para ver cuál de ellos responde mejor cuando la superficie sobre la que vamos a realizar el análisis no está perfecta y presenta huecos, es decir, con cual de ellos es más sencillo realizar la simulación.

Los programas de simulación de fluidos crean una especie de sólido a partir de una superficie, se crea un “volumen de aire”. Para que el programa pueda crear este volumen es necesario que la superficie no tenga huecos, que sea continua, que no haya aristas ni vértices sueltos, sino se “escaparía el aire”.

Para ello ANSYS y STAR-CCM+ disponen de una serie de herramientas que nos permiten retocar la superficie y dejarla según la condiciones que son necesarias para que estos programas de simulación CFD realicen su tarea. Puede ser que el diseño en CATIA este bien realizado “a simple vista”, pero luego nos damos cuenta que no lo esta, y por lo tanto no podremos simular.

Una vez que se importa el diseño en 3D desde CATIA, se comprueba si la superficie está bien, y si nos da errores, debemos corregirlos. Para ello podemos ir directamente a CATIA y tratarlo, pero estos programas disponen de herramientas para tratar estos defectos superficiales, de manera sencilla, e incluso automática.

No siempre podremos corregir los errores desde ANSYS o STAR-CCM+ y tendremos que volver a CATIA para arreglarlo.

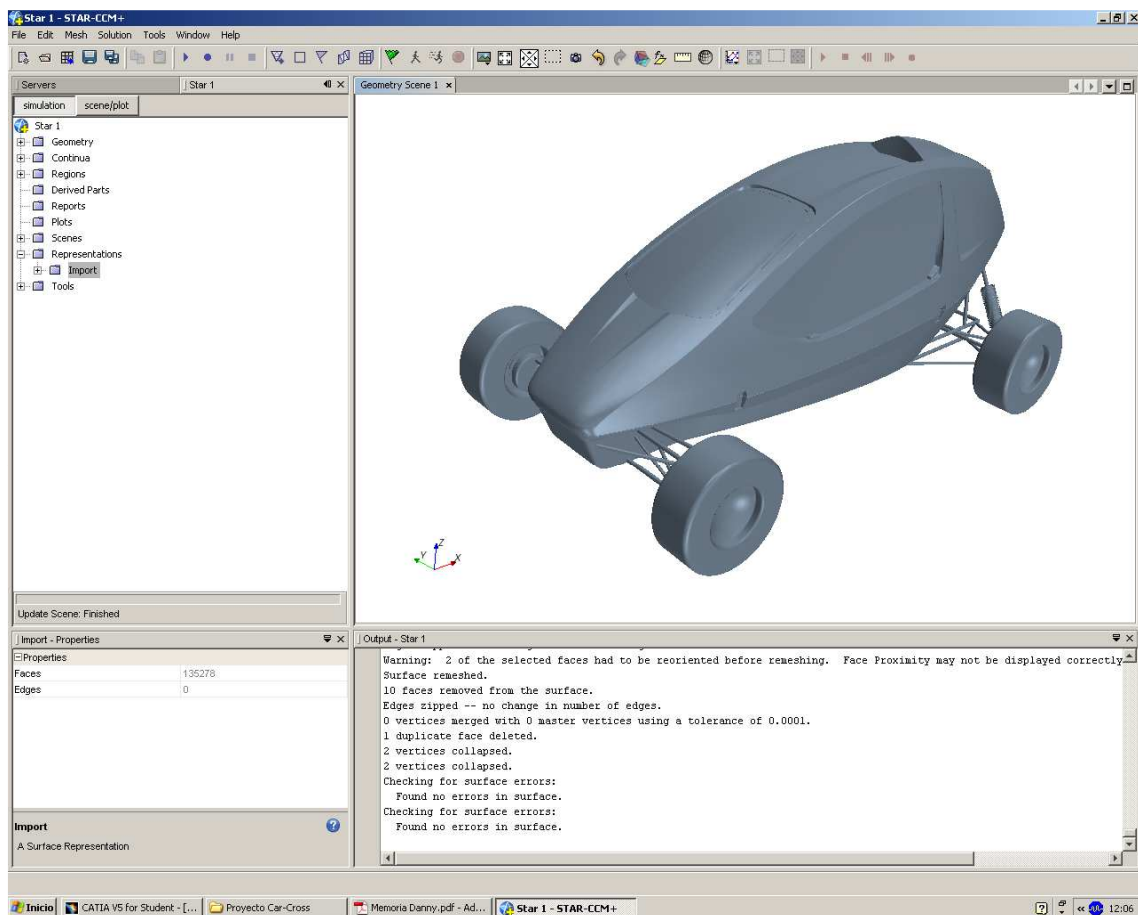
Las características principales y los datos de cada programa están incluidos dentro del ANEXO 2. Vamos a estudiar cada programa.

8.1 STAR-CCM+

STAR-CCM + es un programa de CFD. Ofrece el proceso de ingeniería de simulación completa en un entorno de software integrado. Este enfoque único ofrece incomparable facilidad de uso y la automatización de la preparación de CAD, mallado, el modelo de configuración y estudios de diseño interactivo, permitiendo obtener mejores resultados, más rápido.

Dicho software es empleado por grandes empresas automovilísticas, tanto en el rango de competición como en el diseño de vehículos particulares, como ejemplo tenemos las escuderías más potentes de Fórmula 1 como Ferrari, McLaren-Mercedes, Renault, etc...

Ya respecto al propio uso del programa, una vez tenemos diseñado el prototipo en 3D, lo importamos desde CATIA V5 a STAR-CCM+. Podemos importar los archivos con varias extensiones, nosotros elegimos .igs por ser una extensión universal a todos los programas de diseño 3D en ordenador.



Abrimos una nueva simulación en STAR-CCM+ e importamos el archivo .igs del prototipo, como vemos en la figura anterior. Una vez abierto tenemos que comprobar si el diseño en 3D está bien realizado, es decir, si la superficie es continua y no tiene huecos ni aristas ni vértices sueltos. Para realizar la simulación STAR-CCM+ crea un volumen a partir de la superficie, por eso, si ésta no está cerrada completamente, no podremos seguir con la simulación.

En caso de que los tuviera, STAR-CCM+ tiene una herramienta para cerrar la superficie y arreglar pequeños defectos de la misma, sin necesidad de retocar el dibujo en CATIA, incluso una forma automática de auto-reparación.

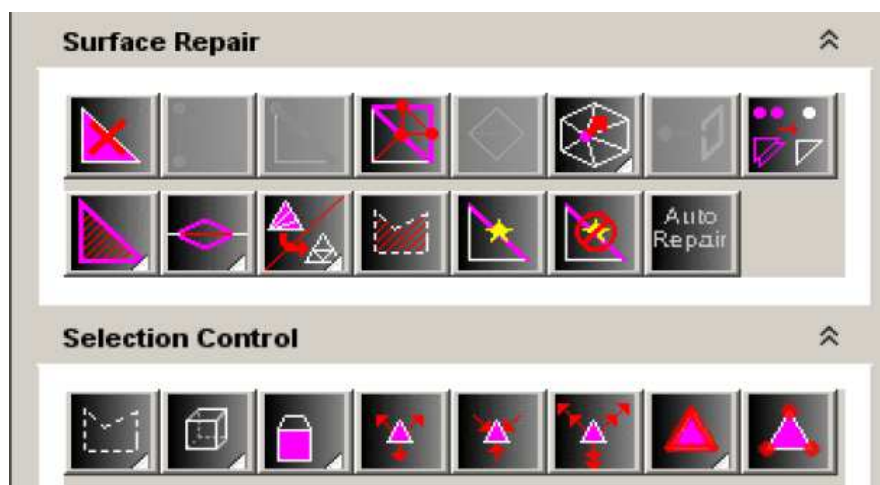
Estas herramientas son de mucha utilidad cuando tenemos algún defecto muy pequeño, y con CATIA sería complicado de arreglar, pero por contra, al usar estas herramientas puede que la superficie varíe respecto a su forma original.

En las zonas reparadas pueden existir desviaciones de medidas o redondeos de aristas, o incluso deformar tanto la superficie en ese punto que sea necesario utilizar CATIA para arreglarlo. En la mayoría de los casos, los fallos en la superficie son tan pequeños que aunque se queden deformados no influyen en la simulación.

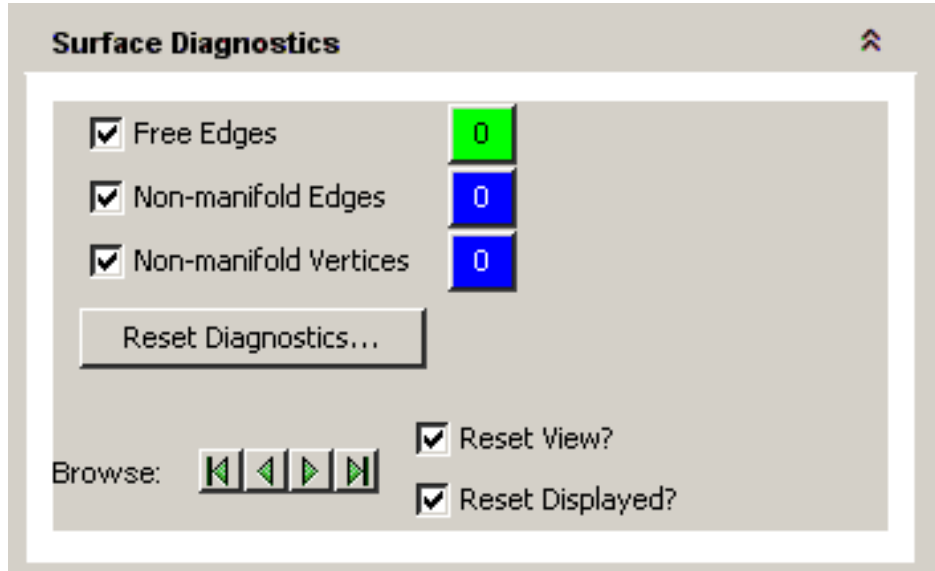
Realizamos un diagnóstico del diseño del prototipo para comprobar si el estado de la superficie exterior es correcto y vemos que no, que tiene fallos: aristas y vértices libres y zonas vacías (huecos).

Para corregir la superficie utilizamos las herramientas de reparación de STAR-CCM+. Aunque tiene varias opciones para hacer variaciones en la superficie la más adecuadas son:

- Eliminar superficie
- Dividir superficie en otras más pequeñas
- Unir vértices
- Eliminar aristas
- Auto-reparación



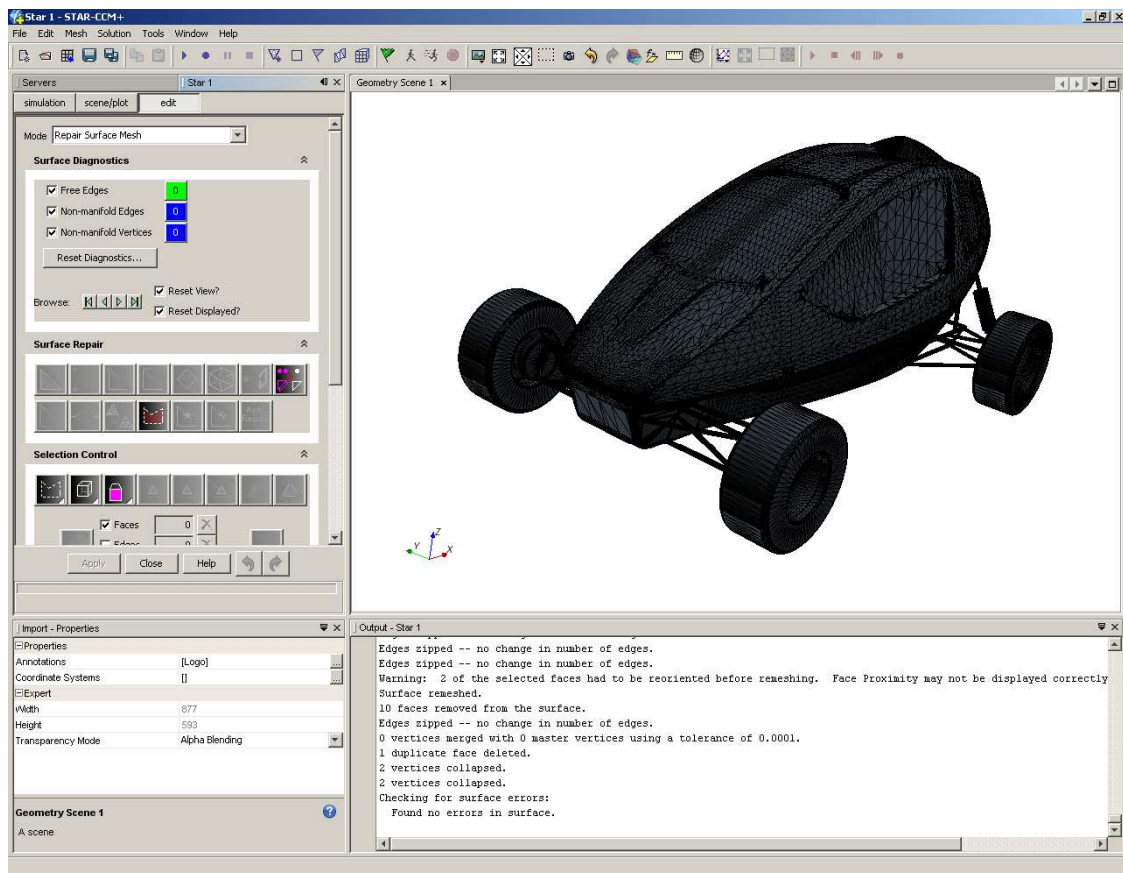
A base de unir aristas y borrar superficies superpuestas, al final de una en una, y después de mucho trabajo conseguimos llegar a cero fallos, y tenemos la superficie lista para seguir con la simulación.



El diagnóstico de la superficie nos tiene que dar cero errores en los apartados que vemos en la imagen anterior, para poder continuar con el proceso, que son:

- *Free edges =0*: el modelo se encuentra totalmente cerrado.
- *Non manifold edges=0*: no hay superficies superpuestas, en caso de no resolverlo, a la hora de mallar existiría una superficie más creando irregularidades en la geometría e incluso obteniendo datos en sitios erróneos.
- *Non-manifold vértices=0*: todos los vértices de los poliedros que forman la malla están unidos, no existen vértices libres.

Aparte de estos tres tipos de errores, STAR-CCM+ ofrece el análisis de unos cuantos parámetros más respecto a condiciones de la superficie, siendo de menos importancia para este tema. Para realizar el mallado y la simulación, con que estos tres parámetros no nos den error es suficiente.

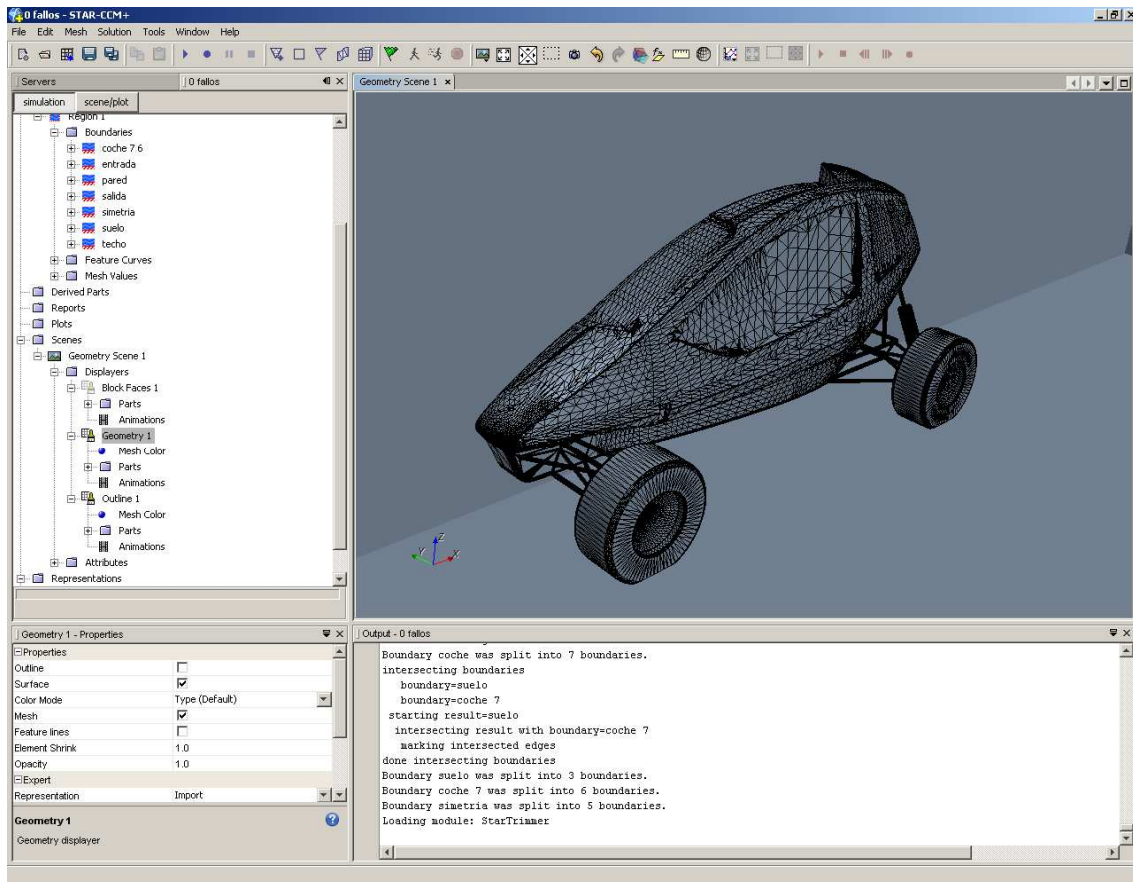


Como vemos en la imagen, ya no nos da fallos, la superficie está completamente cerrada y podemos seguir con el siguiente paso, que sería crear un túnel de viento virtual y malla la superficie.

A modo de ejemplo, y por aprender algo más del manejo de STAR-CCM+ se realizó una prueba para mallar la superficie, según vemos en la imagen de la siguiente página.

Para realizar el mallado antes debemos crear un túnel de viento virtual, que corte a la superficie por la mitad, ya que al ser simétrica, con una mitad es suficiente para realizar el análisis y así se utilizan menos recursos del ordenador.

Una vez creado el túnel se intersecta con la superficie por el eje de simetría longitudinal y se corta la parte exterior. Ahora ya se realiza el mallado.



Este tema estará más desarrollado y explicado de manera más concisa en el apartado 9 de dicho proyecto, Proceso de Cálculo.

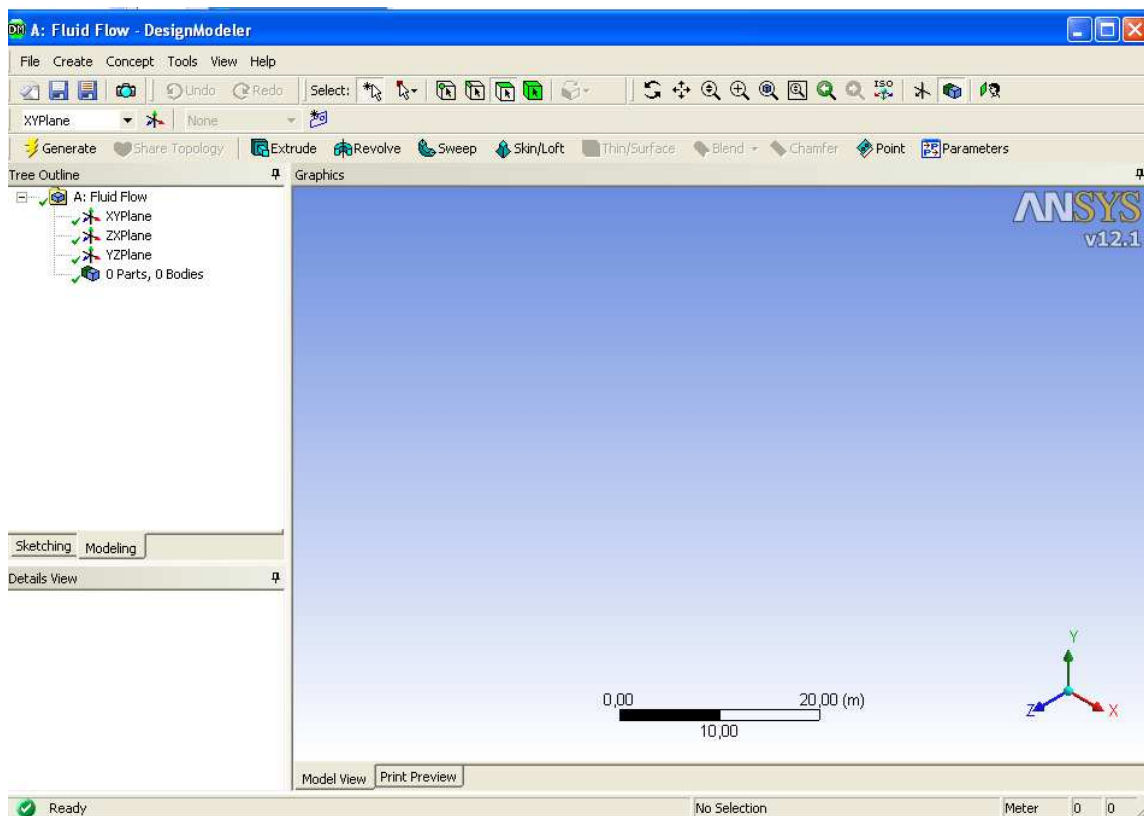
8.2 ANSYS

ANSYS es un software de simulación ingenieril. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito para estructuras y volúmenes finitos para fluidos.

ANSYS está dividido en tres herramientas principales llamados módulos: pre-procesador (creación de geometría y mallado), procesador y post-procesador. Tanto el pre-procesador como el post-procesador están previstos de una interfaz gráfica. Este procesador de elemento finito para la solución de problemas mecánicos incluye: análisis de estructuras dinámicas y estáticas (ambas para problemas lineales y no-lineales), análisis de transferencia de calor y fluidodinámica, y también problemas de acústicas y de electromagnetismo.

Usualmente el uso de estas herramientas se utiliza simultáneamente logrando mezclar problemas de estructuras junto a problemas de transferencia de calor como un todo. Este software es usado también en ingeniería civil y eléctrica, física y química.

Al igual que con STAR-CCM, se importa el archivo desde un programa de CAD, en este caso CATIA, en alguna de las extensiones compatibles, y se abre la geometría en el modulo DesignModeler de ANSYS. La siguiente imagen nos muestra la apariencia del DesignModeler.



Este modulo es una pequeño programa de CAD que nos permite dibujar nuestras geometrías, permite crear casi cualquier geometría, pero su uso es complicado y poco intuitivo. Es mucho más conveniente crearlas en CATIA.

El tema de las extensiones que soportar ANSYS es bastante relevante, pues dependiendo de una u otra, los resultados finales pueden variar porque la superficie será distinta.

Para importar el archivo desde CATIA lo más normal es utilizar extensión .CATpart, aunque algunas versiones de ANSYS dan problemas de compatibilidad según la propia versión de ANSYS y la de CATIA y no dejaba abrir el archivo. Con este tipo de extensión tenemos el diseño tal y como lo tenemos en CATIA, con toda su información, que muchas veces es excesiva y provoca que ANSYS necesite mucha memoria para tratarlo.

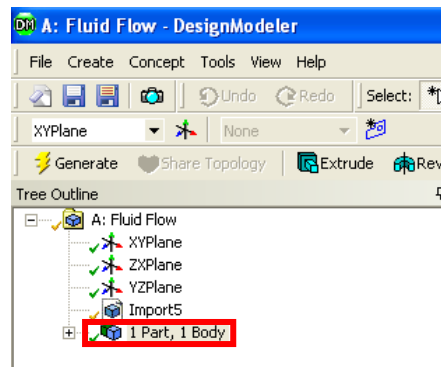
Otras extensiones que soportar ANSYS son las más comunes y universales .igs y .step. Ambas muestran el diseño tal y como es, a simple vista no parece que la geometría cambie, pero si que muestra menos información, lo cual no es del todo malo.

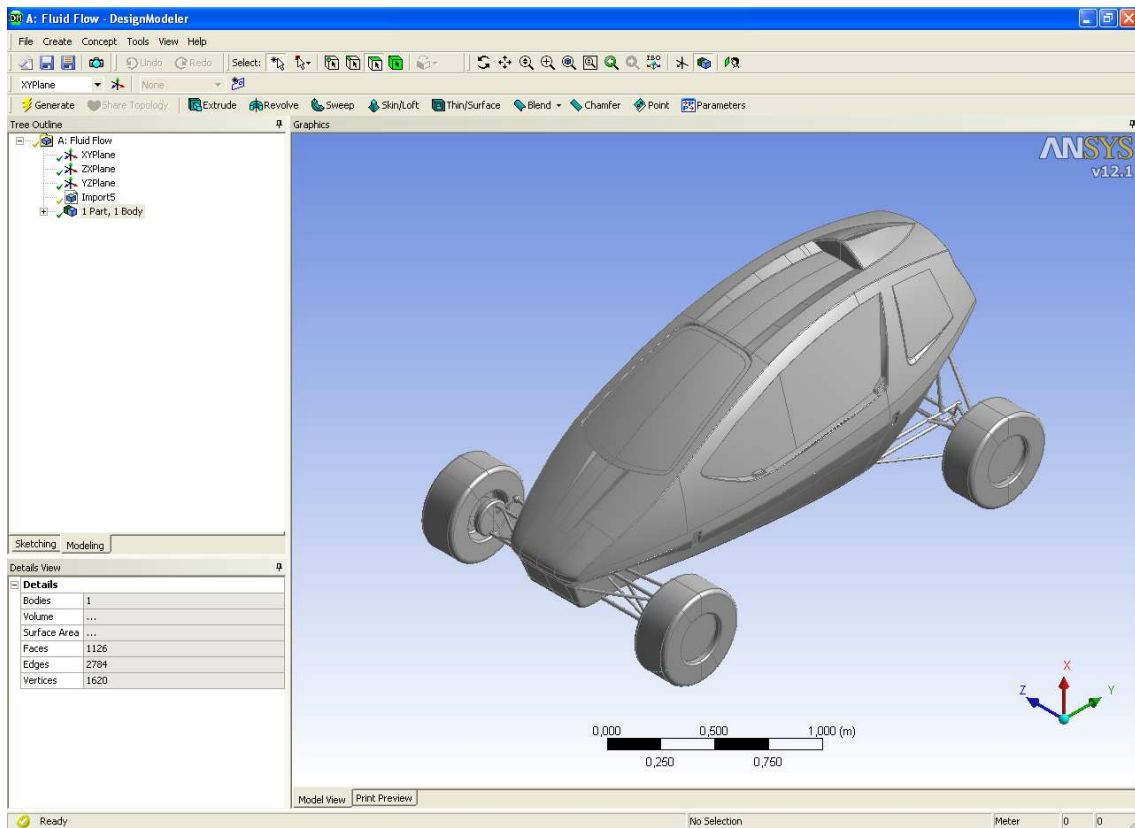
La mejor extensión para ANSYS es .step, pues muestra el diseño como un solo producto, siendo más fácil luego su tratamiento, y necesitando menos cantidad de memoria.

Como ejemplo comentar que al abrir el archivo en extensión .CATpart el diseño aparecía con todas sus superficies, una por una, casi 1000 superficies distintas. Debido a la gran cantidad de superficies distintas a tratar y por su geometría bastante complicada, la memoria del ordenador no era suficiente y no se podía realizar el mallado.

Por contra al abrirlo como .step, nos aparecía solamente un producto, todas las superficies formaban una sola, facilitando el procesado de dicha superficie y consumir menos recursos.

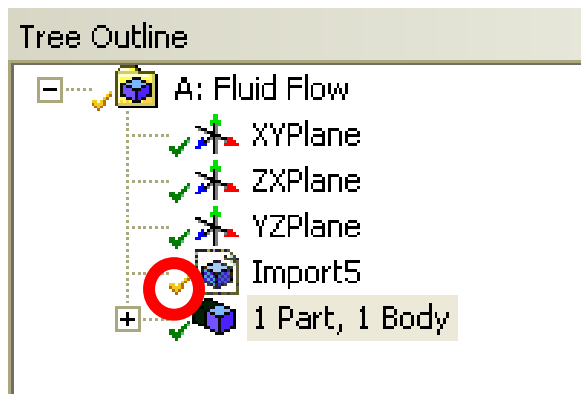
En la imagen siguiente vemos el diseño dentro del DesingModeler de ANSYS, importándolo en extensión .step. Vemos como aparece todo del mismo color, lo que es un indicativo de que forma una sola superficie. También vemos en el árbol que pone 1part, 1body.



