



UNIVERSIDAD  
DE MÁLAGA



# ESCUELA DE INGENIERÍAS INDUSTRIALES

**Departamento de Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos**

Expresión Gráfica en la Ingeniería

TRABAJO FIN DE GRADO

## Diseño y fabricación del cockpit de un coche de Formula Student

**Grado en Ingeniería de Diseño Industrial y Desarrollo del Producto**

Autor: Pablo Aguilar Navarro

Tutor: Óscar David de Cózar Macías

MÁLAGA, Julio de 2023

# DISEÑO Y FABRICACIÓN DEL COCKPIT DE UN COCHE DE FORMULA STUDENT

**Autor:** Pablo Aguilar Navarro

**Tutor:** Óscar David de Cózar Macías

**Departamento:** Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

**Titulación:** Grado en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

## Resumen

En este trabajo de fin de grado se diseña un cockpit de Formula Student que puede ser utilizado por distintos pilotos del monoplace y su fabricación.

Se ha abordado teniendo en cuenta unas especificaciones técnicas y legales de la competición y se han llevado a cabo estudios antropométricos, de ergonomía y además se ha utilizado ingeniería inversa para lograr un buen ajuste a los parámetros corporales.

Una vez se ha obtenido un resultado geométrico, se ha diseñado y planificado el proceso de fabricación y se ha validado el modelo con estudios de resistencia mecánica.

**Palabras clave:** Formula Student, cockpit, monoplace, asiento, ergonomía, antropometría, ingeniería inversa, Finite Element Method.

# DESIGN AND MANUFACTURE OF THE COCKPIT OF A FORMULA STUDENT VEHICLE

**Author:** Pablo Aguilar Navarro

**Supervisor:** Óscar David de Cózar Macías

**Department:** Expresión Gráfica, Diseño y Proyectos

**Degree:** Grado en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto

## Abstract

In this undergraduate thesis, a Formula Student cockpit is designed that can be used by different drivers of the single-seater car and its manufacturing process.

It has been approached considering technical and competition-related legal specifications. Anthropometric and ergonomic studies have been performed, and reverse engineering has been employed to achieve a proper fit to bodily parameters.

Once a geometrical outcome has been obtained, the manufacturing process has been designed and planned, and the model has been validated through studies of mechanical strength.

**Keywords:** Formula Student, cockpit, single-seater car, seat, ergonomics, anthropometry, reverse engineering, Finite Element Method.

# CONTENIDO

1. Introducción.....	6
2. Objetivos y alcance del proyecto .....	9
3. Estudio de mercado .....	10
4. Especificaciones de diseño .....	14
5. Diseño preliminar .....	21
5.1. Ergonomía y antropometría .....	21
5.1.1. Definición .....	21
5.1.2. Postura ideal del piloto .....	23
5.1.3. Situación actual .....	24
5.1.4. Posición ideal de un piloto .....	24
5.2. Ingeniería inversa .....	26
5.3. Diseño geométrico .....	28
6. Diseño de detalle.....	34
6.1. Materiales .....	34
6.2. Análisis mecánico de resistencia FEM .....	37
6.3. Proceso de fabricación.....	39
6.3.1. Optimización de recursos .....	42
6.3.2. Instrucciones del proceso de fabricación .....	43
6.4. Mediciones y presupuesto .....	45
7. Evaluación del diseño .....	47
8. Líneas futuras .....	50
ANEXO I: Estudio ergonómico y antropométrico .....	52
Estudio de nuestros pilotos .....	52
Evaluación Bio-Mec con Ergoniza.....	55
ANEXO II: Ingeniería inversa con asiento de karting .....	57
ANEXO III: Análisis mecánico de resistencia FEM .....	59
Simulación para el peso del piloto.....	60
Simulación para la aceleración longitudinal máxima .....	61

Simulación para la deceleración longitudinal máxima .....	62
Simulación para la aceleración lateral máxima .....	63
ANEXO IV: Datasheets y documentación necesaria .....	64
Ficha técnica del fabricante de poliestireno extruido .....	64
PLANOS .....	68
PLIEGO DE CONDICIONES .....	77
MEDICIÓN Y PRESUPUESTO .....	78
BIBLIOGRAFÍA .....	80

## Índice de Ilustraciones

Ilustración 1. Skidpad Event. ....	6
Ilustración 2. Circuito FSN 2022 Endurance Event. ....	7
Ilustración 3. Cockpit de un F1 Sauber cortado longitudinalmente. ....	9
Ilustración 4. Asiento tipo F1 Sparco GP para simuladores. ....	11
Ilustración 5. Kit asiento profesional Schroth Racing de 50l. ....	11
Ilustración 6. Etiqueta resina para porexpan de Plastiform. ....	12
Ilustración 7. Plantilla para la comprobación de las dimensiones. ....	15
Ilustración 8. Partes principales de un chasis de FS. ....	16
Ilustración 9. Montaje de los cinturones y sus anclajes. ....	18
Ilustración 10. Plantilla de la apertura del cockpit y la sección interior. ....	19
Ilustración 11. Posición de conducción deportiva. ....	22
Ilustración 12. Ángulos de la postura neutral proporcionados por la NASA. ....	25
Ilustración 13. Corte longitudinal de la superficie escaneada. ....	27
Ilustración 14. Corte longitudinal MA23RT. ....	28
Ilustración 15. Ensamblaje de chasis. ....	28
Ilustración 16. Explicación gráfica aportada en la normativa. ....	29
Ilustración 17. Posición del dummy en el chasis. ....	29
Ilustración 18. MA23RT con asiento. ....	30
Ilustración 19. Sección longitudinal del asiento. ....	30
Ilustración 20. Visualización de los croquis transversales. ....	31
Ilustración 21. Superficie generada a partir de los croquis. ....	31
Ilustración 22. Superficie final. ....	32
Ilustración 23. Conjunto de superficies cerradas. ....	32
Ilustración 24. Sólido final para fabricación. ....	32
Ilustración 25. Renderizado del modelo. ....	33
Ilustración 26. Dummy con asiento. ....	33
Ilustración 27. Asiento del equipo de Valencia. ....	34
Ilustración 28. Asiento de espuma forrado con plástico. ....	35
Ilustración 29. Representación gráfica y matricial de tensiones de Von Mises. ....	38

Ilustración 30. Captura del modelo utilizado en el ensayo. ....	39
Ilustración 31. CNC fresando madera.....	40
Ilustración 32. Máquina corte con hilo caliente. ....	40
Ilustración 33. Resultado tras el corte con hilo caliente. ....	41
Ilustración 34. Forma real de la pieza tras lijado.....	42
Ilustración 35. Resultado de uno de los cortes realizados en los moldes para el bodywork. ....	43
Ilustración 36. Resultado corte láser para las guías del bodywork.....	44
Ilustración 37. Demostración de la colocación de las guías para el lijado.....	45
Ilustración 38. Resultado de la malla generada para el estudio FEM.....	48
Ilustración 39. Maqueta cockpit de Cornell Racing FSAE. ....	51
Ilustración 40. Modelo modificado con las medidas tomadas de uno de los pilotos. ....	54
Ilustración 41. Herramienta medir en SolidWorks. ....	55
Ilustración 42. Datos introducidos en Ergoniza. ....	55
Ilustración 43. Resultados obtenidos en Ergoniza. ....	56
Ilustración 44. Modelo escaneado. ....	58
Ilustración 45. Vista del modelo escaneado con corte. ....	58
Ilustración 46. Resultado del mallado. ....	59
Ilustración 47. Tensiones de Von Mises. ....	60
Ilustración 48. Deformaciones URES. ....	60
Ilustración 49. Tensiones de Von Mises. ....	61
Ilustración 50. Deformaciones URES. ....	61
Ilustración 51. Tensiones de Von Mises. ....	62
Ilustración 52. Deformaciones URES. ....	62
Ilustración 53. Tensiones de Von Mises. ....	63
Ilustración 54. Deformaciones URES. ....	63

## Índice de tablas

Tabla 1. Comparativa entre espumas del mercado. ....	36
Tabla 2. Combinaciones posibles para la espuma necesaria. ....	42
Tabla 3. Tabla de presupuesto total. ....	46
Tabla 4. Comparativa entre MA23RT y NBP. ....	48
Tabla 5. Tabla registro antropométrico del piloto. ....	52
Tabla 6. Tabla registro antropométrico en cm de Alejandro R. ....	53
Tabla 7. Tabla registro antropométrico en cm de Francisco J. ....	53
Tabla 8. Tabla registro antropométrico en cm de Raúl R. ....	54
Tabla 9. Costes de ingeniería. ....	78
Tabla 10. Costes de fabricación. ....	78
Tabla 11. Costes finales. ....	79

# 1. Introducción

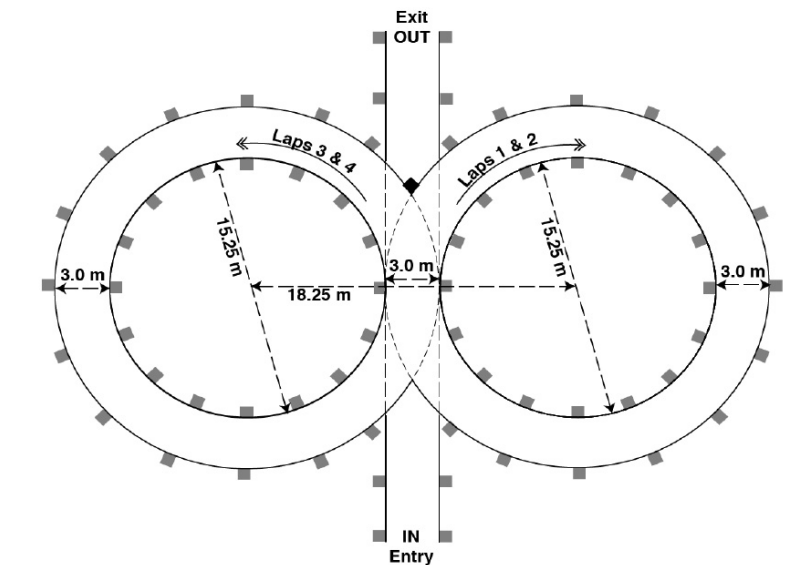
La Formula Student es una competición internacional de ingeniería y diseño de automóviles organizada por la Society of Automotive Engineers (SAE) y otras asociaciones en distintos países. El objetivo principal de la competición es brindar a los estudiantes de ingeniería la oportunidad de aplicar sus conocimientos teóricos en un proyecto práctico y real, diseñando, construyendo y compitiendo con un vehículo tipo monoplaza de carreras.

Cada equipo participante en la Formula Student debe diseñar y fabricar un vehículo de alto rendimiento, siguiendo estrictas reglas y regulaciones establecidas por la competición [1]. Estos vehículos están destinados a competir en distintas pruebas de habilidades y rendimiento, que incluyen pruebas de aceleración, maniobrabilidad, eficiencia en el consumo de combustible, pruebas de resistencia y, por supuesto, de velocidad.

Cada año, numerosos equipos de estudiantes de universidades e instituciones educativas de todo el mundo participan en la Formula Student, lo que ha convertido esta competición en una plataforma emocionante para intercambiar ideas y conocimientos en la industria automotriz. Además de las pruebas técnicas, los equipos también son evaluados en aspectos como el diseño del vehículo, el plan de negocios y la presentación oral, lo que fomenta el desarrollo de habilidades de comunicación y presentación.

Las diferentes pruebas dinámicas que se realizan en cada competición son:

- Skidpad Event: (Ilustración 1) consiste en un circuito formado por dos círculos consecutivos en los que el vehículo debe de entrar por un carril central y realizar primero dos vueltas en el círculo a derecha y en la última cambiar al de la izquierda y dar otras dos para finalmente salir por el carril de salida.



**Ilustración 1. Skidpad Event.**

Fuente: FS Rules 2023 [1].

- Acceleration Event: El coche tiene una recta de 75 m en la que debe conseguir la máxima aceleración para recorrerla en el mínimo tiempo posible.

- Autocross Event: (Ilustración 2) En un circuito, de acuerdo con la normativa FS Rules 2023, de una distancia menor de 1,5 km, el piloto comienza unos metros antes de la línea de meta y se puede realizar hasta dos intentos por cada conductor.



**Ilustración 2. Circuito FSN 2022 Endurance Event.**

Fuente: Banco de fotos MART FS.

- Endurance and Efficiency Event: en la misma prueba se mide el consumo del monoplaza una vez terminada la Endurance si el equipo ha conseguido puntuar en esta. Se recorre un total de 11 km por cada piloto en el mismo trazado en el que se ha realizado el Autocross, que una vez terminados, se realiza el procedimiento de cambio de piloto de un total de dos pilotos distintos que el equipo debe elegir para este evento. En esta prueba hay varios coches en pista por lo que se debe dejar pasar o adelantar a estos en las zonas específicamente designadas cuando se indique por los comisarios mediante el procedimiento de banderas que se indica en la normativa [1].

