

Resumen

Este trabajo pretende, como su título indica, estudiar los factores y elementos que inciden en la ergonomía de un coche de *Formula Student*, competición internacional de monoplazas en la que la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona participa desde hace ocho temporadas. Estos elementos son la posición de conducción, los mandos y los elementos de sujeción del bólido.

Por otro lado, es también objetivo de este proyecto diseñar y fabricar nuevas propuestas de los elementos estudiados, para lo cual han sido analizadas las ventajas y desventajas de diferentes soluciones conocidas. Se ha intentado, en la medida de lo posible, explotar diversas tecnologías más o menos innovadoras al alcance del equipo, tales como la impresión 3D y el escaneado 3D.

No se pretende alcanzar la excelencia ergonómica de un monoplaza de esta categoría, sino ofrecer una visión posibilista de lo que se puede hacer en cuanto a su ergonomía partiendo de unos recursos limitados (tiempo, conocimientos y fondos).

Tampoco tiene como objetivo ser un recopilatorio exacto de todas las iteraciones realizadas, pero sí explicar los pasos seguidos y animar a reproducirlos y mejorarlos en un nuevo monoplaza, ya sea de la ETSEIB o de otra escuela. Como este trabajo es principalmente de utilidad para equipos de *Formula Student*, se presupone que ciertos procesos (como por ejemplo el laminado de fibra) se aprenden en el equipo y no se explican aquí. Aun así en la bibliografía complementaria se indica dónde encontrar ciertas explicaciones omitidas aquí.

En fin, "*Estudio y propuesta ergonómica de un Formula Student*" es un recopilatorio de diversas experiencias de diseño y fabricación de un estudiante de Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales en un equipo de *Formula Student*.

Sumario

RESUMEN	1
SUMARIO	3
1. GLOSARIO	5
2. PREFACIO	7
2.1. Origen del proyecto.....	7
2.2. Motivación.....	7
3. INTRODUCCIÓN	9
3.1. Objetivos del proyecto	9
3.2. Alcance del proyecto.....	9
4. POSICIÓN DE CONDUCCIÓN	11
5. MANDOS	15
5.1. Volante.....	15
5.1.1. Versiones anteriores	15
- Volante CAT01: OMP FORMULA QUADRO (comercial para karting)	15
- Volante CAT05e: Chapa aluminio + Molduras en carbono.....	17
- Volante CAT06/7e: Chapa carbono + mangos madera + cinta raqueta	19
5.1.2. Nueva versión	21
5.2. Cuadro de instrumentos (<i>Dashboard</i>).....	29
5.2.1. Versiones anteriores	29
- Dashboard CAT07e:.....	29
5.2.2. Nueva versión	32
5.3. Pedalería.....	35
5.3.1. Versiones anteriores	35
- Pedalería CAT07e:	35
5.3.2. Nueva versión	37
6. ELEMENTOS DE SUJECIÓN	41
6.1. Asiento	41
6.1.1. Versiones anteriores	41
- Asiento CAT07e (fibra de carbono en molde):.....	41
6.1.2. Nueva versión	42
6.2. Cinturones.....	47

6.2.1. Versiones anteriores	48
- Cinturones CAT07e (OMP):	48
6.2.2. Nueva versión (Sandtler)	48
6.3. Reposacabezas	51
6.3.1. Versiones anteriores	51
- Reposacabezas CAT07e (tirantes carbono):	51
6.3.2. Nueva versión.....	53
6.4. Protecciones interiores	55
- Protecciones interiores CAT08e.....	55
PLANIFICACIÓN TEMPORAL Y COSTES	59
CONCLUSIONES	63
AGRADECIMIENTOS	65
BIBLIOGRAFÍA	67
Referencias bibliográficas	67
Bibliografía complementaria	67



1. Glosario

FSAE: Abreviatura de *Formula SAE* (o *Formula Student*), competición estudiantil internacional entre universidades de todo el mundo que promueve la excelencia en ingeniería, donde los miembros de los equipos diseñan, construyen, desarrollan y compiten con pequeños monoplaza tipo fórmula.

ETSEIB Motorsport: Equipo de *Formula Student* de la Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona.

CAT08e: Octavo monoplaza del equipo ETSEIB Motorsport, cuarto eléctrico.

WRL: Ranking mundial de la FSAE

Mainhoop: Barra antivuelco situada verticalmente alrededor del o la piloto.

Fronthoop: Barra antivuelco situada sobre las piernas del o la piloto.

Braces: Barras de triangulación del *Mainhoop*.

Monocasco: Chasis de una sola pieza, en el caso que nos ocupa de fibra de carbono.

Powertrain: Tren de potencia del monoplaza (baterías, inversor y motor).

Cockpit: Puesto de conducción del monoplaza.

Dashboard: Cuadro de instrumentos o salpicadero del monoplaza, en inglés.

Quick release: Hebilla de apertura rápida a la que se anclan todas las cinchas del sistema de cinturones.

Driver Egress: Maniobra de emergencia que consiste en la evacuación del coche por parte del piloto, desde una posición completamente atada con los cinturones. Debe realizarse en menos de cinco segundos.

Laminado: Proceso por el cual se aplica resina a una fibra para obtener un material compuesto.

Rohacell: Material isotrópico usado como núcleo para estructuras sándwich con *composites*. Se suele presentar en láminas planas.

Nomex: Material en forma de panal de abeja usado como núcleo para aplicaciones de

material compuesto en que la pieza tiene curvas, por ejemplo.

STL: Formato digital de documentos 3D, basado en superficies.

DM: Madera de densidad media.

DRS: *Drag Reduction System* o “sistema de reducción de resistencia al avance”, consistente en un flap activo del alerón trasero.

Placa máster: Material poco poroso comúnmente utilizado para la fabricación de moldes que necesitan un buen acabado superficial.

(**NOTA:** Aunque algunos conceptos tienen traducción al castellano, se ha optado por el uso de vocablos anglosajones a lo largo de este documento por resultar así estas palabras más familiares a quienes están relacionados con el mundo de la FSAE)

2. Prefacio

2.1. Origen del proyecto

La realización de este trabajo surge de la implicación del autor en los proyectos de *Formula Student* CAT07e y CAT08e con el equipo ETSEIB Motorsport, de la escuela del mismo nombre, durante las temporadas 2013-2014 y 2014-2015.

En el primer año se encargó de la fabricación del asiento y del reposacabezas (entre otras cosas), condicionados por las formas del monocasco del vehículo, cuyo diseño venía dado en la edición anterior (CAT06e).

2.2. Motivación

Después de haber participado en las competiciones de FS Germany, FS Czech Republic y FS Spain con el CAT07e en la temporada 2014, los jueces de los eventos dieron al equipo el mismo *feedback* en cuanto a la ergonomía del coche y sus limitaciones. Partiendo de esta experiencia y del hecho de que para el CAT08e se diseñaría un monocasco totalmente nuevo, fue posible implementar un diseño ergonómicamente más adecuado desde un punto de vista integral, es decir, teniendo en cuenta todos los factores que inciden en la ergonomía, en este caso del piloto.

Los equipos que ocupan las posiciones más altas del WRL (ranking de la competición) llevan años haciendo estudios ergonómicos completos como norma general, y desde ETSEIB Motorsport consideramos que era el momento de aprovechar la oportunidad y abandonar los condicionantes de los coches anteriores del equipo.

3. Introducción

3.1. Objetivos del proyecto

Éste es un proyecto que tiene como objetivos estudiar la ergonomía de un coche de *Formula Student* y proponer una opción materializada en el CAT08e.

La ergonomía es la ciencia que trata acerca de la interacción entre un ser humano y su entorno de trabajo. En nuestro caso, entre el piloto o la piloto y un coche de *Formula Student*. Esta disciplina transversal involucra a una gran cantidad de piezas de las diferentes secciones del vehículo, tales como el chasis, la dinámica, la electrónica, etc. Así, podemos describir ergonomía como un objetivo de diseño en sí que afecta al diseño de todo lo que participa en la experiencia de conducción.

Para asegurarse de que un piloto medio podría explotar todo el potencial del CAT08e, varios puntos se han diseñado desde un enfoque ergonómico, entre otros.

Por primera vez se hace un estudio ergonómico completo previo de un Formula Student de la ETSEIB (o al menos no constan otros en los archivos del equipo, aunque sí hay documentos de la fabricación de ciertos elementos ergonómicos). La idea es aprovechar la experiencia adquirida con el CAT07e teniendo en cuenta sus puntos fuertes y sus debilidades para conseguir que el CAT08e pueda ser un coche competitivo, ya que un buen coche lo es cuando puede ser conducido de manera eficaz. Muchos coches con un gran potencial no llegan a demostrarlo cuando se ven limitados por una mala ergonomía.

Por otro lado, el fin de este trabajo es documentar el proceso seguido, para dejar constancia tanto del concepto seguido y de las observaciones hechas, como de los procesos de fabricación utilizados y otros también considerados. De este modo, empezar una bibliografía para el equipo, de manera que los futuros miembros tengan una base de la que partir y puedan valorar lo hecho hasta ahora para tomar nuevas decisiones tanto de diseño como de fabricación para los próximos bólidos.

3.2. Alcance del proyecto

A causa de las limitaciones de tiempo que implican el desarrollo completo de un monoplace en una temporada (9 meses, incluyendo diseño, fabricación y validación) se considera

solamente todo aquello que tiene que ver con la ergonomía del piloto. El principal objeto de estudio es la posición de conducción y los elementos que le dan forma, centrándose este trabajo tanto en su diseño como su fabricación. Estos elementos son el asiento, los cinturones, el reposacabezas, los mandos (volante, pedalería y cuadro de instrumentos) y otros detalles menores.

Como en todo proyecto complejo, en el diseño de un *Formula Student* es difícil pero también necesario llegar a un compromiso entre los distintos criterios desde los que se enfoca. Por tanto, tan importante es saber marcar terreno en según qué decisiones como saber cuándo ceder para conseguir un conjunto equilibrado y con sentido práctico (por poner un ejemplo un tanto extremo, no se puede permitir que la ubicación de las suspensiones delanteras impidan al piloto adoptar una postura lógica de las piernas; pero por otro lado, entre dos ángulos de espalda correctos, es posible que haya que desestimar el óptimo por temas de *packaging* de baterías).

La consideración de los elementos que influyen en el trabajo a la hora de montar y preparar el coche podría dar lugar a un estudio igualmente extenso e interesante, ya que tener en cuenta estos factores repercute en una mayor seguridad y mejores condiciones para los mecánicos, un menor tiempo de trabajo para las mismas operaciones y en general una mayor eficiencia para el equipo. De todos modos, como ya se ha mencionado, el estudio se restringe a la tarea de los pilotos, y se cuenta con la experiencia de los mismos para ello, tanto en pasadas ediciones como en la actual (temporada 2014-2015).



4. Posición de conducción

Con el fin de definir la ubicación del piloto a la hora de conducir, se fabricó una estructura de madera totalmente ajustable (Fig. 4.1), siendo posible modificar el ángulo del respaldo y diversas distancias entre los comandos del coche.