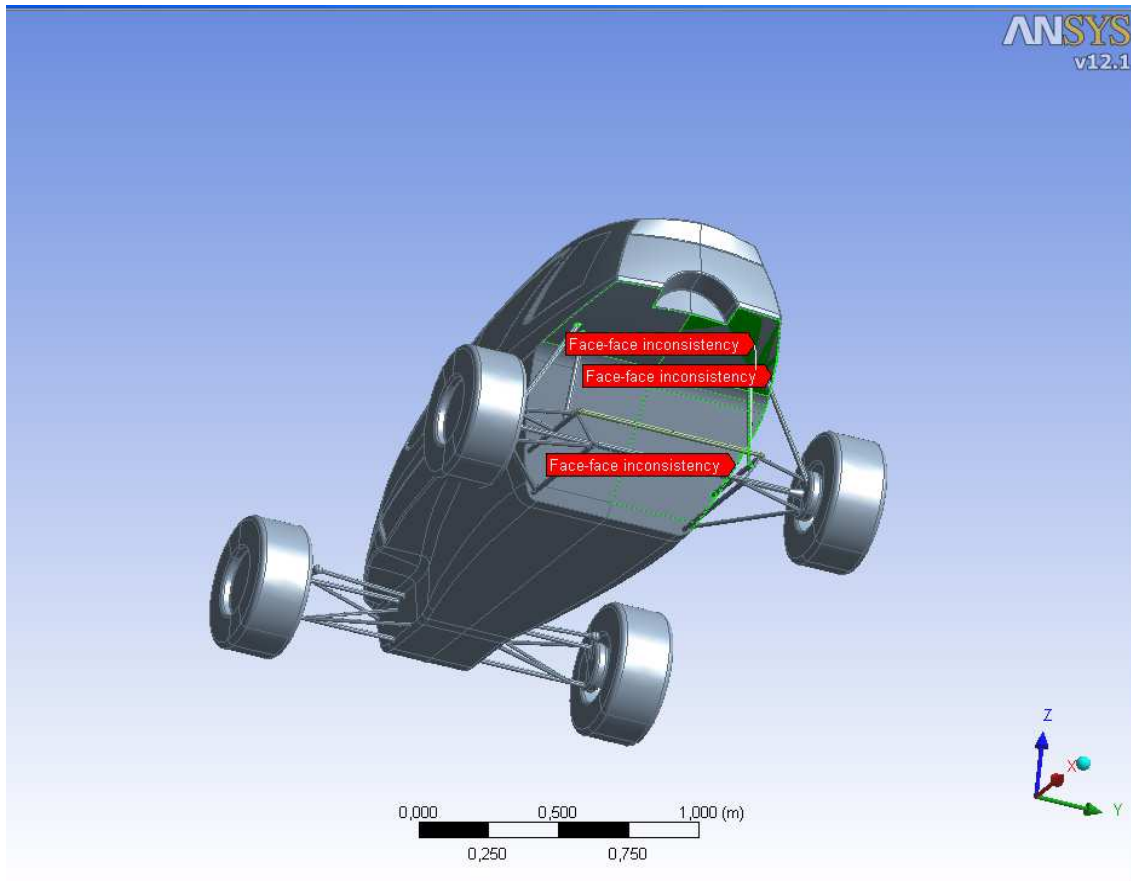


Dentro del tema de la comparativa, ANSYS ya nos da una pista de si la superficie tienes fallos al importar el archivo, pues al lado del nombre aparece un rayo, que es de color verde si la superficie esta correcta o amarillo si tiene algún error.

Como se ve en la imagen, el rayo es de color amarillo, lo que implica que hay algún error en la superficie. Consultamos ese error y nos dice que algunas uniones entre superficies no son correctas, seguramente debido a la existencia de dobles líneas.



Aquí es cuando viene el gran problema de ANSYS, pues una vez arreglado con CATIA ese defecto de la superficie y vuelto a analizar la superficie, aparecen mas errores que antes no salían y que no tienen nada que ver con los anteriores, y así sucesivamente, arreglando fallos y saliendo otros fallos. En la imagen vemos como ANSYS nos muestra las superficies donde se dan conflictos.



ANSYS, según la versión, tiene alguna herramienta para arreglar estos defectos, que son de escasa utilidad, pues su uso es muy concreto y en caso de tener un gran número de fallos hay que ir uno por uno, o ir directamente a CATIA, que es la mejor opción, pues son bastante complicadas de utilizar.

Este es el cuadro con las opciones que dispone ANSYS para reparar la superficie, en orden de arriba abajo las opciones son:

- Reparar aristas
- Reparar costuras
- Reparar agujeros
- Reparar ángulos agudos
- Reparar astillas
- Reparar picos
- Reparar caras



Se puede arreglar la geometría desde el modulo DesingModeler del propio ANSYS, pero una vez tenemos la geometría importada de otro programa de CAD, su uso es muy complicado y poco intuitivo, y cuesta menos y es más recomendable acudir a CATIA.

Como punto a favor de ANSYS esta el que puede mallar y realizar una simulación aunque la geometría presente algún error, es más permisivo en este aspecto, aunque luego el proceso de mallado sea un poco más complicado y la malla no sea totalmente perfecta.

Por ejemplo puede haber errores en zonas de poco interés para el análisis y donde es indiferente que la forma de la malla se distinta y su calidad sea menor.

8.3 CONCLUSIONES

Una vez visto con detenimiento el funcionamiento de ambos programas y estudiados y analizados sus pros y sus contras podemos establecer una serie de conclusiones a modo de indicación sobre la idoneidad de un software u otro para la realización de este tipo de simulaciones.

Lo primero a tener en cuenta es que la simulación la realizamos a partir de un diseño en 3D de superficies, no es un sólido, por lo que es más fácil que nos de problemas, como efectivamente ha sido así.

Antes de describir cada programa por separado se puede ver como STAR-CCM+ es un software dedicada únicamente a este tipo de simulaciones, por el contrario, ANSYS permite realizar una gran variedad distinta de simulaciones, no solo de CFD.

Empezando por STAR-CCM+, como puntos a favor, tiene las herramientas de corrección de superficies. Estas son muy fáciles de utilizar, solamente es clickarlas y realizan su tarea, sin más acciones, mientras que con ANSYS hay que seleccionar todas las superficies a tratar, su uso es bastante complicado, y no siempre se obtienen resultados.

Con estas herramientas de autocorrección es suficiente para cerrar totalmente un superficie y dejarla lista para la simulación., aunque al analizarla por primera veamos que tiene muchísimos fallos. Al ser STAR-CCM+ un programa solamente de cálculo CFD su uso es bastante más sencillo, con el manual de usuario es más que suficiente para utilizarlo con garantías.

De ANSYS decir que es un programa mucho más genérico. Abarca un amplio rango de análisis, es más general y su uso es más popular, es menos específico y exclusivo. Esto le hace ser más accesible a todo el mundo, pero también hace que su uso para un determinado estudio, análisis CFD por ejemplo, sea menos profundo y detallado que con STAR-CCM+.

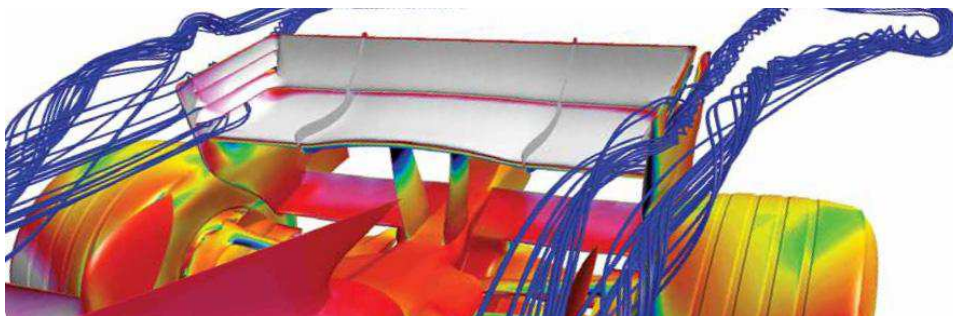
Como hemos dicho antes las herramientas de autocorrección son bastante complicadas de utilizar, y normalmente al importar la superficie en ANSYS da problemas. Es un programa menos potente que STAR-CCM+ para realizar análisis CFD, aunque tiene a su favor que se pueden realizar distintos tipos de análisis sobre un elemento con un solo programa, pasando de uno a otro de manera muy sencilla, y estando todo integrando dentro del mismo interfaz, muy fácil de seguir para el usuario y muy visual.

En el siguiente cuadro vemos una comparación de una serie de características de ambos programas para verlo de manera más sencilla.

CARACTERÍSTICAS	STAR-CCM+	ANSYS
Extensiones compatibles <ul style="list-style-type: none"> • Mejor extensión compatible • Calidad del diseño importado 	<i>.stl</i> <i>Buena</i>	<i>.step</i> <i>Buena</i>
Análisis superficie	<i>Completo</i>	<i>Regular</i>
Herramientas de corrección de la superficie <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad de uso • Efectividad 	<i>Facil</i> <i>Buena</i>	<i>Complicado</i> <i>Regular</i>
Apariencia general	<i>Regular</i>	<i>Buena</i>
Facilidad de uso	<i>Facil</i>	<i>Regular</i>
Más opciones de análisis	<i>No</i>	<i>Si</i>
Disponibilidad	<i>Muy exclusivo</i>	<i>Popular</i>
Coste licencia	<i>Alto</i>	<i>Medio</i>

Podemos concluir que para realizar este tipo de trabajos con análisis CFD el software STAR-CCM+ es más adecuado y más potente. Es un programa desarrollado para tal fin, aunque es bastante exclusivo y caro en cuanto a licencia de uso.

En caso de no disponer de STAR-CCM+, con ANSYS también se pueden obtener buenos resultados, aunque de una manera más complicada y laboriosa.



9. PROCESO DE CÁLCULO

Antes de pasar a explicar el proceso de la simulación CFD hay que explicar una serie de cambios que se tuvieron que adoptar referentes a este proceso de simulación.

Este proyecto se pretendía realizar en un principio con el programa STAR-CCM+, pero expiró la licencia de uso del programa, y después de esperar casi cinco meses la UPNA me confirmó que no se iba a renovar la licencia por los recortes en el presupuesto.

Para ese momento ya tenía el diseño a punto para realizar la simulación, estaba el túnel creado y la malla realizada (como se ve en una imagen de la comparativa anterior), faltaba refinar un poco más la malla y lanzar la simulación. Esto me supuso un gran retraso ya que perdí cinco meses y ya tenía dominado el uso de ese programa, más el tiempo dedicado ahora a aprender a utilizar ANSYS, y realizar todo el proceso de nuevo.

Y ahora es cuando surge el gran problema del proyecto, ya que la propia simulación CFD en ANSYS no puedo llegar a realizarse, tanto por fallos en la geometría al importarla de CATIA, como por conflictos en ANSYS, la poca capacidad de los ordenadores para un archivo muy pesado, o una mezcla de todos.

Después de muchos intentos, de darle muchas vueltas, de probar de diferentes formas (que explicaremos más adelante) y perder mucho tiempo, se decidió dejarla, ya que para poder realizarla sería necesario redibujar toda la parte de la carrocería aportada por la empresa SILVER-CAR, pues al estar realizada con otro programa de diseño en 3D se perdía mucha información al pasar de unos programas a otros y eso era inviable.

A pesar de ello, a continuación de va a explicar el proceso de cálculo CFD en ANSYS, hasta las partes a las que se pudo llegar, y explicando también los errores surgidos y causantes de no poder realizar la simulación.

Para el proceso de cálculo, ahora que tenemos el diseño en 3D y la superficie está cerrada podemos realizar el análisis del prototipo mediante el programa de simulación de fluidos ANSYS. Vamos a explicar el proceso llevado a cabo para realizar la simulación.

Al ser ANSYS el programa utilizado para hacer la simulación no se va a explicar el proceso de pre-proceso llevado a cabo en STAR-CCM+, y solo nos centraremos en ANSYS.

El proceso de cálculo tiene varias fases: pre-proceso, solución y post-proceso, en este orden.

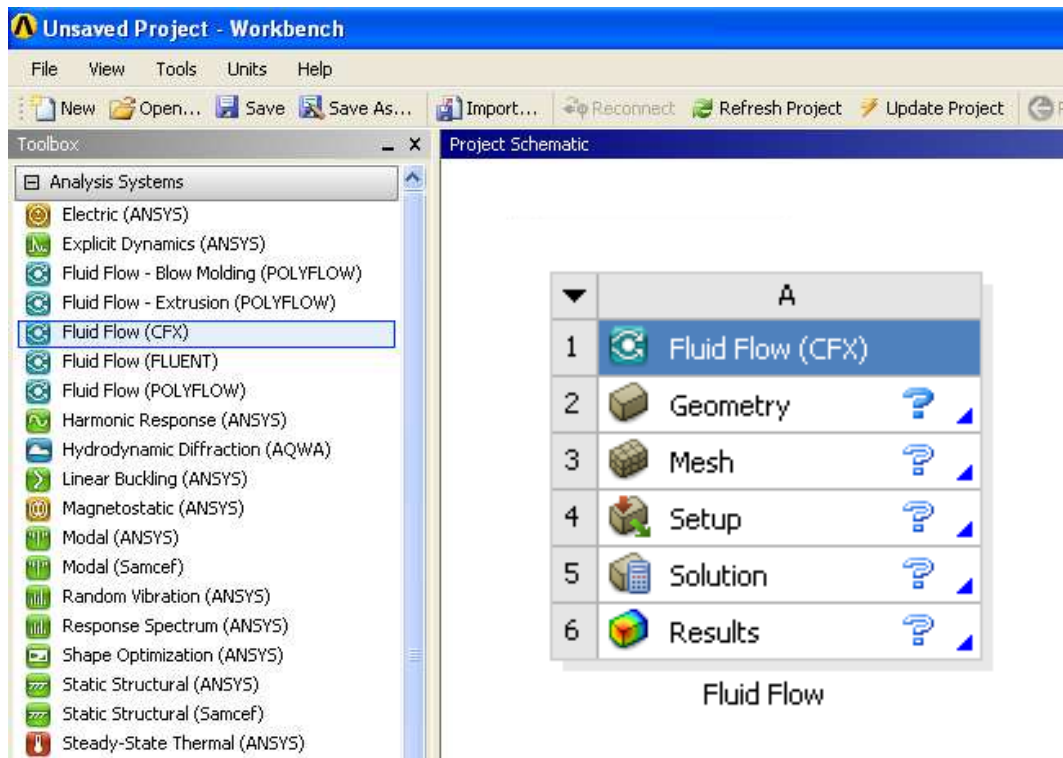
La primera consiste en la preparación del elemento a simular, es decir, dibujarlo si no lo está ya, perfeccionar la superficie (en caso de que se trabaje con superficies), crear el túnel virtual y mallar. Esta fase del proceso es la más larga y laboriosa, en algunos casos muy complicada según la geometría del objeto, pero es preferible dedicarle el tiempo necesario y hacerlo bien para obtener luego unos resultados fiables.

La segunda es la simulación propiamente dicha. Se introducen las condiciones de contorno y las variables a tener en cuenta y se lanza la simulación. Esto puede tardar bastante tiempo, horas, o incluso días, desde que lanzamos la simulación hasta que el ordenador termina de ejecutar el proceso, dependerá de cómo sea el elemento que queramos simular y de la potencia del ordenador.

La tercera fase consiste en analizar los resultados obtenidos en la simulación. El programa proporciona unos datos, con una serie de gráficas e imágenes que son necesarias estudiar para obtener las conclusiones.

En el Workbench de ANSYS hay una serie de plantillas ya creadas para distintos tipos de análisis, que seleccionan los módulos de ANSYS que debemos utilizar y los ordenan para guiarnos correctamente en la realización de la simulación.

Como vemos en la siguiente imagen del ANSYS Workbench, la columna de la izquierda nos muestra la lista de análisis que se pueden realizar con ANSYS. Si seleccionamos alguno de ellos se nos abre una ventana a la derecha con los módulos a utilizar ordenados.



En la imagen vemos los pasos a seguir para un análisis CFD, que ANSYS llama Fluid Flow (CFX), empezamos importando la geometría, se sigue con el mallado, se introducen las condiciones de contorno y las variables, se lanza la simulación y se estudian los resultados.

Estas fases se engloban dentro de lo comentado anteriormente de pre-proceso, solución y post-proceso, que vamos a explicar a continuación.

9.1 PRE-PROCESO

El pre-proceso, como hemos dicho antes, engloba todas las tareas necesarias para lanzar la simulación, que son:

- Diseño en 3D del elemento o elementos a analizar
- Corrección de la superficie
- Creación del túnel de viento virtual
- Mallado

Para realizar la comparativa entre STAR-CCM+ y ANSYS tuvimos que llegar hasta el segundo punto, por lo que solo queda introducir el túnel virtual y mallar.

Una vez tenemos la superficie correctamente definida y terminada, el siguiente paso es dibujar un “túnel de viento virtual”, donde ensayar con el prototipo. Tenemos que crear el túnel e introducir el coche en su interior. El programa define el volumen de aire comprendido entre el túnel y la superficie exterior del coche. Este volumen de aire, es el que se estudia en la simulación.

Como el coche es simétrico, con realizar la simulación solamente de una mitad es suficiente, y así aprovechamos mejor los recursos del ordenador.

El túnel de viento virtual debe tener unas medidas acordes a las del prototipo, si lo hacemos muy grande perderemos información y, por el contrario, si es muy pequeño, la malla será muy complicada y el ordenador podría no ser capaz de lanzar la simulación.

En teoría sería ideal que la sección tuviera el mayor ancho posible, sin embargo, por razones económicas, es aceptable que la envergadura del modelo sea como máximo cuatro quintas partes del ancho de la sección, con el fin de que no se produzca reflejo de la onda de choque producida en el modelo contra las paredes del túnel.

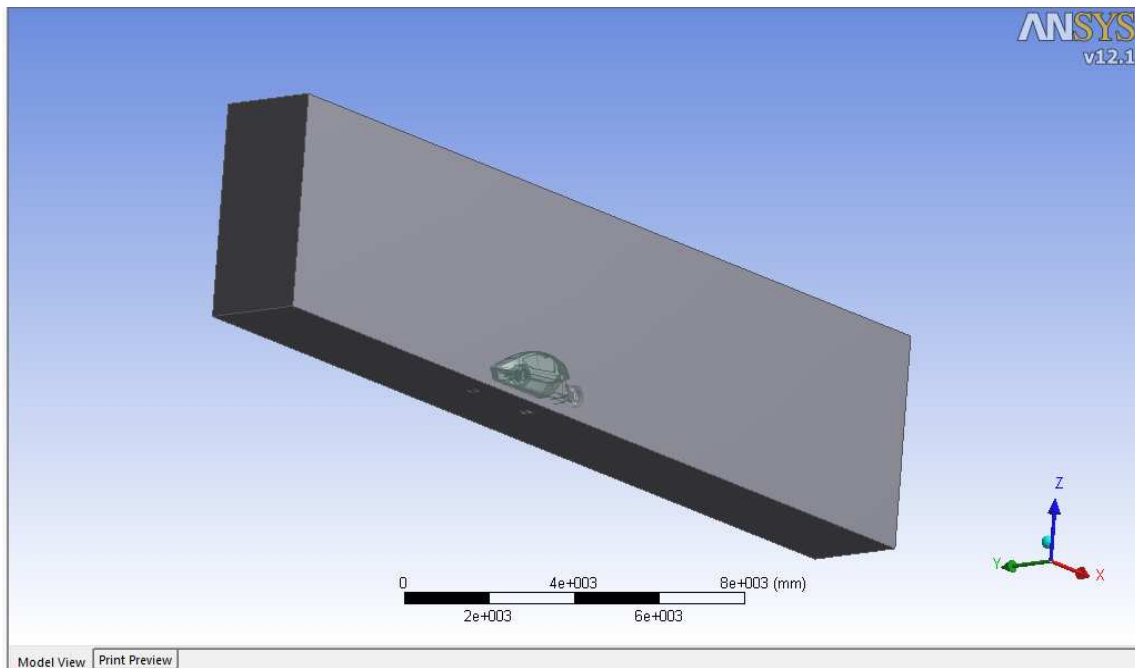
Las dimensiones del túnel de viento virtual son las siguientes, tomando como base las dimensiones del prototipo:

- *Longitud*: De la entrada del túnel virtual a la parte delantera del prototipo tres veces la longitud del prototipo, y de la parte trasera a la salida del túnel cinco veces la longitud del prototipo.
- *Anchura*: cinco veces la anchura del prototipo.
- *Altura*: cinco veces la altura del prototipo.

Las dimensiones exactas para el túnel virtual acorde a las medidas del coche serian entonces de:

- 7750 mm de la entrada al morro del prototipo
- 12900 mm de la parte trasera a la salida
- 4800 mm de ancho
- 5060 mm de alto

Con estas medidas dibujamos el túnel virtual en ANSYS, y nos aparecerá como en la siguiente imagen. Una vez tenemos el prototipo y el túnel virtual dibujados, tenemos que crear la intersección entre ambos.



El túnel virtual debe cortar al prototipo longitudinalmente, pero no exactamente por la mitad, sino unos milímetros más hacia el lado elegido de corte. De la misma manera, el túnel no debe ser tangente a los neumáticos sino que debe cortarlos. Ambas advertencias se observan en la imagen.

El proceso de mallado comienza ahora, debemos crear una malla que sea lo suficiente grande para evitar que la malla sea muy intrincada y con ángulos pequeños, por el riesgo a que el ordenador no pueda realizar la simulación, pero sin ser demasiado grande para no perder información.

El programa realizada diferentes tipos de malla según la geometría del prototipo, añadiendo más nodos (malla más densa) en las zonas más complejas y de más curvas y una malla menos densa en las zonas planas o rectas como las aberturas laterales y el parabrisas.

A partir de este mallado superficial STAR-CCM+ crea un mallado volumétrico para definir el volumen total de todo el conjunto.

Hasta aquí es hasta donde se pudo llegar con ANSYS, aunque en este caso no se puedo cortar el túnel con el coche. Como mucho, por medio de otros caminos, se llevo a realizar el mallado superficial, no pudiendo en ningún caso pasar de ahí.

Ahora se van a explicar todo el proceso llevado a cabo, los problemas surgidos, las soluciones para esos problemas, las diferentes formas de las que se intento realizar la simulación, etc...

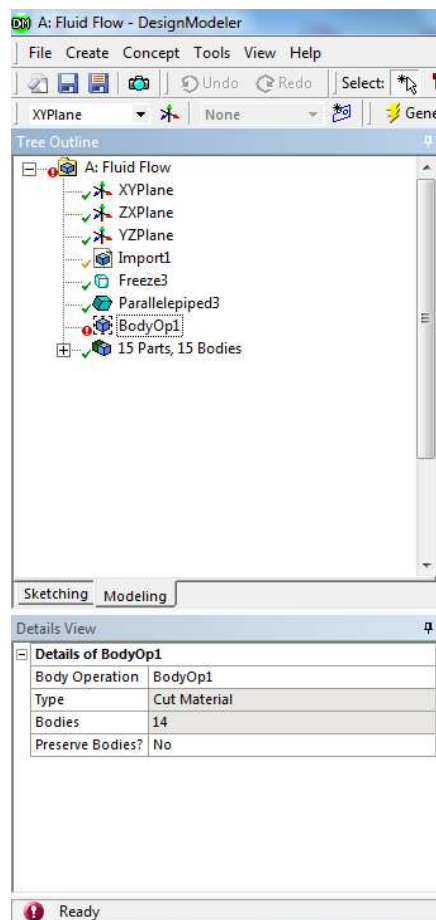
9.1.1 DESARROLLO DE ERRORES

Primeramente se importó la geometría del coche en CATIA en ANSYS, y daba errores en algunas superficies (tenemos una imagen de esos errores en la pagina 45, en la comparativa entre ambos programas).

Como esos errores eran debidos a defectos en la importación del archivo, pues el dibujo en CATIA estaba correctamente realizado, se optó por abrir el archivo como extensión .igs, y nos daba el mismo problema. Lo curioso que unas veces en unas superficies y otras veces en otras, dependiendo de la versión de ANSYS que utilizáramos.

A pesar de ellos se intentó seguir con el proceso, obviando los errores. Se dibujo el túnel virtual creando un paralelepípedo de las medidas correspondientes. El siguiente paso es realizar la intersección del coche con el túnel, pero el programa no permitía esa acción. Debido a los errores que nos daba en las superficies no dejaba tampoco realizar la malla.

En la imagen siguiente vemos como el comando de BodyOp1, Cut Material, aparece con un indicador de error de que no se ha realizado la intersección.



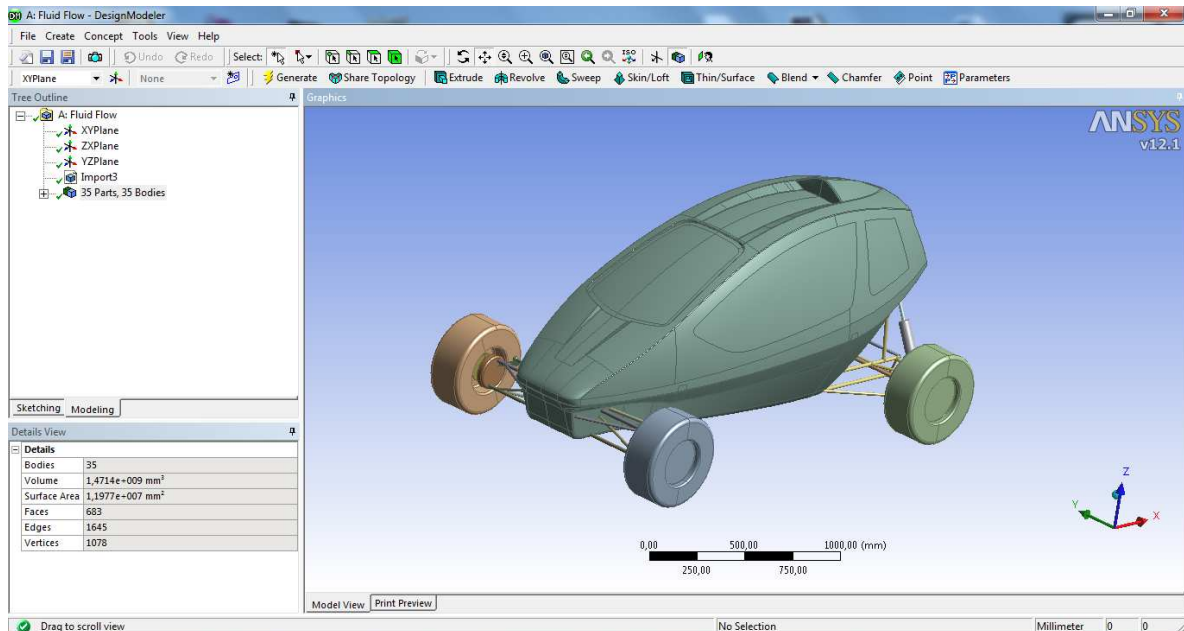
Se realizaron muchos intentos sobre esta base, probando con diferentes versiones de ANSYS, tanto en versiones para 32bits o 64bits, en ordenadores más potentes, con otras extensiones de archivo aparte de .igs y .part, pero no fue posible seguir.

Visto que no se podía realizar la simulación se optó por dejarla y cambiar el enfoque del proyecto, realizando el diseño exterior del prototipo y un prototipo en 3D en vez de la simulación CFD, y fue realizando esto cuando se obtuvo algo que podría solucionarnos los problemas de la simulación.

Para realizar el prototipo en 3D es necesario que el objeto sea sólido o bien las superficies tengan cierto espesor. Para esto utilizamos el programa SOLIDWORKS, y al abrir el archivo en SOLIDWORKS como .igs, este programa reconocía el coche como sólido (este proceso está explicado en el apartado 12), por lo que pensamos que ya teníamos la solución al problema, pero no fue así.

Con el prototipo como sólido en SOLIDWORKS, probamos a ver con que extensión había que exportarlo a ANSYS para que lo reconozca como sólido, y vimos que debía ser .step.

Con esto volvimos a intentar en ANSYS, abriendo el archivo como .step del coche entero. Al abrirlo, vemos que se nos generan varios sólidos, 35parts, 35bodies, como tenemos en la siguiente imagen, es decir, que ANSYS no reconoce el prototipo entero como un solo sólido, sino en varios. Esto como veremos ahora nos iba a dar problemas.

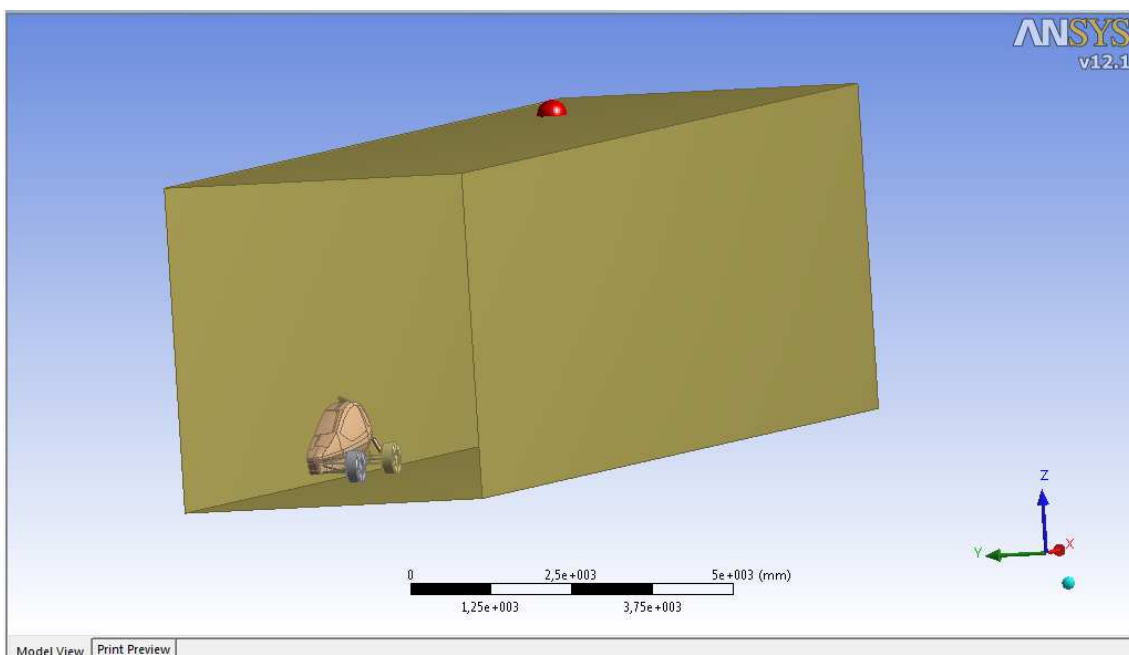


Dibujamos el túnel virtual con un paralelepípedo. Ahora deberíamos cortar el túnel por la mitad longitudinal del coche, pero ANSYS no nos dejaba hacerlo, por lo que tampoco podemos seguir este camino.