En cada una de las pruebas se mide el tiempo, y este, introducido en el modelo de puntuación del reglamento, otorga al equipo la puntuación correspondiente. Para poder competir en estos eventos, es necesario pasar unas inspecciones muy exhaustivas de seguridad que corroboren que el vehículo cumple el reglamento de la Formula Student [1]. También se realizan preinspecciones antes y después de cada prueba que, en caso de no pasarlas, el vehículo debe solucionar o, en caso de pasar después del evento, el vehículo no puntuaría en ese intento.

Por otro lado, las pruebas estáticas son:

- Business Plan Presentation Event: se evalúa la habilidad del equipo para crear un modelo de negocio relacionado con su automóvil prototipo o componente específico. Se debe presentar el producto o servicio como una oportunidad de negocio rentable, considerando a los jueces como posibles inversores. La calidad del prototipo real no se tiene en cuenta en la evaluación.

- **Cost and Manufacturing Event:** se evalúa la comprensión del equipo sobre los procesos de fabricación y los costos asociados con la construcción de un automóvil prototipo de carreras. Esto incluye tomar decisiones de intercambio entre contenido y costo, decisiones de fabricación o compra, y entender las diferencias entre la producción de prototipos y en masa. El equipo tiene que presentar documentos como Bill of Material (BOM) y datasheets.
- **Engineering Design Event:** El objetivo del evento de diseño es evaluar el proceso de ingeniería y el esfuerzo que los estudiantes invirtieron en el diseño de un vehículo que cumpla con el propósito. Los componentes y sistemas incorporados al diseño del vehículo como elementos terminados no se evalúan como unidades diseñadas por los estudiantes, sino que solo se evalúan en función de la selección y aplicación realizada por el equipo.

La competición ha demostrado ser un caldo de cultivo para nuevos talentos en la industria automotriz, ya que muchos de los participantes encuentran oportunidades de empleo y pasantías con reconocidas empresas del sector después de su participación en la Formula Student.

En la competición de monoplazas Formula Student, el diseño del cockpit es una tarea fundamental. El habitáculo donde se encuentra el piloto debe ser ergonómico, permitir una fácil entrada y salida del vehículo, proteger componentes mecánicos y electrónicos de agentes externos y al piloto de riesgos como fugas y altas temperaturas, dentro del marco legal que exige la normativa de la competición. En el caso del equipo M23RT, el cockpit ha sido una tarea que nunca se ha llegado a tratar a fondo. En temporadas anteriores se han intentado hacer asientos con la forma del piloto que no han salido bien o simplemente se ha puesto un acolchado. Finalmente, se ha llegado a una espuma moldeada mediante un asiento de karting que es lo que se está utilizando actualmente.

Sin embargo, el equipo M23RT busca mejorar la ergonomía del cockpit y optimizar los materiales y métodos de aislamiento térmico e ignífugo para la temporada actual. El objetivo principal es obtener un asiento a medida del piloto principal mediante el uso de un escáner 3D de la universidad.

En este trabajo se presenta la metodología para llevar a cabo el diseño del cockpit y el asiento general para el M23RT, siguiendo una especificación de requisitos y el cumplimiento de la normativa de la competición. El enfoque principal es el desarrollo concurrente de todas las áreas afectadas del vehículo, llevando a un acuerdo entre cliente y diseñador.

## 2. Objetivos y alcance del proyecto

El objetivo principal de este proyecto es brindar al equipo toda la información necesaria sobre metodologías, procesos, materiales e incluso estimaciones económicas relacionadas con la fabricación de un cockpit. Se busca proporcionar un conocimiento sólido y completo que permita abordar este desafío de manera efectiva y eficiente.

A nivel del proyecto, el objetivo es realizar un estudio exhaustivo de todas las alternativas posibles para la fabricación del cockpit y seleccionar la más adecuada, teniendo en cuenta la situación actual y las necesidades específicas del equipo. Sin embargo, también se considera la importancia de no descartar por completo otras alternativas que puedan ser relevantes en el futuro.

Uno de los enfoques fundamentales en este proyecto es la incorporación de la ergonomía, un área de conocimiento que hasta ahora ha sido subestimada, pero que juega un papel crucial en la comodidad y seguridad de los pilotos. El objetivo es proporcionar experiencia en este campo y garantizar que el diseño del cockpit se adapte de manera óptima a las necesidades y características físicas de los usuarios, mejorando así su experiencia y rendimiento.

Además, se quiere aportar nuevas técnicas y enfoques innovadores al proceso de fabricación. La incorporación de la ingeniería inversa permitirá obtener un conocimiento más profundo de los productos existentes y utilizarlo como base para mejorar y optimizar el diseño del cockpit. Asimismo, es esencial explorar y aplicar nuevos métodos de fabricación que puedan tener un impacto significativo en otras áreas, fomentando así la innovación y el avance tecnológico en el campo de la manufactura.

En resumen, proporcionar al equipo una visión completa y actualizada de la fabricación del cockpit, teniendo en cuenta la ergonomía y aplicando técnicas de ingeniería inversa y nuevos métodos de fabricación. Con este enfoque integral, se espera alcanzar resultados óptimos y contribuir al avance de la industria, tanto en el ámbito del diseño de cockpits como en otras áreas afines.

En la Ilustración 3 se puede observar el habitáculo de un F1 seccionado longitudinalmente.



**Ilustración 3. Cockpit de un F1 Sauber cortado longitudinalmente.**

Fuente: caranddriver.com [2].

### 3. Estudio de mercado

En el diseño de los monoplasas anteriores nunca se ha tenido en cuenta la ergonomía del piloto, dejando en segundo lugar el cockpit o el asiento del conductor provocando que este se fabrique a última hora centrándose sólo en evitar la dureza del firewall y el fondo del chasis con espuma blanda.

El último año, a partir de un asiento de karting que no entra en el habitáculo, se hizo una réplica con espuma expandible de poliuretano cubierto posteriormente por una tela a modo de tapizado. Posteriormente se modificó haciendo cortes de forma que pudiera entrar en el cockpit.

Como es la primera vez que se va a realizar un asiento para este proyecto es conveniente conocer bien las técnicas que se utilizan en el mercado, así como las que no se utilizan, pero podrían ser útiles para este proyecto, se deben analizar y presupuestar para tomar la mejor decisión. La solución debe priorizar la facilidad de fabricación y la optimización de coste y tiempo.

Gracias a este estudio de mercado y una vez que se haya obtenido con éxito un asiento, se habrán sentado las bases y adquirido una experiencia suficiente que permita enfrentarse a un proceso mejor. Esta es la importancia de un buen estudio de mercado donde permite no solo elegir la mejor opción para el actual si no que permite conocer cuáles podrían ser las futuras líneas de desarrollo.

En otras categorías de competición, sobre todo monoplasas, los asientos se fabrican a medida obteniendo un molde a medida que posteriormente es laminado en fibra. En el WEC, el mundial de resistencia se puede encontrar una similitud con este proyecto debido al cambio de pilotos, aunque en este caso al cambiar el piloto se cambia también el asiento cuando hay mucha diferencia entre pilotos.

Debido a las características tan específicas que presenta cada vehículo de carreras, lo normal es fabricar este a medida tanto del chasis como del piloto. A esto se debe la dificultad de encontrar un asiento deportivo con las características de una categoría en concreto o con la optimización (resistencia-peso) buscada en una competición. Estos asientos suelen utilizarse en GT o Rally amateur donde es normal el uso de piezas genéricas o incluso homologadas y este es el motivo por el cual suelen estar acolchados.

Si se busca algo más parecido a la postura y las dimensiones de un Formula Student no se va a encontrar nada a nivel de producto listo para instalar siendo lo más parecido los asientos de simuladores que tienen el mismo inconveniente respecto al peso y el volumen que los mencionados anteriormente. En la Ilustración 4 se muestra el asiento para simuladores fabricado por Sparco.



**Ilustración 4. Asiento tipo F1 Sparco GP para simuladores.**

Fuente: Catálogo de Sparco [3].

En cuanto a la elaboración propia, sí que se pueden encontrar varios vendedores, fuera de España la gran mayoría, que venden un tipo de producto utilizado por las categorías de monoplasas, se trata de un kit de bolas de poliestireno y resina que al solidificar generan un molde como el que ofrece Schroth mostrado en la Ilustración 5. Es el procedimiento habitual para la obtención de moldes a medida del asiento de un piloto.



**Ilustración 5. Kit asiento profesional Schroth Racing de 50L.**

Fuente: Catálogo Schroth [4].

Esta bolsa se introduce en el habitáculo, una vez que se ha conseguido una mezcla homogénea, adecuándose a la forma del interior del cockpit. Después se introduce el piloto y se ajusta a la posición más cómoda además de realizar algunos movimientos de conducción hasta que en unos 30 min la mezcla ha solidificado dejando un asiento a medida para este conductor. El precio de este pack varía entre los 300-500 €.

Es el proceso óptimo en cuanto a resultado a la vez que el proceso más caro impidiendo además que un mismo asiento sea utilizado por varias personas por lo que requeriría de uno por cada conductor. Los vendedores no dan información sobre el tipo de resina utilizada, lo que incita a comprar su kit. A pesar de ello, se ha intentado encontrarla o, al menos, un equivalente que se muestra en la Ilustración 6.

## **CRONOLITA ACRIL 100 ACTIVADA**

### **RESINA DE POLIÉSTER**

H226 Líquidos y vapores inflamables. H315 Provoca irritación cutánea. H319 Provoca irritación ocular grave. H317 puede provocar una reacción alérgica en la piel. H361d Se sospecha que puede dañar al feto. H372 Puede provocar daños en los órganos tras exposiciones prolongadas o repetidas.

P201 Solicitar instrucciones especiales antes del uso. P202 No manipular la sustancia antes de haber leído y comprendido todas las instrucciones de seguridad. P210 Mantener alejado de fuentes de calor, llama abierta o superficies calientes y de cualquier otra fuente de ignición - No fumar. P280 Llevar guantes/gafas/mascarade protección P370+P378 En caso de incendio: Utilizar un extintor de polvo para la extinción. P403+P235 Almacenar en lugar bien ventilado. Mantener en lugar fresco.

EUH208 Contiene: 2-hidroximetilmetacrilato/Estireno/tris(nonilfenil)fosfito. Puede provocar una reacción alérgica

#### **OFICINAS:**

Estrecho de Gibraltar, 13. 28027 MADRID  
Tel.: 91 408 36 00. Fax: 91 407 70 47  
Email: info@plastiform.es

#### **FABRICA:**

Avda. Ajalvir, s/n.  
ALCALA DE HENARES (MADRID)  
Tel.: 91 889 34 65. Fax: 91 889 35 18

**SOLO PARA USO INDUSTRIAL**

De acuerdo con el art. 16 del R.D. 782/96 de desarrollo de la Ley de envases y residuos de envases, la responsabilidad de una correcta gestión medioambiental de los envases industriales es del poseedor final.



### **Ilustración 6. Etiqueta resina para porexpan de Plastiform.**

Fuente: Catálogo de Plastiform [6].

Aunque siempre es conveniente probarla, el vendedor indica que no ataca el corcho por lo que es ideal para esta aplicarla con las perlas de poliestireno a falta de hacer las pruebas de curado para comprobar temperaturas y tiempos ya que hay que tener en cuenta que mientras endurece el piloto debe estar sentado encima. El coste ronda los 60 €.

Por otro lado, es necesario las perlas de poliestireno ya que estas van a dar el volumen necesario mientras la resina se solidifica. Este componente es más fácil de conseguir con una variedad mayor de vendedores que ronda los 20 € los 100 L.

Durante la búsqueda de resinas se ha recurrido a una empresa especializada en composites y por tanto en resinas de varios tipos. “Para esa aplicación la gente nos compra la espuma de poliuretano de 35 kg/m<sup>3</sup>. Llenan un saco de basura con el producto y cuando empieza a crecer la espuma el piloto se sienta sobre ella, copiando así su forma.” (J. Silveira - Customer technical support en Castro Composites, correo electrónico, 23 de febrero de 2023). Esta mezcla también requiere de algunas pruebas ya que el endurecimiento se produce rápido y requiere de una pequeña espera hasta conseguir cierta consistencia en la mezcla. para hacer la mezcla también se pueden utilizar las bolsas de vacío que se utilizan en el curado de las piezas de carbono ya que tienen mejor resistencia.

También es necesario mirar la forma de anclar el asiento al chasis, teniendo en cuenta que este se va a montar y desmontar varias veces para tener acceso a ciertas partes y tener movilidad. Actualmente, debido a que los anclajes de los cinturones van al chasis el piloto queda totalmente restringido y no requiere de ningún anclaje.