Fig. 4.1 (Fuente propia)

Para diseñar la estructura ergonómica, por llamarla de alguna manera, se decidió partir de diseños 3D ya existentes disponibles en la red (<https://grabcad.com/>), puestos a disposición del público por sus autores. Estos modelos fueron elaborados en su momento precisamente para determinar la posición de conducción de coches FSAE, y sirvieron al autor para tomar referencias en cuanto a medidas (no es lo mismo un FSAE que un F1 que un WRC) y para tomar ideas de como materializar ciertas regulaciones.

Estas referencias fueron útiles para diseñar una estructura que permitiera configurar posiciones lógicas para un automóvil de *Formula Student*, es decir, que sirviera para obtener varias posibilidades de ajuste de posturas de conducción dentro de un margen de configuraciones posibles para un coche de este tipo. El proceso de diseño de esta estructura está detallado en el **Anexo V, apartado I**.

Proceso iterativo:

Siguiendo diferentes criterios ergonómicos y no ergonómicos, como la comodidad, buena visibilidad, maniobrabilidad y por otro lado un bajo centro de gravedad, un área frontal mínima, etc. la posición de conducción fue establecida.

Para ello se trabajó en estrecha colaboración con los responsables de cada sección, especialmente con el responsable del chasis y el de las baterías del CAT08e. Podría decirse que el monocasco en particular y el coche en general fueron diseñados en torno al binomio piloto-baterías (Fig. 4.2):

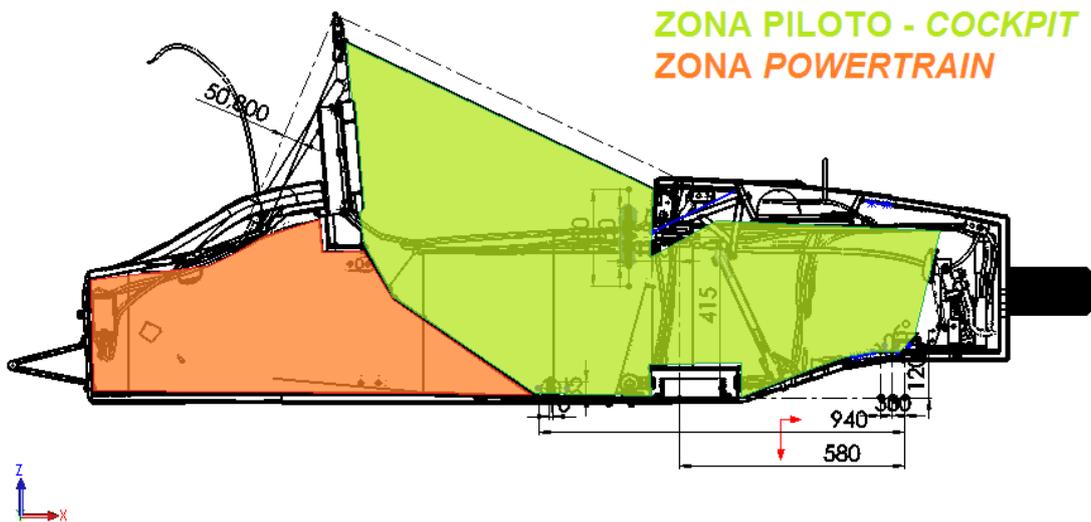


Fig. 4.2 (Fuente propia)

Como concepto base, los responsables del equipo decidieron colocar el pack de baterías justo detrás del piloto, y a partir de ahí el responsable del chasis hizo una propuesta de monocasco con su correspondiente posición de conducción, similar a la utilizada en el CAT07e pero bastante más reclinada, persiguiendo los objetivos antes mencionados de centro de gravedad más bajo y menor área frontal, entre otros.

Es en este momento en el que entra en juego el uso de la estructura ergonómica. Habiendo definido un ángulo para la espalda de unos 35° respecto a la horizontal por requerimiento del responsable de baterías, y teniendo un esbozo aproximado del monocasco, se procedió a probar posiciones con la estructura.

Ocho sujetos miembros del equipo se prestaron a dar su opinión probando distintas configuraciones lógicas y proponiendo su posición ideal, teniendo en cuenta los criterios antes comentados, además de ciertas restricciones que se iban imponiendo durante el diseño del coche. Éstas fueron la altura de los talones y el ángulo de los pedales en reposo, la primera a petición del responsable del monocasco y la segunda por el hecho de utilizar la misma pedalería del año anterior.

Lo ideal habría sido que estos sujetos fueran los pilotos encargados de conducir el coche en las competiciones, pero como en el equipo se escogen a mitad de temporada aún no se



podía saber (el criterio depende de su actuación en un karting). Por esto se escogieron de entre los miembros del equipo al más alto y al más bajo para dar su opinión de las posiciones, lo que tampoco garantiza que a alguien de una altura intermedia le vaya a ir bien la posición que admita a alto y bajo con regulaciones. Al final, de los ocho miembros, dos resultaron escogidos como pilotos.

Posición definitiva:

Una vez obtenidas las configuraciones de los sujetos, disponibles en el **Anexo V, apartado II**, se decidió crear una configuración (denominada internamente ERGMAX, Fig. 4.3), que consistía en colocar los distintos elementos (base del respaldo, volante, pedales, etc.) a la máxima distancia obtenida por alguno de los sujetos.

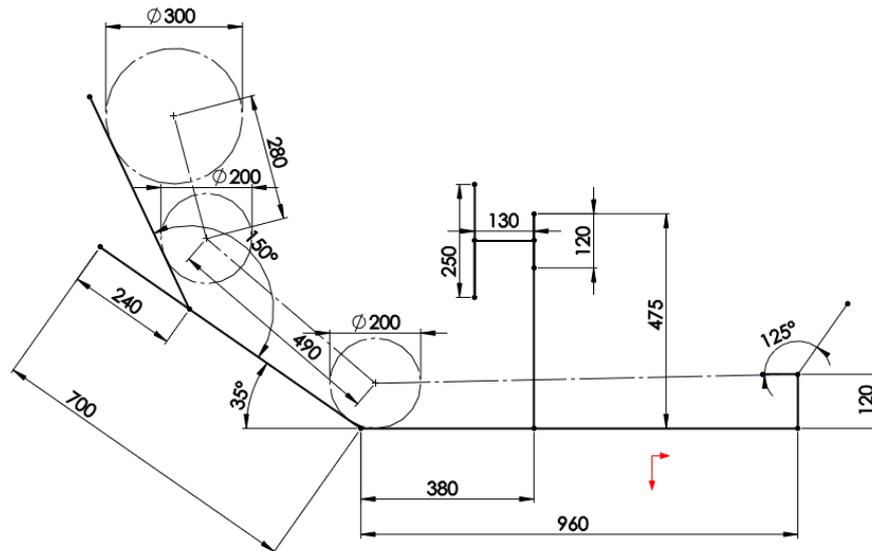


Fig. 4.3 Cumple las normas FSAE como un "puesto de conducción reclinada" (Anexo I, apartado VI) y se ajusta a diferentes conductores gracias a algunas regulaciones. (Fuente propia)

Por ejemplo, si tenemos a alguien con los brazos muy cortos y las piernas muy largas, le correspondería un volante muy cerca del asiento y alejado de los pedales. En cambio, si tenemos a alguien con los brazos muy largos y las piernas muy cortas el volante estaría más separado del asiento y más cerca de las piernas respecto al caso anterior. Como deberían compartir coche y los dos habrían de caber, la idea es escoger la distancia volante-pedales del primer sujeto y la distancia asiento-volante del segundo (es decir, las máximas).

De este modo, todos los sujetos del estudio caben en el coche, aunque no todos llegan a todos los elementos que han de tocar o accionar. Para solucionar este problema se recurre a las regulaciones de estos elementos, entre las que encontramos:

- Pedalería:

Se dispone de una regulación longitudinal máxima de 60mm (3 posiciones separadas 30mm cada una, Fig. 4.4), de modo que se abarcan las longitudes máximas y mínimas de x_2 (distancia entre la base del respaldo o punto de referencia **R** y el límite de la talonera).

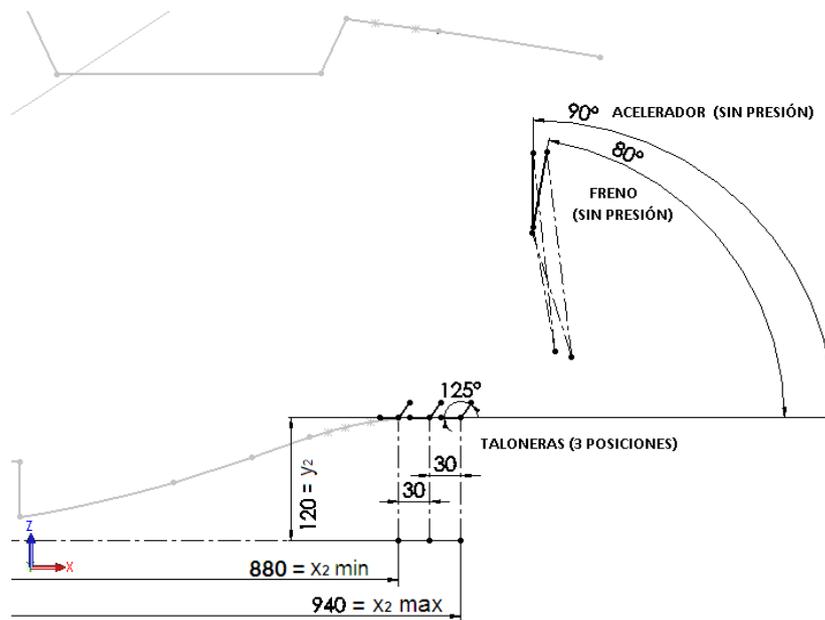


Fig. 4.4 (Fuente propia)

- Asiento:

Las regulaciones del asiento, como se comenta en el apartado **6.1.2**, se llevan a cabo mediante el uso de distintas unidades, permitiendo al piloto situarse más alto o más bajo, más adelantado o menos, o con más libertad de movimientos o más sujeto.

- Reposacabezas

Aunque en el equipo solamente se usó una versión de espuma en el reposacabezas, había disponible otra unidad con el mismo diseño pero de un grosor mayor. La substitución era tan sencilla como quitar uno y poner otro, al estar sujetos a la estructura mediante velcro.



5. Mandos

5.1. Volante

El volante de un coche es el elemento que une a su conductor con el sistema de dirección, en este caso un sistema que incluye dos ruedas directrices delanteras (lo más habitual para un vehículo de este tipo).

El manejo de la dirección de un automóvil es una de las operaciones más cansadas de realizar, sobre todo si tenemos en cuenta que estamos hablando de un monoplace de competición. Por ello, todo el conjunto de dirección (y el diseño del coche en general) han de permitir minimizar el esfuerzo a realizar para conducir el vehículo.

Teniendo en cuenta esto, es importante diseñar un volante que sea ligero y ofrezca un buen brazo de palanca (radio) y un buen agarre en cualquier ángulo de giro. Todo esto, sin olvidar que ha de ser suficientemente robusto como para soportar las sollicitaciones que va a recibir en competición e incluso un eventual accidente.

Puede albergar subfunciones, como por ejemplo ser soporte de botones, LED's e incluso pantallas de información, pero no debe olvidarse que la función de manejo es prioritaria y por ello no puede verse comprometida, como es obvio.