Aparte de que vemos que no podemos hacer la intersección del túnel con el coche, intentamos pasar a hacer la malla, sin dibujar el túnel, pero había partes del prototipo que no las reconocía, y no se pudo conseguir nada.

Como ANSYS no dejaba interseccionar el túnel con el coche, se pensó en dibujar el túnel en CATIA y cortarlo con el coche. De esta forma el coche no estaría de forma sólida, sino otra vez en superficies.

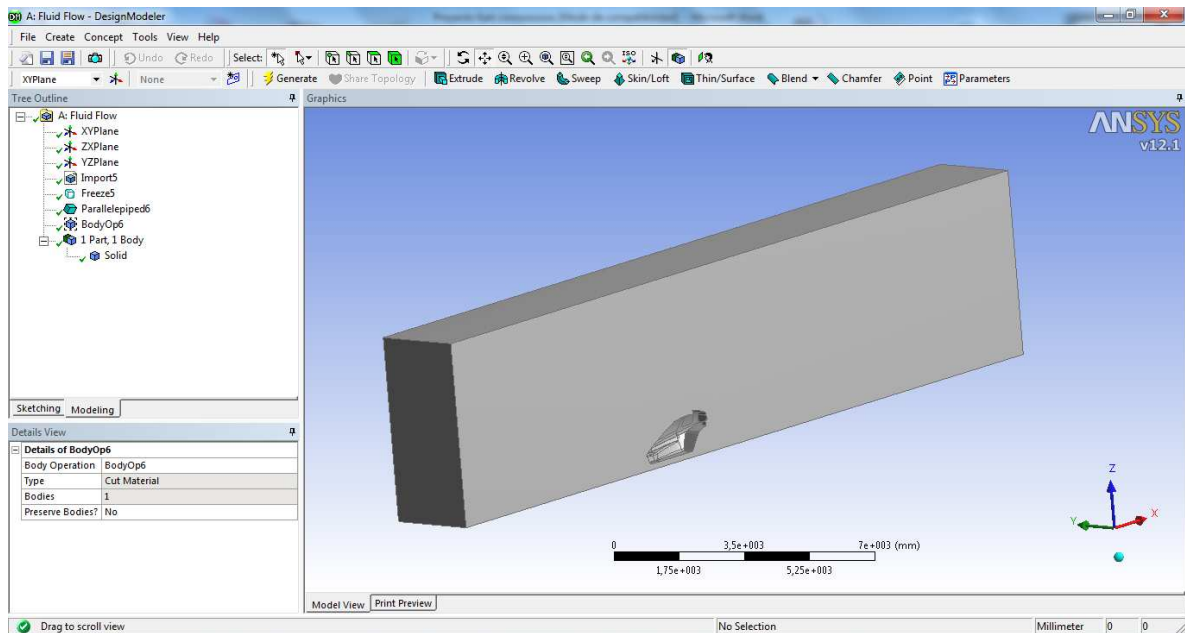
Con esto pasamos de nuevo a ANSYS, pero teníamos problemas al mallar la superficies, pues daba errores que no conseguíamos solucionar. Aparte al pasar al módulo de pre procesador no reconocía ninguna superficie. En la siguiente imagen tenemos el coche con el túnel virtual creado en CATIA.



Como otra posible opción para solucionar los problemas y conseguir realizar la simulación se optó por realizar la simulación de la carrocería solamente, quitando todo lo que quedaba exterior a ella, tales como ruedas y demás elementos de la suspensión y chasis.

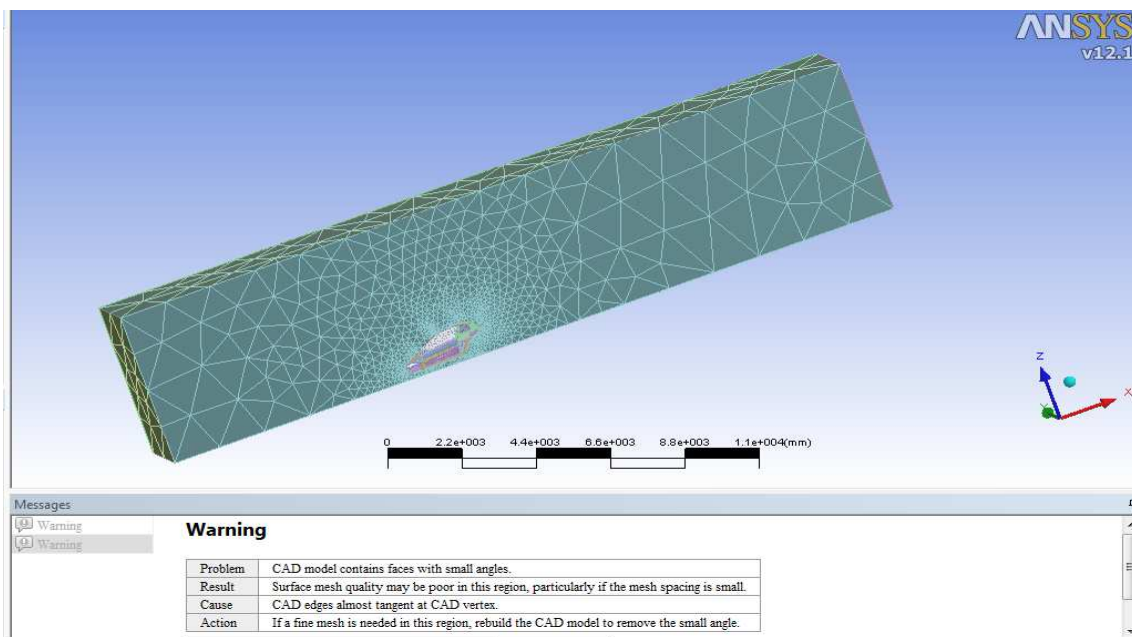
Al tomar solo la carrocería los resultados que se puedan obtener no se corresponden al cien por cien con lo que son realmente, ya que con las ruedas y demás elementos el aire toma distintas direcciones y los flujos varían, pero se va a intentar como último recurso.

Abrimos el archivo de la carrocería guardado desde SOLIDWORKS como .step en ANSYS y creamos el túnel virtual. Al ser solo un elemento nos lo reconoce como un solo sólido. Avanzamos algo a ver que, por fin, ANSYS nos deja cortar el túnel con la carrocería, como vemos a continuación. Pasamos al módulo de mallar.

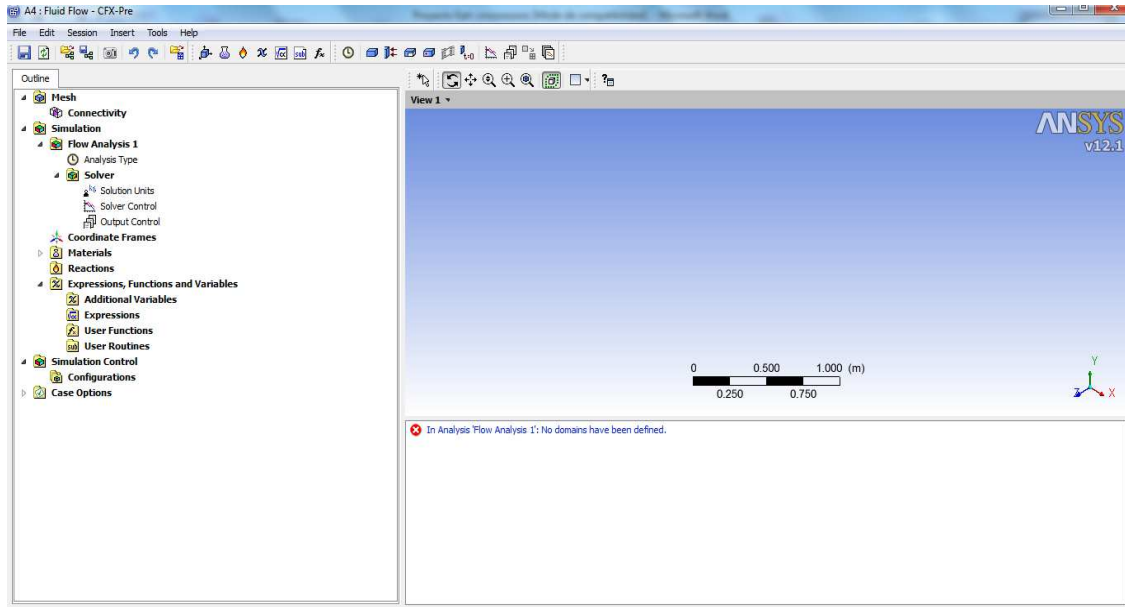


Para realizar la malla tenemos dos opciones, realizar la malla de manera automática o con una malla enfocada a una simulación CFX. De las dos formas nos hace la malla de la superficie, con alguna advertencia, que no error, pero luego ni nos deja realizar la malla volumétrica ni nos reconoce solido alguno en el modulo del pre procesador.

Aquí vemos un ejemplo de como queda la malla de la superficie realizada para CFX (esta es un malla muy simple, que no nos serviría para mucho), aunque se pueden variar distintos parámetros de la misma para adecuarla, pero siempre nos aparecían advertencias.



En esta imagen vemos la apariencia del módulo de pre-proceso de ANSYS, y como aparece un error diciendo que no reconoce ningún dominio: *In Analysis 'Flow Analysis 1': No domains have been defined.*



Como no nos deja seguir con el proceso se intentan arreglar los defectos que nos aparecen en formas de advertencias, que son debidos a ángulos pequeños de algunas superficies y en el corte del coche con el túnel virtual.

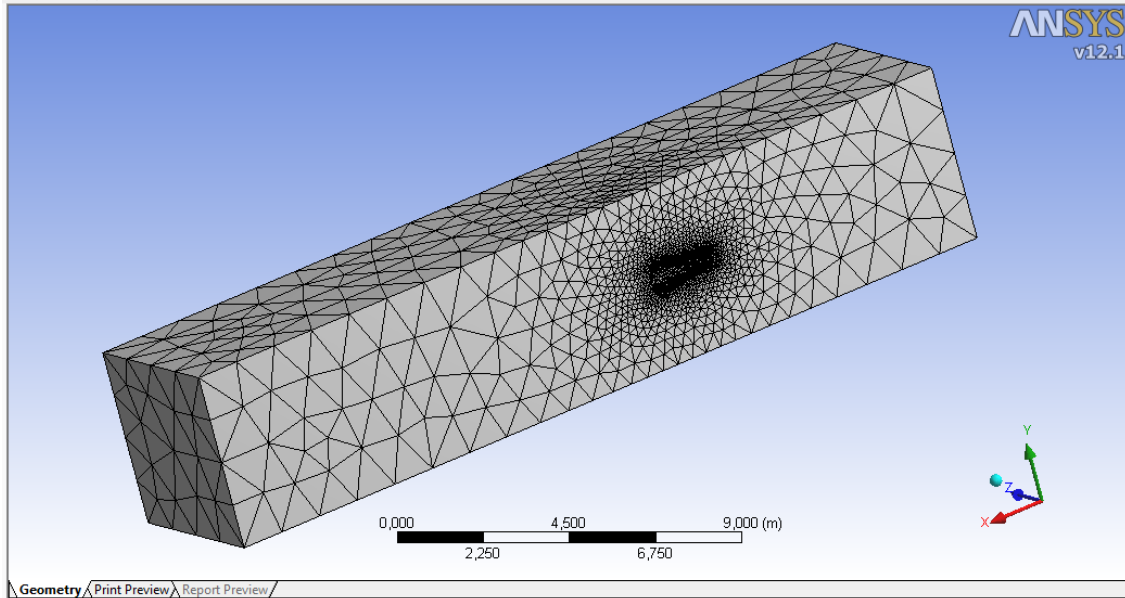
Intentamos arreglar estos defectos en CATIA pero se desvirtúan tantísimo las superficies que es inviable. Además que la carrocería ya está simplificada, solo utilizamos para la simulación la carrocería y si ya eliminamos ángulos y curvas de la misma, los resultados, si los obtendríamos, no tendrían ningún sentido. Tampoco se puede seguir por este camino.

Como última opción se toma como objeto para la simulación solo la carrocería pero sin cortarla con el túnel, aunque tampoco se obtendría resultados como ahora veremos.

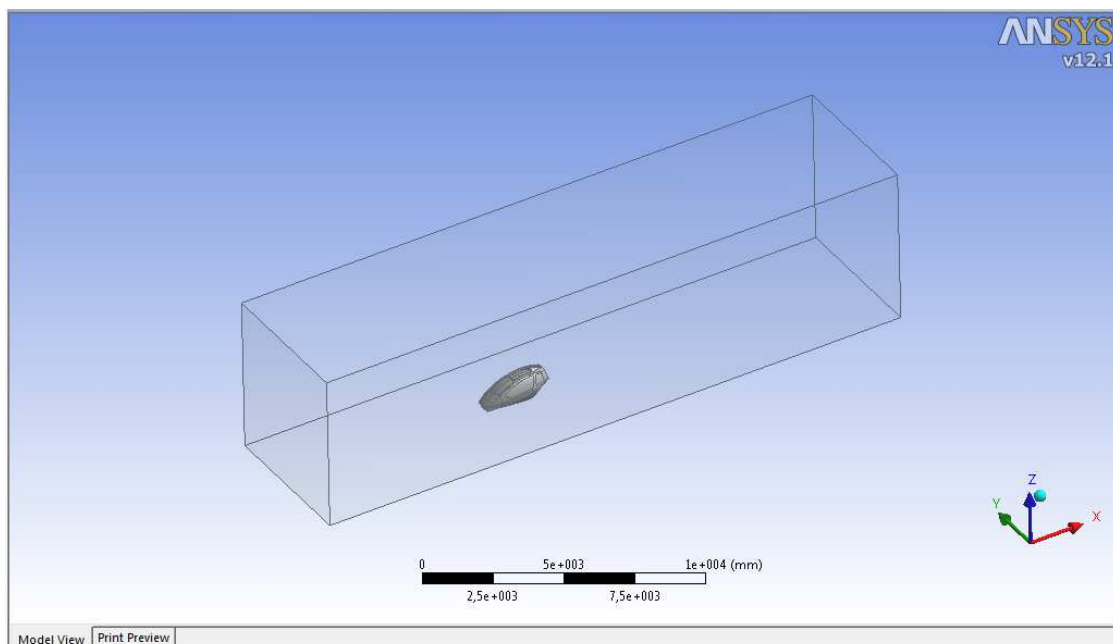
Abrimos el archivo en ANSYS de la carrocería, y creamos el túnel virtual, pero de dos formas. Lo podemos crear mediante un paralelepípedo (que crea un túnel macizo), como hemos hecho hasta ahora, y como *Enclosure* (un túnel hueco). Con *Enclosure* creamos un cavidad alrededor del objeto, que puede ser de diferentes formas: esférica, cilíndrica, cubo, etc...

Realizamos primero el paralelepípedo, con el prototipo en su interior, sin cortarlo, y pasamos al módulo de mallar. Como el túnel virtual es macizo es recomendable utilizar la malla automática. Realizamos la malla superficial, pero al pasar al pre-procesador no reconoce nada.

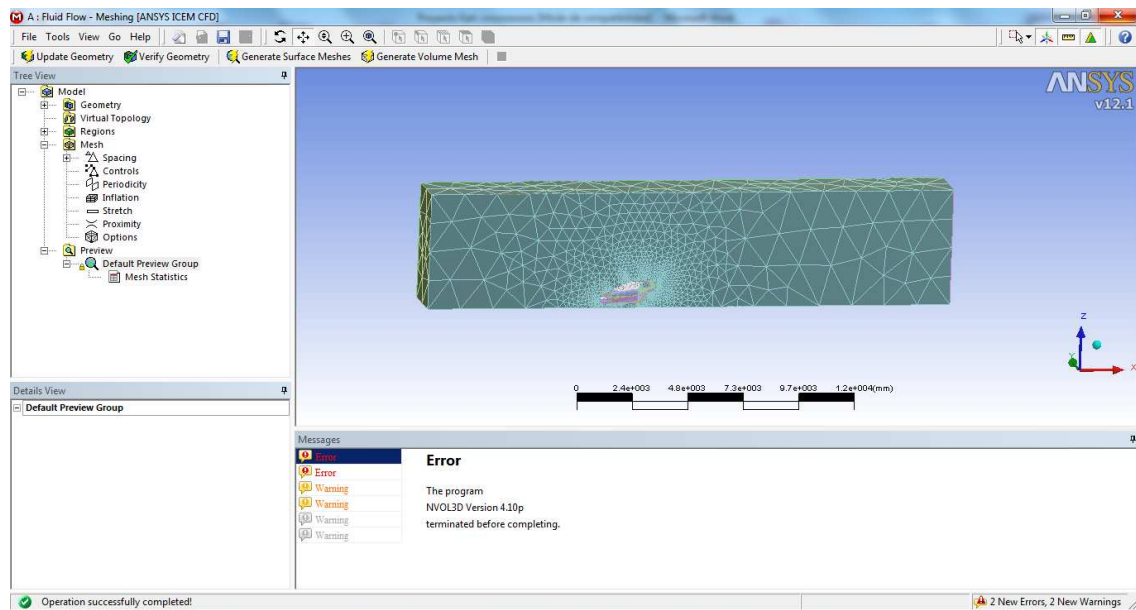
En la imagen vemos la malla superficial realizada de manera automática. Es una malla muy simple a modo de ejemplo. En la imagen vemos que donde se concentra la mayor densidad de malla corresponde a la zona donde está el objeto, en nuestro caso, la carrocería del prototipo.



Hacemos lo mismo pero con *Enclosure*, creando un túnel virtual hueco, como vemos en la siguiente figura. Al ser el túnel hueco realizamos la malla con la opción para CFX, mallamos la superficie pero la malla volumétrica no la llega a realizar, empieza pero se para y da error, y en el pre procesador tampoco nos reconoce nada.

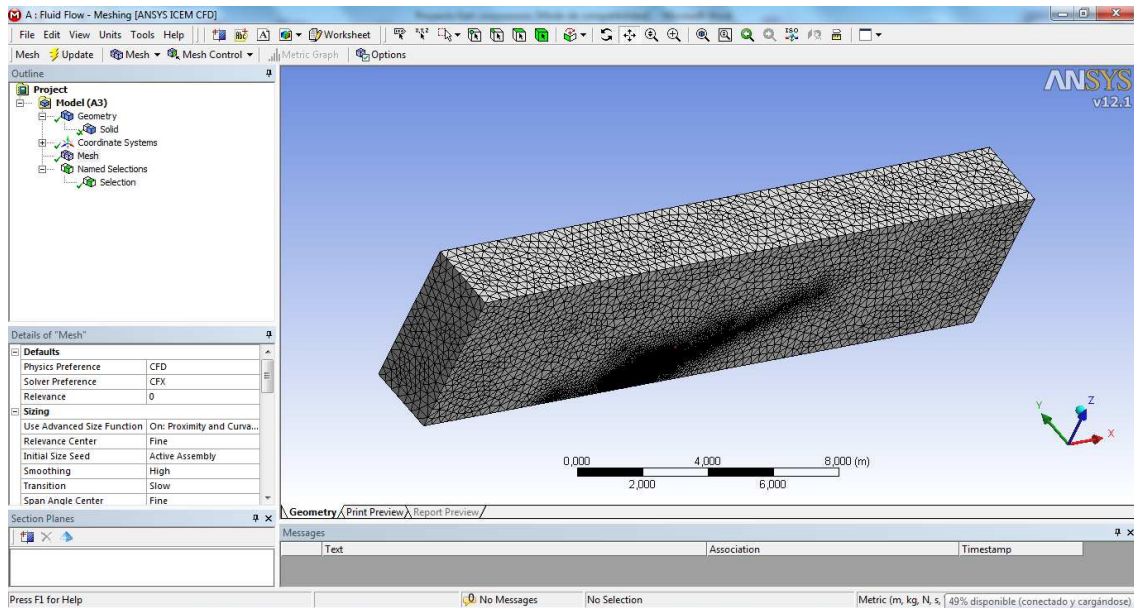


A continuación el error que nos aparece al generar la malla volumétrica, y que impide seguir con el proceso.

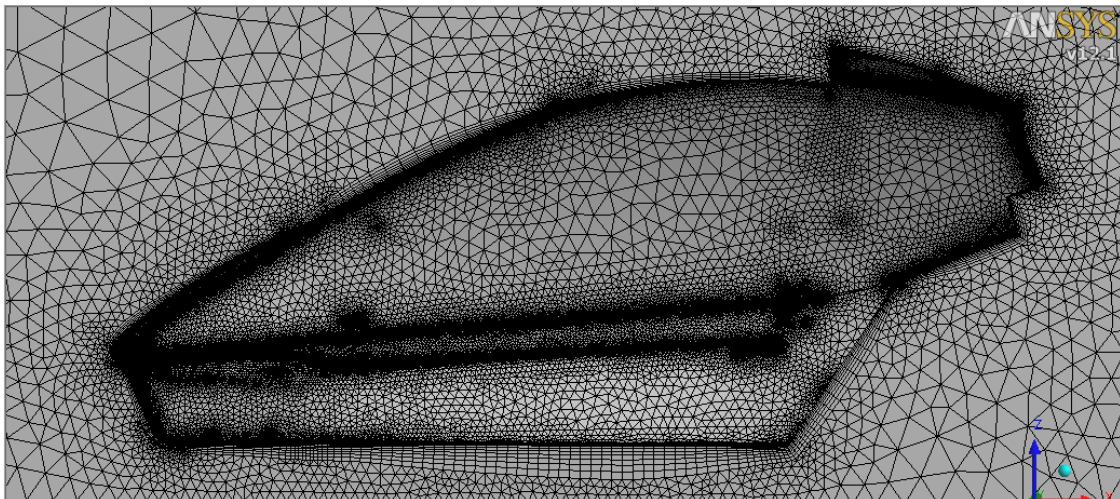


Se pensó en un problema de licencia como causa de este error, pero se probó en varios ordenadores con distintas versiones de ANSYS y no se pudo realizar, por lo que se dejó aquí definitivamente.

Aquí tenemos un ejemplo de lo que sería una malla superficial correctamente ajustada a la superficie del objeto. Esta se realizó con malla automática y con la carrocería cortada con el túnel virtual (macizo). Vemos como alrededor de la superficie del objeto se crean como capas (inflation), es una forma de conseguir una transición suave y ajustar mejor la malla.



Aquí vemos con más detalle lo comentado anteriormente de las capas alrededor de la superficie del objeto.



9.2 SOLUCIÓN

La solución no se pudo llegar a realizar ya que no se pudo mallar y crear un volumen de aire, a pesar de ello, se explica el proceso que hay que llevar a cabo para realizarla y los datos de las variables calculadas que habría que haber introducido, como muestra del trabajo realizado, aunque sin resultado.

Ahora que tenemos el prototipo dentro del túnel virtual y mallado queda la parte fácil, lanzar la simulación. Tenemos que introducir las condiciones de contorno y los valores de las variables que vamos a tener en cuenta en la simulación. Esto lo realizamos desde el módulo CFX-Pre de ANSYS.

Tenemos que indicar que partes o superficies del túnel son cada una, asignar por qué pared se produce la entrada de aire, por cual debe salir el flujo de aire, que pared es el plano de simetría y cuáles, por estar suficientemente lejos, no influyen en el análisis.

Asignamos cada una a las siguientes superficies del túnel:

- *Entrada*: superficie delantera del túnel.
- *Salida*: superficie trasera del túnel.
- *Plano de simetría*: superficie que corta al coche.
- *Paredes rígidas*: superficie del techo, superficie lateral y coche.

El propio coche también se debe considerar como una pared sólida, ya que es así como actúa en la realidad.

Para realizar y poder así, disponer de una simulación con resultados fiables debemos simular la realidad, por ello se asignan condiciones de contorno, estas son:

- *Velocidad fija en la entrada*: la velocidad que se emplea en la simulación coincide con la del túnel real.
- *Velocidad normal nula en la parte superior y en la lateral*: se añade esta condición con el fin de que no se cree ninguna turbulencia por la cercanía del techo y la pared, aunque estén colocadas lo suficientemente lejos.
- *Presión impuesta en la salida del dominio*: al igual que en un túnel real la presión de salida del aire será la presión atmosférica.
- *Condición de simetría en el plano central*.

Como vimos en el apartado 4.3, Fundamentos de aerodinámica, conociendo la velocidad a la que vamos a realizar la simulación (90km/h), se puede asegurar que se va a trabajar en régimen subsónico, con fluido incompresible y con viscosidad, y con flujo turbulento.

También debemos establecer las condiciones del fluido, que lógicamente, va a ser el aire. Utilizamos aire a 20°C. Las condiciones que vamos a tener en cuenta son:

- *Fluido estacionario*: las condiciones de contorno no varían con el tiempo, por lo que todas las variables térmicas y de velocidad son independientes del tiempo.
- *Densidad constante*: para el aire a 20°C corresponde una densidad de 1,184kg/m³.
- *Esfuerzos cortantes en el suelo nulos*: el suelo no crea ninguna fuerza distinta a la que el propio coche pueda realizar normal al suelo.
- *Presión de entrada y salida*: presión atmosférica.

Una vez tenemos las condiciones de contorno y las del fluido definidas lanzamos la simulación en ANSYS, y esperamos a que nos de los resultados.

Para la simulación utilizamos una velocidad de entrada de aire de 90km/h.

9.3 POST-PROCESO

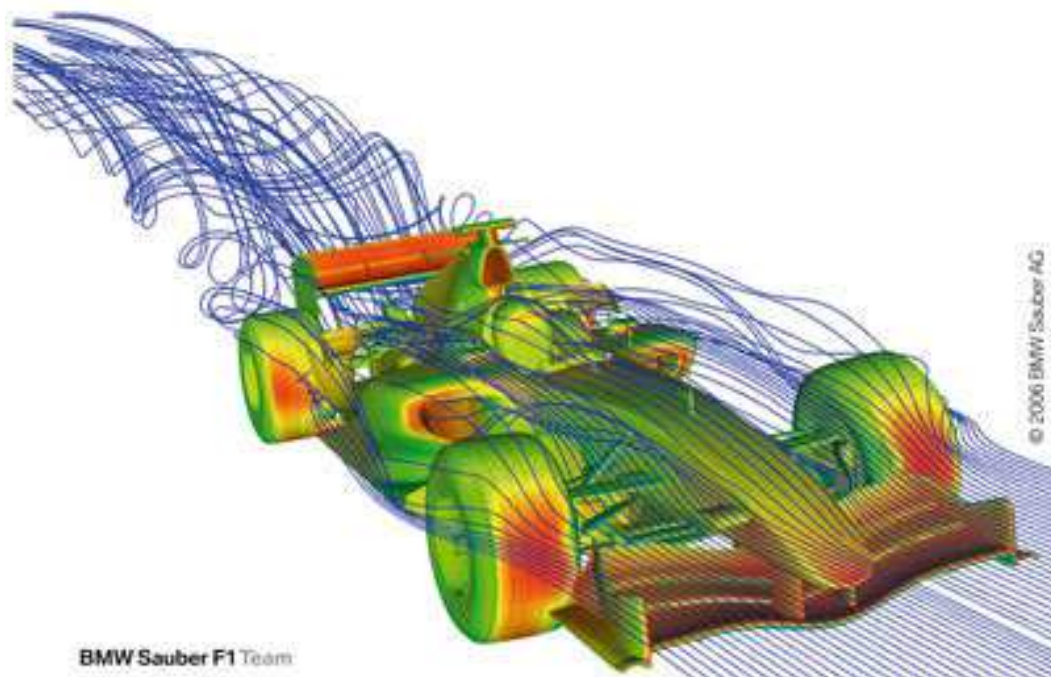
El post-proceso es la última parte de la simulación. ANSYS nos mostrará una serie de resultados en forma de imágenes, gráficas, tablas, etc... que deberemos de estudiar para sacar unas conclusiones.

ANSYS nos proporciona una gráfica donde se ve el número de iteraciones realizadas por el programa para solucionar el análisis. En ella se ve como a partir de cierto número la gráfica converge.

Aquí vemos una imagen general a modo de ejemplo de los resultados obtenidos con otro coche. Se muestra un mapa de presiones. Cada color corresponde a un valor de presión que se ejerce sobre una parte determinada. Las líneas azules son las direcciones que toman ciertas particulares de aire, y nos dan un idea de como recorre el coche el flujo de aire.

Las partes de color rojo son las que más incidencia tienen sobre el aire, siendo sobre ellas en las que más presión ejerce el aire al circular, y son generalmente las que son perpendiculares al flujo de aire.

También vemos como en los alerones la incidencia del aire es muy alta, cosa lógica ya que la finalidad de dichos elementos no es otra que la de, con la inclinación de ala adecuada, apoyarse en el empuje del aire para “empujar” el coche hacia el suelo, y mejorar el agarre.