Las mejores opciones de anclajes para este proyecto son:

- Velcro: el agarre que proporciona este elemento es suficiente por los motivos mencionados anteriormente y esta opción es ligera, sencilla y fácil de instalar.
- Dzus: se trata de una unión atornillada de  $\frac{1}{4}$  de vuelta en la que el tornillo permanece siempre en la pieza. Este anclaje es utilizado en carenados y piezas desmontables proporcionando rapidez y fuerza de agarre que se desmonta con un simple giro de  $90^\circ$ .

Esta búsqueda de productos va a ser esencial en el desarrollo del trabajo gracias a los recursos e información que se han obtenido y sobre todo permitirán tener un criterio a la hora de elegir materiales y métodos de fabricación.

## 4. Especificaciones de diseño

### NECESIDADES DE FABRICACIÓN

- Fabricación en material de bajo peso.
- Material que permita formas laminadas.
- Exactitud de modelado.
- Exactitud de fabricación.

### NECESIDADES MATERIALES

- Reglamento técnico T4.5.5 [1] Si las correas están unidas a una estructura laminada o los soportes y lengüetas de montaje no están hechos de acero de 1,6 mm de espesor o de aluminio de al menos 4,0 mm de espesor, se requieren pruebas físicas con los requerimientos exigidos en el mismo apartado del reglamento [1].
- Reglamento técnico T4.6.2 [1] Debe proporcionarse un aislamiento térmico adecuado para garantizar que el conductor no pueda entrar en contacto con ninguna parte del vehículo con una temperatura superficial superior a 60°C. El aislamiento puede ser externo a la cabina (firewall) o estar incorporado con el asiento del conductor. El diseño debe contemplar los tres tipos de transmisores de calor con los siguientes requisitos mínimos entre la fuente de calor y la parte que el conductor podría contactar:
  - a. Aislamiento de conducción mediante:
    - i. Contacto no directo.
    - ii. Un material de aislamiento de conducción resistente al calor con un espesor mínimo de 8 mm.
  - b. Aislamiento a la convección mediante un entrehierro mínimo de 25 mm.
  - c. Aislamiento a la radiación mediante:
    - i. Escudo térmico de metal sólido con un espesor mínimo de 0.4 mm.
    - ii. Lámina o cinta reflectiva cuando se combina con a.ii.
- Reglamento técnico T4.7 [1] Floor Closeout. Puede estar compuesto de uno o varios paneles, de un material sólido no quebradizo, cuyo espacio entre paneles no supere los 3 mm.
- Reglamento técnico T4.8.3 [1] El firewall debe ser una superficie impermeable hecha de un material rígido resistente al fuego, como se recoge en T1.2.1 [1], que debe montarse rígidamente a la estructura del vehículo.

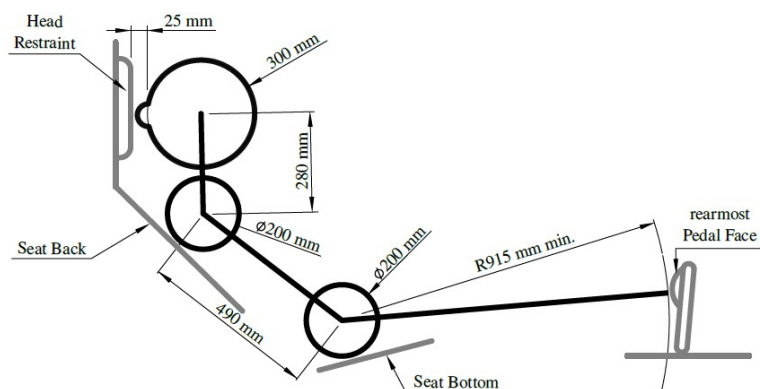
- Reglamento técnico T1.2.1 [1] Retardante de fuego: material que cumple uno de los siguientes estándares:
  - a. UL94 V-0 [7] para el mínimo espesor de material usado.
  - b. FAR 25.853(a)(1)(i) [8].

Estándares equivalentes sólo serán aceptados si el equipo proporciona una equivalencia y esta es aceptada por los jueces antes del evento.

- FAR 25.853(a)(1)(i) [8] La longitud media de la combustión no puede exceder de 6 pulgadas y el tiempo medio de la llama después de la retirada de la fuente de la llama no puede exceder de 15 segundos. Las partes goteadas de la muestra de ensayo no podrán seguir ardiendo durante más de 3 segundos de media tras su caída.

## NECESIDADES ERGONÓMICAS

- Reglamento técnico T4.2.3 [1] Los pies y las piernas del conductor deben estar completamente contenidos dentro de la estructura primaria cuando el conductor está sentado normalmente y los pies del conductor están tocando los pedales. En vistas laterales y frontales, ninguna parte de los pies o piernas del conductor debe extenderse por encima o fuera de esta estructura.
- Reglamento técnico T4.3 [1] Percy (95th percentile male).



**Ilustración 7. Plantilla para la comprobación de las dimensiones.**

Fuente: FS Rules 2023 [1].

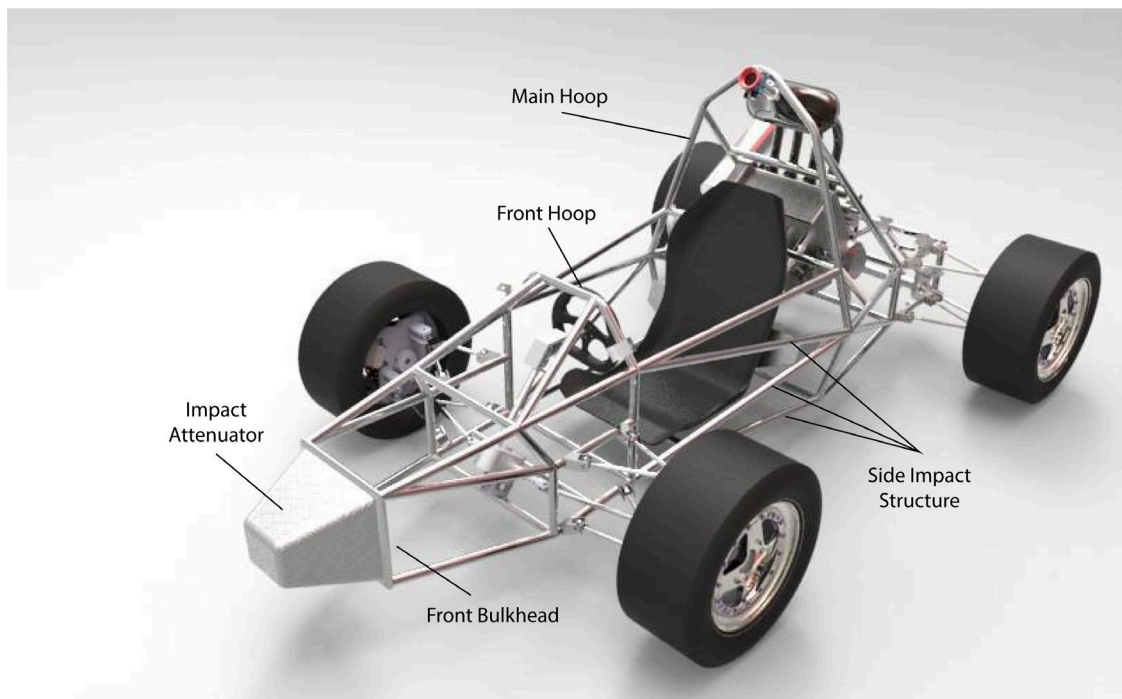
Esta plantilla (Ilustración 7), que representa el percentil 95 masculino, debe entrar en el habitáculo determinando así el mínimo tamaño legal para el cockpit.

- Reglamento técnico T4.6.1 [1] El punto más bajo del asiento del conductor, en vista lateral, no debe extenderse por debajo de la cara superior del elemento más bajo de la estructura de impacto lateral o tener un tubo (o tubos) longitudinales que cumplan con los requisitos de material para la estructura de impacto lateral (T3.2 [1]), pasando por debajo del punto más bajo del asiento.

- Reglamento técnico T4.10 [1] Driver visibility. El conductor debe tener una visibilidad adecuada hacia el frente y los lados del vehículo. Sentado en una posición normal de conducción, debe tener un campo de visión mínimo de 100° hacia ambos lados. La visibilidad requerida puede obtenerse mediante el giro de la cabeza del conductor y/o el uso de los espejos.
- Reglamento técnico T4.11 [1] Driver Egress. Todos los conductores deben ser capaces de salir hacia el lado del vehículo en menos de 5 s con el conductor en posición totalmente sentada, las manos en posición de conducción en el volante conectado (en todas las posiciones de dirección posibles) y llevando el equipo de conductor requerido según normativa T13.3 [1]. El tiempo de salida se detendrá cuando el conductor tenga ambos pies en el suelo.
- Lograr la comodidad para los pilotos con métodos antropométricos y ergonómicos.
- Buena sujeción piloto-asiento que amortigüe las fuerzas a las que se pueda ver sometido.
- Movilidad adecuada para las acciones de pilotaje.

#### NECESIDADES DEL ENTORNO

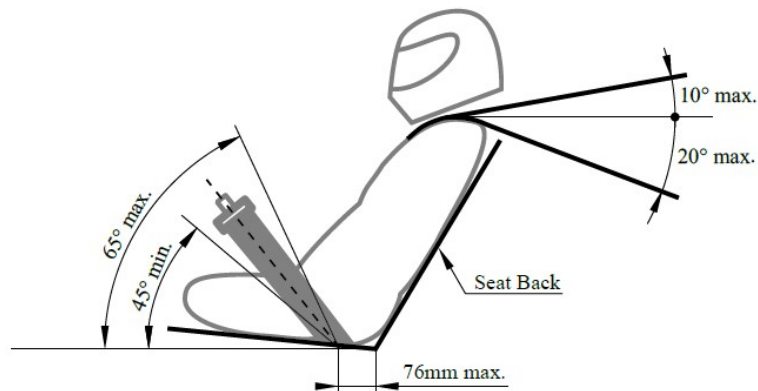
- Reglamento técnico T4.7 [1] Floor Closeout. Todos los vehículos deben llevar un cerramiento que separe el piloto del suelo que se extienda desde el Front Bulkhead hasta el firewall.



**Ilustración 8. Partes principales de un chasis de FS.**

Fuente: Elaboración propia.

- Reglamento técnico T4.8.1 [1] Un firewall debe separar la cabina de todos los componentes del sistema de suministro de combustible, fluido hidráulico (excepto sistema de frenos y amortiguadores), líquidos inflamables, la batería de bajo voltaje y cualquier componente del tractive system.
- Reglamento técnico T4.8.2 [1] El firewall debe cubrir cualquier línea recta entre las partes mencionadas en T4.8.1 y cualquier parte del conductor más alto por debajo de un plano de 100 mm por encima de la parte inferior del casco.
- Reglamento técnico T4.8.4 [1] El firewall debe sellar completamente contra el paso de fluidos, especialmente en los costados y el piso de la cabina.
- Reglamento técnico T4.8.5 [1] Se permiten pasantes para cableado, cables, etc. si se utilizan ojales para sellar el pasante.
- Reglamento técnico T4.8.6 [1] Pueden utilizarse varios paneles para formar el cortafuegos, pero deben solaparse al menos 5 mm y estar sellados en las juntas. Cualquier material de sellado no debe ser vital para la integridad estructural del cortafuegos.
- Reglamento técnico T5.1.3 [1] Posición erguida si la posición del respaldo es menor de 30° medido en la línea que une los dos círculos de 200 mm con respecto a la vertical (tal y como se define en la ilustración 7) del percentil 95.
- Reglamento técnico T5.1.4 [1] Posición reclinada si la posición del respaldo es mayor de 30° medido en la línea que une los dos círculos de 200 mm con respecto a la vertical (tal y como se define en la ilustración 7) del percentil 95.
- Reglamento técnico T5.3.2 [1] Los cinturones y correas no deben pasar a través del firewall, deben estar, al igual que los anclajes, del lado del conductor.
- Reglamento técnico T5.3.3 [1] Los cinturones no deben pasar por encima del lado del asiento. Cuando estos pasen a través del asiento, este debe enrollarse o recubrirse para evitar el roce.
- Reglamento técnico T5.5.1 [1] El arnés de hombro se debe montar detrás del conductor en una estructura que cumpla con requisitos de estructura principal.
- Reglamento técnico T5.5.5 [1] Desde los hombros del conductor hasta el punto de montaje o guía estructural el arnés del hombro debe estar comprendido entre 10° por encima de la horizontal y 20° por debajo (Ilustración 9).