5.1.1. Versiones anteriores

- **Volante CAT01: OMP FORMULA QUADRO (comercial para karting)**

El volante empleado en los primeros *Formula* del equipo fue uno de tipo comercial diseñado para competiciones de karting, concretamente un OMP modelo FORMULA QUADRO (Fig 5.1). Este volante se puede obtener por 130'68 € [1] y está fabricado en aluminio anodizado en negro con el aro en caucho acabado en ante negro.

La chapa de aluminio plana forma la estructura principal y consta de tres radios, dos de los cuales (los horizontales) permiten seguir haciendo fuerza aun con el volante girado al máximo, utilizando los pulgares.

El aro es plano por abajo para dejar más sitio a las piernas y tiene hendiduras en la forma del caucho para ofrecer una forma anatómica que mejore el agarre de las manos. Tiene un

diámetro exterior máximo de 250 mm.



Fig. 5.1 (Fuente: www.rallystore.net)

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Hendiduras aro (formas adecuadas)
 - Textura y agarre
 - Buenos acabados (producto comercial)
 - Apoyo pulgares
- Inconvenientes a superar:
 - Peso elevado
 - Voluminoso por arriba (visibilidad pantalla)



- **Volante CAT05e: Chapa aluminio + Molduras en carbono**

Para la construcción del volante del CAT05e (Fig. 5.2), primer eléctrico del equipo, se decidió usar una chapa de aluminio como estructura principal, a la que se acoplaron un par de molduras de carbono (una delante y otra detrás) para dar forma a los mangos.

La estructura de aluminio estaba cortada a láser y las piezas de fibra de carbono fueron laminadas sobre sendos moldes. El resultado fue un volante más ligero que el comercial de OMP.



Fig. 5.2 (Fuente propia)

La idea del diseño era hacer un volante plano por abajo y por arriba, para tener mayor visibilidad de la pantalla y así poderla situar más baja en el cuadro de instrumentos. La forma de asir los mangos se supone de la siguiente manera: se pasan los cuatro dedos por el tramo de aro correspondiente y se apoya el pulgar sobre la parte superior.

El espacio para los dedos es correcto para manejar el volante con los guantes reglamentarios puestos, no así la forma de las molduras. Las supuestas formas anatómicas, si bien se aproximan al negativo de unas manos siendo unas empuñaduras, no son del todo acertadas, dado que fueron diseñadas directamente por ordenador, sin pasar por unas manos reales.

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Espacio para cuatro dedos
 - Más ligero que el de OMP
- Inconvenientes a superar:
 - Sin radio de apoyo para el pulgar
 - Hendiduras mangos inadecuadas y falta de agarre



- **Volante CAT06/7e: Chapa carbono + mangos madera + cinta raqueta**

Los volantes utilizados durante las temporadas 2012-2013 y 2013-2014 son el mismo. Éste consta de una estructura plana de sándwich de fibra de carbono y mangos en madera cubiertos por cinta de raqueta de tenis para mejorar el agarre (Fig. 5.3).

La estructura de sándwich consta de un núcleo plano de 10 mm de grosor de *Rohacell*, espuma rígida que se caracteriza por presentar una resistencia a la compresión isotrópica, y diversas capas de fibra de carbono laminadas encima.

Los mangos contorneados en madera fueron encolados a la estructura y posteriormente envueltos con cinta de raqueta para ofrecer un buen agarre ante grandes esfuerzos.



Fig. 5.3 (Fuente propia)

Como resultado tenemos un volante también plano por abajo y por arriba, más pequeño y con mejores acabados que el anterior y el más ligero hasta la fecha fabricado por el equipo. Esta ventaja se ve excesivamente contrarrestada por el tamaño, ya que éste no deja espacio suficiente para asir los mangos con los cuatro dedos por detrás y el pulgar por delante cuando se usan los guantes (obligatorios) y resulta muy pequeño con lo que exige mucho esfuerzo al piloto para girarlo.

Por otro lado, sus medidas venían condicionadas por la posición de conducción de los CAT06e y CAT07e, ya que siendo más grande no habría permitido el movimiento de los brazos, posiblemente.

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Más ligero que CAT05e
 - Mejores acabados que CAT05e
 - Textura y agarre
- Inconvenientes a superar:
 - Sin radio de apoyo para el pulgar
 - Demasiado pequeño para usarlo con guantes
 - Diámetro pequeño -> mucho esfuerzo en los brazos



5.1.2. Nueva versión

Para diseñar y construir el volante del CAT08e se planificaron las siguientes etapas:

Proceso de diseño:

- Análisis de alternativas y requerimientos:

Teniendo en cuenta los logros y defectos de los diseños anteriores, así como la normativa de la competición referente al volante (**Anexo I, apartado II**) y el hecho de incluir el control del DRS y de la pantalla, se plantearon una serie de objetivos:

- Ligereza
- Volumen contenido (tanto por arriba como por abajo)
- Diámetro suficiente
- Mangos ergonómicos y suficientemente anchos
- Radio de apoyo para el pulgar
- Buena textura y agarre
- Inclusión de botones (DRS y “Pasar pantalla”)

- Decidir materiales y fabricación:

Viendo el éxito del volante de los CAT06e y CAT07e en cuanto a acabados y relativa facilidad de fabricación, se optó por seguir el mismo proceso con modificaciones, explicado más adelante (en “**Proceso de fabricación**”). Se trata, básicamente, de una estructura principal tipo sándwich de fibra de carbono con mangos de madera cubiertos con cinta de tenis. A diferencia de otros procesos, en éste se prescinde del uso de moldes y por tanto del coste y la problemática que de ello deriva.

- Diseñar modelo inicial (de la estructura principal):

Partiendo de los objetivos marcados, se diseñó un primer modelo digital en 3D mediante el programa SolidWorks2013, correspondiente a la estructura principal del volante (Fig.

5.4):

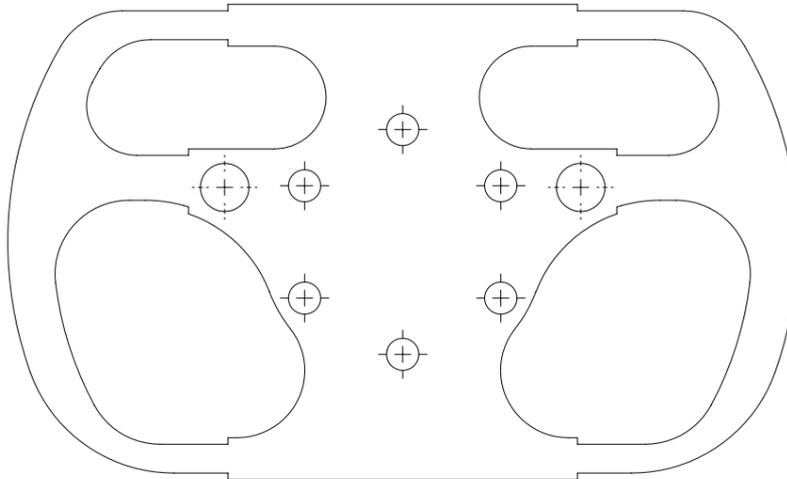


Fig. 5.4 (Fuente propia)

- Iterar hasta diseño definitivo (de la estructura principal):

Este diseño fue impreso en ABS (Fig. 5.5) mediante una impresora 3D en dos partes (por cuestiones de capacidad de la impresora). Una vez materializado, se verificó con los guantes puestos que las dimensiones eran demasiado reducidas, más aun teniendo en cuenta que faltaba el volumen de los mangos.

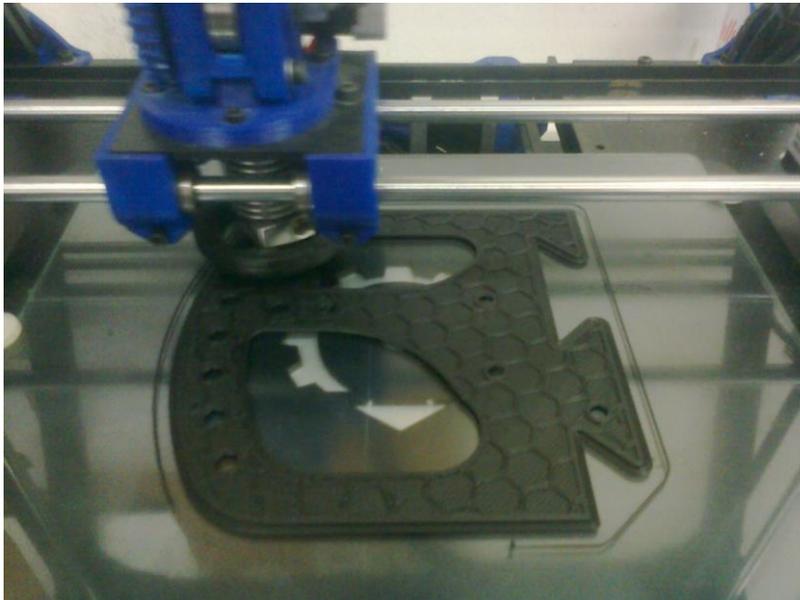


Fig. 5.5 (Fuente propia)

Se procedió entonces a modificar los puntos conflictivos tales como ensanchar las partes



superior e inferior para dejar más espacio a los dedos, reducir algunos radios de curvatura y otros detalles menores. Con estos cambios realizados, se imprimió otra mitad para verificar el modelo nuevamente (sólo era necesaria una mitad ya que el volante es simétrico y esa parte podía unirse a una de las anteriores y así compararlas). Este proceso se repitió iterativamente cuatro veces hasta dar con una forma y medidas aceptables.

- Fabricar modelo (añadir mangos a la estructura):

Para el diseño del volante del CAT08e, se decidió que éste debía incluir una etapa en la que intervinieran manos reales, de modo que la forma final fuera un reflejo de éstas y no una aproximación teórica.

Así que ya con el modelo de la estructura principal impreso en ABS, se sujetó este a un soporte (el mismo usado en la estructura regulable multiposición) para poder trabajar con el volante en voladizo (Fig. 5.6). A partir de ello se creó un mango (el derecho, dado que era el que correspondía a la estructura de ABS escogida) con arcilla moldeada a mano. En el **Anexo II, apartado I** se describe en detalle este proceso.

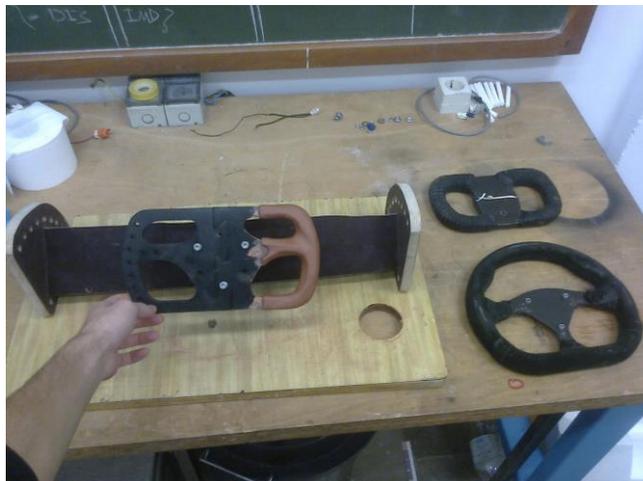


Fig. 5.6 (Fuente propia)

Este moldeado se hizo en base a la posición de las manos planteada para asir el volante: el pulgar apoyado en el radio diseñado a tal efecto, el índice ligeramente extendido por detrás del mismo y el dedo corazón, anular y meñique agarrando la parte inferior del aro. Los botones fueron colocados para ser accionados extendiendo los pulgares hacia el centro. Éstos podrían haber sido colocados en las esquinas superiores, siendo el movimiento de los pulgares incluso más sencillo; sin embargo, esta opción fue

descartada ya que algunos pilotos del equipo comentaron que preferían conducir normalmente con los pulgares extendidos hacia arriba, lo que supondría un potencial peligro dado que la función del botón derecho es la de activar el DRS (*Drag Reduction System*) o “sistema de reducción de resistencia al avance” y que podría desencadenar en la pérdida de control del vehículo. El botón izquierdo es el encargado de pasar la información de la pantalla central.