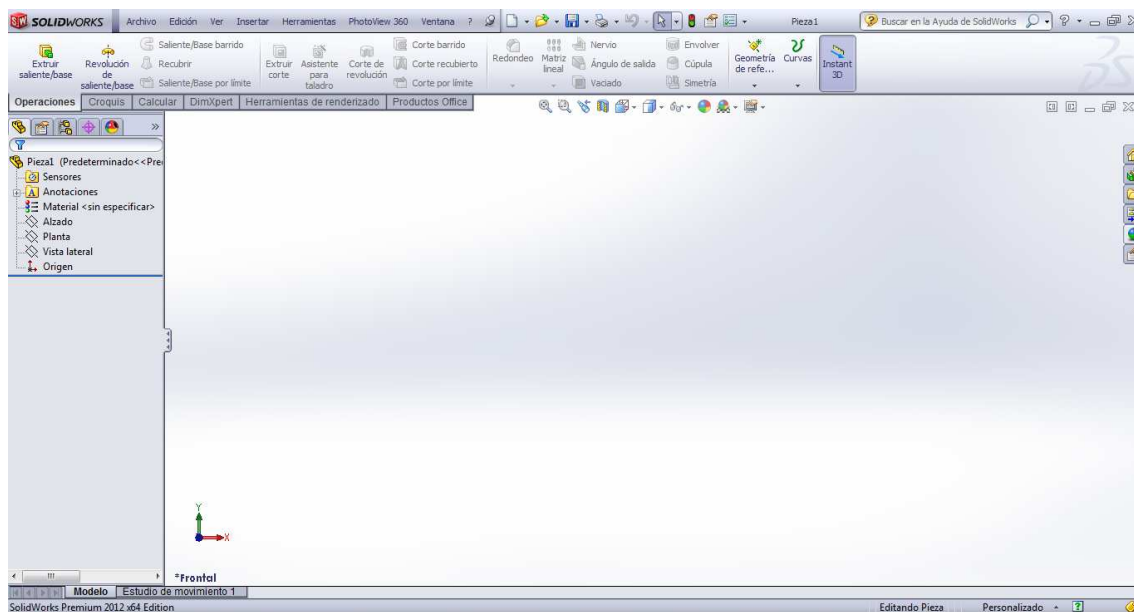
10. DISEÑO EXTERIOR

Se entiende por diseño exterior a la apariencia externa del prototipo tal como se vería en la realidad, dándole el material con el que está conformada cada parte y el color que tendría realmente.

En este proyecto vamos a darle el aspecto exterior al prototipo mediante el programa de dibujo asistido por ordenador SOLIDWORKS.

SOLIDWORKS es un modelador de sólidos paramétrico, permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto.

Se va a utilizar SOLIDWORKS por ser un programa que nos permite de forma fácil y rápida dar material a cada parte del prototipo, darle color y colocarle los adhesivos. En la siguiente imagen vemos el aspecto que tiene SOLIDWORKS.



Al especificar el material de cada parte, SOLIDWORKS da una textura y un acabado superficial acorde con el material, dando un aspecto mucho más real. Después se le da el color y por último se le aplican los adhesivos o calcomanías que se consideren oportunas, que corresponden al modelo del prototipo y al logotipo de la empresa constructora.

Se puede poner una imagen de fondo o cambiar el color del mismo para realizar una presentación determinada, mediante las herramientas de renderizado.

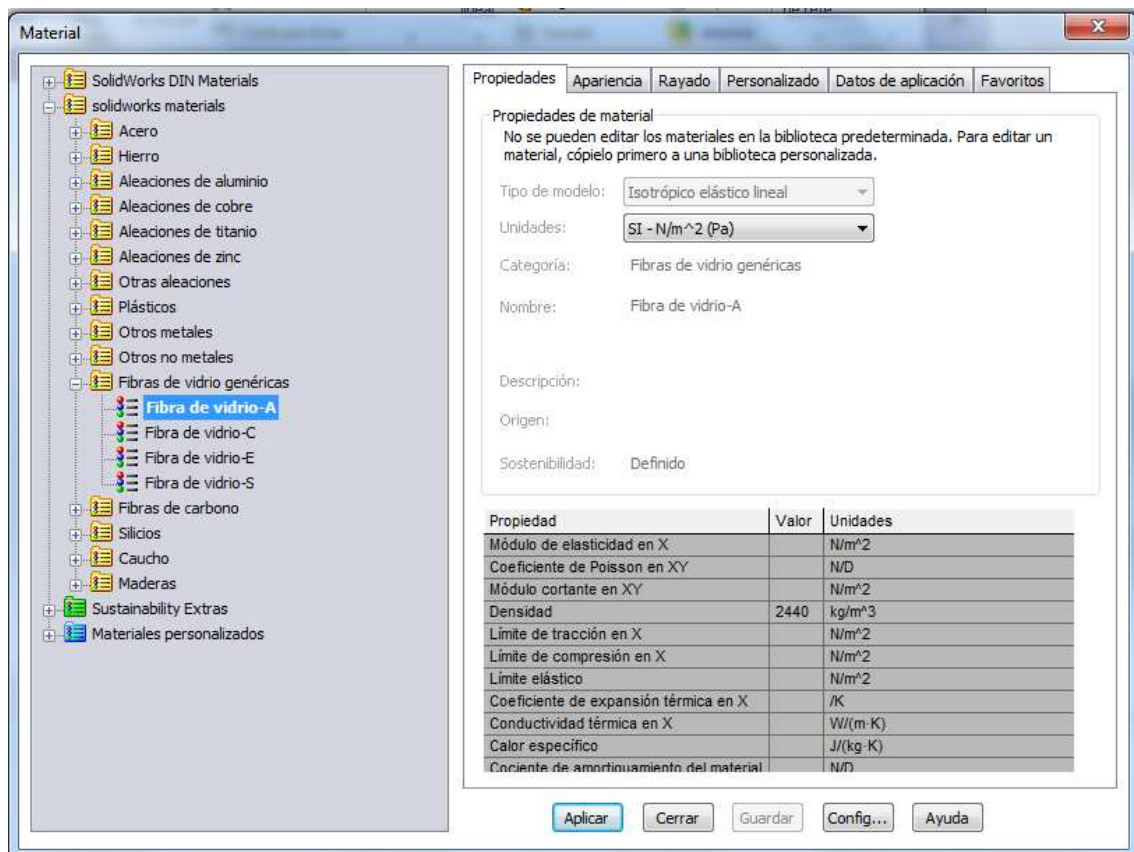
Para realizar el diseño exterior, primeramente se guardo el diseño en CATIA como un archivo STEP, para luego abrirlo en SOLIDWORKS. Al abrirlo con esta extensión el programa nos separa cada una de las superficies una por una, por lo que podemos establecer las características del material a cada una.

El poder aplicar el material que se considere a cada superficie por separado facilita las cosas, aunque en este caso, tengamos muchas superficies a tratar. Para más comodidad se trabajó solo con la mitad del coche, por ser simétrico.

Una vez abierto el diseño en 3D, empezamos a seleccionar una por una, todas las superficies que componen la carrocería del prototipo. La carrocería del prototipo es de fibra de vidrio, por lo que dentro de la biblioteca de materiales de SOLIDWORKS, elegimos fibra de vidrio, y la aplicamos a todas las superficies seleccionadas.

Como vemos a continuación, SOLIDWORKS, dispone de una gran cantidad de materiales a aplicar.

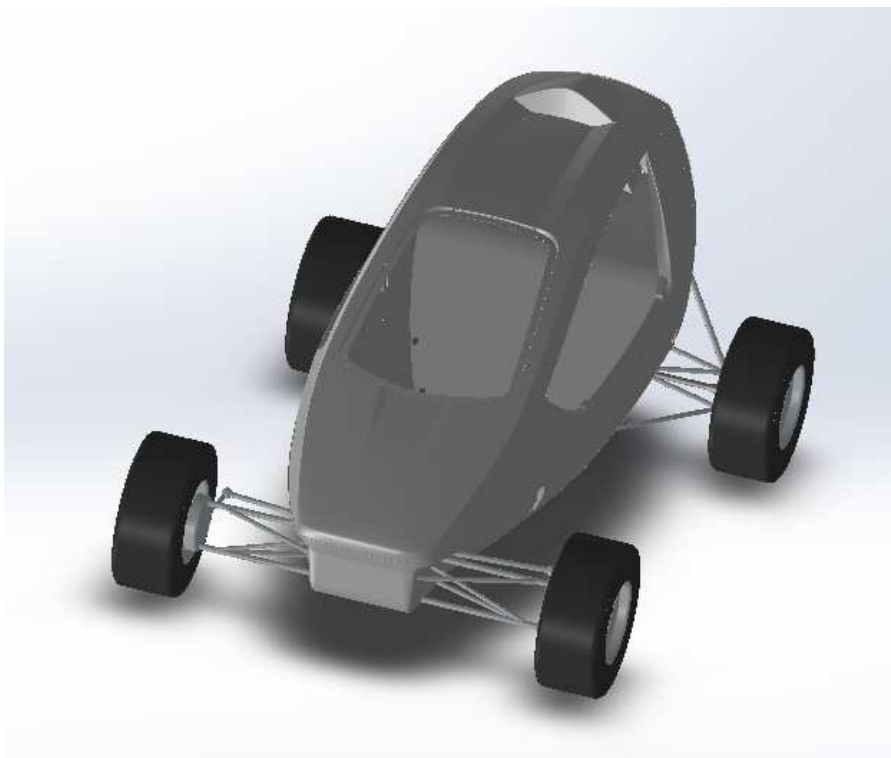
A cada material se le pueden especificar sus características y sus propiedades con el fin de realizar posteriormente un análisis de esfuerzos, CFD, etc...



Para las demás partes del prototipo procedemos de la misma forma, eligiendo los siguientes materiales:

- *Neumáticos:* caucho de silicio
- *Llantas:* aluminio aleación 1060
- *Sistema suspensión:* aluminio aleación 1060
- *Chasis:* chapa de acero al carbono SS
- *Aberturas laterales:* red metálica
- *Carrocería:* fibra de vidrio tipo A

En la siguiente imagen vemos el Car-Cross en SOLIDWORKS después de asignarle sus respectivos materiales, sin el parabrisas ni las aperturas laterales. Se aprecia como según el material tiene un color y un aspecto exterior distinto, por ejemplo, los neumáticos son negros y no tienen brillo.



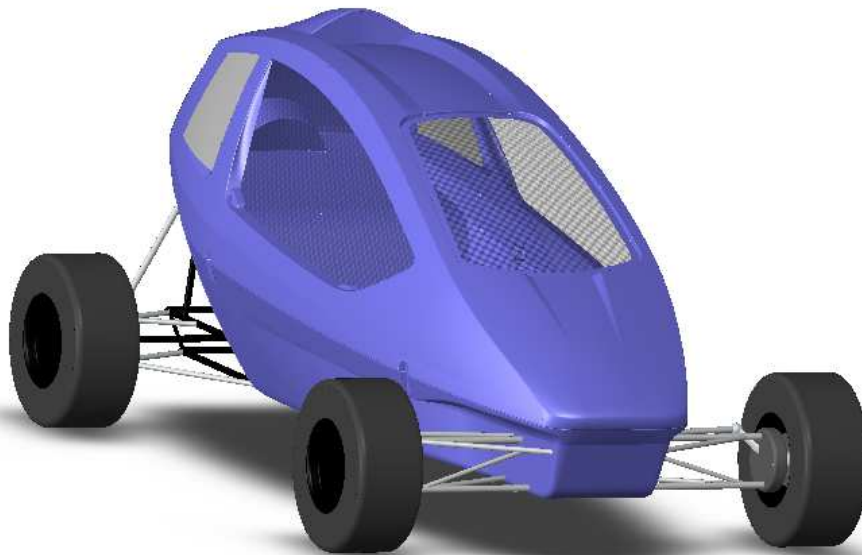
Ahora que tenemos especificado el material de cada componente del prototipo, seguimos dando color. Podemos elegir el color que queramos e ir probando a ver que combinaciones quedan mejor.

Para la carrocería elegimos un azul no muy oscuro, para que haya contraste con los adhesivos, que son negros, y se vean con claridad. Para el chasis y las llantas elegimos el color negro.

Las partes del sistema de suspensión son de aluminio, y las dejamos del mismo color que tiene el aluminio. Los neumáticos son del propio color del caucho.

En cuanto a las ventanas, tal como manda la reglamentación tienen que poseer una malla que cubra toda a abertura. SOLIDWORKS nos permite dar un acabado superficial al material por lo que podemos dar una apariencia de malla a las ventanas, pudiendo elegir un ancho de malla mayor o menor.

Así es como quedaría el aspecto exterior del Car-Cross después de dar color a todas las partes y con las ventanillas incluidas. La parte blanca de detrás de la abertura lateral es de color blanco con el fin de poder colocar sobre ella y que se vea correctamente el dorsal de la carrera.



Para terminar con el diseño exterior se colocan los adhesivos y/o publicidad, que en este caso son los correspondientes al logotipo de la empresa constructora, SILVER CAR, y al logotipo del modelo del prototipo, ST2. Para colocarlos SOLIDWORKS dispone de una opción, dentro del modulo de Herramientas de renderizado, que permite colocar calcomanías.

Los logos de SILVER CAR y ST2 son:



En la siguiente imagen vemos el prototipo con el diseño exterior definitivo. Se han colocado adhesivos del logo de SILVER CAR en el parte superior y en la posterior, y de ST2 en el frontal y los laterales.

En el Anexo 1 se incluyen más vistas desde diferentes ángulos.



11. PROTOTIPO 3D

Para entender mejor los resultados obtenidos del análisis CFD se va a imprimir en 3D un prototipo real del Car-Cross a escala, a un 7% de su tamaño. Con esto podremos estudiar mejor las conclusiones obtenidas y entenderlas de un modo más gráfico.

Un prototipo en 3D no es más que una maqueta del propio coche, a escala, con la misma forma exterior que el original. Estas maquetas se realizan mediante máquinas de prototipado, que son impresoras que imprimen en 3D, van imprimiendo un plano sobre otro hasta crear el sólido.

Para importar el prototipo a la impresora 3D es necesario que este sea sólido completamente o bien las superficies tengan un cierto espesor, sino no se podría imprimir. Además es necesario que ciertos diámetros de tubos o espesores de paredes sean lo suficientemente gruesos para que al imprimirlos en 3D no sean demasiado finos y se partan, aunque esto también dependerá de la escala a la que queramos imprimir el diseño.

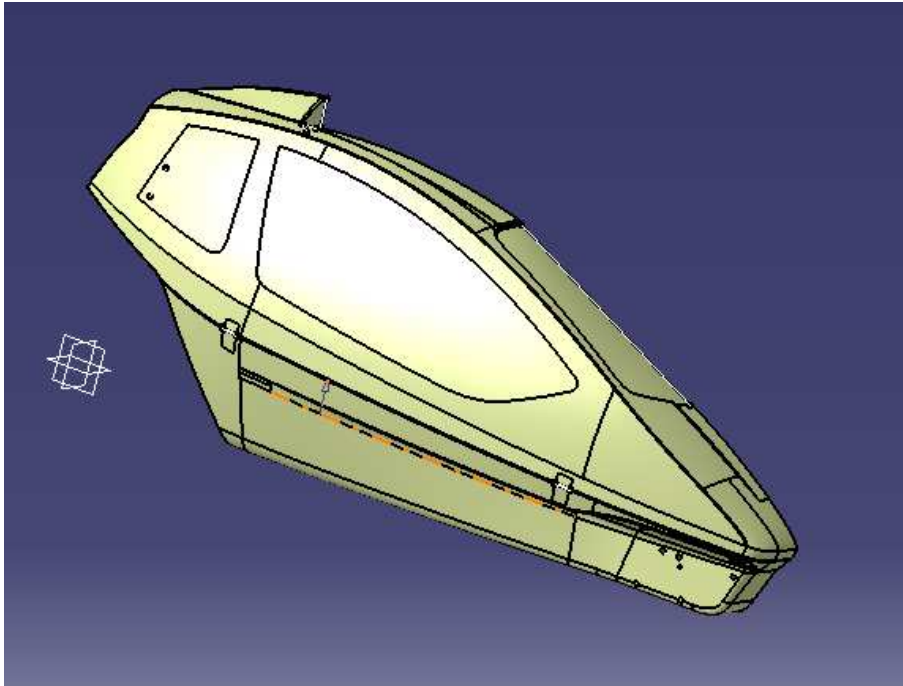
En nuestro caso partimos del diseño del Car-Cross en SOLIDWORKS, que previamente habremos importado desde CATIA.

Para importar el archivo y darle espesor tuvimos muchos problemas, ya que SOLIDWORKS nos daba problemas al importar el coche completo, y luego no dejaba dar espesor a las superficies, ni superficie por superficie ni al coche completo.

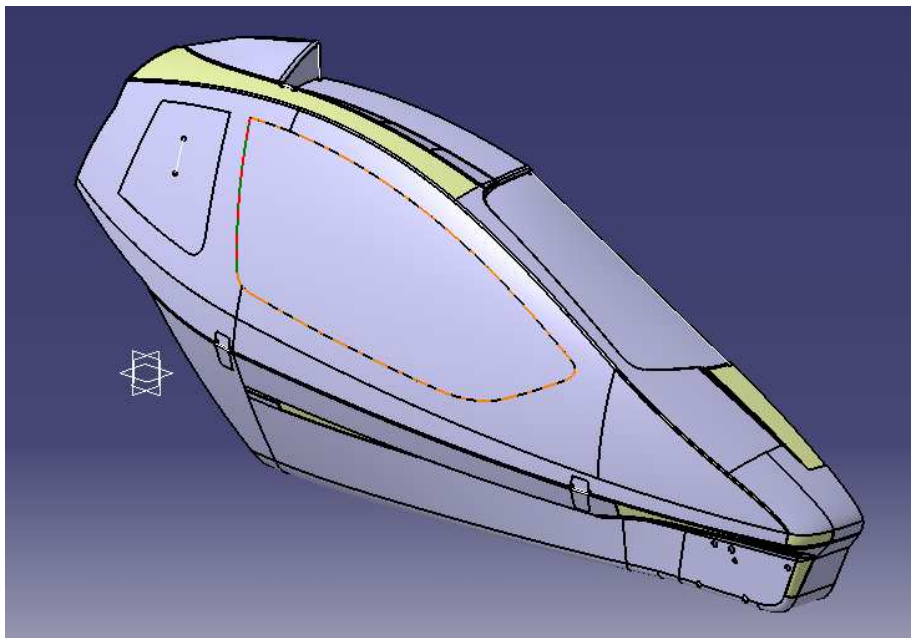
Ante estos problemas se optó por intentar dar espesores a las superficies desde CATIA, pero seguían existiendo errores, sobretodo en superficies muy pequeñas generadas por curvas muy cerradas.

Se separó el diseño del coche en dos partes, por una lado la carrocería (que es lo que más problemas da) y por otro las ruedas.

Como la mayoría de errores venían de superficies pequeñas con radios muy pequeños, sobretodo de los cierres de la carrocería y las aberturas laterales, se simplificó el diseño de la carrocería, se eliminaron los cierres de la carrocería, los cierres de las ventanillas, las propias ventanillas se unieron a la carrocería al mismo nivel, etc... Con esto se obtuvo una geometría prácticamente igual a la original excepto en las ventanillas, quedando de la siguiente forma.



Se intento dar espesor desde CATIA a las superficies, pero unas pocas superficies daban problemas y no se podía darles espesor, como se ve a continuación, las superficies que no tienen color azul son las que daban problemas.

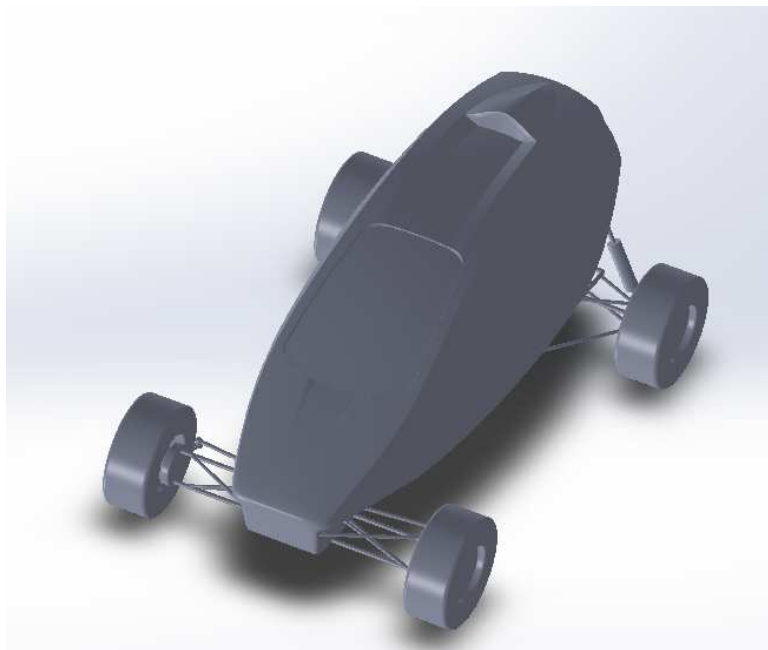


Como CATIA seguía sin dejar dar espesor a todas las superficies, se obtuvo la solución volviendo a SOLIDWORKS.

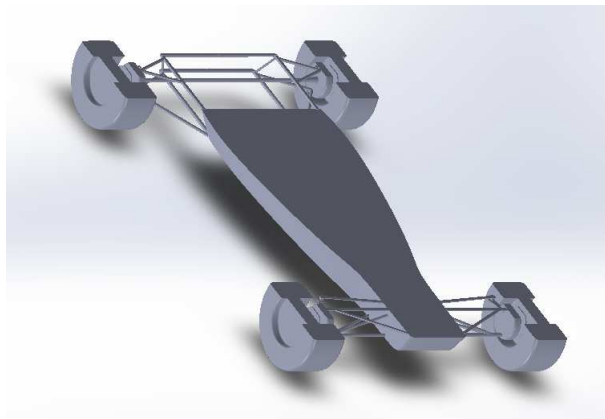
Se importó del archivo de CATIA como .igs, y al abrirlo en SOLIDWORKS y realizar el diagnóstico de importación aparecían ciertos errores de poca importancia que el propio SOLIDWORKS es capaz de reparar, con lo que se obtuvo una superficie perfecta.

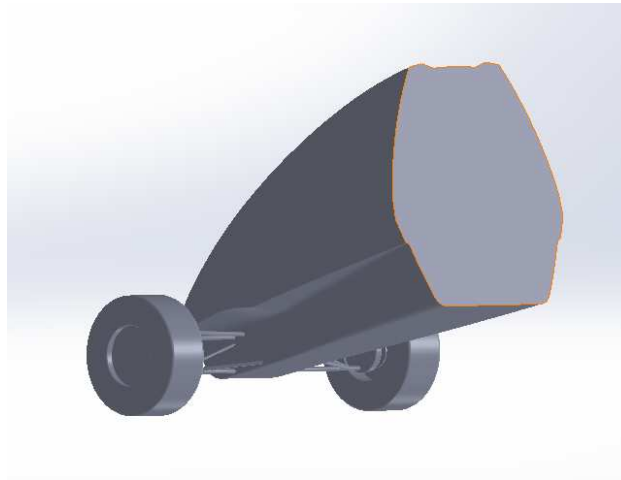
Con la superficie perfectamente cerrada, SOLIDWORKS genera un sólido a partir de ella, obteniendo un sólido macizo de la carrocería.

Con el problema resuelto, se realizó la misma operación con las ruedas y mediante un ensamblaje se conformó de nuevo el Car-Cross completo, como se ve a continuación.



En las siguientes imágenes vemos el sólido seccionado por dos planos, uno longitudinal y otro transversal, para comprobar que verdaderamente se ha generado un sólido.





Para imprimir el prototipo en 3D previamente hay que realizar el escalado del modelo, a la escala que se desee, en nuestro caso al 7%, guardarlo como .stl. y ya en la impresora 3D comprobar que los diámetros de los tubos son los suficientemente gruesos para no tener problemas al realizar el prototipo 3D.

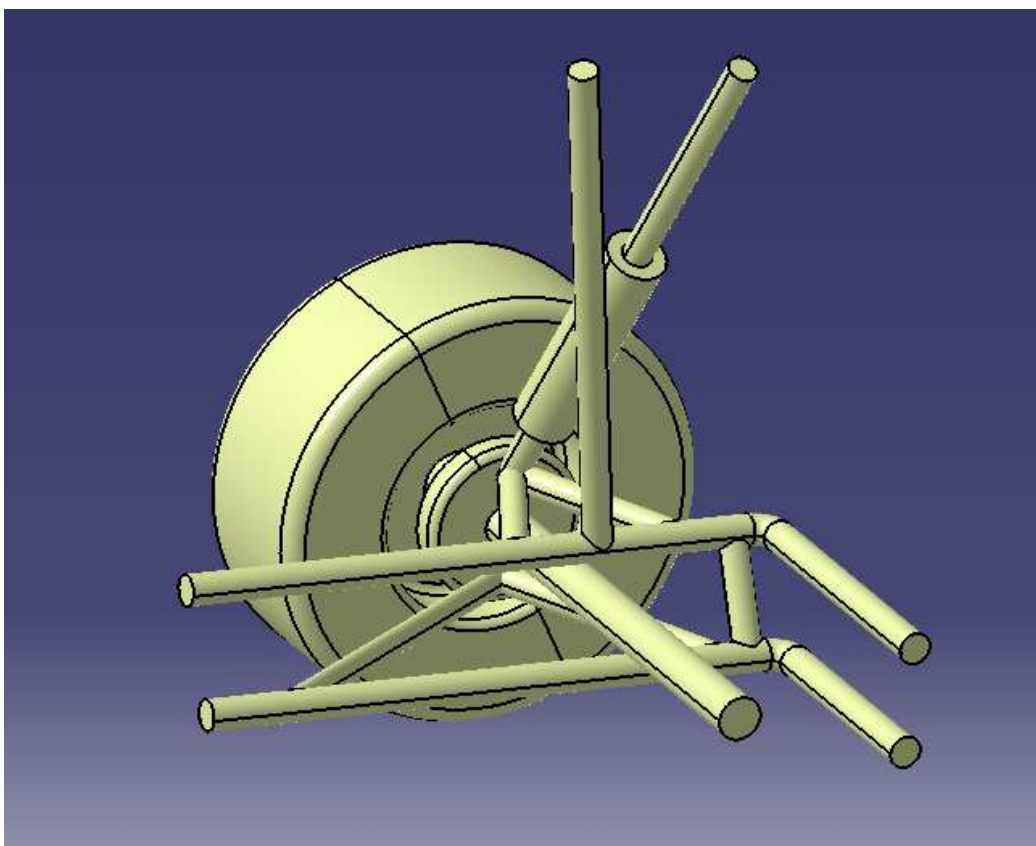
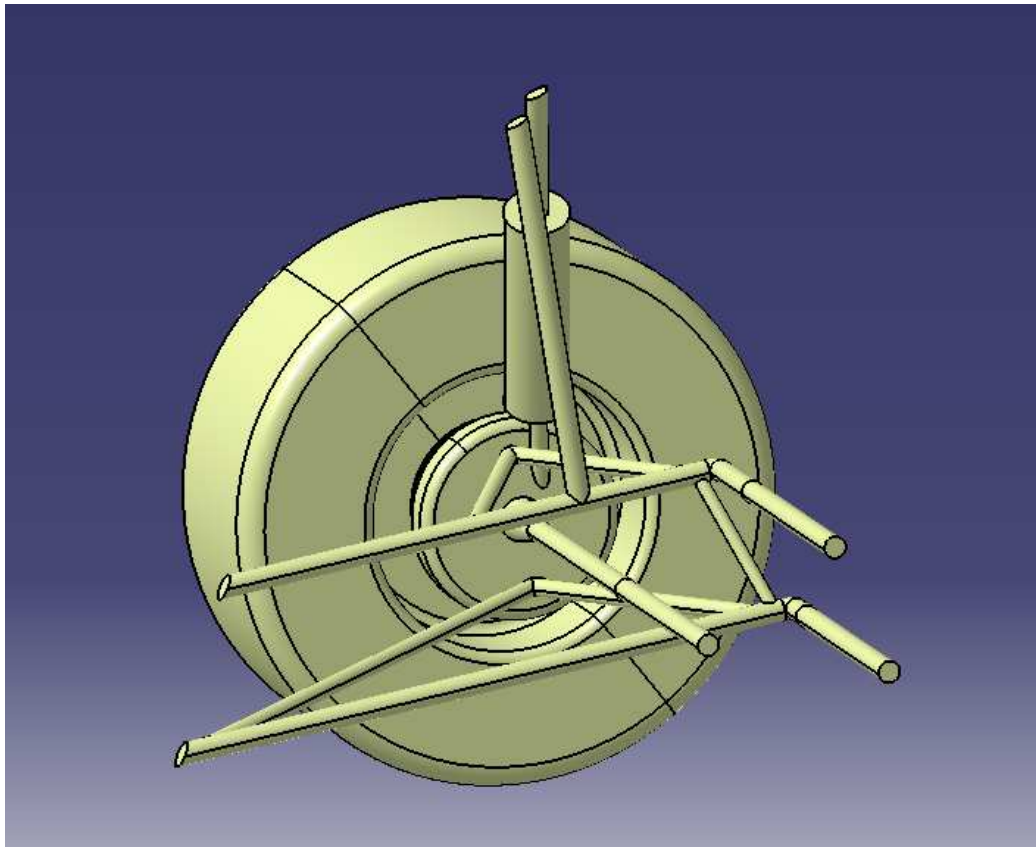
El proceso de impresión es un proceso en general largo, aunque depende del tamaño de prototipo a imprimir. En nuestro caso tardo unas 27 horas en realizarlo. Con el proyecto se adjunta una maqueta real imprimida del prototipo del Car-Cross ST2.

Para imprimir el prototipo tuvimos que realizar una serie de modificaciones en los diámetros de los tubos del chasis del prototipo, porque al escalarlo se quedaban con un diámetro de un 1mm y al extraer el prototipo de la máquina de impresión 3D se partían.

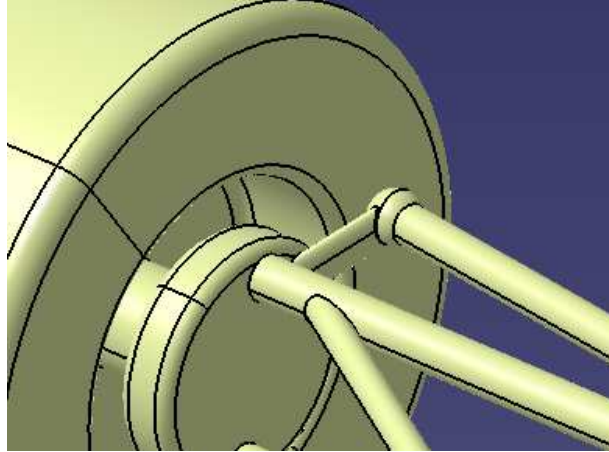
Se modifico el diseño del prototipo en CATIA aumentando el diámetro de los tubos lo máximo posible sin desvirtuar mucho la realidad, con lo que una vez realizado el escalado al 7% el diámetro mínimo de los tubos fue de 2,5mm.