**Ilustración 9. Montaje de los cinturones y sus anclajes.**

Fuente: FS Rules 2023 [1].

- Reglamento técnico T5.7 [1] Head Restraint. Tener en cuenta las restricciones de distancia máxima de 25 mm desde la parte posterior del casco hasta el sistema de sujeción y la distancia del punto de contacto que no debe ser menor de 50 mm de proximidad a cualquier borde.
- Reglamento técnico T5.8.1 [1] Proteger con un grosor mínimo de 12mm de acolchado cualquier barra de chasis que pueda golpear con el casco del piloto.
- Reglamento técnico T5.9 [1] Driver's Leg Protection. Todos los componentes móviles de suspensión y dirección y otros bordes afilados dentro de la cabina entre el aro delantero y un plano vertical 100 mm detrás de los pedales, deben estar protegidos con material sólido que pueda ser quitado en cualquier inspección.
- Ajustar el modelo a las restricciones existentes de espacio disponible en el MA23RT que se detallan en el apartado de diseño geométrico.

#### NECESIDADES DE MANTENIMIENTO

- Debido a la necesidad de poder montarlo y desmontarlo para acceder a otras partes, se requiere de un sistema que lo permita tantas veces y con la mayor facilidad como sea posible.

#### NECESIDADES DE COSTE

- Minimizar los costes siempre y cuando razonablemente no afecte a otras áreas como la calidad.

#### NECESIDADES DE DOCUMENTACIÓN

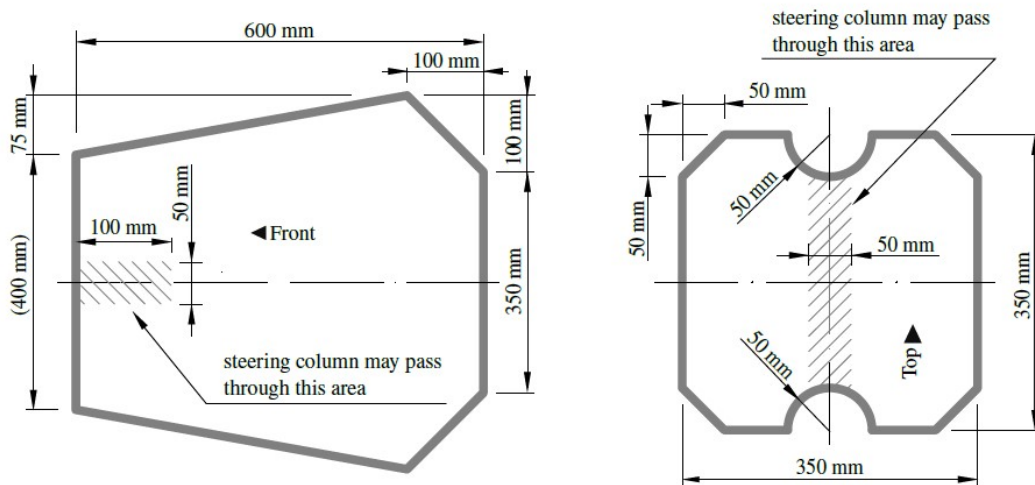
- Documentación de diseño: pruebas/simulaciones de resistencia, características físicas, planos, archivo CAD, etc.
- Estimación económica.
- Documentación requerida por el reglamento.

## NECESIDADES ESTÉTICAS Y ACABADO

- El acabado superficial debe ser liso, no dañar el mono del piloto ni otras partes como los cinturones.

## RESTO DE NECESIDADES NORMATIVAS Y LEGALES

- Reglamento técnico T4.1.1 [1] El tamaño de la apertura de habitáculo debe ser tal que la plantilla recogida en la Ilustración 10 (izquierda) de la normativa pase verticalmente desde la parte superior de la cabina hasta debajo del elemento de impacto lateral superior cuando se sostiene horizontalmente. La plantilla se debe mover hacia adelante y hacia atrás.



**Ilustración 10. Plantilla de la apertura del cockpit y la sección interior.**

Fuente: FS Rules 2023 [1].

- Reglamento técnico T4.1.3 [1] El volante, el asiento y todo el acolchado se pueden quitar para que quepa la plantilla. Cualquier otra pieza solo se puede quitar si está integrada con el volante,
- Reglamento técnico T4.2.1 [1] La cabina debe proporcionar una sección transversal interna libre suficiente para que la plantilla que se muestra en la Ilustración 10 (derecha) de la normativa pase desde la apertura de la cabina hasta un punto 100 mm hacia atrás de la cara del pedal más trasero en una posición no operativa. La plantilla se puede mover hacia arriba y hacia abajo. Los pedales ajustables deben estar en su posición más adelantada.
- Reglamento técnico T4.4.1 [1] Si existe algún larguero del chasis junto al piloto a la altura del cuello de alguno de los pilotos del equipo, se deberá sujetar al chasis un tubo metálico o pieza de chapa metálica para evitar que los hombros del piloto pasen por debajo de dicha barra de chasis.

- Reglamento técnico T4.9 [1] Accessibility of Controls. Todos los mandos del vehículo deben manejarse desde el interior de la cabina sin que ninguna parte del conductor, por ejemplo, las manos, los brazos o los codos, estén fuera de los planos verticales tangentes a la superficie más externa de la estructura de impacto lateral.

#### NECESIDADES MEDIOAMBIENTALES

- Posibilidad de su uso para otras temporadas total o de ciertas partes.

#### NECESIDADES DEL EQUIPO

- Crear para el MA23RT, además del Percy 95, unos dummies a medida de al menos el mayor y el menor de los pilotos para evaluar y tener una referencia del espacio disponible a la hora de trabajar en el CAD.
- Como objetivo secundario se pretende eliminar peso, optimizar los materiales y métodos de aislamiento térmico e ignífugo (idealmente un material que se pueda integrar con el cockpit, a poder ser, unificar cockpit, asiento, firewall y floor closeout), mejorar el acceso a la zona cubierta por el cortafuegos y otros objetivos que se puedan desarrollar a lo largo del diseño.
- Tener en cuenta la experiencia de los pilotos durante la conducción del coche y trasladar estas necesidades al diseño.
- Diseñar de acorde a las limitaciones geométricas del MA23RT y sus necesidades técnicas requeridas durante la etapa de diseño.

## 5. Diseño preliminar

### 5.1. Ergonomía y antropometría

#### 5.1.1. Definición

La ergonomía es la ciencia que estudia la relación entre el ser humano, la tecnología y el ambiente en el que se desenvuelve, con el objetivo de adaptar las condiciones de trabajo a las necesidades y capacidades del ser humano. Su objetivo principal es mejorar la eficiencia, seguridad, bienestar y salud de las personas en el lugar de trabajo y en su vida cotidiana. La ergonomía se enfoca en el diseño de objetos, herramientas, lugares de trabajo, productos y sistemas para que se adapten de la mejor manera posible a las características físicas, psicológicas y cognitivas del ser humano, promoviendo la prevención de lesiones, fatiga, estrés y enfermedades ocupacionales.

También se utiliza en la industria para mejorar la eficiencia y productividad, reduciendo los errores humanos y aumentando la satisfacción laboral, como en el caso de un cockpit de Fórmula Student, la ergonomía es esencial para garantizar la seguridad del piloto y su comodidad durante la conducción.

La antropometría es la ciencia que se encarga de medir las dimensiones y proporciones del cuerpo humano. Esto implica el estudio y la medición de diversas características físicas, como la altura, el peso, la longitud de los miembros, el ancho de diferentes partes del cuerpo, entre otros. Estas mediciones antropométricas se utilizan en una variedad de campos, como la ergonomía, la arquitectura, el diseño industrial, la medicina y la antropología, para comprender mejor las variaciones en la morfología humana y aplicar esta información en la creación de espacios, productos y servicios que sean más adecuados y cómodos para las personas.

El diseño de un cockpit, en el caso de un Fórmula 1, se hace en base a la anatomía y biomecánica del piloto, lo que significa que cada uno debe tener un cockpit a medida. El asiento es uno de los elementos más importantes, ya que debe ser cómodo y ajustarse perfectamente al cuerpo del piloto para evitar lesiones en caso de accidente.

Otro aspecto clave es la posición del volante y los pedales, que deben estar situados a la altura y distancia adecuadas para que el piloto pueda alcanzarlos y controlarlos con facilidad. Lo mismo ocurre con la visibilidad, el piloto debe tener una vista clara y despejada del trazado.

Entre los aspectos que se deben tener en cuenta en la ergonomía de un monoplaza se encuentran:

- **Asiento:** El asiento debe ser cómodo y ajustarse a la forma del cuerpo del piloto para que pueda tener una posición de conducción adecuada y una buena visibilidad de la pista.
- **Pedales:** Los pedales deben estar ubicados en una posición que permita al piloto alcanzarlos fácilmente y con la menor fatiga posible. Además, la fuerza necesaria para accionarlos debe ser óptima para evitar la fatiga en las piernas del piloto.

- **Volante:** El volante debe estar ubicado en una posición adecuada para que el piloto pueda alcanzarlo fácilmente y sin tener que desplazar su cuerpo. También debe ser cómodo de sostener y los botones y controles deben estar ubicados en lugares accesibles para el piloto.
- **Cinturón de seguridad:** El cinturón de seguridad debe ser ajustable para que se adapte perfectamente al cuerpo del piloto y así evitar lesiones en caso de un accidente.
- **Protección contra impactos:** El diseño del monoplaza también debe tener en cuenta la seguridad del piloto en caso de un impacto. El habitáculo del piloto debe estar reforzado para resistir la fuerza de un choque y los sistemas de retención deben ser eficaces para proteger al piloto.

La postura adecuada para el piloto de un monoplaza es crucial para garantizar su comodidad, seguridad y un buen rendimiento durante la carrera. Una buena postura en el asiento del monoplaza permitirá al piloto tener una mayor sensibilidad al volante y a los pedales, lo que a su vez mejorará su capacidad de respuesta y control del coche.

La postura adecuada para el piloto de un monoplaza es una posición semi-tumbada, con las piernas estiradas y los brazos ligeramente doblados. La espalda del piloto debe estar apoyada en el respaldo del asiento y su cabeza debe estar en una posición ligeramente elevada para tener una buena visibilidad de la pista (Ilustración 11).

El ángulo de las piernas del piloto en el monoplaza debe ser lo más horizontal posible, para que la fuerza de frenado y aceleración no se concentre en una sola zona del cuerpo, evitando así la fatiga muscular. La altura y la inclinación del asiento deben ajustarse para que el piloto pueda alcanzar fácilmente los pedales y el volante y tenga un ángulo de visión óptimo para ver la pista.



**Ilustración 11. Posición de conducción deportiva.**

Fuente: Motor16 [9].

Es importante mencionar que la postura ideal puede variar según las características físicas del piloto, por lo que se debe hacer un ajuste personalizado del asiento y los controles del monoplaza para lograr una postura óptima. Además, los equipos de Fórmula 1 y otras competiciones de monoplazas cuentan con especialistas en ergonomía que trabajan con los pilotos para garantizar que su postura sea la adecuada.

Como ya se ha mencionado, para desarrollar un objeto ergonómico, lo ideal es que esté lo más adaptado al usuario por el que va a ser utilizado. Cuando se trata de un elemento que va a tener varios consumidores es cuando hay que recurrir a una adaptación de las distintas antropometrías que se presente como la más neutra. En este caso, por razones de diseño y coste, las decisiones que se pueden tomar a la hora de posicionar al piloto dentro del habitáculo son limitadas ya que se parte de un chasis ya fabricado y se pretende hacer a partir de los materiales ya disponibles y trabajados anteriormente.

#### 5.1.2. Postura ideal del piloto

Como se ha comentado antes, la geometría varía en cada piloto por sus características físicas, es decir distintas proporciones y distintos tamaños por lo que lo ideal es personalizar el asiento a cada piloto.

Sin embargo, sí que podemos definir una serie de características generales a tener en cuenta:

- **Ancho:** El ancho del asiento debe permitir que el piloto se siente cómodamente sin sentirse restringido, pero a su vez debe reducirse el espacio libre entre asiento y piloto para asegurar que este tenga el mínimo deslizamiento lateral. Generalmente, se toma en cuenta el ancho de las caderas del sujeto. Por otro lado, es importante conseguir una posición de hombros relajados que evite tensiones en los hombros y el cuello.
- **Profundidad:** La profundidad del asiento debe permitir que la espalda del usuario esté completamente apoyada en el respaldo con una postura cómoda alcanzando con facilidad los pedales, además de tener margen suficiente para poder manejarlos. Para esto se tiene en cuenta la longitud de las piernas del piloto. Este parámetro también afecta a la distancia del piloto al volante debiendo conseguir unos brazos ligeramente flexionados y relajados.
- **Altura:** La altura del asiento debe permitir que el conductor tenga buena visibilidad, aunque, en el caso de los vehículos de competición se sacrifica la visibilidad del piloto llevándolo lo más pegado al fondo que sea posible mejorando así el centro de gravedad y la aerodinámica ya que esta empeora cuanto más cuerpo quede por fuera del chasis.
- **Ángulo:** El ángulo del respaldo debe conseguir la posición más natural posible evitando así lesiones y fatigas. Nuevamente, aunque afectando de manera positiva, se busca un ángulo mayor para mejorar aerodinámica y distribución de peso.