Con la arcilla aún fresca se pasó el volante a los pilotos para que modificaran los detalles que les podían incomodar y dieran su opinión para mejorar la forma.

Una vez seca se volvió a comprobar la idoneidad de tamaño y forma con los guantes puestos (en fresco esto no era posible) y se vio otra vez que faltaba algo de espacio para los dedos inferiores. Una vez más se rediseñó el modelo de la estructura en ABS para agrandarlo ligeramente y repetir el proceso de la arcilla, dando así con la forma definitiva del modelo del volante en plástico y barro.

- Digitalizar modelo:

Habiendo obtenido ya el modelo completo definitivo del volante, el siguiente paso fue llevarlo a digitalizar. Para ello se contó con la empresa AsorCAD Engineering, con más de 25 años de experiencia en tecnologías de escaneado 3D, ingeniería inversa, metrología 3D, diseño de producto y utillajes y tratamiento de nubes de puntos.

Según ellos, *“el escaneado 3D, también llamado digitalizado 3D, es la técnica que permite obtener una malla o nube de puntos tridimensional de cualquier objeto físico para convertirlo en un archivo digital, manipulable con Software CAD 3D, preferiblemente con software específico.”* [2]

Dado que el programa de modelado 3D usado en la escuela y en el equipo es SolidWorks2013, se nos facilitó por parte de AsorCAD el modelo digital del volante en formato STL (*STereo Lithography*). *“Éste es un formato de archivo informático de diseño asistido por computadora (CAD) que define geometría de objetos 3D, excluyendo información como color, texturas o propiedades físicas que sí incluyen otros formatos CAD”* [3]. La ventaja de un archivo en STL es que la mayoría de programas de CAD pueden convertir un fichero nativo en STL y viceversa, es decir que lo pueden convertir en formato nativo (SolidWorks en nuestro caso) para así poder editarlo (Fig. 5.7). En el **Anexo II, apartado II** se explica el tratamiento informático llevado a cabo a partir del fichero original.



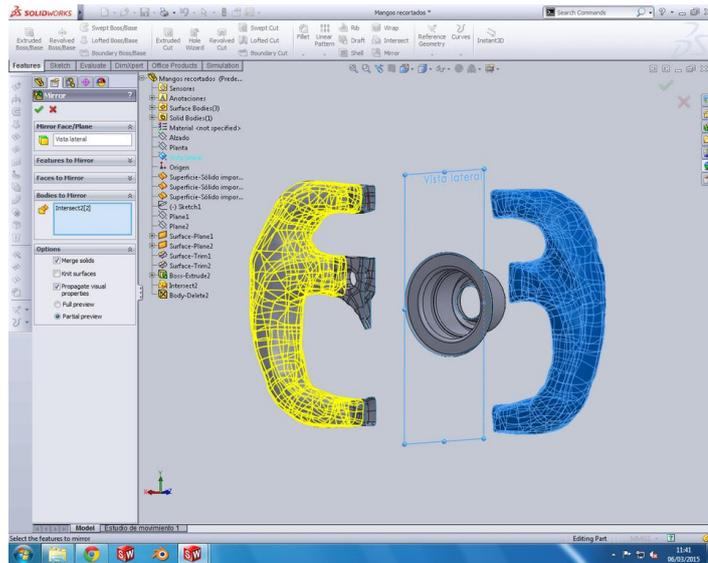


Fig. 5.7 (Fuente propia)

El hecho de escoger la arcilla como material para moldear los mangos en lugar de plastilina es una cuestión de practicidad y en cierto modo, seguridad. Con la plastilina se podrían haber obtenido más detalles, pero como contrapartida tendríamos un modelo más frágil, ya que en un descuido podría apoyarse en los mangos y perder la forma deseada; hay que tener en cuenta que para la digitalización se trasladó el modelo del volante de Barcelona a Cerdanyola del Vallès (de la universidad a AsorCAD). Además, el uso del fango permite suavizar aristas más fácilmente, evitando así el tener que suavizar digitalmente el modelo escaneado.

Proceso de fabricación:

- Fabricar prototipo:

Las diferentes partes que componen el volante son, como en el modelo de plástico y arcilla, la estructura principal y los mangos, con la diferencia de incluir ahora los botones y el sistema de desconexión rápida a la columna de dirección. La elaboración de cada uno de estos elementos, a grandes rasgos, fue como sigue:

- **Estructura principal:** la parte que ejerce como cuerpo del volante, es decir, aquella a la que se anclan el resto de componentes, está fabricada a partir de una plancha de *Rohacell* de 10mm de grosor cortada a mano a medida, y laminada por encima con tres capas de fibra de carbono. Incorpora 6 insertos cilíndricos de aluminio destinados a soportar la

presión que ejercen los tornillos al ser apretados contra el *quick release*, evitando así que el núcleo de *Rohacell* se comprima.

- **Mangos:** los asideros del volante fueron mecanizados en DM partiendo del modelo digitalizado por AsorCAD y posteriormente ensamblados con cola epóxica. Previamente se hizo una prueba en ABS impreso pero se descartó esta opción al ser el DM lijable a mano y así adaptable a las imperfecciones de la estructura de carbono, además de presentarse más robusto que el plástico (no macizo).
- **Quick release:** el sistema de desconexión rápida o *quick release* en inglés, es un conjunto de dos piezas que unen el volante en sí con la columna de dirección. Es un producto comercial y a diferencia de la versión utilizada en el anterior coche del equipo, ésta equipa un conector de pines, el cual permite la implementación de los dos botones. Se une al volante mediante seis tornillos.
- **Acabado final:** una vez verificado el correcto encaje del *quick release*, éste fue desmontado y el conjunto estructura-mangos llevado a SEAT para ser barnizado y pintado para darle un mejor acabado e impermeabilizarlo. Después de esto los mangos fueron cubiertos con cinta de raqueta de tenis para darles un buen agarre o *grip*, y los botones encolados y siliconados por detrás.

El proceso detallado de fabricación y ensamblaje de todos estos componentes puede hallarse en el **Anexo III, apartado I**.

- Validar prototipo:

A medida que se fabricaba el prototipo, éste era validado constantemente para verificar que las formas obtenidas se correspondían con el diseño del modelo.

Habiendo encolado los mangos a la estructura de carbono, éstos fueron lijados en una serie de iteraciones para llegar a una forma que agradase a todos los pilotos. Para ello hubo que rebajar y suavizar algunos contornos y aristas que en un principio parecían oportunas (en el modelo de fango) o que con la inclusión de la cinta hacían ganar a los mangos excesivo volumen.

La operación de encintado se llevó a cabo en varias ocasiones para obtener una distribución



de la cinta lo más homogénea posible.



Fig. 5.8 a) Render del volante explosionado, b) Volante acabado (Fuente propia)

5.2. Cuadro de instrumentos (*Dashboard*)

En un coche monoplaza como un *Formula Student*, el salpicadero o *dashboard*, en inglés, se encuentra justo detrás del volante y hace de soporte de algunos de los instrumentos del vehículo. Estos instrumentos, tanto informadores del estado del coche como actuadores para influir en él, pueden también hallarse en el propio volante o en otros lugares menos habituales.

La función del cuadro de instrumentos es permitir al conductor recibir información del coche en tiempo real y a partir de ello tomar decisiones y aplicarlas desde el propio cuadro, si procede. Esto supone que el salpicadero requiere de la atención del piloto para que éste interactúe con el coche a través de él, lo que implica tiempo de menos que se está concentrado en la pista.

El objetivo principal en el diseño de un cuadro de instrumentos es, por tanto, simplificar la lectura y actuación que el conductor ha de realizar sobre él. Esto se puede conseguir mostrando la información justa y suficiente y ordenando adecuadamente sus elementos.

5.2.1. Versiones anteriores

- **Dashboard CAT07e:**

El cuadro de instrumentos del CAT07e estaba formado por una chapa central de aluminio al lado de la cual (en la fibra del monocasco) se encontraba el botón de parada de emergencia de los motores. Al lado de la pierna izquierda del piloto se hallaba el repartidor de frenada, anclado al *fronthoop* (barra antivuelco delantera, por encima de las piernas).

La chapa central incluía una pantalla, indicadores LED y botones varios, protegidos por su parte posterior por una caja de plástico sinterizado hecha a medida. La idea de usar una caja (Fig. 5.9) era poder extraerla para trabajar con los elementos electrónicos de la misma fuera del coche, de una forma más cómoda. El problema de ésta era la poca estanqueidad (a pesar de utilizar una junta de goma en el perímetro de la caja) al colarse la humedad por los agujeros de los tornillos y de los LED's, y el exceso de tornillos (para unir la caja de plástico a la chapa de aluminio y ésta a su vez a la fibra del monocasco). Este aglutinamiento de elementos (Fig. 5.10) era poco conveniente para una rápida lectura del cuadro de instrumentos, además de los problemas que podía ocasionar el reflejo del sol en ciertas circunstancias.



Fig. 5.9 (Fuente: Dídac Magriñá, ETSEIB Motorsport)

Por otro lado, la colocación del repartidor de frenada (elemento que permite regular la distribución de la acción del freno entre las ruedas delanteras y traseras) obligaba una manipulación del mismo a ciegas y utilizando las dos manos. Esto no es un problema a la hora de conducir ya que no se actúa sobre él en movimiento, pero su situación es mejorable.



Fig. 5.10 (Fuente propia)

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Uso de una caja
 - Disposición algunos elementos
 - Experiencia de los fallos de la versión
- Inconvenientes a superar:
 - Masificación de elementos distractores (tornillos, etc.)



- Cableado posterior (peligro de engancharse)
- Reflejo del sol sobre la pantalla y los LED
- Baja estanqueidad

5.2.2. Nueva versión

El cuadro de instrumentos del nuevo coche del equipo debía superar los inconvenientes de la versión anterior, y para ello se fijaron los siguientes objetivos:

- Distribución de elementos clara, ordenada y accesible:
- Posible incorporación de visera para el sol
- Mínimo cableado suelto por detrás, uso de cajas estancas

Teniendo en cuenta esto, el salpicadero del CAT08e (Fig. 5.11 a) y b)) fue diseñado buscando reducir las distracciones que pueda causar al conductor durante las carreras. Se monta directamente en el monocasco así que todos los elementos contrastan con un fondo oscuro y por lo tanto son fáciles de encontrar o accionar.