Para evitar problemas la rotula de la dirección de las ruedas delanteras se simplifico para no tener problemas y los ejes de las ruedas también se sobredimensionaron. El diseño final del chasis con los tubos sobredimensionados son exactamente igual al original, aparte de lo ya mencionado, en la parte trasera la inclinación y posición del amortiguador y su mangueta es diferente, ya que sino, no cabía en el cubo de la rueda sin interferir con los trapecios de la suspensión.

A continuación vemos una comparativa de ambos, el original es el primero y el modificado con más grosor en los tubos y algún cambio de geometrías el segundo.



La siguiente imagen corresponde al detalle de como queda la rotula de la dirección después de modificar el diseño para la impresión 3D. De esta forma se simplifico para evitar su rotura al sacarla del molde del prototipo 3D.



12. CONCLUSIONES

La conclusión que podemos extraer con respecto al primer objetivo es que la geometría de la carrocería es la adecuada y cumple los requisitos impuestos en el reglamento técnico de Car-Cross de la Real Federación Española de Automovilismo.

Para el segundo objetivo, al no poder realizarse la simulación no se ha podido obtener resultados, pero se pueden extraer una serie de reseñas con los conocimientos adquiridos tanto en la carrera de Ingeniería Técnica Industrial como en la realización de este proyecto.

A pesar de ser este un proyecto para estudiar la aerodinámica de este tipo de vehículos, ese tema no es de gran importancia para el desarrollo de este tipo determinado de prototipos de coches, por lo menos en las carreras sobre tierra.

La gran capacidad de los motores de estos vehículos y el poco peso de los mismos hacen que pierdan tracción con mucha facilidad, y las ruedas derrapen, por lo que las curvas se dan de lado, derrapando y no de forma suave, avanzando con el coche de lado. En la imagen de abajo se observa como al trazar las curvas el coche derrapa de atrás y va de lado, con las ruedas giradas en el sentido contrario al de la curva para compensar este derrape.



Esto, unido a la relativa poca velocidad que alcanzan en carrera, alrededor de 100 km/h o poco más, y durante un intervalo de tiempo muy corto (generalmente solo en la recta), y a su reducida superficie frontal, hace que la aerodinámica sea de una relevancia secundaria, pues no tiene mucha incidencia.

Claro está que mejorándola se mejoraran las prestaciones del coche y los tiempos en carrera, pero no es algo de especial importancia, como puede ser en otras disciplinas, sobretodo las que se corren sobre circuitos de asfalto y se alcanza velocidades más elevadas.

Con esto, y como se ha visto, con lo laborioso del proceso para realizar la simulación CFD, para obtener unas mejoras de muy poca incidencia en las prestaciones del coche, no merece la pena realizar el estudio, no es rentable a la vista de los resultados, cuesta mucho tiempo, y por ende, dinero, para la poca mejora que se podría obtener modificando la geometría del mismo para mejorar su aerodinámica.

Sería más útil y aprovechable hacer un estudio del funcionamiento de la suspensión, para mejorar la tracción, pues el mayor problema de estos vehículos, dada su gran potencia, es transmitirla al terreno y avanzar en línea recta y no derrapando.

Para cumplir el tercer objetivo se ha diseñado la apariencia exterior del Car-Cross acorde a como es en la realidad. Al crear un prototipo en 3D real se puede utilizar para estudiar su geometría, al ver la verdadera magnitud de sus formas y curvas.

13. BIBLIOGRAFÍA

Lista de los libros de consulta utilizados para la realización de dicho proyecto, así como las páginas de Internet visitadas para buscar información:

- REGLAMENTO TÉCNICO CAR CROSS. Real Federación Española de Automovilismo.
- AERODINÁMICA DEL AUTOMÓVIL DE COMPETICIÓN. Mc Beath Simon, 2005.
- ANALISIS DE LA AERODINÁMICA DE UN AUTOMÓVIL DE COMPETICIÓN. Carlos Sacco, E. Gonzales, F.Giuggiolini, 2005.
- ESTUDIO NUMERICO-EXPERIMENTAL DE UN ALERÓN DE FÓRMULA 1 CONVENCIONAL Y MODIFICADO. David Masip Galaso, 2010.
- MODELIZACIÓN CAD Y ANÁLISIS AERODINÁMICO Y ESTRUCTURAL DEL PLANEADOR FAUVEL AV-22. Xabier Borrell Rodriguez, 2010.
- EL GRAN LIBRO DE CATIA. Eduardo Torrecilla Insagurbe, Ed. Marcombo, 2010.
- Manual CATIA V5
- Manual STAR-CCM+
- Tutorial ANSYS CFX-MESH
- www.silver-car.com
- www.car-cross.com
- www.kartcross.tripod.com/Kart-cross
- www.ii.iteso.mx/proy%20inv/EstudioEconomico
- www.google.es
- www.f1revolution.com
- www.wikipedia.com

- www.tecnicaf1.com
- www.efectosuelo.com
- www.caranddriverthef1.com
- www.cd-adapco.com
- www.ansys.com

14. ANEXOS

Anexo 1: Imágenes y detalles

Anexo 2: Características STAR-CCM+, ANSYS y SOLIDWORKS

Anexo 3: Reglamento Técnico Car Cross de la Real Federación Española de Automovilismo