El proceso de diseño del asiento de Fórmula 1 implica trabajar en estrecha colaboración con el piloto y utilizar moldes de su cuerpo para obtener un ajuste perfecto. Esta personalización garantiza una mayor comodidad, seguridad y rendimiento durante las carreras.

En este caso en concreto tenemos las restricciones de chasis en cuanto al ángulo del respaldo por lo que las modificaciones del ángulo van a afectar a la profundidad del asiento respecto a los pedales. En cuanto a la altura, para la mayor eficiencia, la parte más baja del piloto va a ser el propio suelo de chasis.

Con estas restricciones ergonómicas es como se va a lograr una postura óptima trabajando la ergonomía del asiento.

### 5.1.3. Situación actual

Como se ha mencionado en el estudio de mercado, el asiento actual se trata de una réplica de otro ya existente homologado para karting en espuma de poliuretano expandido. Este método no es el adecuado por los siguientes motivos:

- Un asiento de este tipo queda por debajo de los hombros y no tiene sujeción de ningún tipo para las piernas.
- Es un asiento genérico que no se ajusta del todo a los pilotos ya que está diseñado para un porcentaje amplio de la población.
- La espuma no tiene ningún tratamiento y acaba cediendo en algunas partes por presión.

Además de los problemas que conlleva este método se conoce también el feedback de los pilotos durante la conducción:

- Dolor en la zona cuello-espalda superior.
- Fatiga en los hombros.
- Codos y rodillas doloridas por el constante roce y contacto en apoyo con el chasis.
- Movimiento de piernas por falta de sujeción.

La gran mayoría de estos problemas se pueden arreglar mediante la elaboración de un buen diseño del cockpit. Por este motivo es importante tener en cuenta estos datos a la hora de modelar y por esto se ha incluido en las especificaciones de diseño.

### 5.1.4. Posición ideal de un piloto

La NASA desarrolló unos estándares para los viajes espaciales tripulados [10] en los que incluían la postura neutral del cuerpo (NBP) para especificar formas de diseñar que respalden la salud y la seguridad. Estos fueron utilizados posteriormente por Nissan Motor Company para el desarrollo de asientos en sus vehículos.

Las primeras cápsulas eran pequeñas y la mayoría de las actividades del vuelo se realizaban desde el asiento. Para brindar comodidad la agencia examinó la postura neutral, que es, la postura que el cuerpo humano asume en microgravedad de forma natural (Ilustración 12). Para ello se tomaron fotos de la tripulación del Skylab, la primera estación espacial de la NASA, mientras estos se encontraban físicamente relajados. Estas fotos demostraron que el cuerpo asume ciertos ángulos y posiciones en tales condiciones.

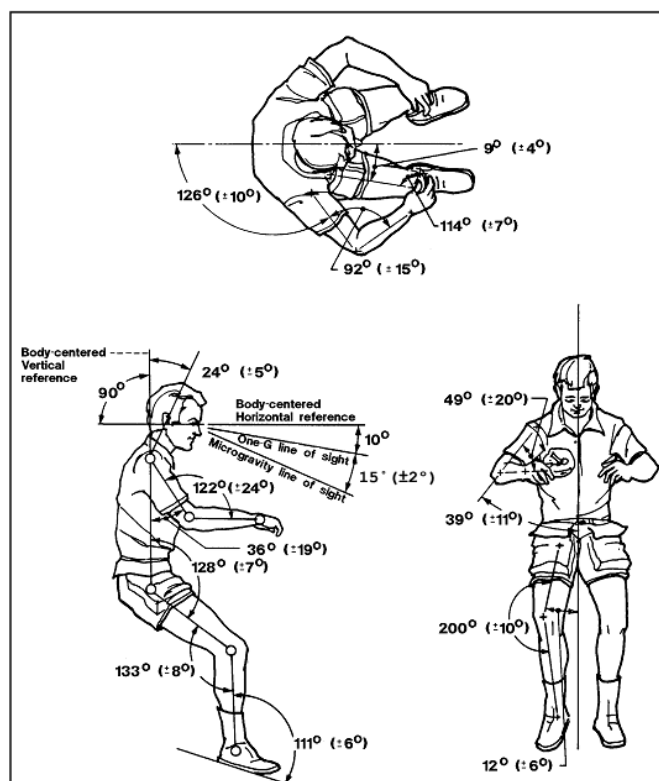
En la década de 1980, la NASA desarrolló y documentó las características de NBP (Neutral Body Posture) en los Estándares de Integración de Sistemas Humanos (MSIS) NASA-STD-3000 [10]. Estos estándares fueron creados con el objetivo de diseñar sistemas de vuelo espacial que promovieran la salud, seguridad y productividad de los astronautas. El MSIS proporcionó pautas detalladas para informar el diseño de todos los vehículos y sistemas de

la NASA que involucraban tripulación humana. Específicamente, la NASA utilizó el estándar NBP para el diseño de estaciones de trabajo y herramientas espaciales, asegurándose de que estuvieran optimizadas para la postura neutral del cuerpo y brindaran comodidad ergonómica a los astronautas durante sus tareas espaciales.

En 2006, Nissan llevó a cabo un estudio [11] sobre su nuevo asiento experimental con respaldo de dos piezas diseñado para mantener la postura neutral del cuerpo (NBP). Los resultados demostraron que el asiento proporcionaba un soporte adecuado a la columna vertebral y mejoraba el flujo sanguíneo en las áreas desde la pelvis hasta el pecho. Además, se observó que la postura del conductor se mantenía cerca de la posición natural del cuerpo mientras se encontraba sentado en el asiento experimental, lo que resultaba en una notable reducción de la fatiga durante períodos prolongados de estar sentado.

En una segunda fase de la investigación, realizada en 2007, se evaluó el asiento prototipo en condiciones dinámicas de conducción a largo plazo en una autopista. Los resultados revelaron una disminución del 50 por ciento en el agotamiento físico durante la conducción, en comparación con la fatiga experimentada en los asientos convencionales de automóviles. Estos hallazgos destacan el impacto positivo de la nueva postura proporcionada por el asiento NBP en términos de comodidad y reducción de la fatiga durante la conducción prolongada.

La realidad es que, según el MSIS, no se debe buscar que los miembros adopten la postura de microgravedad ya que también pueden causar fatiga. Se deben acomodar las alturas y los ángulos naturales de la postura corporal neutra teniendo también en cuenta la función a realizar.



**Ilustración 12. Ángulos de la postura neutral proporcionados por la NASA.**

Fuente: NASA [10].

## 5.2. Ingeniería inversa

La ingeniería inversa es un campo fascinante y de gran importancia en el ámbito tecnológico [12]. En un mundo donde la innovación y el avance tecnológico son constantes, la capacidad de desmontar, analizar y comprender cómo funcionan los productos y sistemas existentes se ha convertido en una habilidad clave. La ingeniería inversa es el proceso de descomponer y comprender la estructura interna, el diseño y el funcionamiento de un producto, dispositivo o software, con el objetivo de recrear o mejorar dicha tecnología.

Se utilizan máquinas de medición por coordenadas (MMC), sistemas de sondeo y brazos articulados robotizados en la ingeniería inversa para eliminar los problemas y errores asociados a los métodos manuales. La selección de una tecnología de medición 3D en lugar de otra se basa en diversos factores, como los niveles de tolerancia necesarios, la densidad y velocidad de los datos, las características específicas de la pieza, la línea de visión y la facilidad de uso del dispositivo utilizado. Hoy en día se utilizan cada vez más los escáneres 3D portátiles en este campo de la ingeniería ya que generan resultados de alta precisión, confiables y repetibles al nivel de las máquinas mencionadas, pero con mayor rapidez y facilidad de uso obteniendo casi al instante el modelo 3D.

Esta metodología se utiliza a menudo cuando el conocimiento sobre la ingeniería de la pieza es limitado o cuando ya no se fabrican. Permite obtener referencias, mejorar las piezas y optimizarlas con nuevas características. También se utiliza cuando son piezas o modelos hechos a mano.

La implementación de la ingeniería inversa puede ser una estrategia fundamental dentro del plan de mantenimiento proactivo de un fabricante. Al realizar ingeniería inversa de los componentes críticos antes de que ocurra un fallo, el fabricante tiene la capacidad de almacenar piezas de repuesto y minimizar los tiempos de inactividad no planificados. Esta práctica permite una mayor eficiencia en la gestión de mantenimiento y garantiza la disponibilidad de los componentes esenciales para el proceso productivo.

En este caso se ha utilizado la ingeniería inversa para obtener de forma digital un modelo de asiento de karting (Ilustración 23). Se trata del asiento que se ha utilizado como molde en la temporada anterior, que es una buena referencia respecto a las sensaciones que los pilotos reportan, aunque requiere de algunas modificaciones. Por lo tanto, se ha decidido tomar ciertas medidas de este como modelo de referencia.

En primer lugar, es necesario obtener el modelo en un archivo 3D y para esto se ha utilizado el software y hardware de Structure SDK, una plataforma de escáner, junto a un iPad y el sensor LiDAR conectado a este, se ha escaneado el asiento en las instalaciones de la Escuela de Ingenierías Industriales. Mediante este proceso se obtiene una nube de puntos que posteriormente será mallada por el software CAD utilizado por lo que la precisión y la calidad viene determinada por la densidad de puntos que el sensor sea capaz de captar.

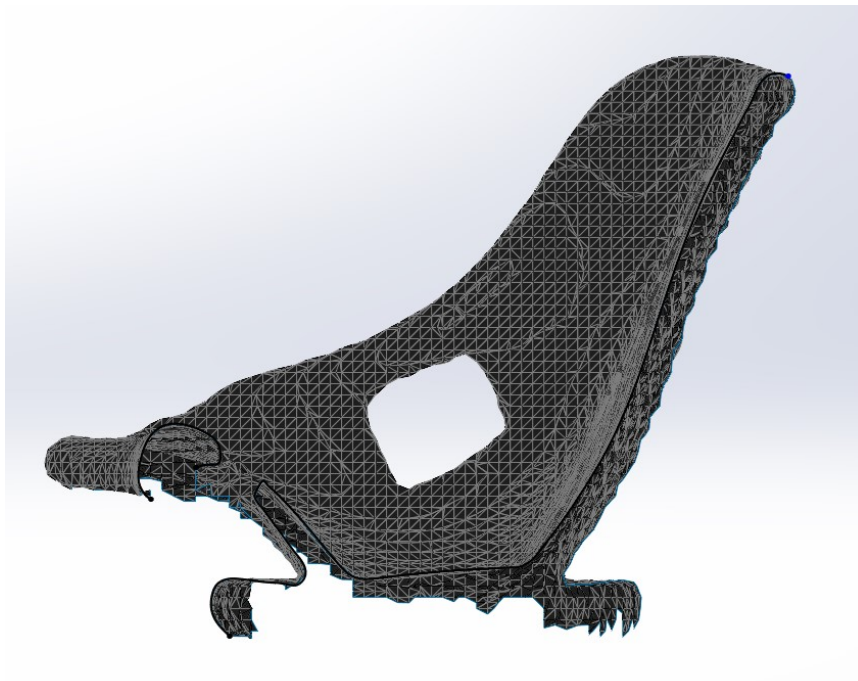
Este procedimiento se divide en 2 partes. La primera es la obtención de un modelo por nube de puntos y la otra es la toma de medidas o referencias sobre este archivo, como se detalla en el Anexo II. La finalidad es la toma experimental de la geometría utilizada en este asiento sin necesidad de recurrir a datos antropométricos que generalmente son privados o de acceso no gratuito.

Una vez se ha escaneado la pieza por completo, este tipo de escáner devuelve un archivo STL, ya sea nube de puntos o una malla, que debe ser postprocesado con otro software como puede ser VXmodel que repara, limpia y refina los datos dividiendo el objeto en distintas regiones y formas además de colocarlo en el origen de coordenadas, aunque, en esta finalidad, no es necesario este postprocesado.

El futuro de la ingeniería inversa es altamente prometedor y se vislumbra como una herramienta invaluable en el ámbito de la fabricación. A medida que continúan surgiendo innovaciones tecnológicas en el campo de los equipos de medición 3D y el software de ingeniería inversa, se espera que los flujos de trabajo de ingeniería inversa se vuelvan aún más eficientes y sofisticados.