Con el fin de simplificar la tarea del piloto, la idea fue hacer tres áreas separadas:

- o **En el medio:** la pantalla, que ofrece varios niveles de información (tales como el modo de carrera, la temperatura de las celdas de la batería, etc.) y dos columnas de LED que muestran de una manera sencilla, pero muy visual, el nivel de carga de la batería y la velocidad del CAT08e.
- o **A la izquierda:** los indicadores LED, para supervisar el diagnóstico del coche en un vistazo rápido.
- o **A la derecha:** los botones de control, por lo que podemos utilizarlos con una sola mano.

La pantalla central y las columnas de LED están incluidas en una caja de aluminio con tapa de metacrilato, la cual incluye juntas de goma tanto en el perímetro como en los tornillos que unen caja y tapa, haciendo así el conjunto estanco. Estos tornillos quedan ocultos, viéndose únicamente los estrictamente necesarios, los que unen la tapa al monocasco.

Se diseñó una visera para evitar los reflejos del sol en pantalla y LED's colocada usando estos mismos tornillos, pero al final se desestimó la idea ya que al estar la tapa de metacrilato hundida unos milímetros (el grosor de la pared del monocasco en el salpicadero) se comprobó que no había problemas con el sol. Así que mejor simplificar y ahorrarse las complicaciones de una pieza más.

También podemos encontrar el dispositivo de reparto de frenada y el botón de desconexión



en los extremos. Ambos son fáciles de accionar con una mano (cada uno), pero se encuentran en un lugar secundario para evitar que el conductor pierda la atención en la carrera.

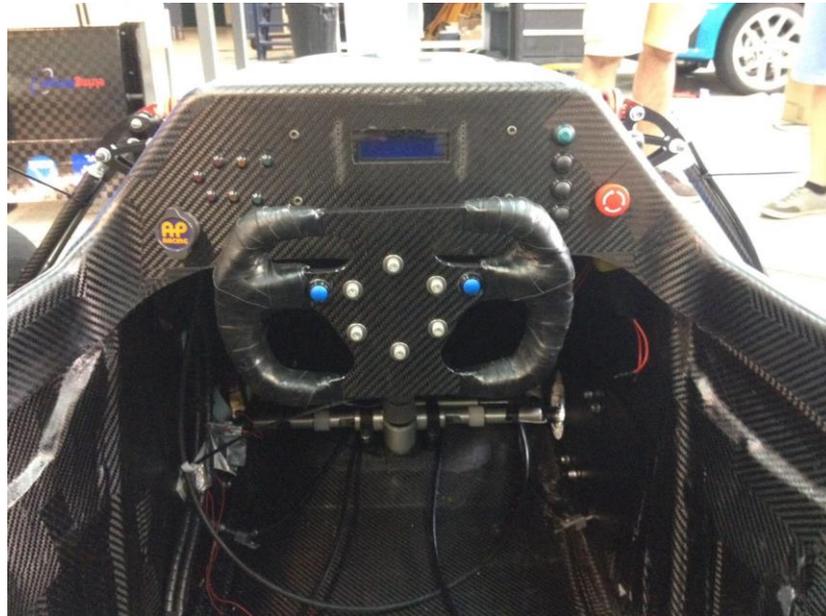


Fig. 5.11 a) y b) (Fuente propia)

5.3. Pedalería

Los pedales de un *Formula Student* eléctrico suelen ser, como en nuestro caso, dos: el pedal izquierdo para el freno y el derecho para el acelerador. Esto simplifica enormemente la tarea de la conducción, al no tener que sincronizar los movimientos de un pedal de embrague con una palanca o leva de cambio de marchas.

Además, al tener que encargarse cada pie de su correspondiente pedal, el movimiento de éstos puede restringirse bastante, convirtiéndose así la pedalería en un elemento tanto de mando como de sujeción.

El documento que recoge toda la información del sistema de pedalería del CAT08e puede encontrarse en el documento “*Design report on Pedalbox*” del equipo. Lo que aquí se estudia hace referencia a los elementos de fibra de carbono encargados de la sujeción de los pies y a las posibilidades de regulación del conjunto.

5.3.1. Versiones anteriores

- Pedalería CAT07e:

La pedalería usada en el CAT07e disponía de una regulación longitudinal que constaba de 4 posiciones distanciadas 30mm una de otra, permitiendo una variación máxima de 90mm de todo el conjunto. Para conseguir esto la estructura estaba montada sobre una guía anclada al suelo del monocasco, la cual era redundante ya que la base de la propia estructura ya permitía obtener las diferentes posiciones (con más agujeros en el monocasco). Como novedad respecto al conjunto de pedalería del coche anterior, se instaló un mando remoto para la regulación del repartidor de frenada, colocado en el *fronthoop* tal y como se ha comentado en el apartado **5.2.** del cuadro de instrumentos.

Las partes encargadas de sujetar los pies eran tres, las dos superficies de apoyo de los pedales (a partir de ahora simplemente “pedales”) y la talonera o reposapiés, todas ellas fabricadas en fibra de carbono. Los dos pedales presentaban una forma distinta cada uno, con dos aletas en el de freno y una en el del acelerador, para evitar el movimiento lateral de los pies.

El pedal de freno, el izquierdo, tenía forma de U, es decir una superficie plana de apoyo más una aleta a cada lado, las cuales servían para impedir al pie salirse hacia los lados. El del

acelerador disponía sólo de una aleta a la derecha (forma de L invertida), impidiendo al pie derecho salirse hacia fuera pero no hacia dentro, hacia el otro pedal. Esto puede suponer un problema, si el pie derecho se queda trabado detrás del pedal de izquierdo, quedando el coche acelerado y sin posibilidad de frenarlo. Hay que tener en cuenta, además, que el recorrido del pedal del acelerador es significativamente mayor que el del de freno, con lo que esta situación, más peligrosa, es incluso más probable que la contraria (verse el pedal de freno accionado y el del acelerador trabado).

El reposapiés presenta un diseño en el cual los talones se apoyan casi juntos en él, separándolos lo justo para encarar cada pie con su correspondiente pedal. De este modo los pies van muy cerca el uno del otro y permiten que el coche sea muy estrecho en su conjunto.

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Estructura válida
 - Pedales con aletas separadoras
 - Diseño taloneras
 - Repartidor de frenada remoto
- Inconvenientes a superar:
 - Piezas redundantes
 - Poca superficie pedal acelerador y talonera baja para tanto recorrido
 - Colocación repartidor frenada



5.3.2. Nueva versión

El conjunto de pedalería utilizado en el CAT08e parte del empleado en el coche anterior, con algunas modificaciones:

- Supresión guías redundantes
- Nuevas taloneras rasas y más sencillas
- Pedales con más superficie
- Acelerador también con separadores (para evitar trabar el pedal de freno con el pie)

La supresión de las guías redundantes resulta en dos beneficios para la ergonomía. Por el lado del piloto, tiene más espacio para los pies (desde los talones a la parte superior del monocasco), ya que el conjunto baja. Esto es especialmente importante para la operación de *egress* o salida de emergencia del coche. Por otro lado, y aunque no es el objeto de este estudio, al mecánico le simplifica la tarea de montaje y regulación al eliminarse una pieza intermedia con sus correspondientes operaciones de atornillado.

Para el diseño de la talonera (Fig. 5.12) se modificó el CAD de la versión anterior, haciéndolo más sencillo suprimiendo una curvatura. Este cambio se hizo ya que ahora la talonera podía ir rasa al no tener que superar la altura de la guía, suponiendo además la eliminación de un voladizo que permitía hacer un molde más sencillo. Este molde se hizo en ABS impreso en 3D posteriormente lijado a mano por la cara útil, sobre la cual se laminaría en fibra de carbono (3 capas a 0°-45°-0°).

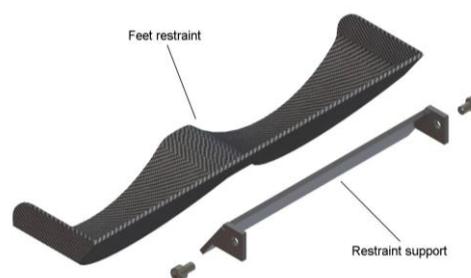


Fig. 5.12 (Fuente: Robert Armengol, ETSEIB Motorsport)

En cuanto a los pedales (Fig. 5.13 a) y b)), se decidió hacerlos iguales, para simplificar, teniendo cada uno una aleta por cada lado. De esta manera no hay peligro de que un pie obstruya la carrera del pedal del lado contrario.

Referido a sus dimensiones, se diseñaron con un ancho entre aletas de 110mm (más estrecho que el pedal de freno del CAT07e) decidido en base al ancho de las botas de carreras (Sparco) puestas en los pies de todos los pilotos, buscando minimizar el juego lateral y ofreciendo así una mejor sujeción.

El ancho de las propias aletas se limitó a 30mm, siendo esta medida suficiente para contener los pies del o la piloto, pero no demasiado larga, evitando así una flexión excesiva que durante un *egress* terminara por romperlas en un descuido. Este año incorporan, además, un par de nervaduras cada una para hacerlas más rígidas.

La longitud de los pedales se decidió teniendo en cuenta las carencias en este sentido de la versión anterior. La indicación de todos los pilotos en este aspecto era que al final del recorrido, especialmente del pedal del acelerador, la superficie de carbono se quedaba corta (ya que el pie desliza sobre el pedal). Para solucionarlo, los pedales del CAT08e se alargaron 20mm por arriba y 20mm por abajo respecto a las medidas anteriores (se pasó de una longitud de pedales de 80mm a 120mm).

Los recorridos de los pedales son los mismos que en la versión anterior al haberse mostrado coherentes y eficaces en pasadas ediciones.



Fig. 5.13 Render explosionado pedal de freno a) y acelerador b) (Fuente: Robert Armengol, ETSEIB Motorsport)

Para la fabricación, se hizo un molde con un trozo de DM de forma prismática rectangular, al cual se le practicaron una serie de muescas que darían forma posteriormente a las nervaduras de los pedales. Siguiendo el mismo patrón que en la talonera, se laminaron con tres capas de fibra de carbono con el entramado dispuesto a 0°, 45° y 0°.





Fig. 5.14 a) Render pedalería (Fuente: Robert Armengol, ETSEIB Motorsport) y b) foto de la misma instalada en el monocasco (Fuente propia)

6. Elementos de sujeción

6.1. Asiento

El asiento de un monoplace supone la principal superficie de contacto entre el piloto y el coche, y soporta casi todo su peso. Es por esa razón por la que tiene que ser lo suficientemente rígido (sin dejar de ser ligero) para aguantar todas las condiciones de carrera.

Es muy importante que restrinja los movimientos del conductor o conductora dentro del habitáculo, para evitar que vaya dando bandazos debido a las aceleraciones, tanto longitudinales como transversales. Por otro lado, debe permitir realizar acciones tales como el giro del volante o la actuación sobre los pedales, por lo que deben tenerse en cuenta estos aspectos a la hora de diseñar y fabricar un asiento.

Además, las posiciones que se adoptan a la hora de conducir varían ligeramente de una situación a otra, con lo que es conveniente que el asiento se adapte mínimamente a esta necesidad, lo que se puede lograr con acolchados en el mismo.