Anexo 4: Planos

ANEXO 1

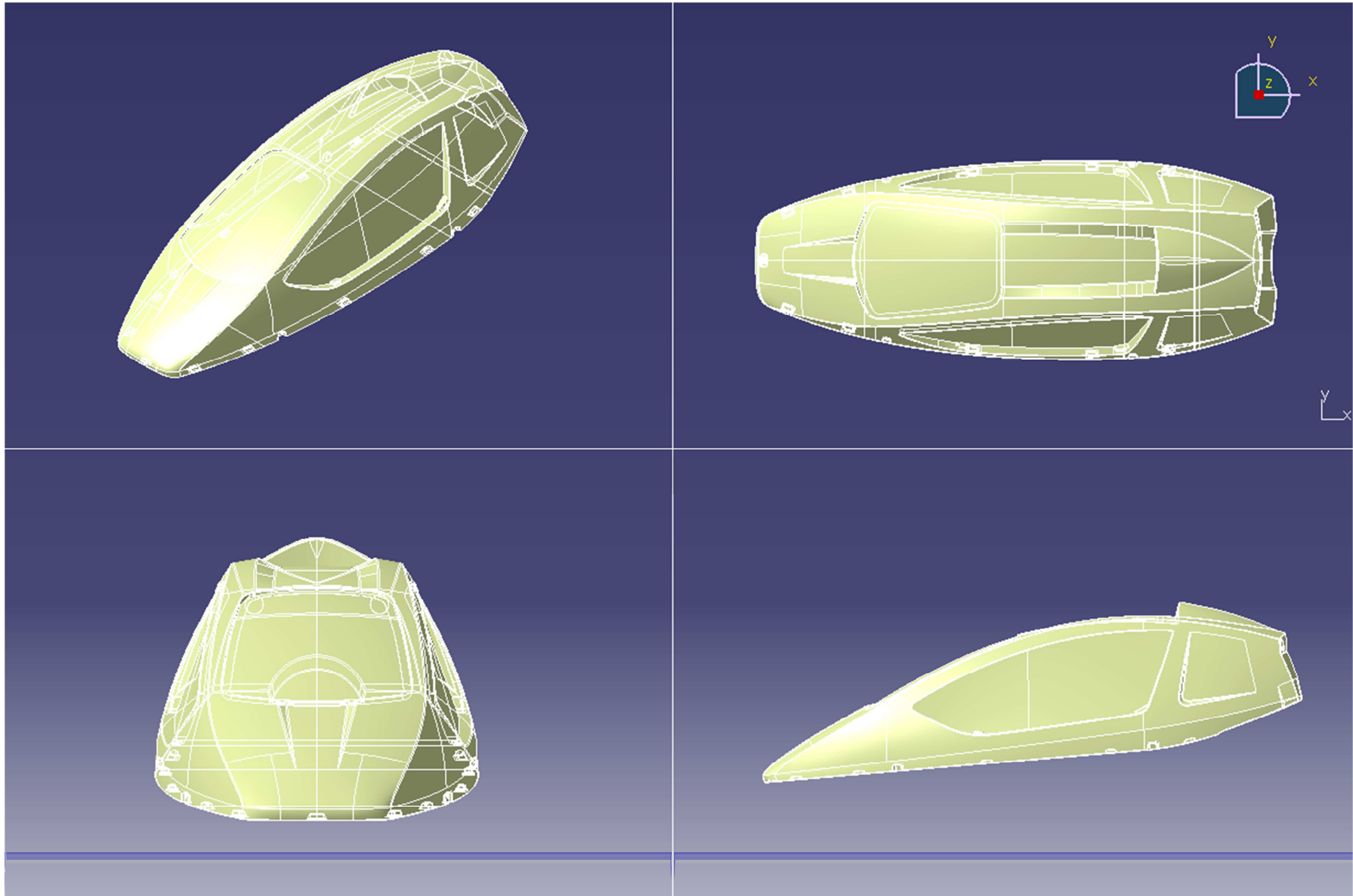


Fig 1: Parte superior de la carrocería en CATIA

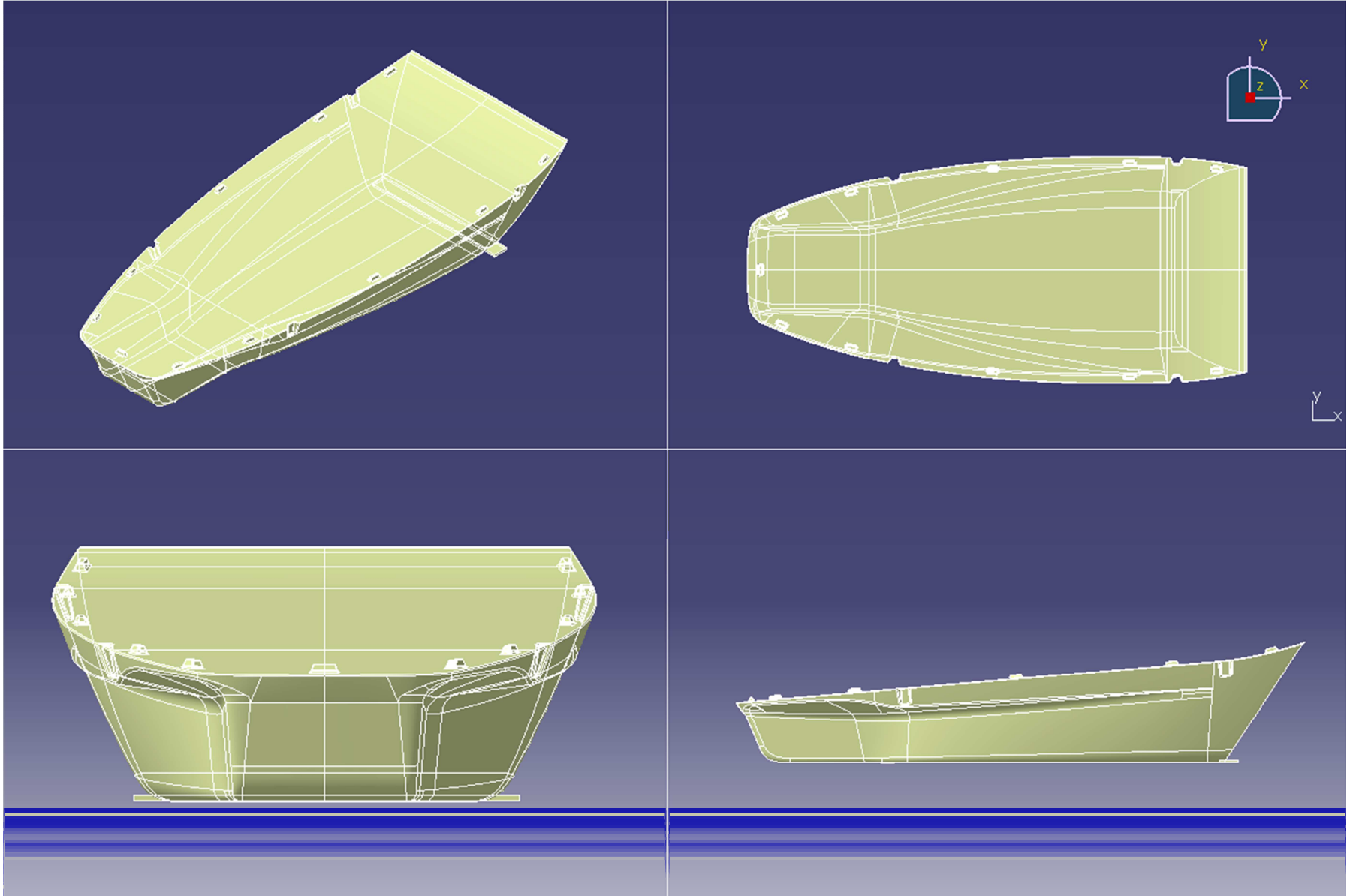


Fig 2: Parte inferior de la carrocería en CATIA

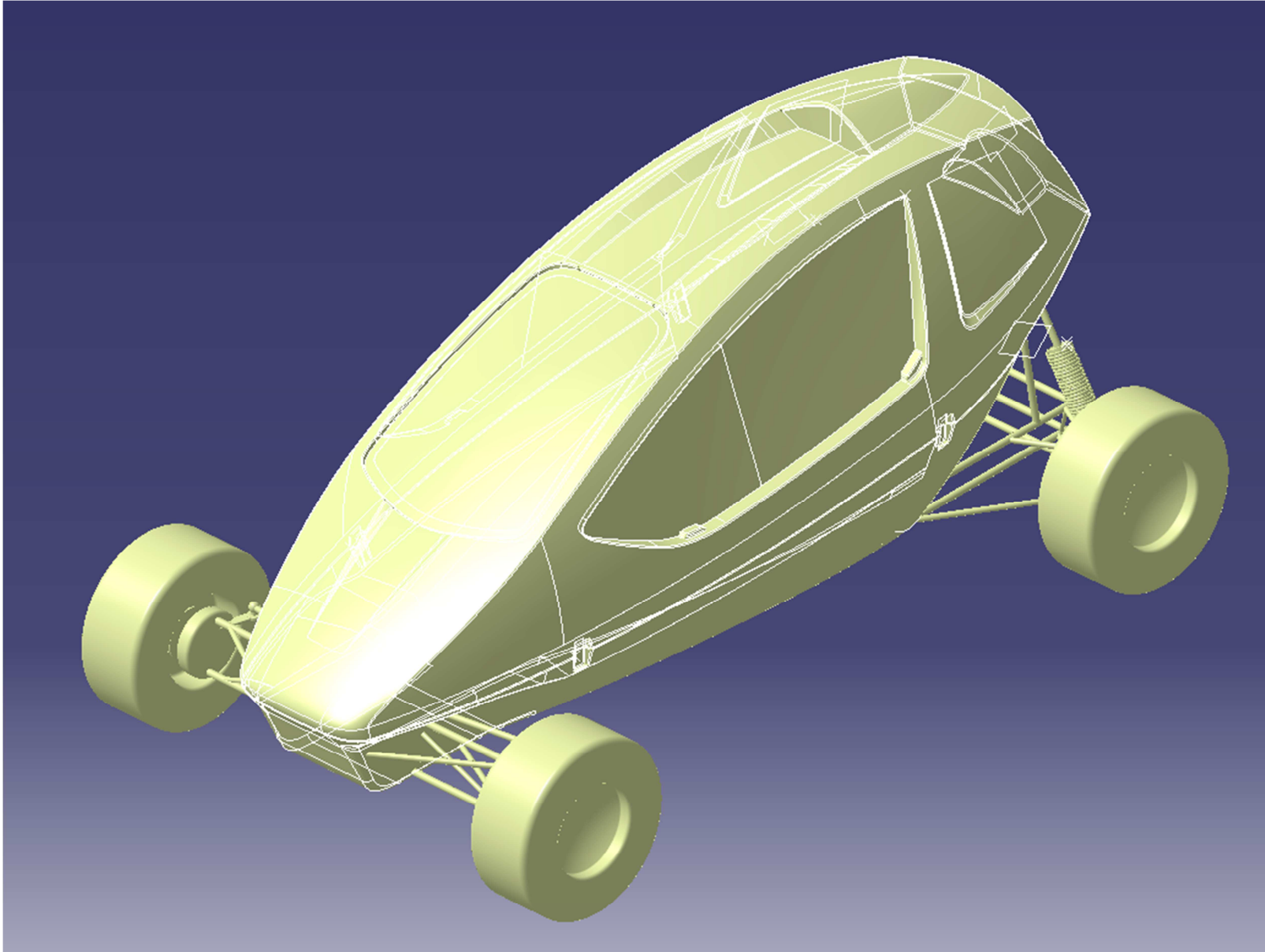


Fig 3: Car-Cross Silver Car ST2 en CATIA

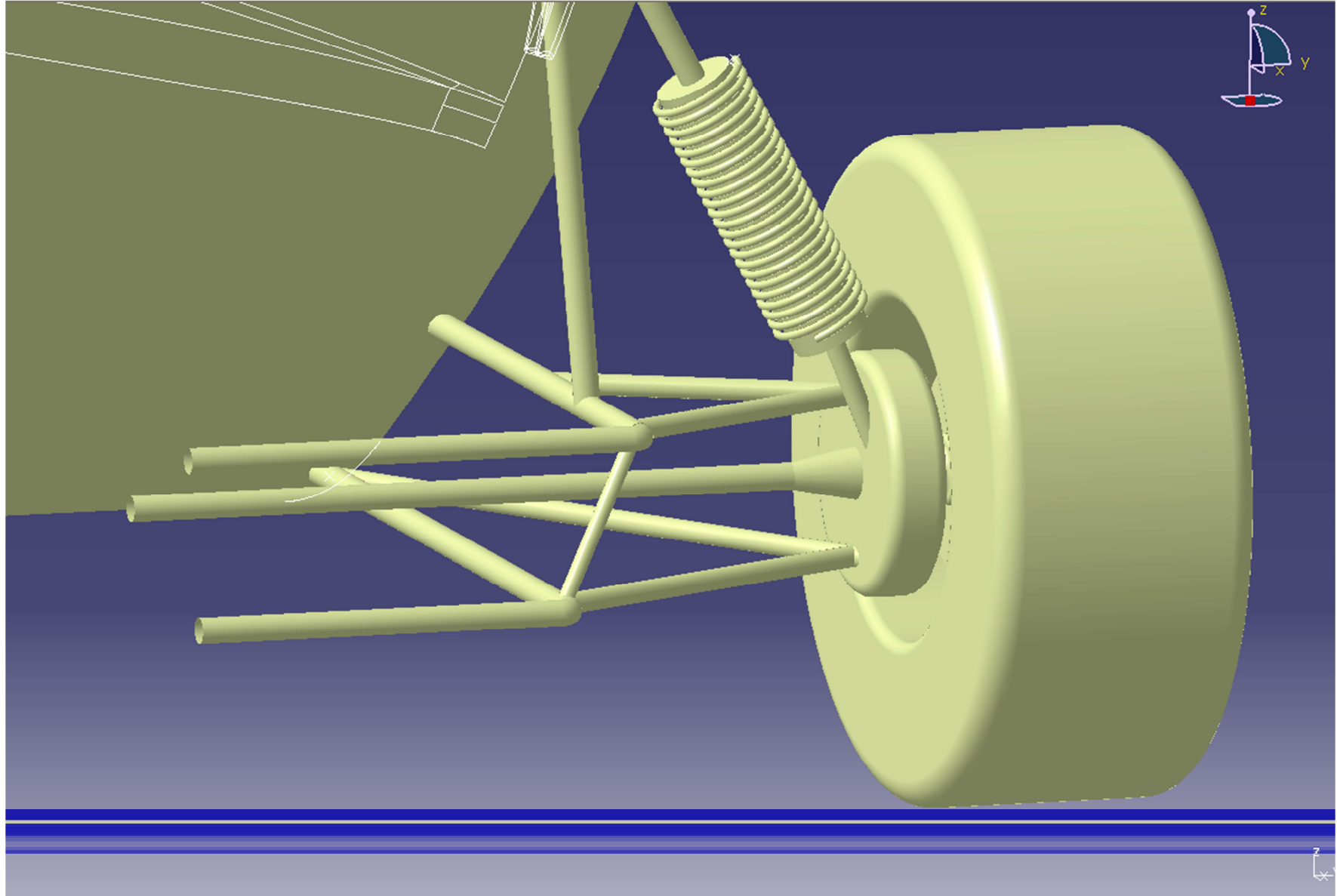


Fig 4: Detalle rueda trasera

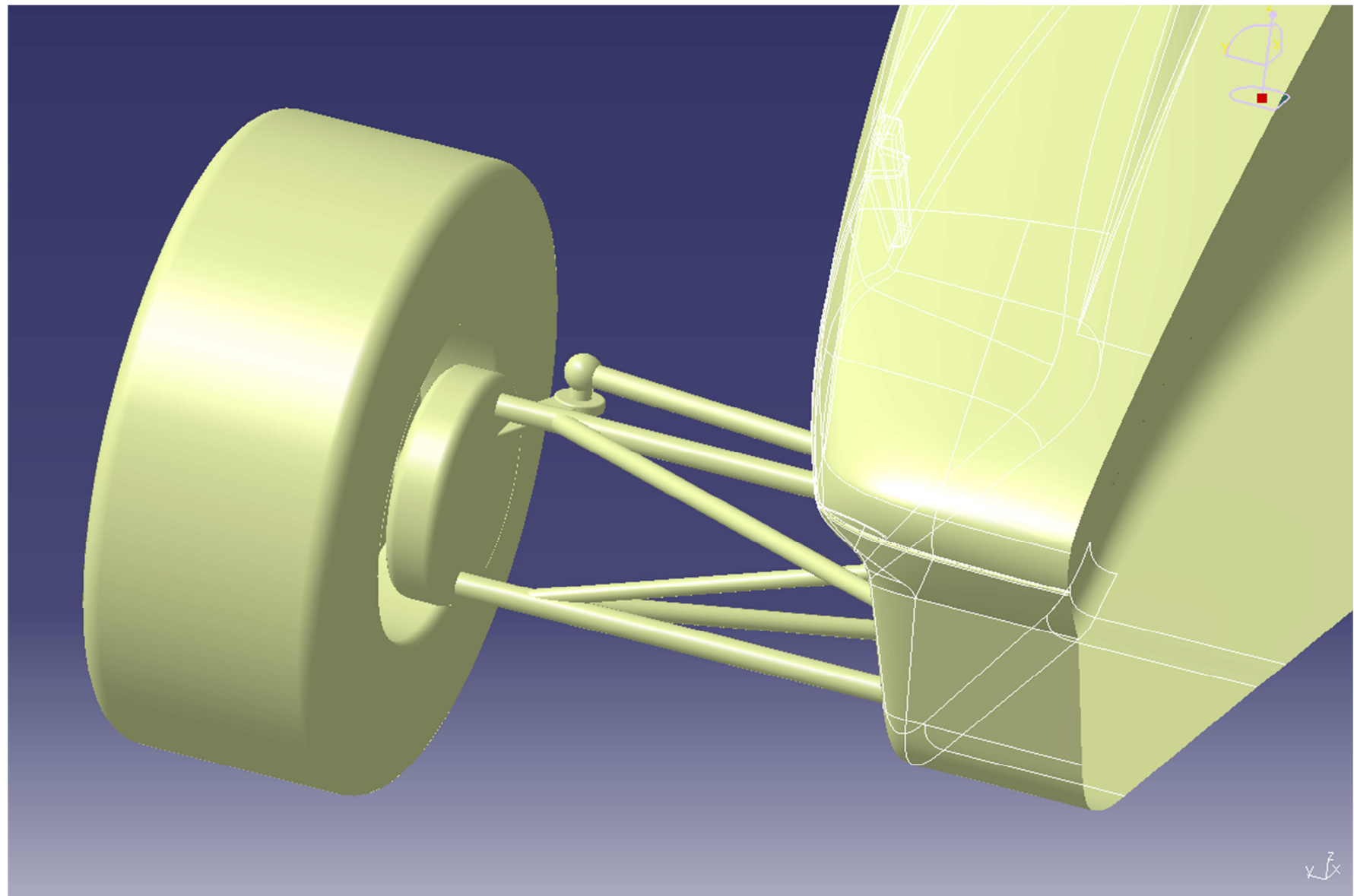


Fig 5: Detalle rueda delantera

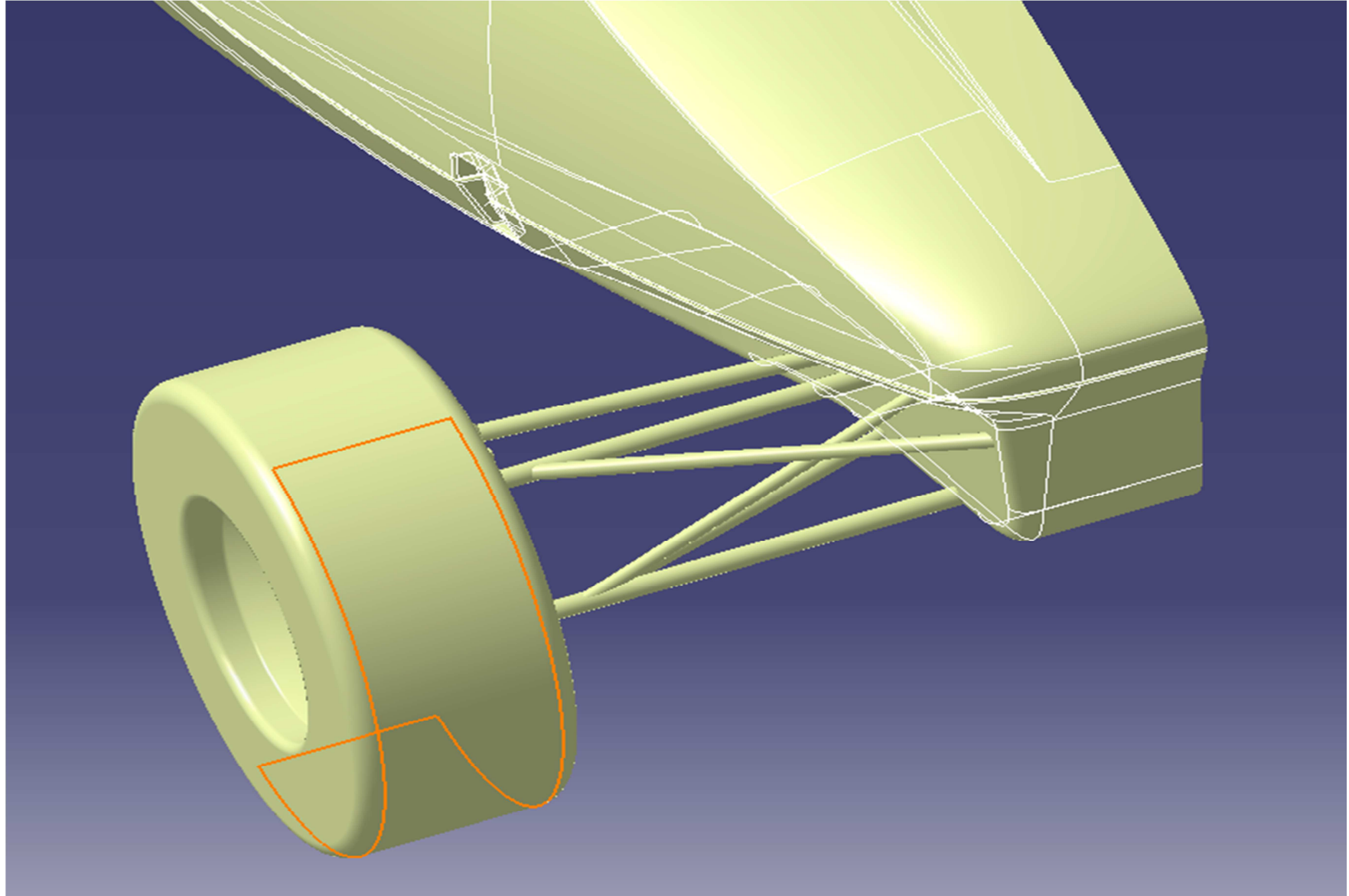


Fig 6: Detalle parte delantera

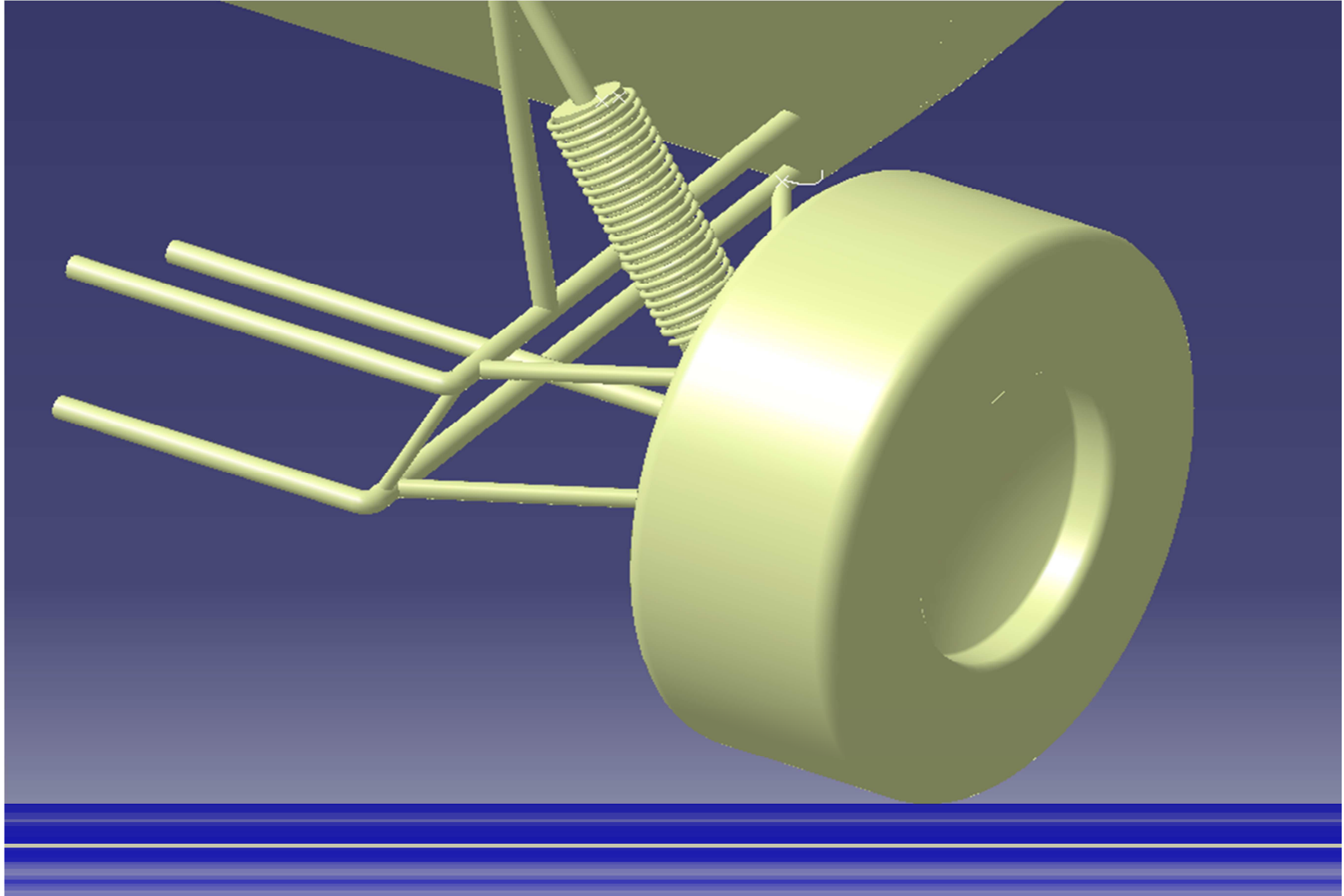


Fig 7: Detalle parte trasera

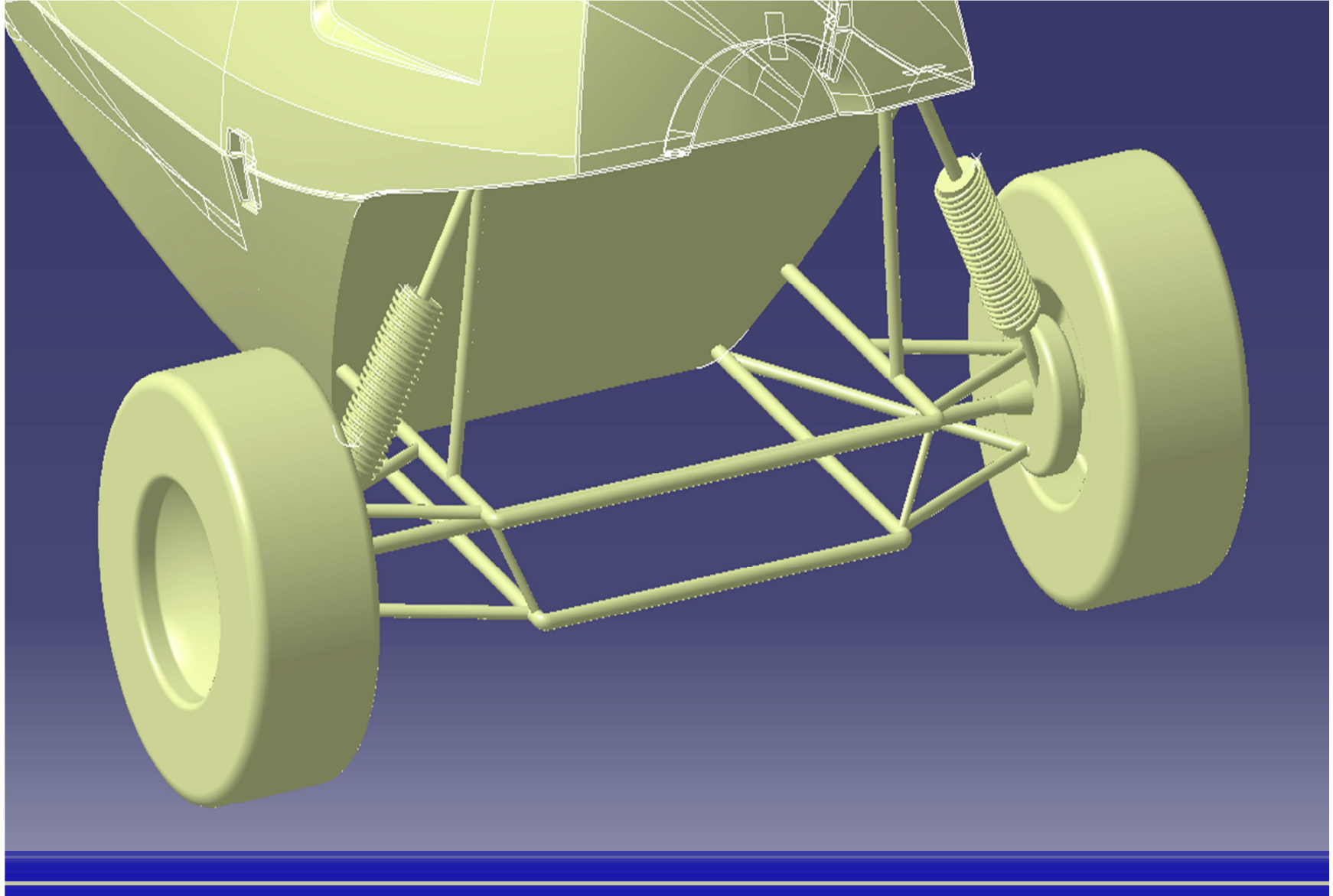


Fig 8: Parte trasera

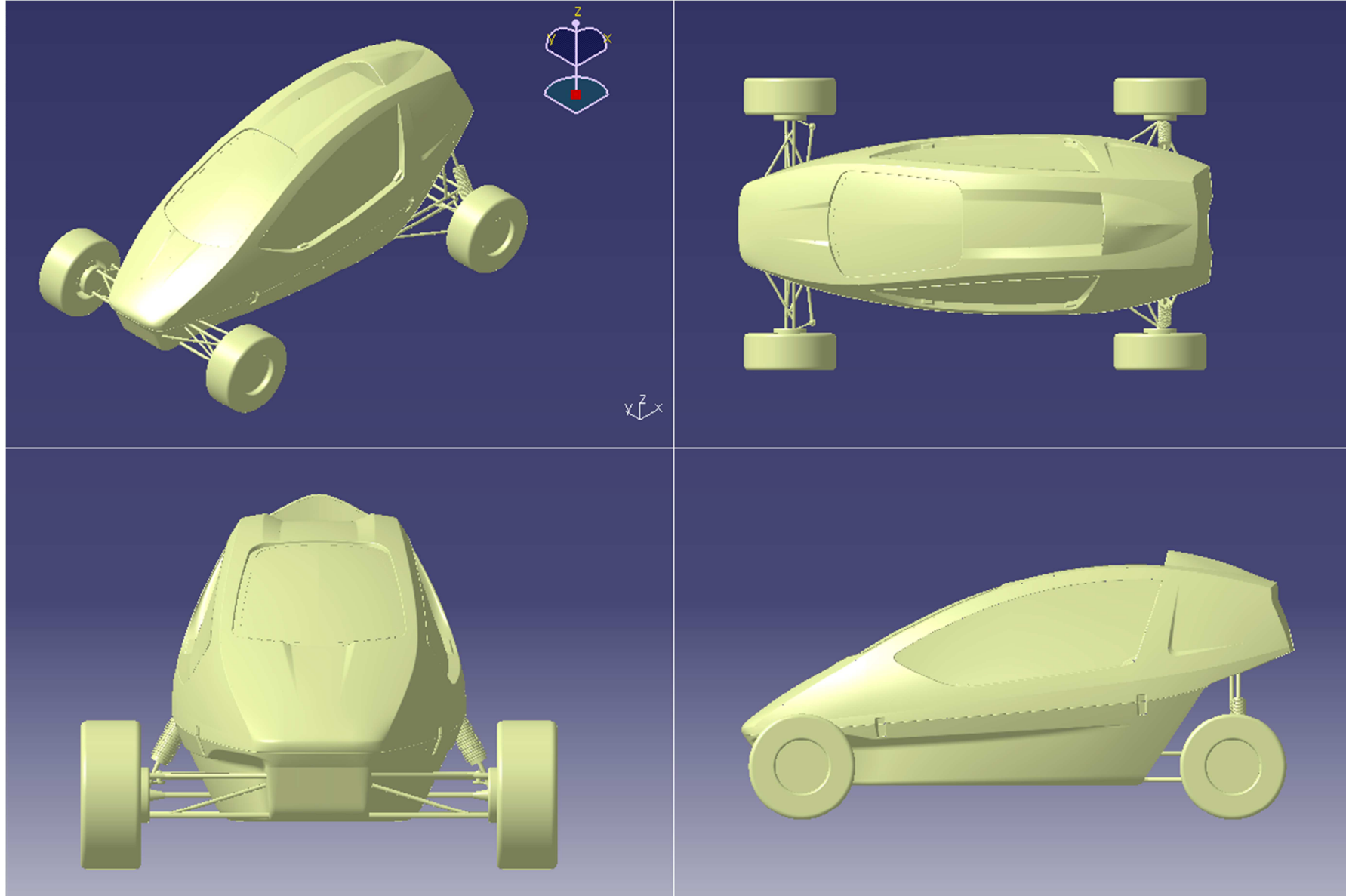


Fig 9: vistas del ST2 en CATIA

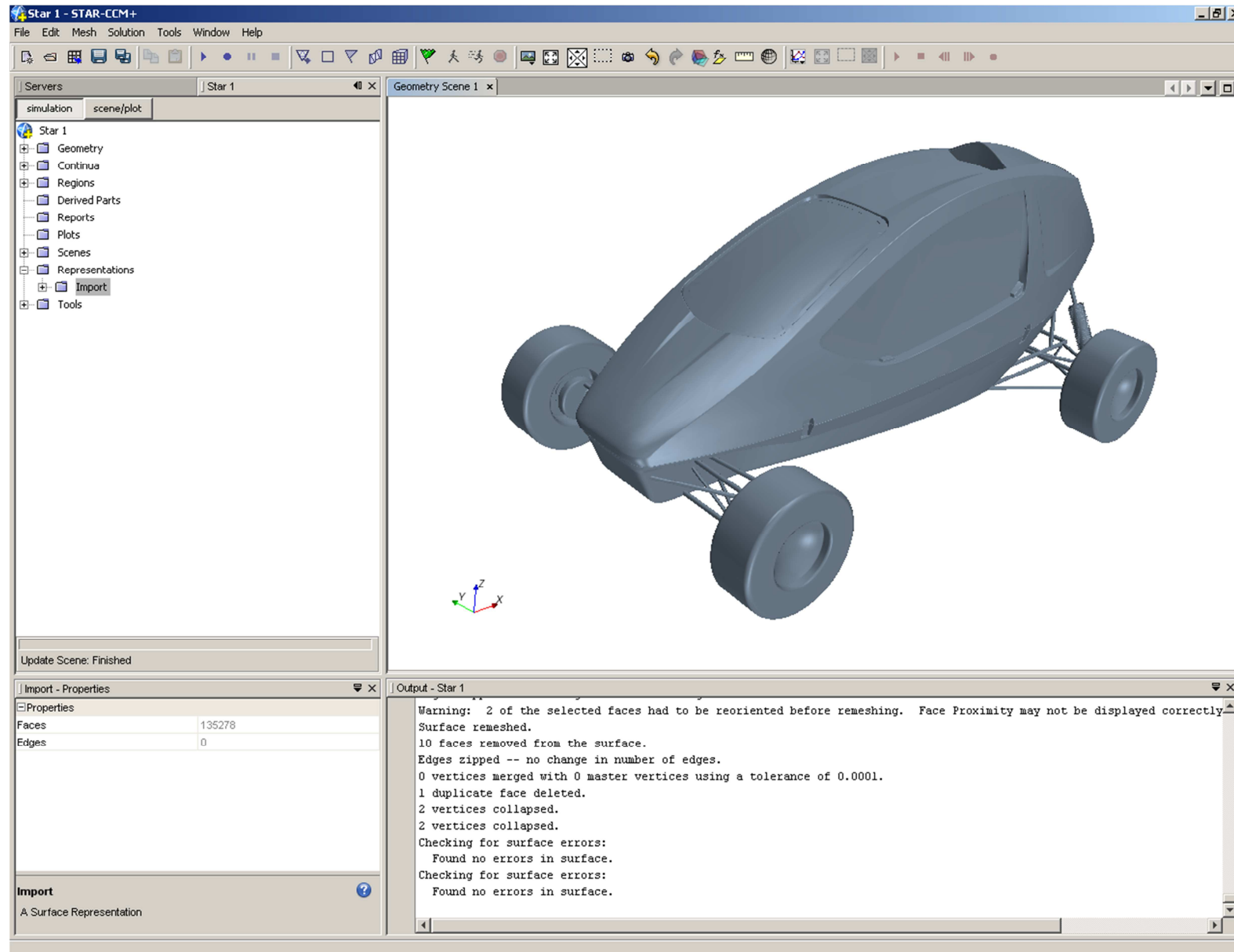


Fig 10: SILVER CAR ST2 en STAR-CCM+

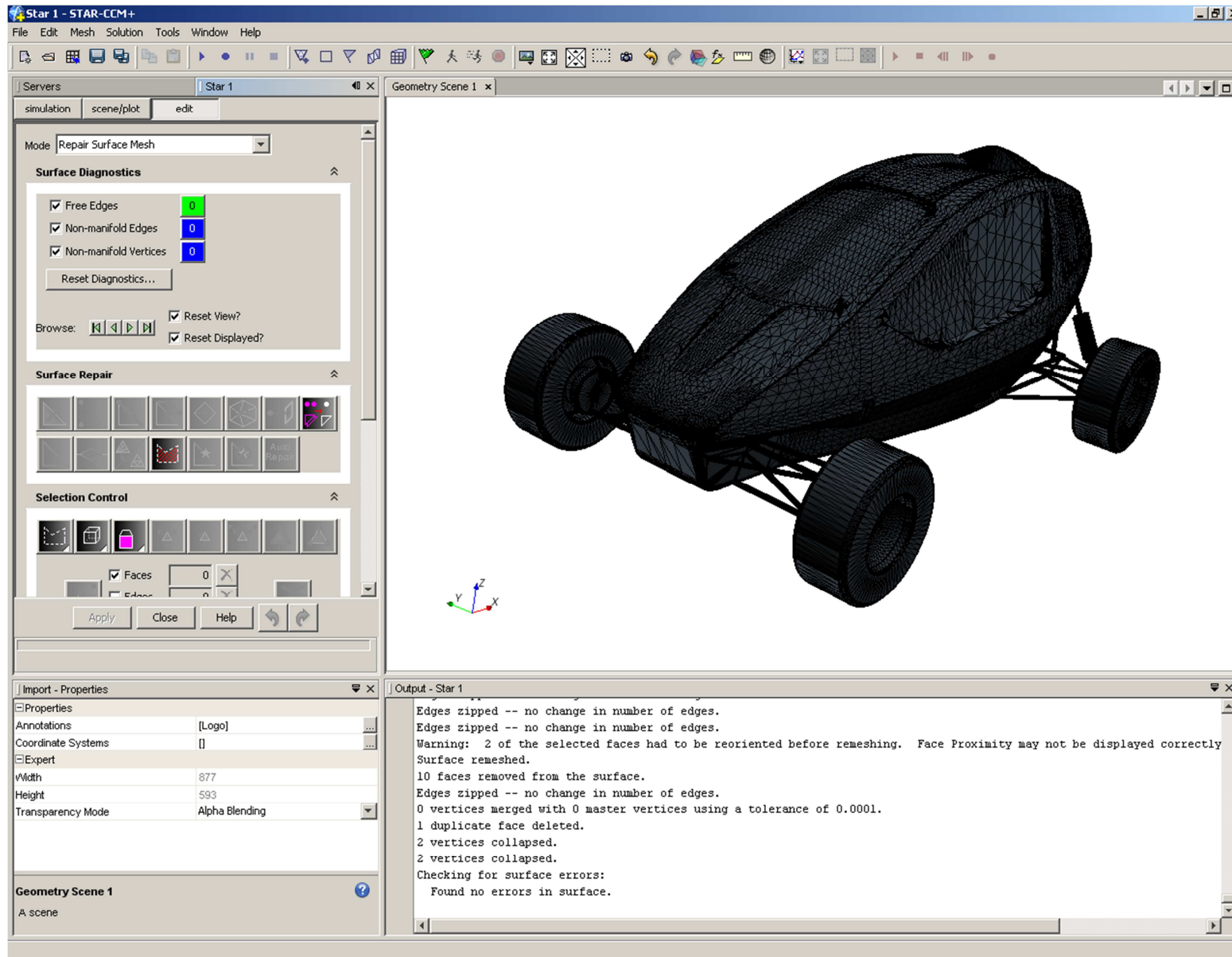


Fig 11: Diagnóstico de superficie correcta en STAR-CCM+

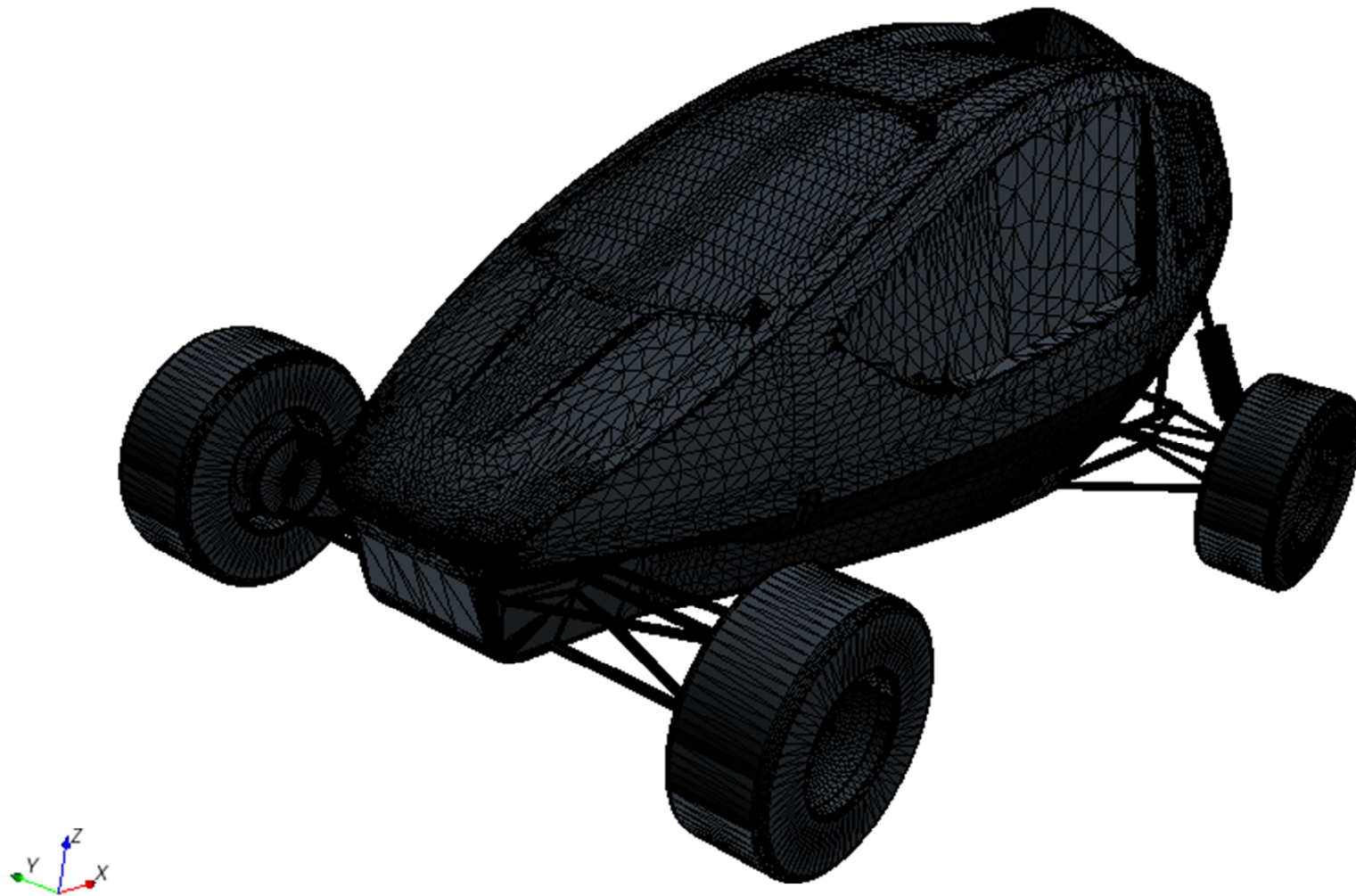


Fig 12: ST2 en STAR-CCM+, superficie sin errores

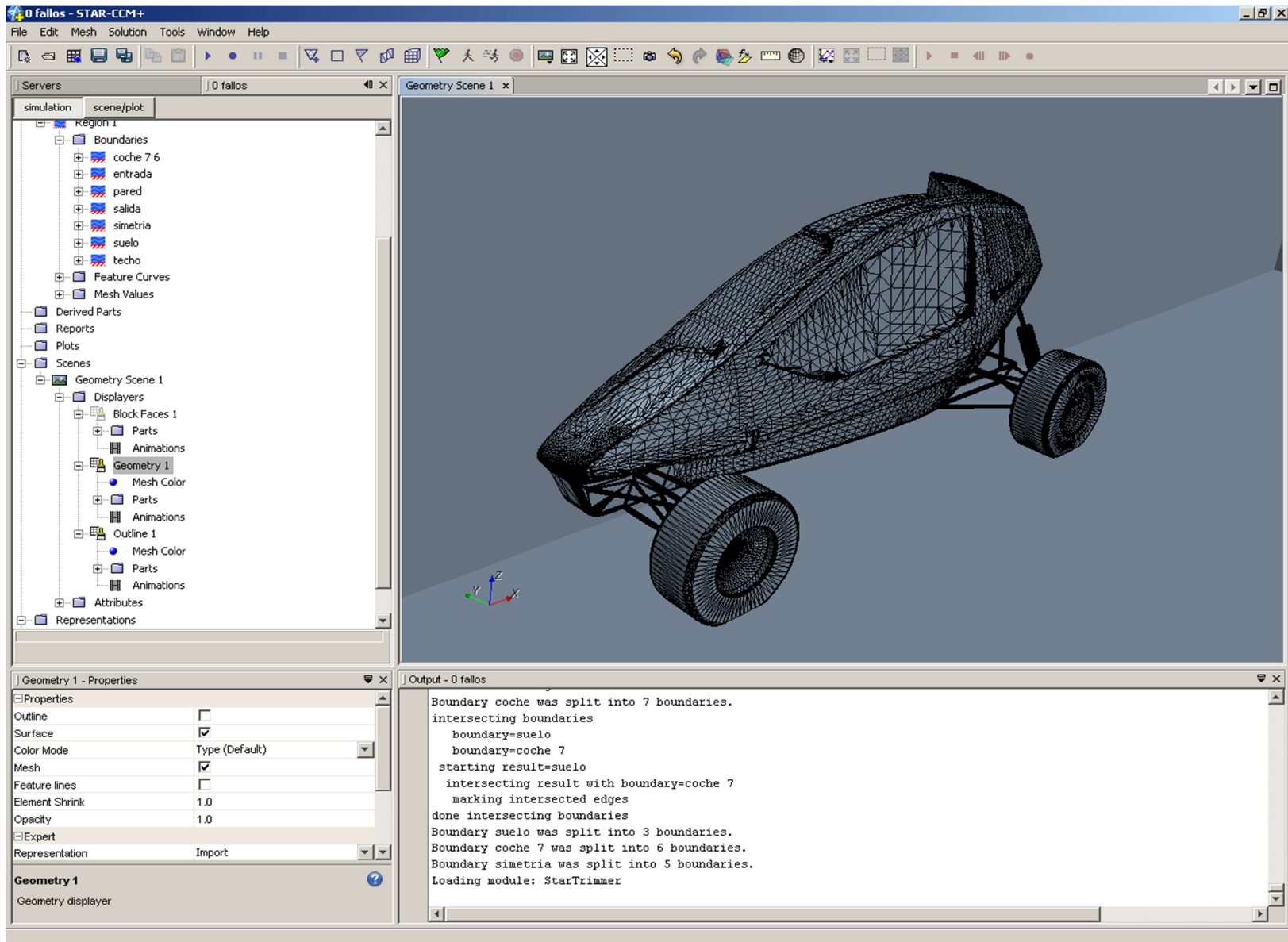


Fig 13: ST2 mallado en STAR-CCM+

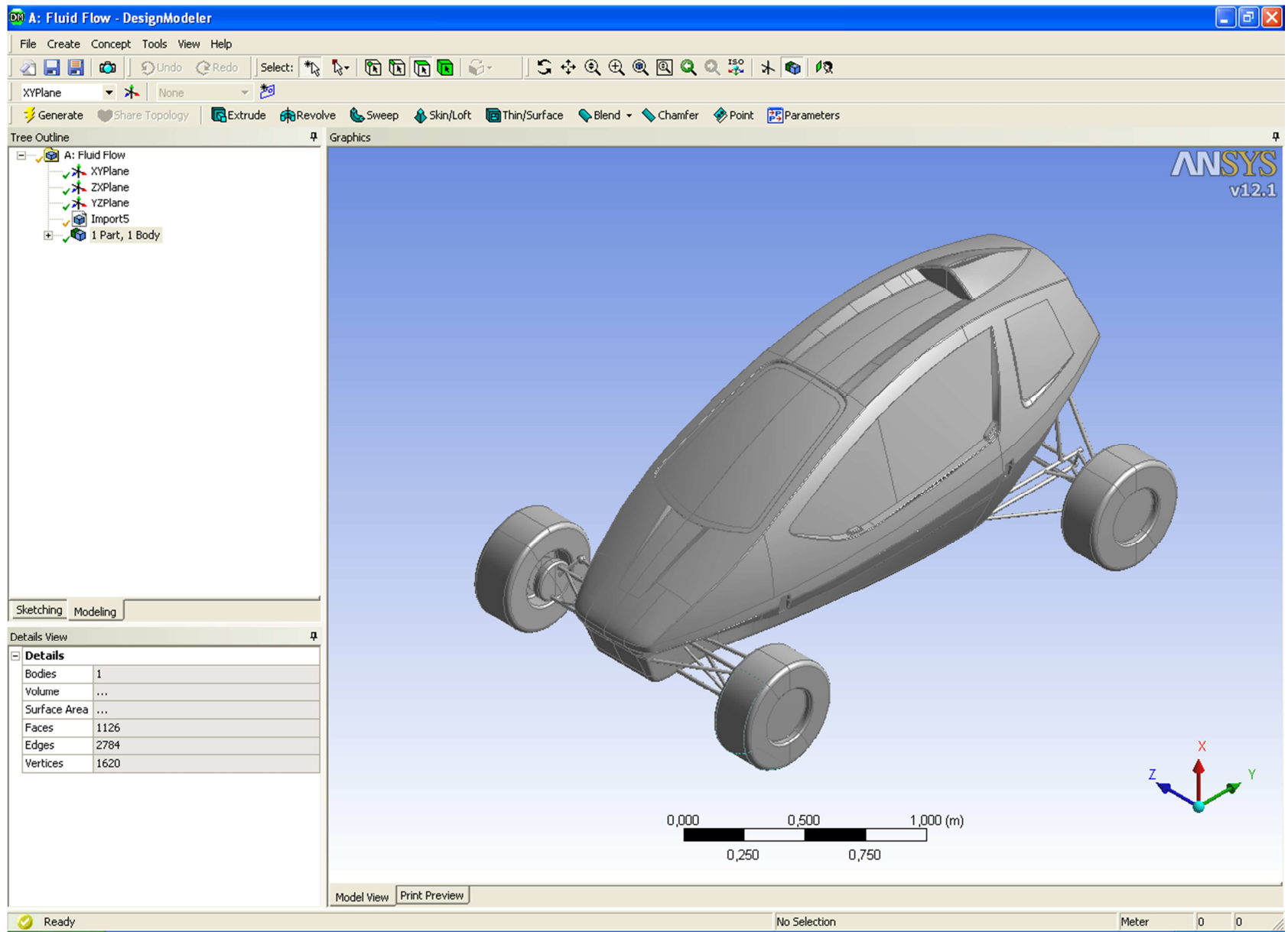


Fig 14: ST2 importado en DesignModeler de ANSYS

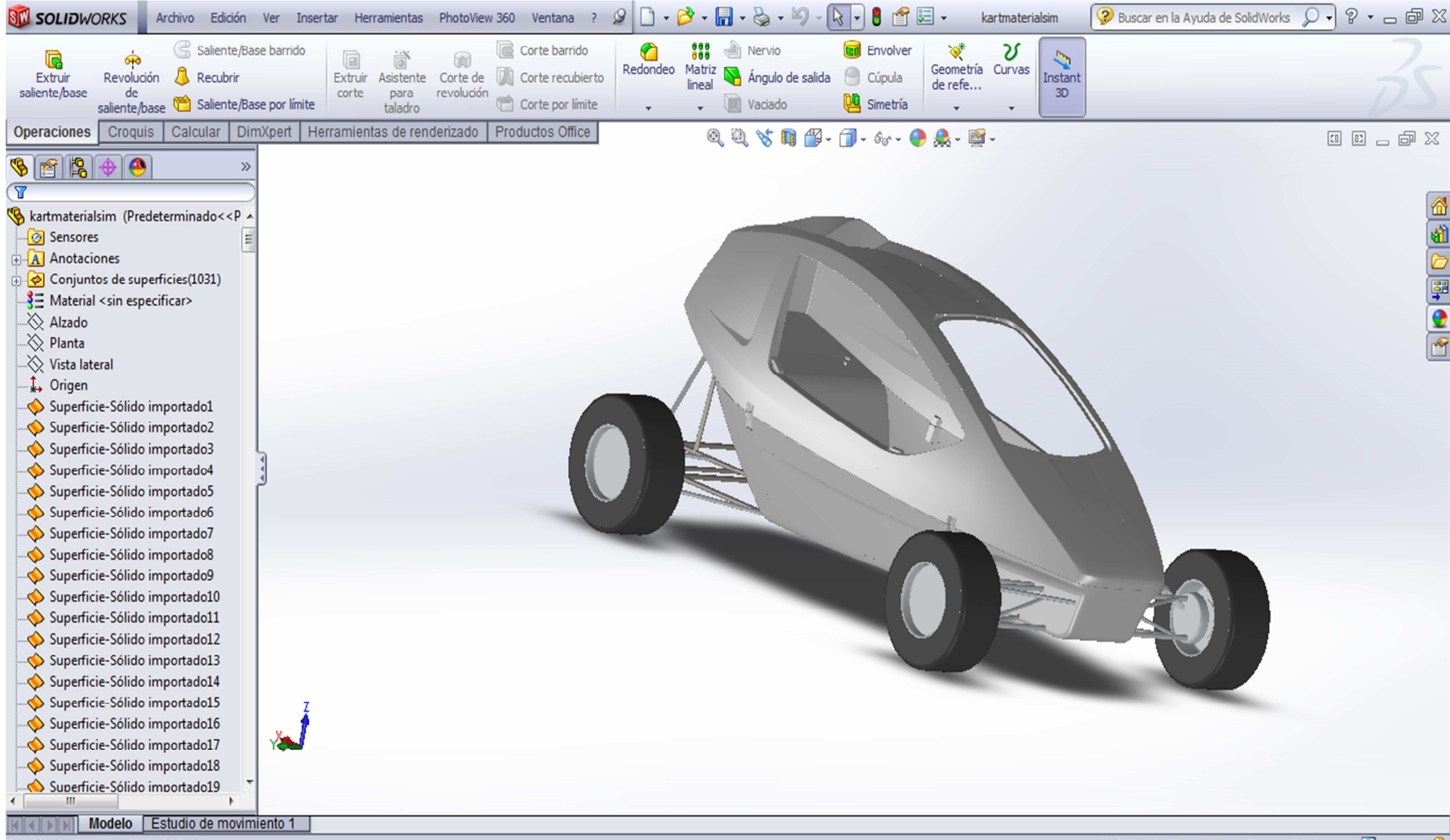


Fig 16: ST2 con material en SOLIDWORKS

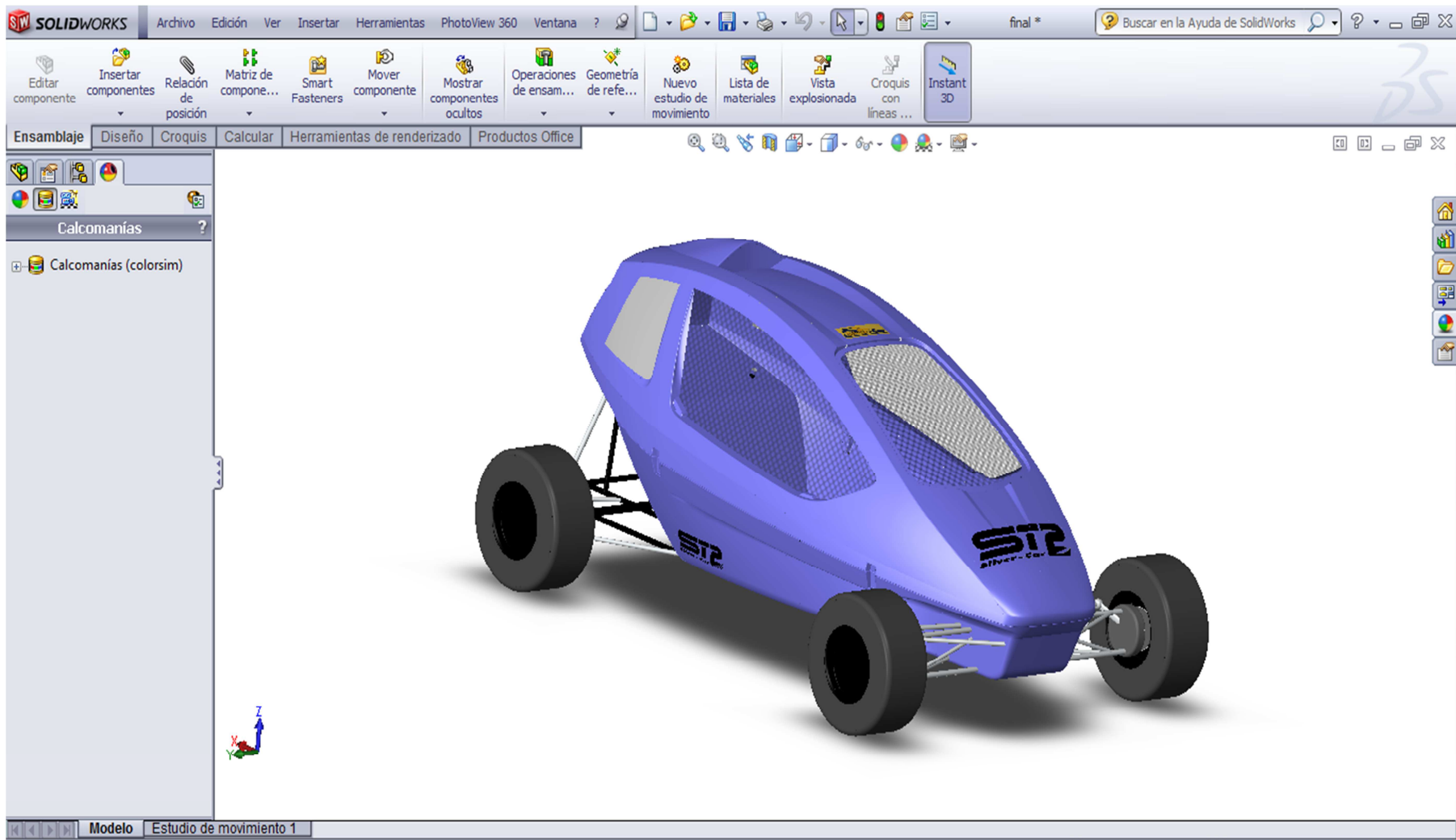


Fig 17: diseño exterior del ST2 en SOLIDWORKS

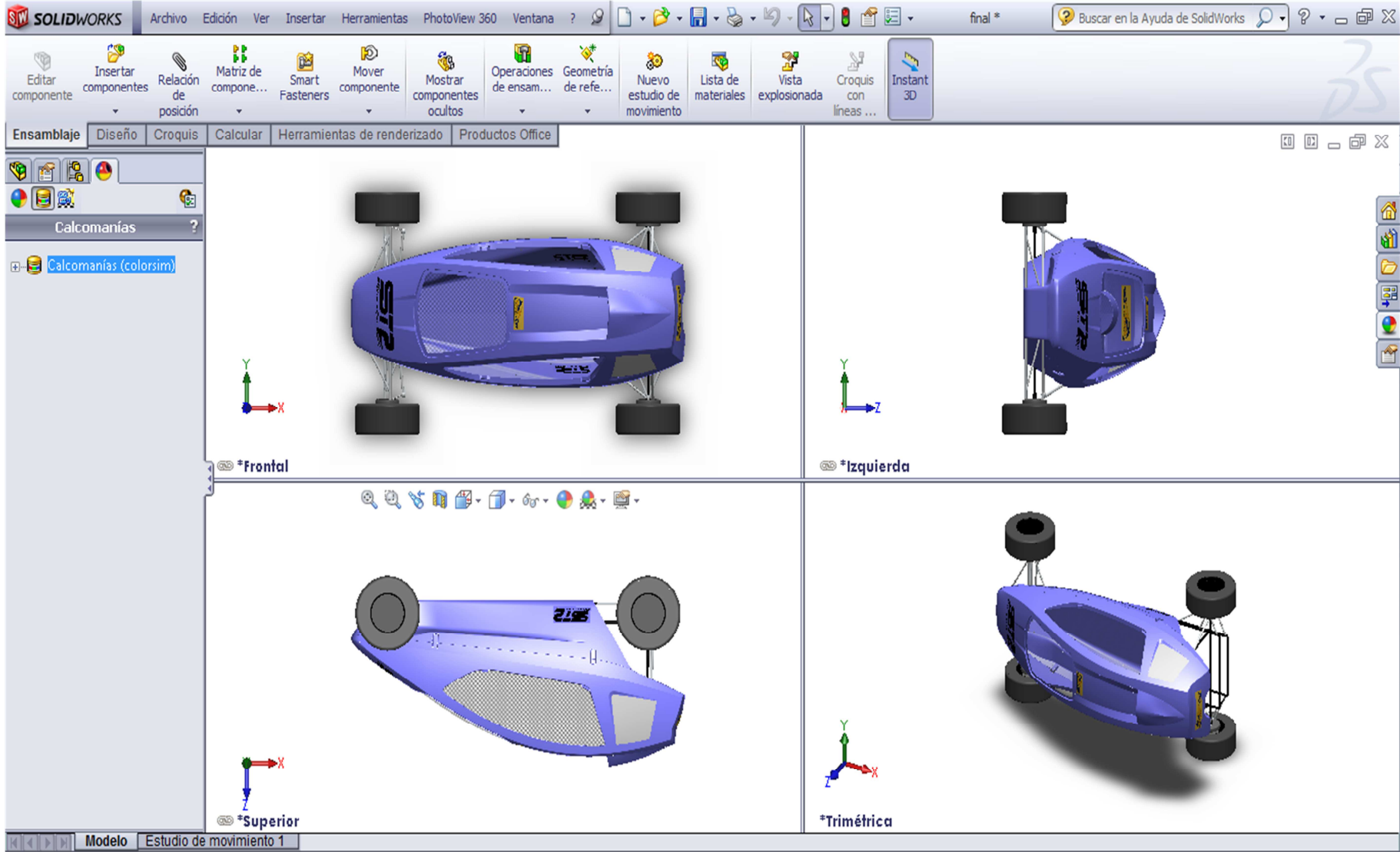


Fig 18: diferentes vistas del diseño exterior en SOLIDWORKS



Fig 19: Renderizado final del Car-Cross ST2



Fig 20: Vista general lateral ST2



Fig 21: Vista general ST2 sin carrocería



Fig 22: Vista general ST2 y carrocería separada



Fig 23: Interior ST2



Fig 24: Vista frontal del ST2

ANEXO 2

1. STAR-CCM+



El software STAR-CCM+ ofrece el proceso de ingeniería de simulación completa en un entorno de software integrado. Este enfoque único ofrece incomparable facilidad de uso y la automatización de la preparación de CAD, mallado, el modelo de configuración y estudios de diseño interactivo, permitiendo obtener mejores resultados, más rápido.

Dicho software es empleado por grandes marcas automovilísticas, tanto en el rango de la competición como en el diseño de vehículos particulares. Como ejemplo tenemos las escuderías mas punteras de la formula 1 como Ferrari, McLaren-Mercedes, Renault...

STAR-CCM + trabaja con un cliente en java que se ejecuta en la luz del escritorio de la máquina del usuario, conectado al servidor que se ejecuta en el mismo o en otra máquina.

Esto entrega una serie de ventajas:

- Utilizando tan solo un ordenador portátil los usuarios pueden ver los resultados, iniciar o detener un cálculo, o hacer cambios en la puesta a un caso con millones de células, que se ejecutan en un gran grupo.

- El pre y post-procesador es una parte integral del programa de solución. Los cambios realizados en el cliente (por ejemplo, modelo de turbulencia o condición de contorno) se reflejan al instante en el solucionador. Por el contrario, una actualización del campo de flujo se puede visualizar en cada iteración, sin sobrecarga adicional.
- Es el desarrollo de código más rápido del mercado, con una nueva emisión importante que ocurre cada cuatro meses.
- STAR-CCM + es el único código que ejecuta un cálculo que implica más de mil millones de células.
- Ha sido diseñado específicamente para soportar los sistemas operativos utilizados más importantes en las empresas de ingeniería: Windows y Windows 7 (32 y 64 bits), Linux (32 y 64 bits) y las plataformas UNIX.

2. ANSYS



ANSYS Fluid Dynamics es una suite de productos para la modelación de flujo de fluidos y otros fenómenos físicos relacionados. Ofrece capacidades de análisis de flujo de fluidos sin precedentes, proveyendo todas las herramientas necesarias para diseñar y optimizar nuevos equipos de fluidos y solucionar problemas en equipos ya existentes. La suite de ANSYS Fluid Dynamics contiene software de dinámica de fluidos y productos especializados en aplicaciones específicas de la industria

Las herramientas de análisis de fluidos ANSYS CFX y ANSYS FLUENT, están disponibles en el paquete de ANSYS CFD. Con ANSYS CFD, se tiene acceso a un conjunto sin precedentes de modelos físicos de fluidos, permitiéndo realizar análisis con un alto grado de confianza.

La tecnología de ANSYS CFD es altamente escalable, permitiendo mejorar los cálculos paralelos en cientos de procesadores. ANSYS CFD incluye también la herramienta de post procesado de flujo de fluidos ANSYS CFD-Post. La cual puede ser usada en análisis avanzados y virtualizaciones de alta calidad. Cuando ANSYS CFD es usado en combinación con ANSYS Mechanical es posible resolver problemas complejos de interacción estructura-fluidos.

ANSYS CFX

CFX es un software de alto rendimiento, el uso general de este programa se ha aplicado para resolver una amplia gama de problemas de flujo de fluidos durante más de 20 años. El corazón de ANSYS CFX es su tecnología de solucionador avanzada, la clave para lograr soluciones fiables y precisas de forma rápida y robusta.

El solucionador y muchos de sus modelos físicos se envuelven en una interfaz gráfica de usuario moderna, intuitiva, flexible, en el medio ambiente del usuario (con amplias opciones de personalización y automatización mediante archivos de sesión) las secuencias de comandos y un poderoso lenguaje de expresión.

Sin embargo, CFX es algo más que un poderoso código CFD ya que está integrado en la plataforma Workbench proporcionando una conexión superior bidireccional a los principales sistemas de CAD (para la creación o modificación de la geometría con ANSYS DesignModeler), a avanzadas tecnologías de mallado (en ANSYS ICEM CFD), y con una fácil transferencia de los datos y resultados para compartir entre las aplicaciones.

ANSYS FLUENT

FLUENT es un software que contiene amplias capacidades de modelado físico necesario para modelar el flujo, la turbulencia, la transferencia de calor, y las reacciones de las aplicaciones industriales que van desde el flujo de aire sobre el ala de un avión a la combustión en un horno, de columnas de burbujas a las plataformas petrolíferas, desde el flujo sanguíneo a los semiconductores, fabricación y diseño de plantas de tratamiento de aguas residuales. Hay modelos especiales que le dan al software la capacidad de modelar en el cilindro de combustión, aeroacústica, turbomaquinaria y sistemas multifásicos que han servido para ampliar su alcance.

Hoy en día, miles de empresas de todo el mundo se benefician de la utilización de FLUENT como parte integral de sus fases de diseño y optimización para el desarrollo del producto.

Las funciones definidas por el usuario permiten la implementación de nuevos modelos de usuario y la amplia personalización de los ya existentes. Las capacidades de la configuración de resolución interactivo, solución y post-procesamiento de FLUENT hacen que sea fácil hacer una pausa en el cálculo, analizar los resultados con post-procesamiento integrado, cambiar cualquier ajuste, y luego continuar con el cálculo en una sola aplicación. Los expedientes y datos se pueden leer en CFD-Post para un análisis más avanzado de post-procesamiento de las herramientas y la comparación de los diferentes casos.

La integración de FLUENT en Workbench proporciona a los usuarios con mejores conexiones bidireccionales y también permite que los datos y los resultados sean compartidos entre las aplicaciones mediante un sencillo arrastrar y dejar caer, por ejemplo, utilizar una solución de flujo de fluido en la definición de un límite de carga de una simulación de la mecánica estructural posterior.

La combinación de estos beneficios con la amplia gama de capacidades de modelado físico y los resultados rápidos y precisos que los software ANSYS tienen para ofrecer en uno de los paquetes de software más completos para el modelado, disponibles en el mundo de hoy.

3. SOLIDWORKS



SolidWorks es un programa de diseño asistido por ordenador para modelado mecánico desarrollado en la actualidad por SolidWorks Corp., una subsidiaria de Dassault Systemes (Francia), para el sistema operativo Microsoft Windows.

Es un modelador de sólidos paramétrico. Fue introducido en el mercado en 1995 para competir con otros programas CAD como Pro/Engineer, NX, Solid Edge, CATIA y Autodesk Mechanical Desktop.

El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en trasvasar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada.

Las herramientas que provee solidworks ayudan desde el modelado en 3D, la validación (simulación o análisis CAE), así como administración de datos de los productos o datos de ingeniería, y la documentación de productos (creación de manuales, instructivos, guías).

El software de diseño SolidWorks 3D ayuda a diseñar mejores productos con mayor rapidez. SolidWorks provee de herramientas que ayudan a innovar y diseñar en menos tiempo y a un menor costo.

SolidWorks Premium, es la herramienta de diseño que en un solo producto provee herramientas para:

- * Modelar productos de plástico, lamina, estructurales, moldes, componentes mecánicos, tuberías, cableados, etc...

- * Con SolidWorks Simulation, podrá validar (realizar análisis de elemento finito) cualquier producto con distintos tipos de restricciones, contactos y condiciones que generan resultados tales como esfuerzos, deformaciones o tensiones, factores de seguridad etc.

- * Simular el funcionamiento y accionamientos mecánicos obteniendo velocidades, aceleraciones, torques, potencias etc. Incluso el alcance de SolidWorks Motion, permite realizar simulaciones cinemáticas reales.

- * Administración de datos, para llevar un control personal de los documentos, revisiones, y modificaciones, las herramientas incluidas en SolidWorks Premium ayudan a evitar errores o confusiones por falta de registro y control de sus documentos.

ANEXO 3



REGLAMENTO TÉCNICO CAR CROSS.

A.- Para el año 2010 la versión de motor más moderna admitida será la del MODELO 2008.

B.- El concursante deberá estar en posesión del manual de taller original del fabricante del motor.

1) MOTOR

El motor deberá ser de estricta serie (de origen) y no se permite modificación alguna y seguirá las condiciones siguientes:

1.1. El aligerado, limado, mecanizado, pulido, equilibrado o cualquier clase de tratamiento físico, químico o mecánico de cualquiera de los elementos del motor están prohibidos. También esta prohibida la adición o eliminación de material a cualquier pieza del motor. No se pueden añadir o eliminar piezas al motor. Sólo se autoriza lo siguiente:

1.2. Se permite anular o eliminar los dispositivos anti-polución del motor.

1.3. El motor deberá contar con un sistema de puesta en marcha con los medios disponibles a bordo del vehículo. Se prohíbe expresamente el uso de baterías auxiliares exteriores.

1.4. El escape es libre, siempre que cumpla lo siguiente:

La salida del escape será por la parte trasera del vehículo y estará situada a un máximo de 80 cm. y un mínimo de 10cm. respecto al suelo. Se debe evitar que los gases de escape puedan perjudicar al piloto del vehículo situado detrás. Ningún elemento del escape sobrepasará el perímetro de la estructura del chasis, ni de la carrocería vistos desde arriba.

Es obligatorio que el escape cumpla el límite de ruido establecido en el Art. 8.1.2 del presente Reglamento.

1.5. Los radiadores de agua NO podrán sobresalir del perímetro del chasis ni de la carrocería y estarán situados por detrás del habitáculo del piloto, sin que puedan estar en contacto con él.

1.6. Se autoriza el montaje de un radiador de aceite cuando el motor no lo tenga de origen o sustituirlo por otro en caso de tenerlo, siempre que NO se modifique el motor con su instalación, sólo se permite adaptar los racores o conductos de entrada y salida del aceite.

Deberá respetar toda la normativa sobre radiadores y conducciones del presente reglamento.

1.7. El vehículo deberá estar equipado con una batería sólidamente fijada y protegida. Si se sitúa cerca del habitáculo debe estar recubierta por una protección aislante y estanca.

1.8. Los sistemas de corte de encendido (Cut-off y/o similares) automático para cambiar de marcha están autorizados.

1.9. Se permite la instalación de una bomba de gasolina eléctrica que sustituya a la original del vehículo del que procede el motor siempre que respete toda la normativa que le sea de aplicación del presente reglamento. El regulador de presión de gasolina original puede ser sustituido por otro regulable manualmente.

1.10. Se permite la pulverización exterior de agua sobre los radiadores, siempre que el único fin de dicha pulverización sea la refrigeración de los mismos. El dispositivo no debe situarse por fuera del perímetro del chasis o carrocería, no superarán los 2 litros de capacidad y deberán cumplir con el art. 10.1 del presente reglamento.

1.11. Además los motores de inyección tendrán en cuenta:

1. Que todos los periféricos del motor (sensores, alternador, motor de arranque, caja de admisión, trompetas, etc) deberán ser de estricta serie (de origen) y no se permite modificación alguna, todos deben funcionar correctamente y no se permite su anulación o desactivación.

2. Únicamente se pueden eliminar los cables, sensores y/o actuadores que no envíen información a la centralita y que carezcan de función de la instalación eléctrica original (Faros, intermitentes, bocina, piñas de conmutadores, sensor de pata de cabra y similares), se puede modificar el cableado eléctrico en lo que se refiere a la longitud de los cables, pero NO en cuanto a su sección y/o funciones. Se puede sustituir el conmutador de arranque original por otro, y la llave de contacto por el cortacorrientes.

3. El aspecto exterior de la centralita y todos sus conectores deben permanecer de origen, mantener su función original y ser intercambiables con la centralita original. El interior de la centralita es libre.

1.12. Los motores de carburadores tendrán en cuenta:

1. Que debe mantenerse el sistema de carburación de origen del motor, siendo libres únicamente sus reglajes (chicles, agujas y muelles). La caja del aire de admisión y sus tomas de aire son libres.

2. El sistema de encendido, centralita, bujías, cableado, etc., es libre.

3. El alternador puede eliminarse.



2) TRANSMISIÓN

- 2.1. La caja de cambios y el embrague, serán los de origen del motor sin modificación alguna. Sólo se permite el accionamiento de las marchas con una palanca manual con esquema secuencial. Se permite cambiar el sistema de accionamiento del embrague, mecánico por otro hidráulico o viceversa.
- 2.2. La relación final (piñon-corona) es libre. Se recomienda montar un protector de cadena eficaz.
- 2.3. Se prohíbe el uso de diferenciales.

3) CHASIS Y CARROCERÍA

- 3.1. Todos los vehículos contruidos a partir del 1/01/2010, deben tener su estructura diseñada para permitir el anclaje de los cinturones arnés de acuerdo a las especificaciones necesarias para el uso del sistema de retención para la cabeza (HANS) por parte del piloto, **así como para poder ser equipados con asientos homologados FIA, que serán obligatorios a partir de esta fecha.** Además, todos los vehículos contruidos a partir del 01/01/03 y todos los vehículos equipados con motor de inyección deberán tener una homologación de la R.F.E. de A., basada en un estudio técnico de resistencia de la estructura (chasis) que cumpla las condiciones expuestas en el Anexo 1 añadido al final de este Reglamento Técnico. Todos los chasis deberán tener una placa soldada en lugar visible del mismo, claramente identificativa, en la cual se reflejen los siguientes datos:

- Fabricante.
- Fecha de fabricación.
- Número de serie.
- Número o referencia de homologación.

El concursante deberá estar en posesión de la documentación necesaria que acredite la homologación por parte de la R.F.E. de A. de su vehículo.

- 3.2. Las dimensiones máximas de los vehículos, incluida la carrocería, serán las siguientes:

Longitud: 2.600mm.

Anchura: 1.600mm.

Altura: 1.400mm.

- 3.3. El chasis del vehículo estará constituido por una estructura tubular que acoja los elementos mecánicos y proporcione al piloto la protección necesaria en caso de vuelco o accidente. Este chasis debe cumplir las especificaciones siguientes:
 - Estará contruido en tubo de acero al carbono no aleado, estirado en frío, sin soldadura, con un contenido en carbono máximo de 0.22%. El diámetro mínimo de este tubo será de 30mm. y su espesor mínimo de 2mm.
 - Deberá existir un arco de seguridad delantero y otro central unidos por la parte superior.
 - El diámetro mínimo de estos arcos será de 40mm. y su espesor mínimo de 2mm.
 - La línea trazada entre la parte superior de los arcos central y delantero debe superar, como mínimo, en 5cm. el casco del piloto.
 - La distancia mínima entre el extremo anterior del chasis y los pedales será de 10cm.
 - Deben instalarse dos tirantes longitudinales fijados al arco central y que se desplacen hacia atrás lo máximo posible.
 - El piso o suelo del vehículo será rígido desde la parte delantera y, como mínimo, hasta la vertical que pasa por el arco central, ha de ser de aluminio ~~con un espesor mínimo de 4mm,~~ o de chapa de acero con un espesor mínimo de 2 mm.
 - Ninguna parte del vehículo presentará aristas vivas o cantos cortantes.
 - No se autoriza en ningún caso refuerzos, protecciones u otros elementos, cuya única finalidad no sea la descrita en los apartados anteriores.
 - A criterio de los Comisarios Deportivos, y previo informe de los Comisarios Técnicos, podrá no autorizarse la salida a un vehículo que presente elementos protectores que a su vez puedan ser elementos agresivos.
- 3.4. La carrocería debe ser rígida, de material duro y opaca, presentar una terminación irreprochable y no tener carácter provisional, debiendo estar firmemente sujeta al chasis mediante un mínimo de 4 anclajes: Dos en la parte delantera, y dos en la trasera situados en lugares de difícil contacto con la tierra, protegidos de posibles golpes con otros vehículos.



- No podrá presentar ningún ángulo vivo, bordes cortantes o partes puntiagudas. Los ángulos y esquinas deben estar redondeados con un radio mínimo de 15mm.
- La carrocería, debe proteger de la proyecciones de piedras y otros objetos, tanto la parte frontal como laterales del vehículo.

La altura de esta carrocería será, como mínimo, de 420 mm. medidos desde el plano donde se ancla el asiento del piloto en el chasis hasta la parte superior.

- Visto el vehículo desde arriba todos los elementos mecánicos necesarios para la propulsión (motor, transmisión) deben estar cubiertos por la carrocería.
- Los paneles utilizados no podrán tener un espesor superior a 10mm.
- Es obligatoria la instalación de un techo rígido y opaco sobre el piloto, formado por una superficie fijada mediante abrazaderas. Esta estructura se aconseja que sea formada mediante la adición de una chapa de acero de 1,5 mm soldada a dicha estructura de seguridad por un mínimo de 20 soldaduras de una longitud mínima de 20 mm cada una. Se prohíbe taladrar los tubos de la estructura de seguridad. La carrocería podrá terminar también en la parte superior.

4) PROTECCIÓN DEL PILOTO CONTRA INCENDIOS Y QUEMADURAS

- 4.1. Debe colocarse una mampara vertical solidaria al suelo del vehículo y a los montantes del arco central, que se extenderá a toda la anchura de dichos montantes y su arista superior estará, como mínimo, por encima de los hombros del piloto y en ningún caso su altura será menor de 50cm. desde el suelo del vehículo.
- 4.2. Es obligatorio la instalación de deflectores, paneles o mamparas que protejan eficazmente al piloto de quemaduras producidas por cualquier órgano mecánico (radiadores, conducciones, tapones de relleno, botes de expansión, etc.) o por cualquier fluido del motor.
- 4.3. Es obligatorio el montaje de luces traseras según el Art. 2.12.3 del Reglamento Técnico general, situadas a una altura mínima de 70mm respecto al suelo.

5) PROTECCIONES LATERALES

Estarán formadas por una estructura en tubo de acero con unas dimensiones mínimas de 30mm. x 2mm. soldadas al chasis; situándose a ambos lados del vehículo, a la altura del eje de las ruedas, y ocupando, al menos, el 60% de la batalla. Estas estructuras se extenderán hacia el exterior, como máximo, hasta la línea imaginaria que une las entre las superficies externas de las ruedas **de un mismo lado**.