Estos avances permitirán a los fabricantes aumentar la efectividad de sus productos, desarrollar soluciones novedosas y mejorar significativamente sus procesos de producción y los resultados finales. La capacidad de obtener modelos digitales precisos y completos de componentes críticos a través de la ingeniería inversa brindará una base sólida para el análisis detallado y la optimización de dichos componentes.

La ingeniería inversa es un campo de gran importancia en el ámbito tecnológico. Permite desmontar y comprender cómo funcionan los productos y sistemas existentes, lo cual es crucial en un mundo de constante innovación. La utilización de tecnologías como máquinas de medición por coordenadas, sistemas de sondeo y escáneres 3D portátiles ha mejorado los flujos de trabajo de ingeniería inversa, proporcionando resultados precisos de manera más rápida y fácil. Además, la ingeniería inversa se utiliza para obtener referencias, mejorar piezas y optimizar características, así como en la planificación del mantenimiento proactivo. En resumen, el futuro de la ingeniería inversa se ve prometedor, brindando oportunidades de innovación y mejora en el diseño y fabricación de productos.

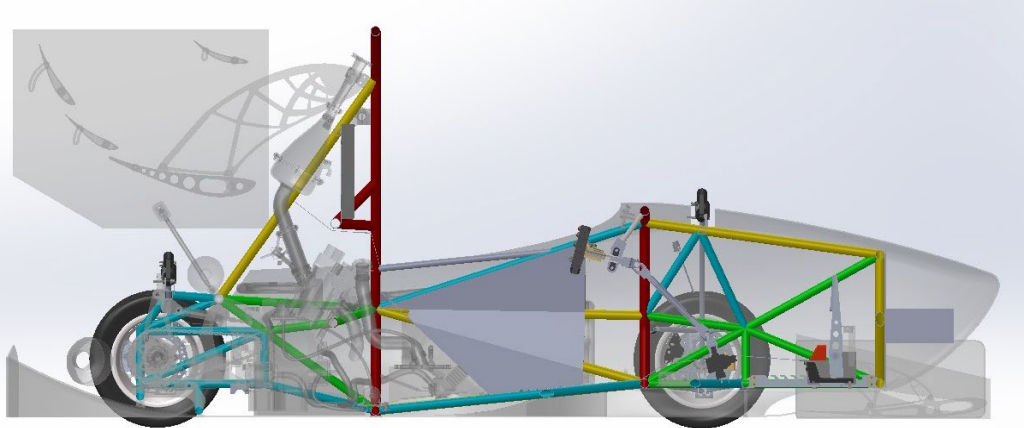


**Ilustración 13. Corte longitudinal de la superficie escaneada.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

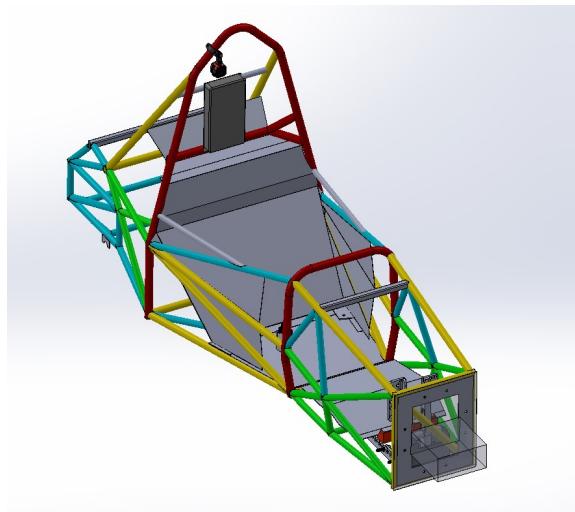
### 5.3. Diseño geométrico

Antes de modelar, es necesario comprender y dimensionar el entorno del producto. En las siguientes imágenes (Ilustraciones 14, 15 y 17) se puede ver el espacio disponible:



**Ilustración 14. Corte longitudinal MA23RT.**

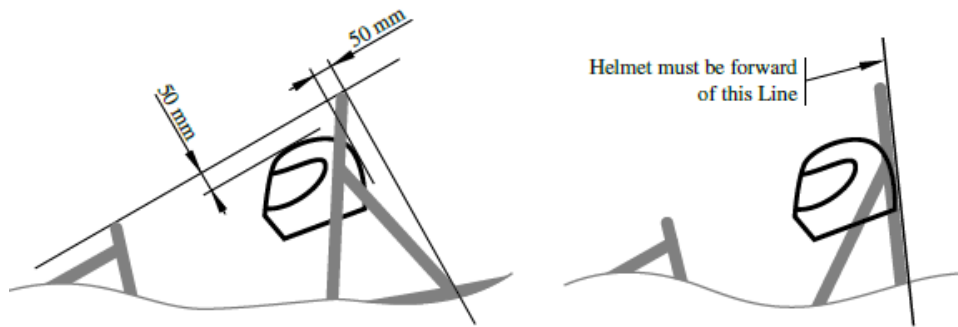
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 15. Ensamblaje de chasis.**

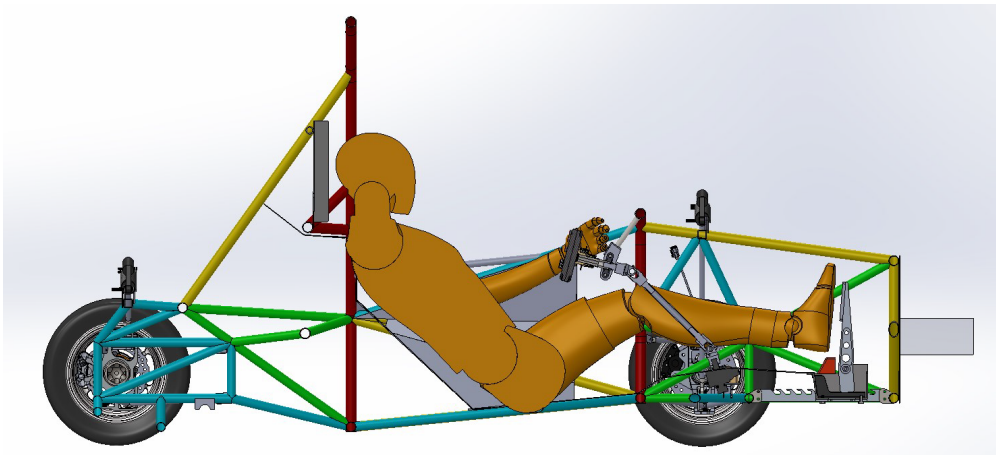
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

A partir de estas limitaciones de espacio, es necesario conocer la postura del piloto de forma que tenga buen acceso, alcance todos los mandos y cumpla normativa. Para esto se han utilizado los dummies mencionados en el apartado de la antropometría de los pilotos, una vez se han aplicado las modificaciones.



**Ilustración 16. Explicación gráfica aportada en la normativa.**

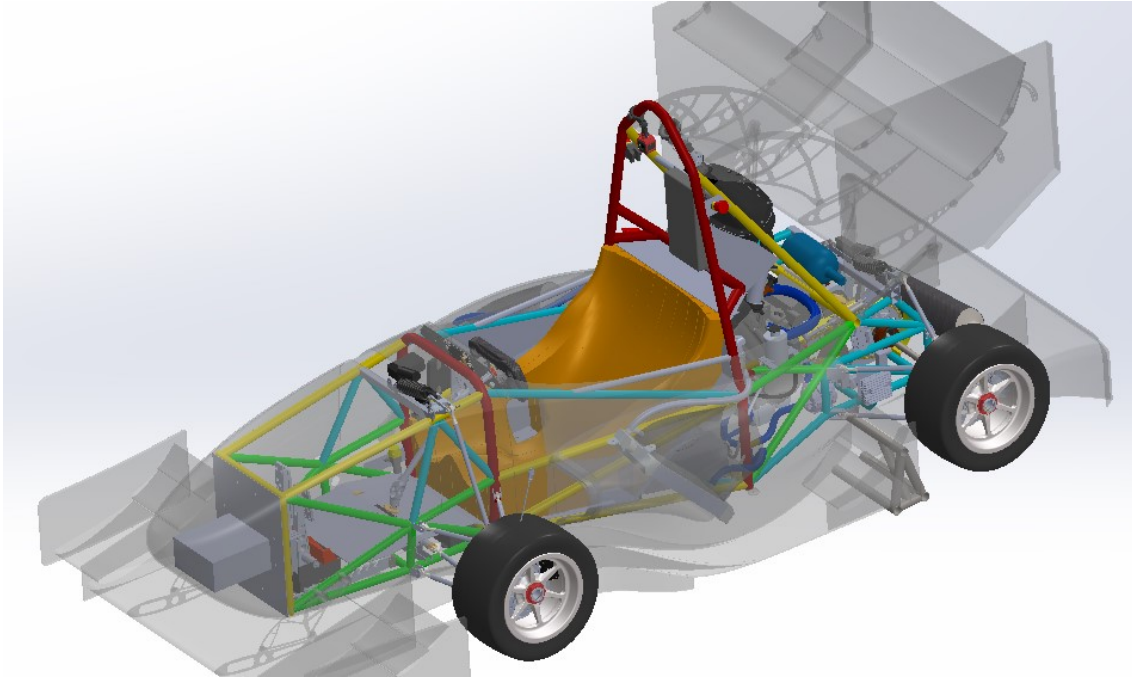
Fuente: FS Rules 2023 [1].



**Ilustración 17. Posición del dummy en el chasis.**

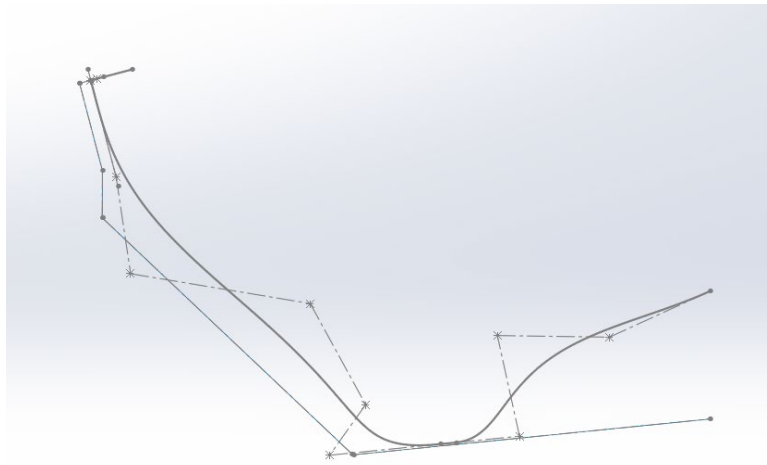
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

Gracias a los dummies las curvas se han podido ajustar más al ancho del cuerpo de los pilotos ya que como se aprecia en la Ilustración 13 el asiento escaneado es bastante genérico en este aspecto. Por otro lado, gracias al modelo escaneado se han podido dimensionar los agujeros para los cinturones ya que estos están hechos y posicionados a la medida necesaria para cumplir normativa.



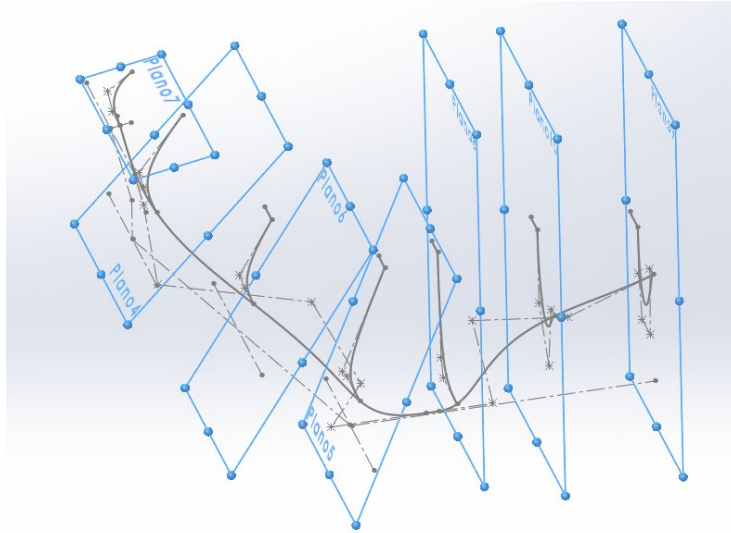
**Ilustración 18. MA23RT con asiento.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

El proceso que se ha seguido en el modelado comienza tomando la referencia al firewall y generando la sección longitudinal del asiento con un croquis en la vista lateral como se muestra en la Ilustración 19.