6.1.1. Versiones anteriores

- **Asiento CAT07e (fibra de carbono en molde):**

Para la fabricación del asiento del CAT07e (Fig. 6.1), hecho por el autor de este TFG, se usó un molde de placa máster fresada (material muy utilizado para moldes gracias a su baja porosidad) ya utilizado para el CAT06e, sobre el cual se laminaron tres capas de fibra de carbono, se encolaron unas costillas de núcleo *Nomex* y se laminaron encima otras tres capas de fibra, en disposición 0°-45°-0°. Estas costillas se diseñaron teniendo en cuenta los puntos débiles de las costillas diseñadas para el asiento del CAT06e (la parte inferior del asiento tendía a flectar con el peso, por ejemplo).

Gracias a muchas horas de trabajo, el encaje del asiento con el monocasco podía llegar a ser casi perfecto, evitando que se moviera durante la conducción, pero por otro lado no era estanco y permitía el paso de agua desde el *cockpit* a la parte posterior, donde se alojaban componentes electrónicos.

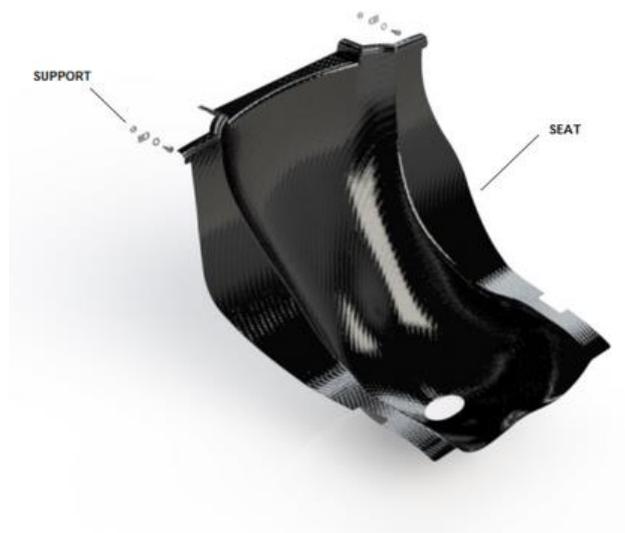


Fig. 6.1 Render asiento CAT07e (Fuente: ETSEIB Motorsport)

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Buen encaje en el monocasco
- Inconvenientes a superar:
 - Única versión para todos los pilotos
 - Muchas horas para darle un buen encaje
 - Baja estanqueidad

6.1.2. Nueva versión

Conociendo las desventajas y los beneficios de distintos tipos de asientos y el hecho de tener que hacer muchas piezas nuevas en un mismo año, se plantearon una serie de objetivos:

- Rapidez y facilidad de fabricación
- Buen encaje con piloto y con monocasco
- Una versión por piloto (si es posible)



- Buena estanqueidad

Por ello se escogió el uso de espuma de poliuretano, además de porque permitía al autor conocer y experimentar con este material. La forma en que se trabaja y obtienen los asientos finales viene indicada en el **Anexo IV, apartado II**. Veamos cómo fueron abordados estos objetivos:

- Rapidez y facilidad de fabricación:

Se plantearon varias propuestas alternativas para la fabricación de los asientos con espuma:

- Como estructura del propio asiento
- Reforzada con estructura de fibra de carbono por debajo
- Como molde para una posterior estructura de fibra sola

Ya en las primeras pruebas mínimamente aceptables se demostró que la espuma por sí sola como estructura daba buenos resultados, y por tanto se descartó complicar el proceso con más operaciones. Esto es algo que además venía respaldado por el consejo de la escuela de competición Monlau y por el hecho de que la mayoría de los equipos punteros de la *Formula Student* utilizan este material.

- Buen encaje con piloto y con monocasco:

Una de las características que definen la espuma de poliuretano expandida es que al hacerlo copia la forma de su entorno, en nuestro caso del piloto y del *cockpit*. De esta manera se convierte en el nexo de unión entre uno y otro, como si de una pieza de puzle se tratase.

Respecto al monocasco, el asiento queda completamente fijo, sin necesidad de anclarlo de ninguna forma. Los cinturones ya se encargan de que, junto con el piloto, no se mueva.

Respecto al piloto, también quedan ambos fijos entre ellos, aunque la espuma, si bien es suficientemente rígida en conjunto para ello, localmente admite deformaciones elásticas. Esto es una ventaja que no ofrecía el asiento de fibra de carbono, y que es muy importante tener en cuenta ya que durante la conducción se adoptan posturas ligeramente diferentes que el asiento debe permitir, en vez de convertirse en un obstáculo.

- Una versión por piloto (si es posible)

La idea inicial era fabricar un asiento por conductor. Para cada asiento era necesario disponer del coche en exclusiva durante todo el proceso de fabricación y al piloto

correspondiente al menos durante el proceso de expansión de la espuma. Hacer esto para los cinco pilotos fue logísticamente inviable, ya que hay que hacerlo con todos los elementos del *cockpit* montados correctamente, que suele ser al final de temporada cuando el coche está más solicitado. Además los pilotos son miembros del equipo y suelen estar ocupados con otras tareas del coche.

Por esta razón se decidió escoger a dos pilotos que fueran representativos de los otros tres, de modo que sus dos correspondientes asientos sirvieran para todos los pilotos. Un grupo de conductores estaba formado por los tres miembros más bajos y el otro por los dos más altos. Cada asiento tenía una forma u otra dependiendo de la del piloto que lo hizo y de los tiempos de curado que se dejó la espuma expandiendo antes de aplicar la presión del propio peso, como se explica en el anexo antes citado.

Para el grupo de los más bajos, se hizo un asiento con más material en respaldo y debajo del culo, ganando así en altura y visibilidad, y reduciendo la distancia al volante (Fig. 6.2). Para protegerlo de las rozaduras e identificarlo se cubrió con cinta americana plateada.

Para la pareja de pilotos altos, se redujo la cantidad de material debajo del culo e incluso en el respaldo se practicó un agujero para que apoyaran la espalda directamente en la pared de fibra de carbono. A la hora de encintar el asiento, este agujero fue también tapado para no hacerlo demasiado frágil. La cinta usada fue de color negro, para diferenciarlo fácilmente del otro asiento.



Fig. 6.2 (Fuente propia)

A pesar de no haber podido hacer un asiento por conductor, la verificación por parte del resto de pilotos fue algo que se hizo durante las pruebas de conducción, los cuales se mostraron satisfechos y dieron su visto bueno.



- Buena estanqueidad

Para resolver esta cuestión, simplemente se decidió independizar la función de barrera para el agua del asiento, diseñando una tapa separada. Esta pieza (Fig. 6.3 a) y b)) hacía tanto de tapa para los componentes eléctricos y electrónicos (situados detrás del piloto) como de respaldo sobre el que apoyar el asiento de espuma de poliuretano.



Fig. 6.3 a) Tapa-respaldo del asiento y b) detalle de la goma estanca (Fuente propia)

6.2. Cinturones

El sistema de cinturones de un monoplaza de *Formula Student* se encarga, no sólo de retener al piloto en caso de accidente y absorber parte de su energía cinética, sino de sujetarlo en posición durante la tarea de conducción. Por ello, una vez apretados, son fijos, no como en los coches de calle, que permiten ciertos movimientos no bruscos.

Un coche FSAE puede equipar sistemas de cinturones de cinco, seis o siete puntos de anclaje, teniendo que equipar uno u otro dependiendo de las características de su posición de conducción (incorporada o reclinada; ver **Anexo I, Apartado VI**).

Independientemente de la posición, en el equipo se ha venido utilizando el sistema de seis puntos (Fig. 6.4), válido tanto para una como para otra. Los elementos de que consta son los siguientes:

- **Shoulder strap:** Cincha ancha que pasa por encima del hombro, pasa por encima del pecho y va a parar al *quick release*. Son dos, una por hombro.
- **Lap belt:** Cincha ancha que va por encima de la cadera hasta el *quick release*, una por lado.
- **Anti-submarine strap:** Cincha estrecha que viene del suelo del coche y pasa por la entrepierna hasta el *quick release*, al cual va anclado permanentemente. Hay dos.
- **Quick release:** Hebilla de apertura rápida por medio de una pestaña, a la que se anclan todas las cinchas. Se coloca aproximadamente sobre el estómago.
- **Hand restraints:** muñequeras que van ancladas a los *lap belts* y sirven para impedir que los brazos del piloto salgan del *cockpit* en caso de volcar.



Fig. 6.4 (Fuente: ETSEIB Motorsport)

6.2.1. Versiones anteriores

- Cinturones CAT07e (OMP):

Los cinturones utilizados en el CAT07e, de la marca italiana de productos de *motorsport* OMP, constaban de un sistema de anclaje de seis puntos. Estos anclajes (fabricados por el equipo) consistían en seis argollas, cuatro atornilladas al monocasco más dos soldadas a una barra del subchasis, detrás y ligeramente por encima de los hombros del piloto.

Estos cinturones ofrecían una buena sujeción para pilotos de diversas tallas, aunque como inconvenientes podemos encontrar dos aspectos: la orientación de los anclajes de los *lap belts* no era la óptima al estar sus argollas directamente roscadas en los insertos, lo que condicionaba su posición final; también era una queja recurrente de los pilotos el no poder ver el *quick release* para actuarlo a la hora de salir del coche y más concretamente en la prueba del *driver egress*, lo cual era consecuencia del diseño de la posición de conducción.

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Tipo de anclajes en algunos puntos (*anti-submarine belt*)
- Inconvenientes a superar:
 - Orientación de los anclajes de *lap belt*
 - Visibilidad *quick release*

6.2.2. Nueva versión (Sandtler)

Con el objetivo de superar los inconvenientes pasados, se llevaron a cabo las siguientes acciones:

- Diseño de la ubicación de los puntos de anclaje en el nuevo monocasco
- Compra de un nuevo juego de cinturones (antiguos caducados)
- Uso de anclajes diferentes, colocados en base a la nueva posición

Para diseñar la ubicación de los puntos de anclaje de los cinturones, se tuvieron en cuenta tanto la normativa como la posición de conducción definida anteriormente. Al ser bastante



restrictivas las reglas de la FSAE en cuanto a este tema, teniendo escogida la posición de pilotaje quedaron definidos los puntos de anclaje, jugando con los márgenes permitidos para que se cumplieran para todos los pilotos.



Fig. 6.5 Detalle de los cinturones con los anclajes de los lap belts (Fuente propia)

Aprovechando que se tenían que comprar cinturones nuevos, ya que los de la edición anterior habían caducado, se adquirieron unos con los anclajes de la parte superior diferentes, para poder ser usados con un anclaje más sencillo, compacto y ligero de aluminio mecanizado (Fig. 6.6):



Fig. 6.6 (Fuente propia)

Los *lap belts* y *anti-submarine belts* fueron anclados con argollas, como en el CAT07e, con la diferencia de que esta vez en lugar de ir roscadas, éstas iban soldadas a una pletina sujeta por dos tornillos cada una, consiguiendo así la orientación correcta de la argolla independientemente de las vueltas del roscado (Fig. 6.7). Esta orientación es aquella en la que los planos que forman las circunferencias de las argollas apuntan al *quick release*, permitiendo así que los cinturones apoyen sobre las caderas e ingles del o la piloto evitando torsiones de los mismos i maximizando así la superficie de contacto sobre él o ella.