6) PARABRISAS Y ABERTURAS LATERALES

- 6.1. El parabrisas formado por vidrio laminado o policarbonato de un espesor mínimo de 5 mm podrá ser sustituido por una red metálica unida a la estructura del vehículo de manera segura y fija, que recubra toda su abertura. El paso de la malla estará comprendido entre 10mm. x 10mm. y 25mm. x 25mm., siendo el diámetro mínimo del hilo con el que se ha tejido la red de 1mm. La malla en todo su perímetro deberá estar soldada a un hilo con un diámetro mínimo de 5 mm.
- 6.2. Las aberturas laterales estarán cubiertas por una red metálica, fijada de forma segura a la estructura del vehículo, deberán tener un cierre de hebilla o similar. Las redes metálicas tendrán las mismas características que las utilizadas para el parabrisas. ~~En las redes plásticas o de cuerda su paso de malla será como máximo de 50mm. x 50mm.~~ y además deberán de ser suficientemente seguras según el criterio del Delegado Técnico del Campeonato de España de Autocross.

7) PESO

En ningún momento de la prueba el peso mínimo del vehículo podrá ser inferior a 310 Kg sin piloto, sin combustible, sin agua en el pulverizador y en orden de marcha. El uso de lastres está prohibido.

8) SUSPENSIONES

- 8.1. Los ejes estarán suspendidos, no estando permitido el montaje de topes rígidos entre los ejes y cualquier parte del chasis.
- 8.2. El número y tipo de los amortiguadores y de los resortes es libre. Se prohíbe interconectar hidráulicamente los amortiguadores entre sí.

9) DIRECCIÓN

- 9.1. El sistema de dirección es libre, actuando únicamente sobre las ruedas delanteras. Los sistemas por cadenas, cables o hidráulicos están prohibidos.
- 9.2. Es obligatorio usar un sistema de extracción del volante del tipo SPA.

10) DEPÓSITOS DE COMBUSTIBLE, ACEITE Y AGUA DE REFRIGERACIÓN

- 10.1. Todos los depósitos deben estar situados detrás del piloto y aislados del compartimiento del conductor por medio de paneles, de forma que, en el caso de fuga o rotura del depósito, no pueda pasar líquido a dicho compartimiento. Esto se aplica igualmente a los depósitos de combustible, con relación al compartimiento del



motor y al sistema de escape. La boca de llenado de combustible debe ser estanca y no sobresalir de la carrocería. El depósito del agua de refrigeración ha de tener un tapón equipado con una válvula de sobrepresión.

- 10.2. El depósito de combustible ha de ser metálico y debe estar situado detrás del asiento. Debe estar montado en una situación suficientemente protegida y firmemente anclado al vehículo. No puede estar en el compartimiento del piloto, y debe estar separado de él por un panel antifuego. El depósito de combustible debe estar instalado, al menos, a 30cm. de la culata y del sistema de escape, salvo si está separado de estos por un panel estanco e ignífugo.
- 10.3. Las conducciones de gasolina deben estar debidamente protegidas contra el fuego.
- 10.4. La capacidad máxima del depósito de combustible es de 10 litros.

11) RUEDAS Y NEUMÁTICOS

- 11.1. El diámetro máximo de la llanta es de 10" y su anchura máxima es de 8".
- 11.2. Se autorizan los neumáticos de tacos específicamente fabricados para estos vehículos.
- 11.3. Se permite la instalación en las ruedas traseras de tapacubos del mismo material que los faldones, fijados a la llanta de forma firme y segura mediante tornillos.
- 11.4. ~~Es obligatoria la instalación de faldillas de 5 mm de espesor y de una altura máxima respecto al suelo de 50 mm. Mirar 254 Anexo J.~~

Es obligatoria la instalación de faldillas de 5 mm de espesor, en posición transversal y de una altura máxima respecto al suelo de 50 mm cuando el vehículo se encuentre detenido, sin nadie a bordo. Se deben instalar detrás de todas las ruedas y estar compuestas de un panel de material plástico flexible de una anchura máxima igual a la anchura de la rueda completa más 50 mm. En proyección vertical, no deben sobresalir de la carrocería.

- 11.5. ~~Es obligatoria la instalación, detrás de todas las ruedas, de un panel de material plástico flexible de una anchura máxima igual a la anchura de la rueda completa más 50 mm.~~



ANEXO I

ESTRUCTURAS ANTIVUELCO REQUISITOS PARA SU HOMOLOGACIÓN POR LA R.F.E. de A.

Para la homologación de una estructura de seguridad por la R.F.E. de A., se deberá presentar un dossier, de acuerdo con la Normativa para la homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A., en el que queden reflejadas las siguientes características:

1. El constructor del vehículo deberá homologar su estructura de seguridad ante la RFE de A. que estará compuesta exclusivamente por:

- Tubos de acero al carbono no aleado, estirado en frío, sin soldadura, con un contenido en carbono máximo de 0.22%. El diámetro mínimo de este tubo será de 30 mm y su espesor mínimo de 2mm.
- Deberá existir un arco de seguridad delantero y otro central unidos por la parte superior. El diámetro mínimo de estos arcos será de 40mm y su espesor mínimo de 2mm.

2. En el dossier de homologación, deberá presentar un estudio de resistencia de materiales firmado por un técnico cualificado colegiado, en el que se demuestre que dicha estructura resiste las siguientes sollicitaciones:

A) 2 veces su peso lateralmente (2P).

B) 6 veces su peso longitudinalmente en ambos sentidos (6P).

C) 8 veces su peso verticalmente (8P).

En dicho estudio, deberá tenerse en cuenta que P se deberá aumentar en 75 Kg Siendo P el peso mínimo del vehículo en condiciones de carrera.

En la totalidad de la estructura no se debe producir rotura, ni deformación plástica superior a los siguientes valores en función de las sollicitaciones de carga:

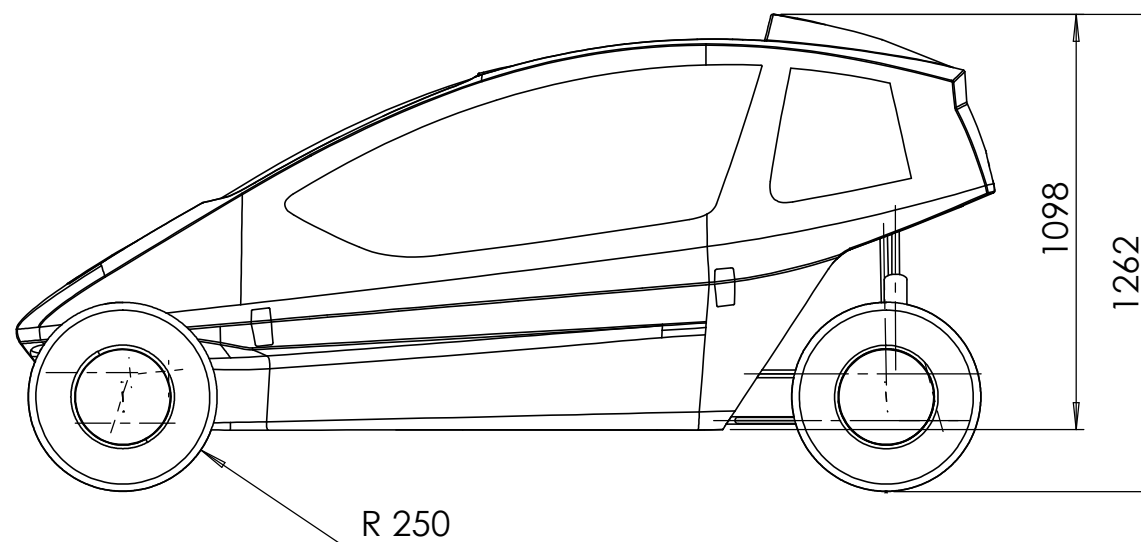
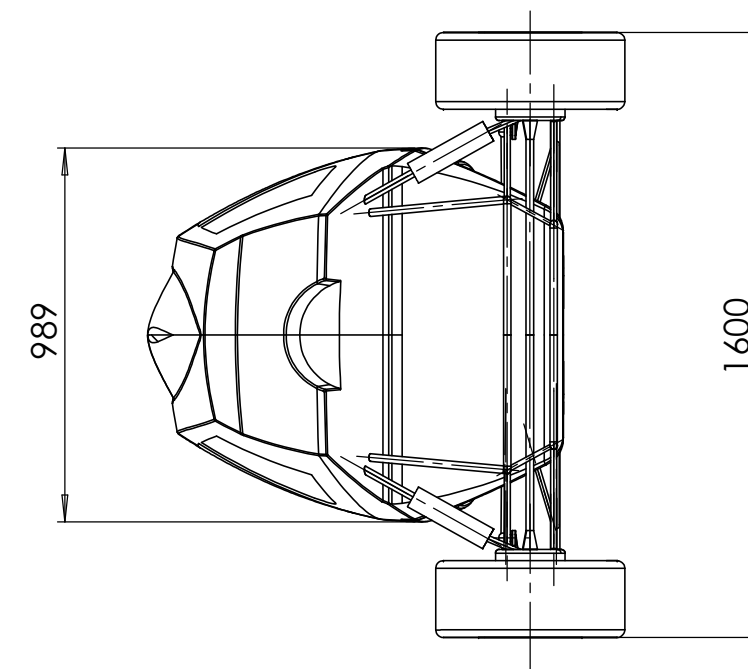
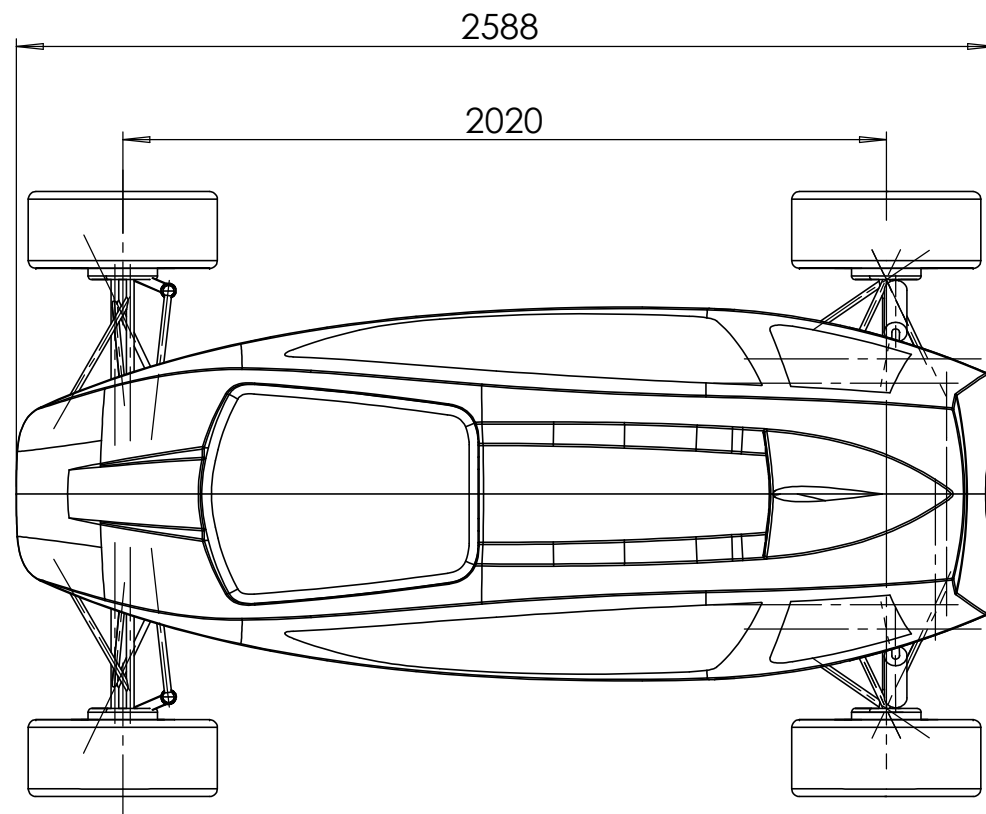
Caso A) 50 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.


Caso B) 100 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.

Caso C) 50 mm, medidos bajo carga, a lo largo del eje de aplicación de la carga.

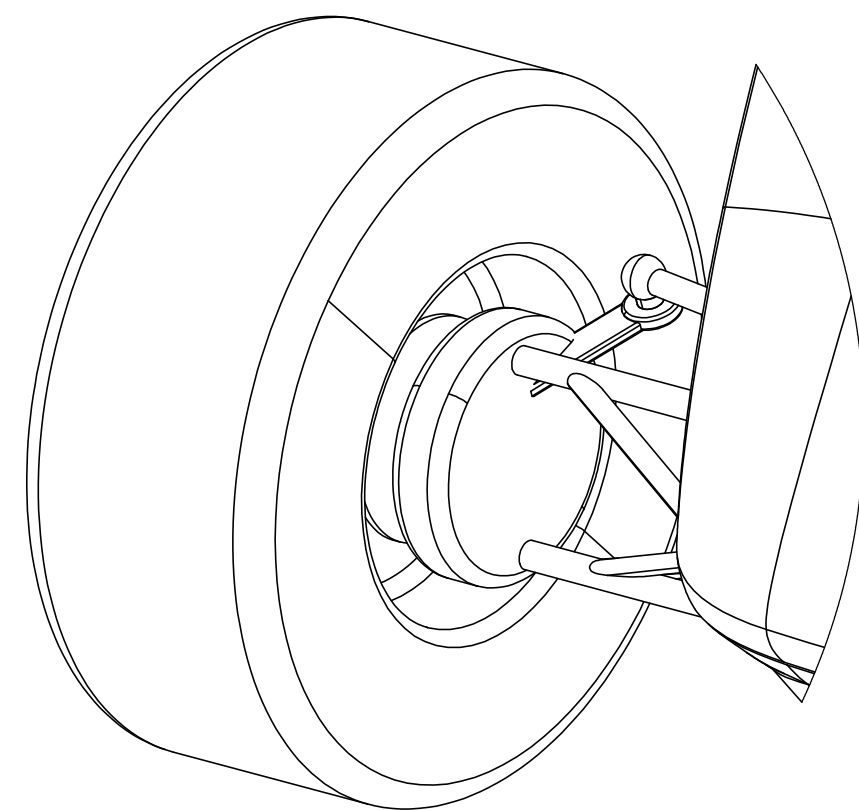
Dicho dossier deberá contener además, todos los puntos recogidos en la Normativa para la homologación de Estructuras de Seguridad ante la R.F.E. de A.

ANEXO 4



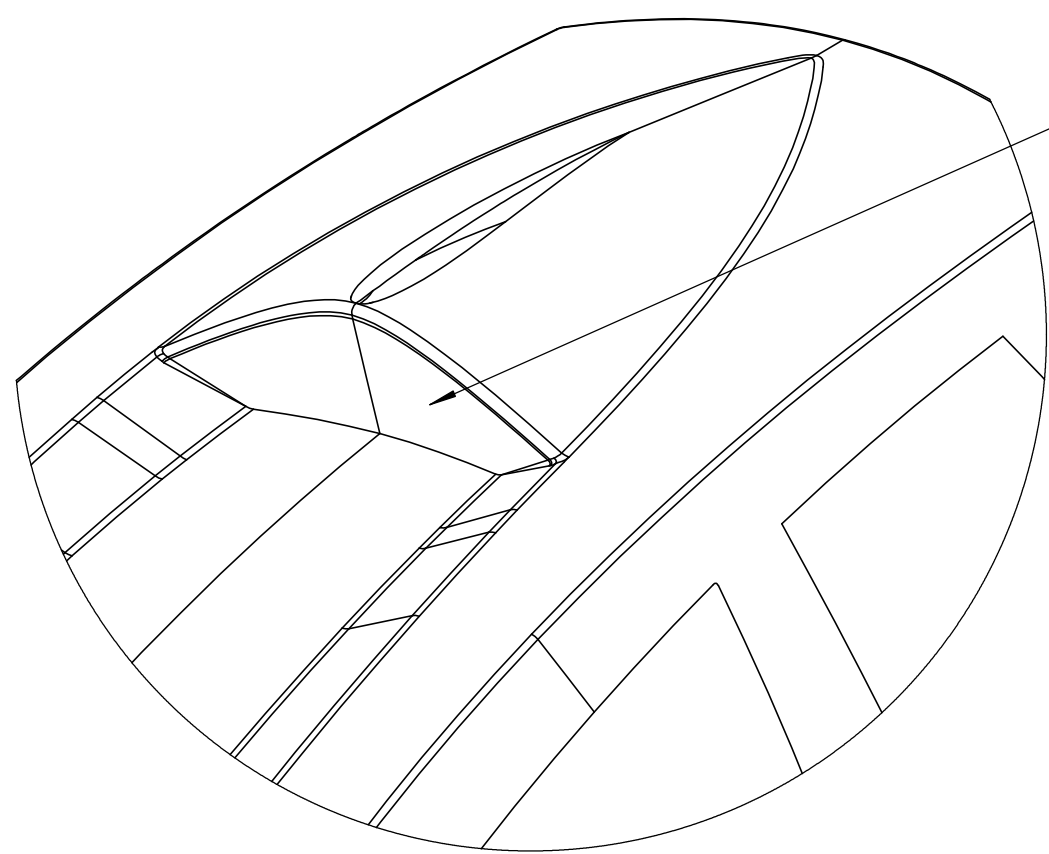
	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		
PROYECTO: VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA, ANÁLISIS AERODINÁMICO Y DISEÑO EXTERIOR DE UN PROTOTIPO CAR-CROSS		REALIZADO: ARTETA TIRAPU, ISMAEL		
PLANO: VISTAS Y DIMENSIONES EXTERIORES		FIRMA:		
		FECHA:	ESCALA:	Nº PLANO:
		18/04/12	1:20	1

DETALLE B
ESCALA 1 : 5

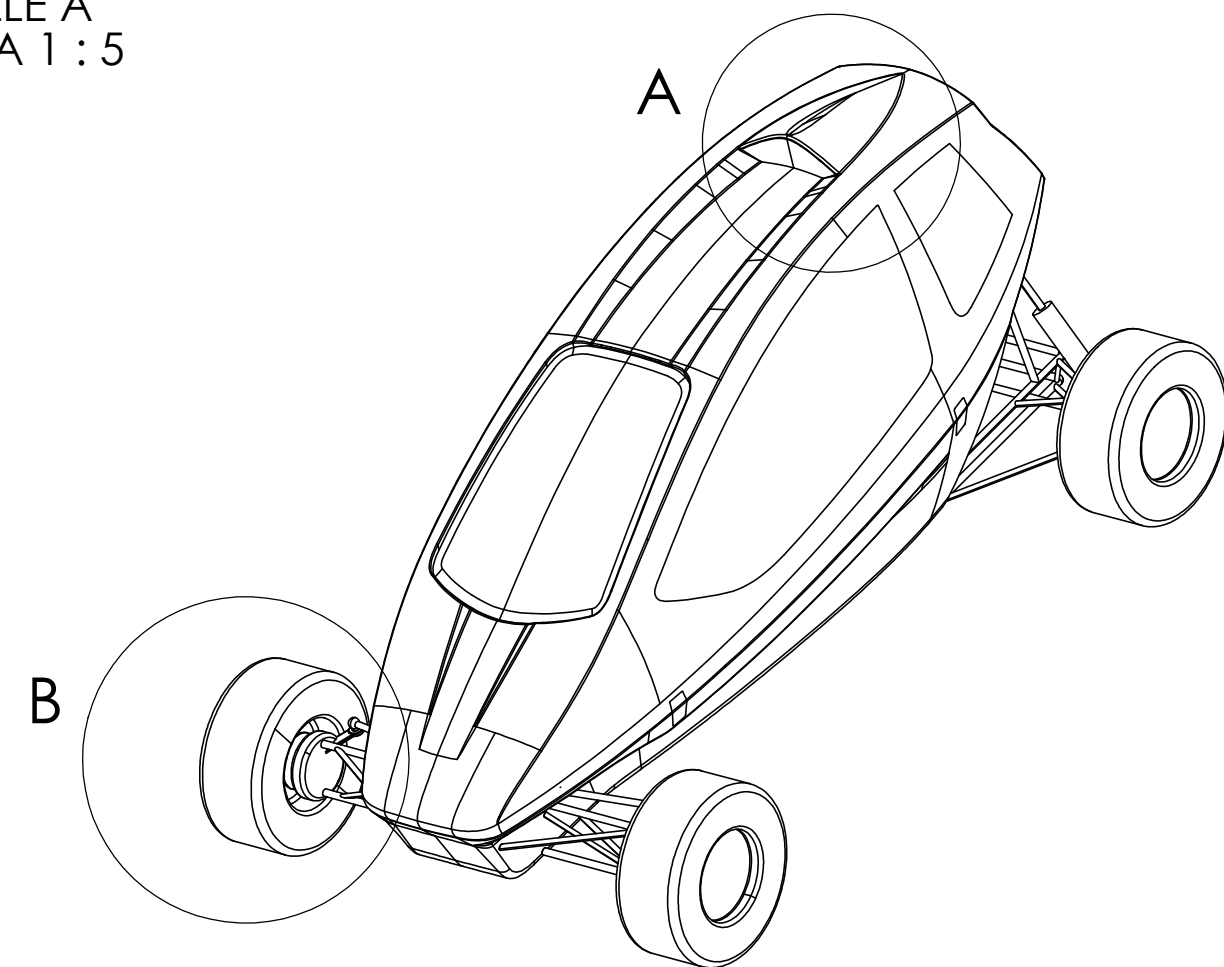



SISTEMA DIRECCIÓN

TOMA DE AIRE

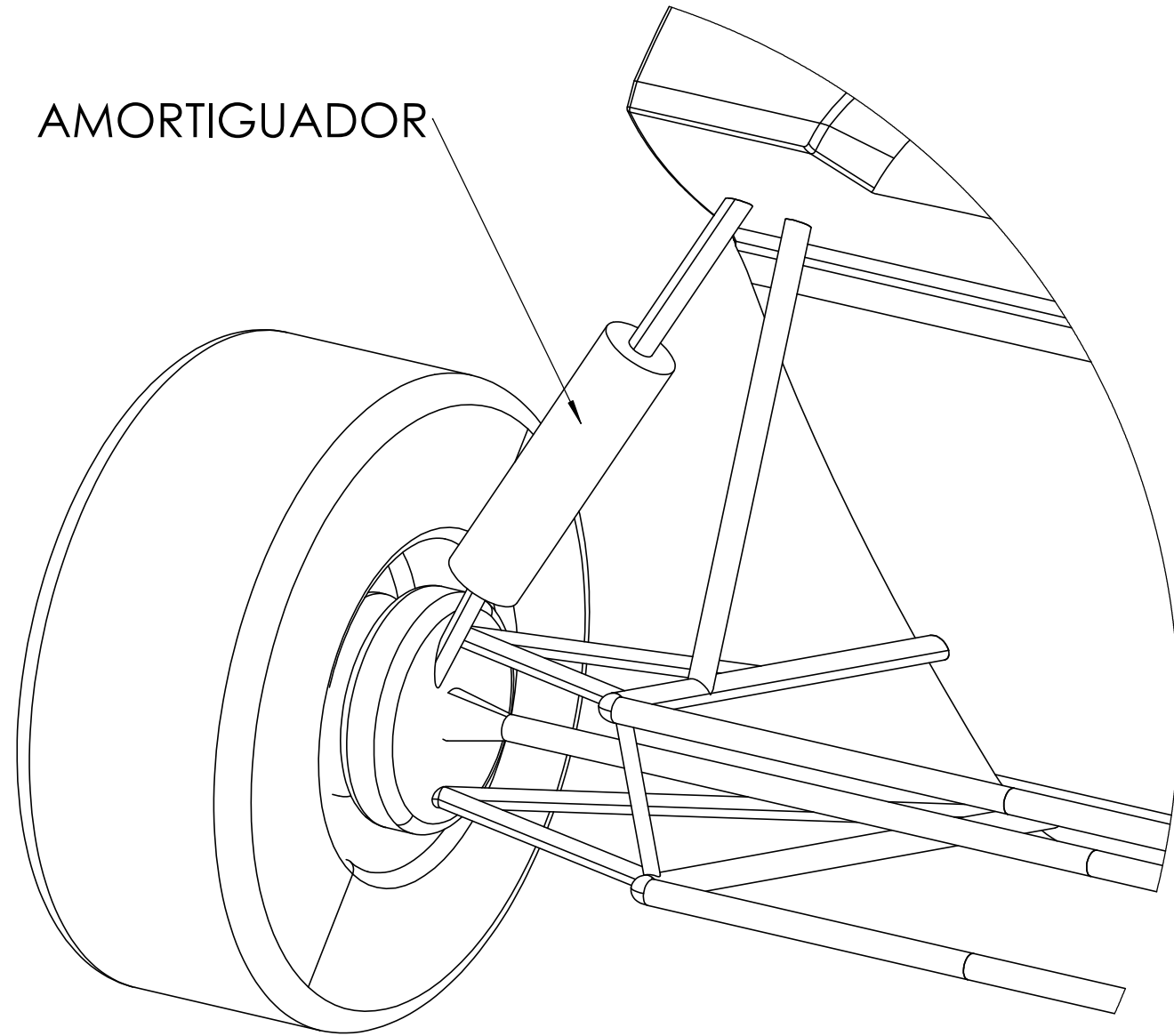


DETALLE A
ESCALA 1 : 5

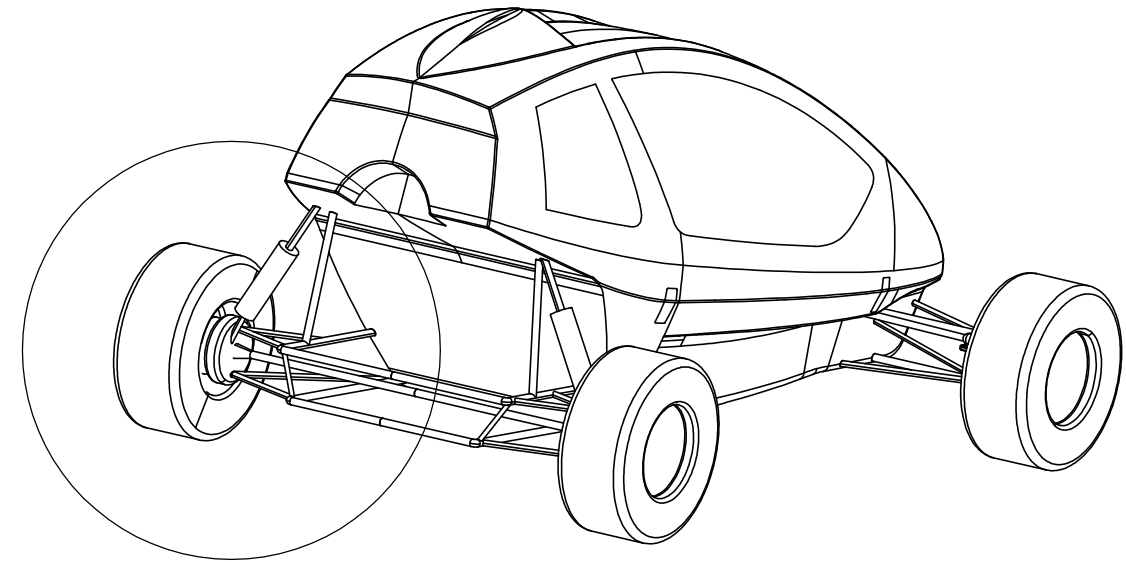


	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		
PROYECTO: VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA, ANÁLISIS AERODINÁMICO Y DISEÑO EXTERIOR DE UN PROTOTIPO CAR-CROSS		REALIZADO: ARTETA TIRAPU, ISMAEL		
PLANO: SISTEMA DIRECCIÓN Y TOMA DE AIRE		FIRMA:		
		FECHA: 18/04/12	ESCALA: 1:20	Nº PLANO: 2


AMORTIGUADOR

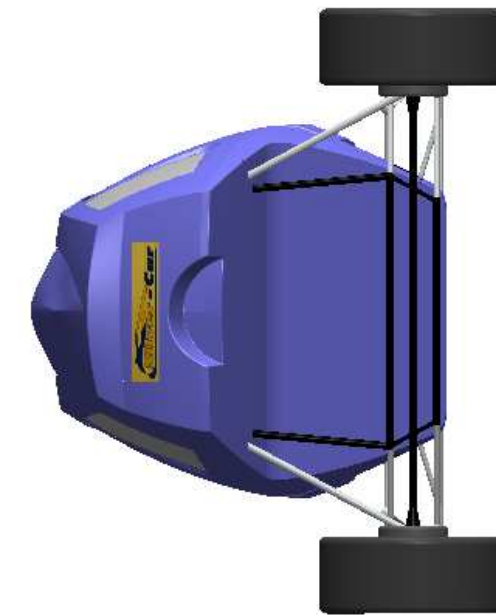



DETALLE A
ESCALA 1 : 5




A

	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		
PROYECTO: VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA, ANÁLISIS AERODINÁMICO Y DISEÑO EXTERIOR DE UN PROTOTIPO CAR-CROSS		REALIZADO: ARTETA TIRAPU, ISMAEL		
PLANO: SUSPENSIÓN TRASERA		FIRMA:		
		FECHA: 18/04/12	ESCALA: 1:20	Nº PLANO: 3



	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:		
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL		
PROYECTO: VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA, ANÁLISIS AERODINÁMICO Y DISEÑO EXTERIOR DE UN PROTOTIPO CAR-CROSS		REALIZADO: ARTETA TIRAPU, ISMAEL		
PLANO: VISTAS DISEÑO EXTERIOR		FIRMA: FECHA: 18/04/12 ESCALA: 1:20 Nº PLANO: 4		



	E.T.S.I.I.T.	DEPARTAMENTO:	
	INGENIERO TÉCNICO INDUSTRIAL M.	DEPARTAMENTO DE PROYECTOS E ING. RURAL	
PROYECTO: VALIDACIÓN DE LA GEOMETRÍA, ANÁLISIS AERODINÁMICO Y DISEÑO EXTERIOR DE UN PROTOTIPO CAR-CROSS	REALIZADO:		ARTETA TIRAPU, ISMAEL
	FIRMA:		
PLANO:	DISEÑO EXTERIOR	FECHA:	ESCALA:
		18/04/12	1:10
			Nº PLANO:
			5