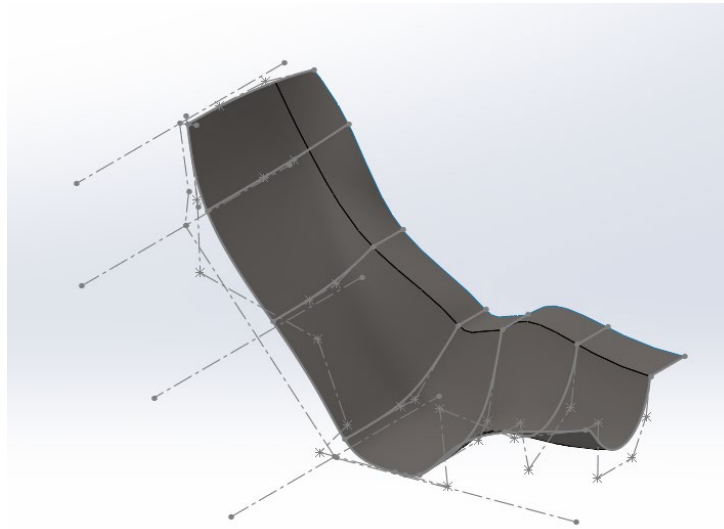
**Ilustración 19. Sección longitudinal del asiento.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

A partir de este dibujo se generan planos perpendiculares al firewall en las zonas más críticas o que presentan mayor cambio de sección (Ilustración 20). Es importante tener en cuenta que para un mejor control de la superficie hay que aumentar el número de croquis en esa zona como, en este caso, ocurre con la parte que va desde la cintura hasta los muslos.

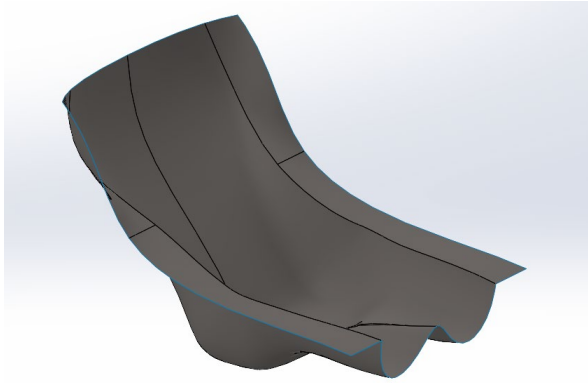


**Ilustración 20. Visualización de los croquis transversales.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

Con la herramienta de superficies “superficie limitante”, se seleccionan los croquis transversales, por un lado, y longitudinales por otro, para generar la superficie de la Ilustración 21. Posteriormente es necesario arreglar la superficie en la zona lateral realizando particiones y extensiones para lograr un acabado como el de la Ilustración 22.



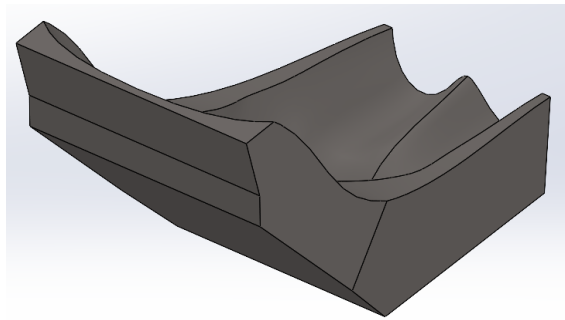
**Ilustración 21. Superficie generada a partir de los croquis.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 22. Superficie final.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

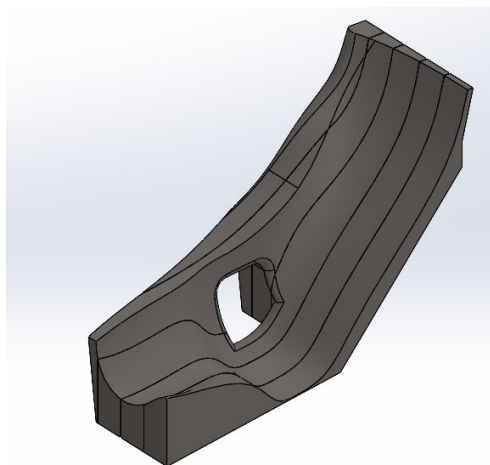
El siguiente paso es crear un sólido. Para esto, se ha utilizado el método de crear un sólido a partir de un conjunto de superficies cerradas a la hora de unir las mediante la herramienta “coser superficies”. En este proceso hay que generar las superficies del firewall, los laterales y las tapaderas superior e inferior (Ilustración 23).



**Ilustración 23. Conjunto de superficies cerradas.**

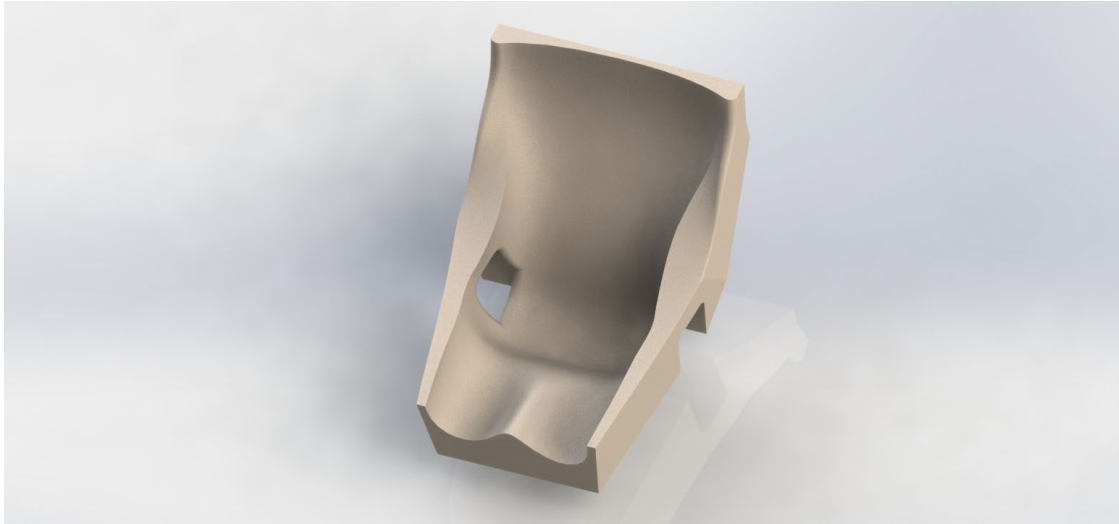
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

Finalmente se divide el sólido en las secciones en las que se va a trabajar en la fabricación (Ilustración 24). El resultado final se encuentra en las Ilustraciones 25 y 26.

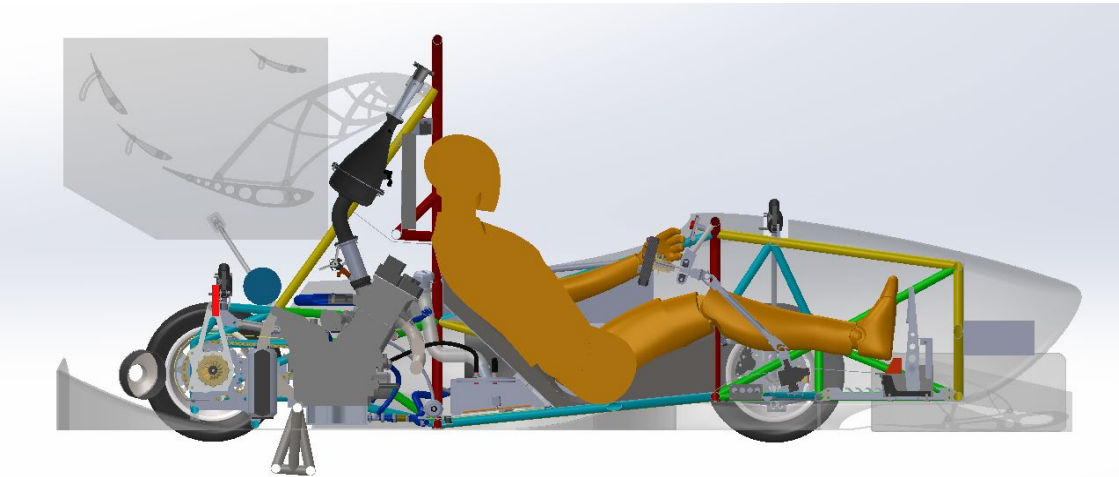


**Ilustración 24. Sólido final para fabricación.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 25. Renderizado del modelo.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 26. Dummy con asiento.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

## 6. Diseño de detalle

### 6.1. Materiales

La selección adecuada de materiales desempeña un papel fundamental en el campo de la ingeniería, ya que puede determinar en gran medida el rendimiento, la durabilidad y la viabilidad de un proyecto. En este apartado se realizará una evaluación exhaustiva de diversos materiales con el objetivo de determinar cuáles son los más apropiados para cumplir con los requisitos y objetivos del proyecto en cuestión. Se analizarán y compararán las propiedades, ventajas y limitaciones de los materiales considerados, con el fin de tomar decisiones fundamentadas y lograr resultados óptimos en términos de desempeño y costos.

Para poder elegir bien el material es necesario tener en cuenta la geometría del producto por lo que previamente se realizará un repaso por los distintos materiales, de forma genérica que pueden ser válidos:

- Laminado en fibras de vidrio o de carbono: (Ilustración 27) es la mejor opción en cuanto a resistencia-peso, aunque también la más cara. Requiere de la elaboración de un molde en espuma y el diseño de ciertos refuerzos y sujeciones.



**Ilustración 27. Asiento del equipo de Valencia.**

Fuente: Clásicos al Volante [13].

- Bloque de espuma: (Ilustración 28) se trata del mismo procedimiento que para la fabricación del molde de un asiento de fibra por lo que es menos costoso y más fácil de fabricar.



**Ilustración 28. Asiento de espuma forrado con plástico.**

Fuente: Westfield Sports Car Cup [14].

Debido a la ventaja económica que presenta la espuma y a que no elimina la posibilidad de, en un futuro, realizar la primera opción, se ha elegido fabricar el asiento en un bloque de espuma rígida. Por lo tanto, es necesario hacer un estudio de las diferentes espumas que se pueden utilizar para esta aplicación y comprobar si son aptas (Anexo III). Los criterios de búsqueda son:

- Espuma rígida y dura.
- Mecanizable o corte por hilo caliente.
- Resistencia al calor por encima de 50 °C.

Las mejores opciones son:

- Espuma de poliuretano: Es ampliamente utilizada en aplicaciones industriales debido a su versatilidad y facilidad de maquinado. Viene en diferentes grados de dureza, desde espumas blandas hasta espumas más rígidas (medida en kPa a compresión).
- Espuma de poliestireno extruido (XPS): Es un tipo de espuma rígida con una estructura celular cerrada. Tiene buena resistencia a la compresión y es fácil de mecanizar. Se utiliza en aislamientos térmicos, paneles de construcción y aplicaciones de embalaje.
- Espuma de polietileno reticulado (XLPE): Es una espuma de polietileno que ha sido reticulada químicamente para mejorar su resistencia y rigidez. Es mecanizable y se utiliza en aplicaciones como embalajes protectores, aislamientos acústicos y componentes estructurales.
- Espuma fenólica: La espuma fenólica es otra opción de espuma rígida que puede ser mecanizable y presenta cierta dureza. Se basa en una resina fenólica termoestable que se expande durante el proceso de fabricación para formar una estructura de celdas cerradas. La espuma fenólica es conocida por su excelente resistencia al fuego y baja conductividad térmica.

Estas son las opciones de espumas rígidas mecanizables con diferentes niveles de dureza disponibles en el mercado.