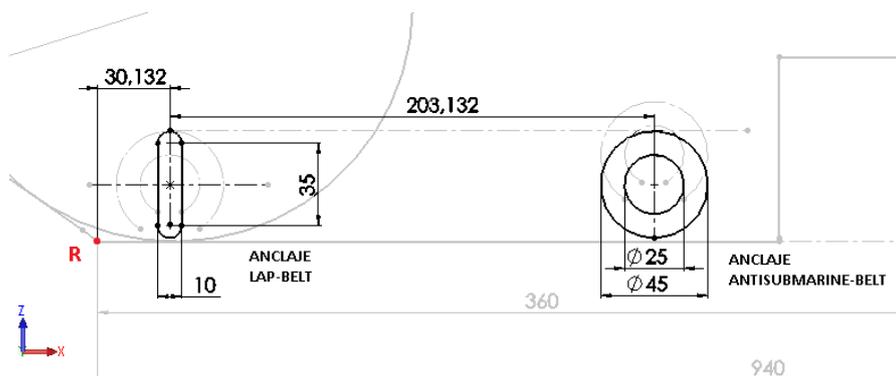


Fig. 6.7 (Fuente propia)

Los *hand restraints* fueron reutilizados del año anterior.



6.3. Reposacabezas

El reposacabezas es un elemento vital en una gran cantidad de vehículos, como por ejemplo los coches, ya que reduce el riesgo de sufrir lesiones cervicales causadas por bruscas aceleraciones longitudinales.

En el caso de un coche de competición, éste se hace además imprescindible para poder efectuar una conducción eficaz y segura aún en el caso de no sufrir ningún accidente, debido a los continuos cambios de velocidad. Por ello, en un *Formula Student* debe dársele la importancia que merece para tener un conjunto ergonómico adecuado, de lo que se ocupa en gran parte la normativa de la competición (**Anexo I, apartado VII**), que acota varias medidas y distancias mínimas que ha de tener.

6.3.1. Versiones anteriores

- Reposacabezas CAT07e (tirantes carbono):

Para el diseño del reposacabezas del CAT07e (el autor de este proyecto fue el encargado) se partió de la forma de la espuma usada en el CAT06e. Se tomó esta decisión porque en un proyecto con tantas cosas a tener en cuenta y tan poco tiempo como es la construcción de un *Formula Student*, aprovechar algo que funciona correctamente y no tiene mucho potencial de mejora es lo más simple (las dimensiones de la espuma cumplían con la normativa en su momento y esta no cambió con respecto a la temporada del CAT06e).

Utilizando el diseño de la espuma se fabricó un soporte de fibra de carbono en estructura de sándwich con la misma forma (en vez del soporte de aluminio del CAT06e), atornillado a unas pletinas de acero soldadas a la barra de soporte de cinturones y a un tirante de carbono atornillado a su vez a pletinas soldadas al *mainhoop* (Fig. 6.8 a) y b)).

Como protección del propio *mainhoop* se usaron unas espumas normalizadas sujetas con dos bridas de plástico cada una, colocadas a la altura del casco, para evitar golpear el casco con los tubos en caso de movimiento brusco lateral de la cabeza.

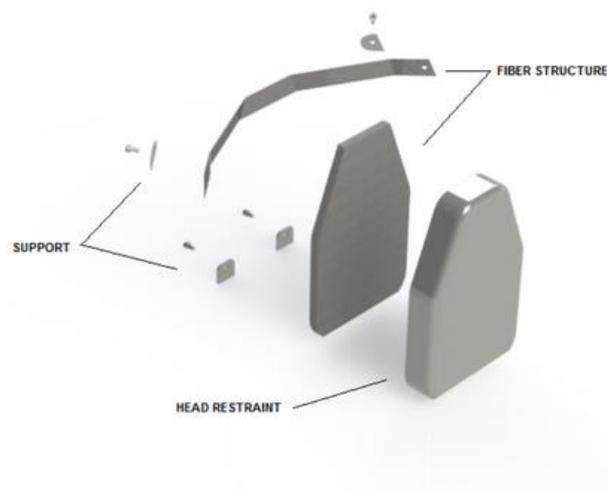


Fig 6.8 a) detalle de la espuma tapizada y b) render explosionado del conjunto (Fuente propia)

La espuma se llevó a tapizar a MOTOSILLIN, empresa especializada en fabricación y reparación de asientos de moto, para darle un acabado más profesional. Iba unida al soporte con tiras de velcro, para una sustitución rápida en caso de ser necesario.

El soporte de fibra se hizo recortando una chapa de carbono formada por tres capas de fibra (0° - 45° - 0°), núcleo *Rohacell* de 5mm y otras tantas capas con la misma disposición. Al ser un corte, los cantos se taparon con masilla tintada en negro, para evitar que la humedad llegara al núcleo.

El tirante de carbono usó la misma estructura excepto en cuanto al tipo de núcleo, que en su caso fue *Nomex* de 3mm de grosor. Fue laminado sobre una chapa de aluminio plegada, y se le retiró el vacío antes de completar el curado, con el fin de ajustar su forma al soporte en posición y a las pletinas soldadas al *mainhoop*.

En resumen:

- Ventajas a aprovechar:
 - Diseño de la espuma y su soporte posterior
- Inconvenientes a superar:
 - Tirante de carbono complicado de fabricar



6.3.2. Nueva versión

Habiendo usado un mismo diseño de la espuma durante dos ediciones y habiéndose mostrado éste correcto, se volvió a decidir mantenerlo para el nuevo coche. Lo que no se podía volver a usar fue el soporte, al cambiar la forma del *mainhoop* de un coche a otro. Por tanto la idea a la hora de diseñar la nueva versión fue:

- Reaprovechar espuma y chapa posterior del CAT07e
- Simplificar estructura de soporte (barra simple de acero)

Utilizando la misma espuma tapizada y el soporte posterior plano en carbono, se ancló el conjunto al chasis mediante dos tornillos en la parte inferior del soporte. Para aguantar la parte superior se soldó una barra de acero de 5mm de diámetro a los *braces* del *mainhoop*, de modo que quedaba directamente apoyado y éste soportaba las fuerzas hacia atrás (Fig. 6.9 a) y b)):



Fig 6.9 Reposacabezas CAT08e, render a) y fotografía b) (Fuente propia)

Este diseño comportó muchas menos horas de trabajo que los tirantes de la versión anterior, ya que no sólo el propio soporte era más sencillo sino que además no requería soldar pletinas ni colocar tornillos.

6.4. Protecciones interiores

En un coche de competición pequeño como un *Formula Student*, es usual que el piloto tenga que compartir espacio con diversos elementos que pueden llegar a ser peligrosos si no se les presta la atención necesaria.

Se debe tener en cuenta tanto el daño que puedan ocasionar directamente al piloto como el riesgo de que pongan en un compromiso la conducción y se derive en un accidente.

- Protecciones interiores CAT08e

Al ser éste un apartado muy general, el autor considera que explicando lo hecho en el CAT08e se da una idea suficiente de los puntos a considerar, dado que en los coches anteriores del equipo éstos eran los mismos. Estos puntos son, principalmente:

- Partes móviles
- Cabezas o puntas de tornillos
- Cableado
- Cantos afilados

Para abordar estos aspectos, la normativa (**Anexo I, apartado VIII**) indica algunos elementos indispensables a utilizar; en otros casos se hace evidente la necesidad de tomar medidas aunque la competición no lo especifique.

- Partes móviles:

Claro ejemplo de norma a aplicar, las partes móviles alojadas en el interior del vehículo se deben cubrir de una u otra manera. En el caso de la dirección, es necesario envolver la columna con espuma, sujeta con bridas en el CAT08e, para evitar que el piloto se golpee las piernas sin protección en un eventual accidente (Fig. 6.10).

También es necesario cubrir las bielas de dirección, que entran y salen del habitáculo según el giro del volante, para que no se pueda impedir su movimiento con, por ejemplo, la propia ropa del piloto. Para solucionarlo, se fabricaron un par de cilindros de fibra de carbono sin núcleo (laminando sobre un cilindro de acero) destinados a cubrir desde el final del

alojamiento del sistema de cremallera hasta la pared del monocasco.

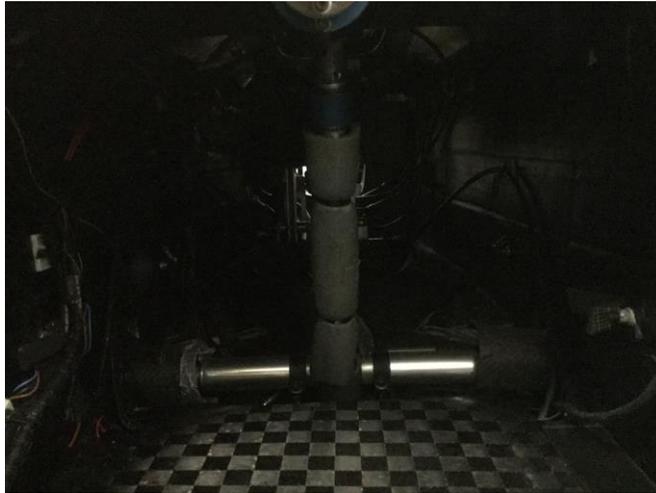


Fig 6.10 Protección columna, cremallera y tornillos (Fuente propia)

- Cabezas o puntas de tornillos:

Del mismo modo, la normativa exige que las protuberancias localizadas en el interior deban ser también cubiertas. Éstas pueden ser, por ejemplo, las puntas de los tornillos de los anclajes de la suspensión delantera, y por ello se cubren con espuma.

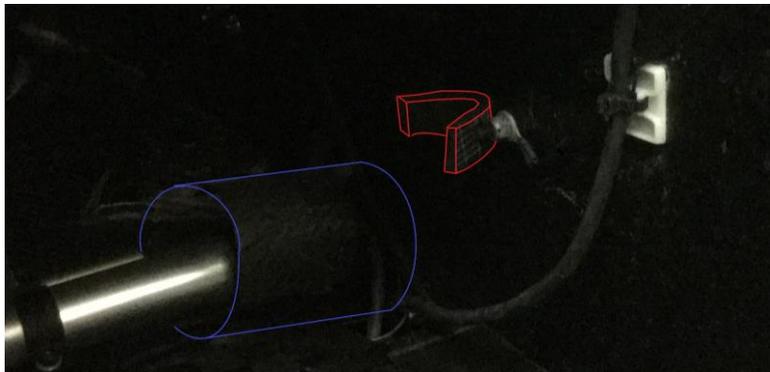


Fig 6.11 Detalle protección cremallera, en azul, y espuma tornillos, en rojo (Fuente propia)

También podemos encontrar los tornillos de los triángulos de suspensión e incluso de los soportes del alerón delantero. Es importante revisar a fondo todas las posibilidades y concienciar a todos los miembros del equipo de que cualquier modificación debe ser tenida en cuenta y comunicada antes de rodar con el coche, para evitar consecuencias graves.

- Cableado:

Un elemento o elementos que suele generar problemas, y más aún en un coche eléctrico, es



un cableado en el *cockpit* mal resuelto. Para encontrar una solución válida para este problema, se adoptaron varias medidas.

Una fue, por ejemplo, la ya comentada de usar cajas estancas como en el cuadro de instrumentos, con cables unificados que salían de ellas (hay unas cuantas repartidas por el coche). Para conectar esos conjuntos de cables por todo el coche, se diseñó un canal a lado y lado del *cockpit*, integrados en el monocasco, para evitar enganchadas con la ropa del piloto, la batería al sacarla o cualquier herramienta que se pudiera llevar algún cable por delante.

Estos canales (Fig. 6.12 a) y b)) iban en los bordes superiores de las paredes laterales del *cockpit*, desde el cuadro de instrumentos hasta el respaldo, permitiendo agrupar todo el cableado y liberar el resto del espacio. Esto supone ganar en seguridad para el piloto pero también para la integridad de los propios cables, al dejar de estar expuestos. Además, el acabado del canal resulta más adecuado para que el piloto apoye las manos a la hora de realizar un *egress*.



Fig 6.12 a) Canales a ambos lados y b) detalle del paso por el respaldo (Fuente propia)

- Cantos afilados:

En ocasiones hay cosas que aunque no se especifiquen en la normativa e incluso pasen las pruebas técnicas, hay que tener en cuenta para mejorar en un diseño. Pueden ser pequeños detalles que marquen pequeñas pero importantes diferencias.

Es el caso de algunos cantos que, aunque no son altamente peligrosos ni afectan en caso de accidente, pueden fastidiar a la hora de trabajar o en otras circunstancias diferentes. Un ejemplo muy claro es la parte inferior de la *dashboard* o salpicadero y de los canales de cables comentados más arriba.

En el caso del salpicadero, su canto inferior, aunque no puede decirse que corte, puede ser fuente de heridas a la hora de hacer un egress o de trabajar alguien dentro del monocasco y darse un golpe con él, lo cual es más habitual de lo que parece en ambos casos. Una solución sencilla y efectiva para ello es fijar un perfil de goma en el canto, ofreciendo más superficie y un tacto más blando, como se hizo en el CAT08e (Fig. 6.13):



Fig 6.13 (Fuente propia)

En el caso de los canales, el problema se solucionó precisamente al añadir cinta americana para cerrarlos y contener los cables, evitando enganchadas y golpes (Fig. 6.14 a) y b)):



Fig 6.14 a) y b) (Fuente propia)



Planificación temporal y costes

Planificación temporal:

Para la realización de este trabajo se hizo una planificación previa, relativa a las fases a seguir con cada uno de los elementos de estudio, disponible en las dos páginas siguientes. Debido a la complejidad de un proyecto como es la fabricación de un *Formula Student* por parte de un grupo de unos treinta estudiantes, no fue posible poner fechas para cada fase, por lo que la planificación es simplemente secuencial.

Costes del proyecto:

Los costes de los materiales y de los procesos utilizados en este proyecto ya se recogen en un documento propiedad del equipo llamado "*Cost Report of CAT08e*" y no se tienen en cuenta en el cálculo del coste de este trabajo.

Suponiendo un sueldo de unos 40€/h y una dedicación de una media de 20h a la semana durante 35 semanas, se obtiene un coste de 28k€ por el proyecto realizado.



Volante	analizar alternativas y requerimientos VERSIONES ANTERIORES Y OTRAS NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación MANGOS FRESADOS EN DM ESTRUCTURA FIBRA DE CARBONO CON NÚCLEO DE 10 mm	diseñar modelo inicial ORIENTACIÓN A PARTIR DE VERSIONES ANTERIORES INCORPORACIÓN DE BOTONES
Cuadro de instrumentos	analizar alternativas y requerimientos VERSIONES ANTERIORES Y OTRAS NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación ELEMENTOS ANCLADOS AL PROPIO MONOCASCO (SALPICADERO) CAJAS ELECTRÓNICAS ESTANCAS	diseñar modelo inicial DISTINTAS CONFIGURACIONES BOTONES E INDICADORES VISERA PARA EL SOL SI HAY ESPACIO (DEPENDE VOLUMEN VOLANTE)
Pedalería	analizar alternativas y requerimientos VERSIONES ANTERIORES Y OTRAS NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación REUTILIZAR EL DEL CAT07e CON MODIFICACIONES	diseñar modificaciones SUPRIMIR SISTEMA DE RAILES VOLVER A FABRICAR REPOSAPIÉS (TALONERA Y SUPERFICIE PEDALES)
Asiento	analizar alternativas y requerimientos VERSIONES ANTERIORES Y OTRAS NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación ESPUMA DE POLIURETANO + ESTRUCTURA DE CARBONO? EXPANSIÓN DE LA ESPUMA EN MONOCASCO CON PILOTO	diseñar/fabricar prototipo de prueba ETSEIB Motorsport COLABORADOR: Oscar Rodero y Guillem Andreu
Cinturones	analizar alternativas y requerimientos VERSIONES ANTERIORES Y OTRAS NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación CINTURONES NORMALIZADOS ANCLAJES MECANIZADOS EN ALUMINIO	diseñar modelo COLOCACIÓN: EN BASE A LA POSICIÓN DE CONDUCCIÓN Y AL ESPACIO DISPONIBLE
Reposacabezas	analizar alternativas y requerimientos VERSIONES ANTERIORES Y OTRAS NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación REUTILIZAR EL DEL CAT07e CON MODIFICACIONES	diseñar modificaciones ESTRUCTURA POSTERIOR SIMPLIFICADA
Protecciones interiores	analizar alternativas y requerimientos NORMATIVA FSAE	decidir materiales y fabricación	fabricar prototipo UNA VEZ ESTÉ EL RESTO DE ELEMENTOS MONTADOS ETSEIB Motorsport

	fabricar modelo	iterar hasta diseño definitivo	digitalizar modelo	fabricar prototipo	validar prototipo
Volante	MANGOS DE ARCILLA ESTRUCTURA IMPRESA EN ABS	CORREGIR FALLOS MODELOS PREVIOS	EMPRESA: ASORCAD COLABORADOR: Carles Mañé	ETSEIB Motorsport	
Cuadro de instrumentos	iterar hasta diseño definitivo PANTALLA CENTRAL, INDICADORES A LA IZC BOTONES A LA DERECHA	fabricar prototipo ETSEIB Motorsport ENCARGADO: Albert Cerdán	validar prototipo		
Pedalería	modificar prototipo ETSEIB Motorsport COLABORADOR: Robert Armengol	validar prototipo			
Asiento	analizar resultados PROCEDIMIENTO VÁLIDO? PUNTOS A MEJORAR	iterar hasta procedimiento definitivo fabricación	fabricar prototipos VARIOS (1 x piloto si posible)	(digitalizar prototipos) PARA AÑADIR AL CAD	validar prototipos
Cinturones	fabricar prototipo Fundació CIM (fresado) + comprar cinturones COLABORADOR: Antonio J. Bustos	validar prototipos			
Reposacabezas	fabricar prototipo ETSEIB Motorsport ENCARGADO: Guillermo Fernández-Goula	validar prototipo			
Protecciones interiores	validar prototipo				

Conclusiones

Las conclusiones concretas de cada objeto de estudio se han ido detallando a lo largo de este proyecto en sus correspondientes capítulos y apartados. Este documento ha mostrado algunas propuestas implementadas en el CAT08e, con las que no se alcanza la perfección o la excelencia, pero con las que se llega a tiempo con mejoras notables, que es lo que realmente interesa al fin y al cabo.

Se espera que este documento sirva como base al equipo y a quien le sepa encontrar la utilidad, valorando lo aquí expuesto y encontrando formas de mejorarlo.

Se han utilizado tecnologías varias tanto con el objetivo de utilizar las más adecuadas como por el hecho de aprovechar la oportunidad para explorar y aprender nuevos usos.

Como conclusiones generales, destacar el carácter multidisciplinar de este trabajo, que ha involucrado a muchas secciones del equipo y por tanto a muchos integrantes del mismo. Se ha hecho patente la necesidad de una comunicación fluida y constante a lo largo tanto del diseño como de la fabricación de las partes del coche. También ha sido indispensable el hallar un punto de encuentro entre criterios de diseño para llegar a conseguir un coche equilibrado, para lo cual es indispensable saber buscar el consenso.

Por último, se ha procurado concienciar al equipo del enfoque ergonómico de sus diseños, de no pasar cosas por alto. Es decir que cada miembro tenga presente la ergonomía a la hora de diseñar sus piezas.

Agradecimientos

Al ser éste un trabajo transversal que ha implicado a tanta gente y en el cual se ha buscado usar el mayor número de tecnologías posibles, es normal que a la hora de acabarlo sean muchas las personas y empresas a las que agradecer.

A:

Pedro Manuel R. Mondelo, por la tutoría de este proyecto, con la ayuda de Inma y David.

Guillem Àvila y los becarios de la planta 5: por su ayuda con las impresiones 3D.

Óscar Roderó: por su ayuda en los experimentos con poliuretano y la fabricación de los asientos.

Guillem Andreu: por su ayuda en la fabricación del respaldo de fibra y el *firewall*

Carles Mañé: por su colaboración en el diseño y fabricación del volante.

Albert Cerdán: por aceptar mi ayuda en el diseño de la *dashboard*.

Robert Armengol: por su ayuda en la fabricación de los elementos de pedalería.

Manel Duran: por el fresado de los mangos y otras piezas en DM

Javier Huete-Huerta y Xavi Massot: por sus consejos en cuanto a la posición de conducción, las características del volante, etc.

AsorCAD: por la digitalización del modelo del volante.

SEAT: por el pintado y barnizado del volante.

Monlau: por los consejos de fabricación de los asientos y la atención constante.

Motosillín: por un tapizado impecable del reposacabezas.

A los operarios del *taller comú* y

Al equipo y a la escuela en general, por todos los medios puestos a mi disposición para hacer posible este proyecto.

Bibliografía

Referencias bibliográficas

- [1] [<http://www.rallystore.net/VOLANTE-OMP-FORMULA-QUADRO>; 10/06/15]
- [2] [<http://www.asorcad.es/Servicios/Servicios/Escaneado-3D-Modelado-3D-y-Digitalizado-3D-por-AsorCAD.html>; 16/08/15]
- [3] [<https://es.wikipedia.org/wiki/STL>; 16/08/15]
- [4] [<http://www.fsaeonline.com/content/2015-16%20FSAE%20Rules%20revision%2091714%20kz.pdf>, 15/10/14]
- [5] [<https://grabcad.com/library/fsae-mock-chassis-1>; 21/11/14]

Bibliografía complementaria

- Carles Mañé Ramírez, *Disseny i construcció del sistema de direcció d'un Formula Student*, Barcelona: UPCCOMONS Julio 2015: Documento completo (TFG) con toda la información acerca del sistema de dirección del CAT08e, incluidas las simulaciones del volante con Abaqus.
- Albert Cerdán Codina, *Disseny i millora de la dashboard del CAT08e, monoplaça de formula student elèctric de l'equip Etseib motorsport*, Barcelona: UPCCOMONS Julio 2015: Documento completo (TFG) con toda la información acerca del cuadro de instrumentos del CAT08e.
- Robert Armengol Brils, *Design report on pedalbox*, Barcelona 2015, archivos ETSEIB Motorsport: Documento completo con toda la información acerca de la pedalería del CAT08e. Es un documento propiedad de ETSEIB Motorsport.