Tipo	Densidad	Modelado	Dureza a compresión	Límite de T <sup>a</sup>	PVP
XPS Extruded Polystyrene Foam	33 kg/m <sup>3</sup>	Corte hilo caliente Mecanizable	300 kPa (10% de deformación)	70°C	6€ (1200 x 600 mm; e=100 mm)
	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal para corte por hilo caliente.</li> <li>• Se puede disolver con disolventes como acetona.</li> <li>• Mayor dificultad para moldear a mano que el PU.</li> </ul>				
EPS Expanded Polystyrene Foam	~20 kg/m <sup>3</sup>	Corte hilo caliente Baja mecanizabilidad.	100 kPa (10% de deformación)	80°C	4€ (1000 x 500 mm; e=60 mm)
	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Muy ligero con buena relación resistencia-peso.</li> <li>• Peores acabados.</li> <li>• Reacciona con gran variedad de productos.</li> <li>• Se deshace con facilidad</li> </ul>				
PU80 Low Density Polyurethane Foam	80 kg/m <sup>3</sup>	Mecanizable.	750 kPa (ISO 604) *(1)	130°C	115€ (1000 x 500 mm; e=100 mm)
	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ideal para pruebas o test de CNC.</li> <li>• Se trabaja bien a mano.</li> <li>• perfecto para estudios de diseño y construcción de modelos hechos a mano.</li> </ul>				
PF40 Low Density Polyurethane Foam	48 kg/m <sup>3</sup>	Mecanizable.	350 kPa *(2)	70°C	56€ (1220 x 600 mm; e=100 mm)
	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ligera.</li> <li>• Fácil moldeo a mano.</li> <li>• No se expande ni contrae y es compatible con resinas epoxi, poliéster y viniléster.</li> <li>• Bajo costo.</li> </ul>				
PF90 High Density Polyurethane Foam	96 kg/m <sup>3</sup>	Mecanizable.	1500 kPa *(2)	100°C	98€ (1220 x 600 mm; e=100 mm)
	Descripción: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acabado de alta calidad, perfecto para laminar.</li> <li>• No se expande ni contrae y es compatible con resinas epoxi, poliéster y viniléster.</li> <li>• Resistente y duradera.</li> </ul>				

**Tabla 1. Comparativa entre espumas del mercado.**

(1) El esfuerzo de compresión en X% de deformación se puede medir, por ejemplo, si la curva de esfuerzo/deformación no muestra un límite elástico.

(2) Tensión máxima de compresión sostenida por la muestra de ensayo durante un ensayo de compresión.

Es importante tener en cuenta los requisitos específicos del proyecto para seleccionar la espuma más adecuada en términos de propiedades físicas, resistencia, densidad y otras características relevantes. Es por esto por lo que se ha elaborado la Tabla 1 con las características más relevantes.

Desde el punto de vista de la resistencia, el que mejores nos ofrece es el poliuretano de alta densidad, seguido del de baja densidad. Pero teniendo en cuenta el peso, sólo deja lugar a su utilidad como molde para una laminación de composites que, por precio, obliga a bajar la densidad y escoger la de  $48 \text{ kg/m}^3$ . Directamente quedan descartadas la PU80 por el coste, que se debe a la calidad de acabado que ofrece) y el EPS por la mala calidad que presenta en diferentes aspectos como en la deformación.

La espuma de poliuretano de baja densidad es muy similar en cuanto a las características comparada con el poliestireno extruido. Si se comparan se aprecia que, sacrificando un poco la resistencia, el XPS supone una mejora en peso y económica además de aportar la posibilidad de corte por hilo caliente.

Es por esto por lo que la espuma elegida es el XPS o poliestireno extruido es el material elegido con el que se desarrollará todo el plan de fabricación debido a las propiedades que ofrece. Es un tipo de espuma muy utilizada en construcción por lo que presenta una gran oferta y de ahí su precio.

Las propiedades técnicas que proporciona el fabricante las podemos encontrar en la ficha técnica que se encuentra en el Anexo IV.

## **6.2. Análisis mecánico de resistencia FEM**

Como última validación del material es necesario comprobar su comportamiento mecánico en condiciones reales de trabajo. Para esto se ha recurrido a la simulación de resistencia mecánica por el método de elementos finitos (FEM). Mediante este estudio se puede conocer de forma aproximada las deformaciones y tensiones a los que va a estar sometido dando a conocer el resultado sin necesidad de pruebas físicas y costosas.

Es una técnica numérica ampliamente utilizada en el campo de la ingeniería y el análisis estructural. Se utiliza para resolver problemas complejos de ingeniería mediante la división del dominio en elementos más pequeños y discretos. Cada elemento se representa mediante ecuaciones matemáticas que describen su comportamiento, y luego se ensamblan para formar un sistema global que representa el sistema completo.

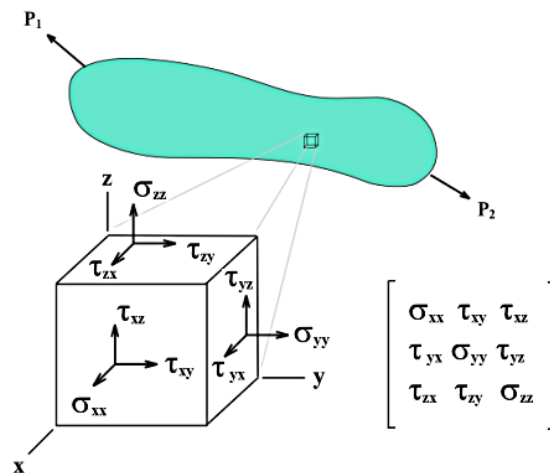
El método de elementos finitos se utiliza en una amplia gama de disciplinas de ingeniería, incluyendo estructuras, mecánica de fluidos, transferencia de calor, electromagnetismo y análisis de fatiga, entre otros. Se aplica en industrias como la aeroespacial, automotriz, energética, construcción y muchas más.

Este análisis se ha detallado en el Anexo III, utilizando el apartado de simulación del software SolidWorks. Se ha creado un material nuevo con las características del XPS ofrecidas por CES EduPack en conjunto con la ficha técnica del fabricante. Es una herramienta que permite abordar de manera eficiente los desafíos globales relacionados con la selección de materiales.

Los resultados obtenidos son favorables a simple vista, pero hay que tener ciertas consideraciones que aparecen en el Anexo III:

- Los datos se han tomado para una persona de 100 kg para tener cierto margen de seguridad.
- La carga se ha aplicado como una carga remota a partir de los datos del centro de gravedad y momentos de inercia aportados por el propio software en el ensamblaje del dummy más grande, asemejándose más a una persona de 100 kg.
- Los gráficos de deformación del modelo tienen un factor de escala aplicado.
- La malla utilizada se ha optimizado de forma que se ha refinado en las zonas de mayor relevancia, como es la zona de contacto con la persona, permitiendo así una mayor optimización de los recursos empleados para el cálculo.

El esfuerzo de Von Mises (ecuación 1) es una medida de suma importancia en el análisis estático, ya que considera todas las componentes de esfuerzo presentes en un material debido a las fuerzas externas aplicadas sobre él. Esta medida permite identificar posibles fallas en los materiales al comparar el esfuerzo máximo de Von Mises con el límite elástico del objeto bajo análisis. Está caracterizado por seis componentes de esfuerzos  $\sigma_{xx}$ ,  $\sigma_{yy}$ ,  $\sigma_{zz}$  y  $\sigma_{xy} = \sigma_{yx}$ ,  $\sigma_{yz} = \sigma_{zy}$ ,  $\sigma_{xz} = \sigma_{zx}$  que representan las componentes de las tensiones en cada plano como se muestra en la siguiente ilustración.



**Ilustración 29. Representación gráfica y matricial de tensiones de Von Mises.**

Fuente: Wikipedia [15].

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\sigma_{xx}^2 + \sigma_{yy}^2 + \sigma_{zz}^2 - (\sigma_{xx}\sigma_{yy} + \sigma_{yy}\sigma_{zz} + \sigma_{zz}\sigma_{xx}) + 3(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)} \quad (1)$$

El desplazamiento URES (ecuación 2) es el módulo de los vectores de los desplazamientos en los tres ejes de coordenadas ( $U_x$ ,  $U_y$ ,  $U_z$ ).

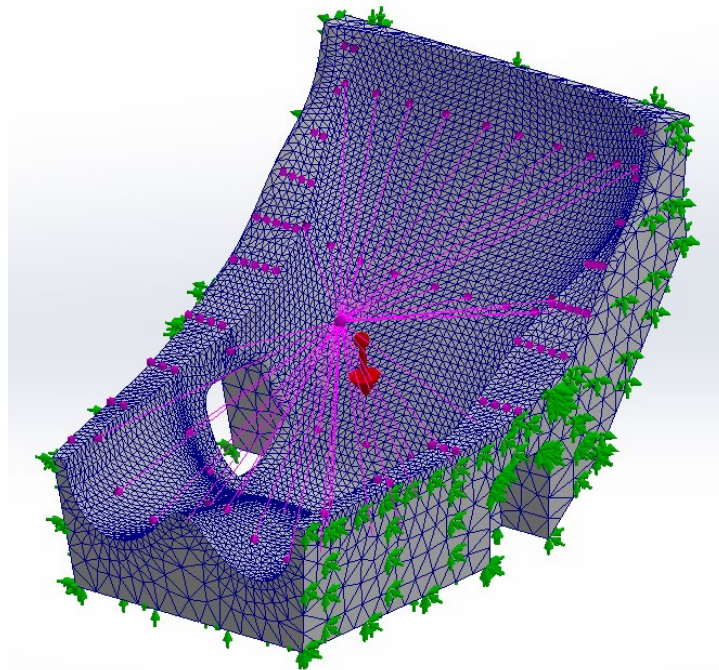
$$URES = \sqrt{U_x^2 + U_y^2 + U_z^2} \quad (2)$$

El factor de Seguridad (FS) (ecuación 3) está dado a partir del criterio de falla del esfuerzo máximo de Von Mises. Si el esfuerzo máximo de Von Mises ( $\delta_{vm}$ ) no supera el límite elástico ( $\delta_e$ ) del material, se considera que el objeto está dentro de un rango seguro de carga y no se esperan fallas estructurales. Este es adimensional ya que es una relación entre esfuerzos.

$$FS = \frac{\sigma_e}{\sigma_{vm}} \quad (3)$$

En este caso el límite elástico es de  $3 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ , si se toma el máximo valor en tensiones alcanzado en los resultados que es de  $1,364 \cdot 10^4 \text{ N/m}^2$ , el factor de seguridad que se obtiene es  $FS = 21,99$ .

Como resultado se puede decir que este material es totalmente válido, ahora también, respecto a su comportamiento mecánico. Como zona preocupante, pero solo en cuanto a deformación, cabe destacar los laterales de la espalda, pero, teniendo en cuenta que son valores por debajo del milímetro por lo que no llega a ser determinante para el material.



**Ilustración 30. Captura del modelo utilizado en el ensayo.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

### 6.3. Proceso de fabricación

Una vez conseguido el modelado, y se ha comprobado la validez del material elegido, es hora de diseñar el proceso de fabricación. La importancia de este apartado es de gran valor ya que el proceso de fabricación elegido requiere de una buena planificación porque son varios pasos sucesivos en los que hay que ejecutar las instrucciones de la manera adecuada para evitar errores irreversibles.

El proceso principal para la fabricación es el corte por hilo caliente. Esta decisión se ha elegido frente al mecanizado por CNC (Ilustración 31) debido al ahorro de material que supone ya que es un corte limpio que permite reutilizar el sobrante al contrario de lo que pasaría en un control numérico ya que esta parte de un bloque “bruto” prismático rectangular o cuadrado al que se le va mecanizando material en forma de viruta.



**Ilustración 31. CNC fresando madera.**

Fuente: routerscnc.com [16].

El corte por hilo caliente (Ilustración 32), también conocido como corte con alambre caliente, es un proceso de fabricación utilizado para cortar materiales termoplásticos y algunos materiales termoestables. Este método implica el uso de un alambre caliente que se calienta mediante una corriente eléctrica para fundir y cortar el material.



**Ilustración 32. Máquina corte con hilo caliente.**

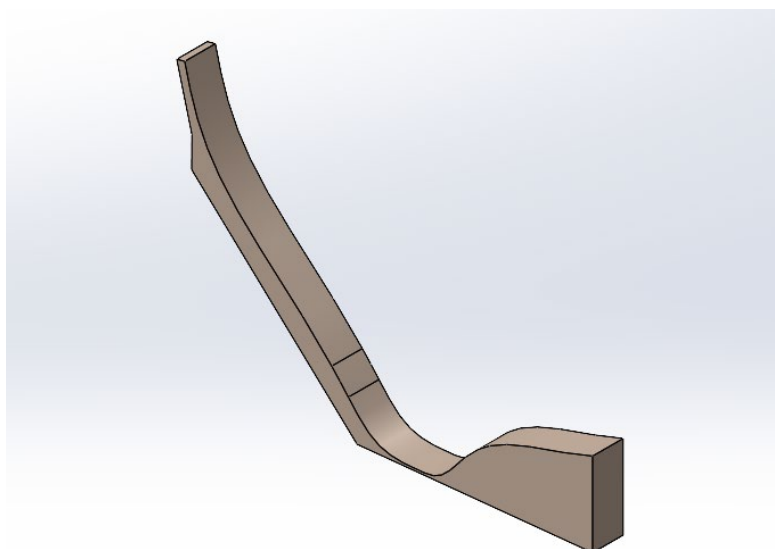
Fuente: cncbarcnas.com [17].

El proceso de corte por hilo caliente se basa en el principio de conducción de calor. El alambre caliente, generalmente hecho de un material resistente al calor, como el níquel-cromo o el tungsteno, se calienta a una temperatura lo suficientemente alta para fundir el material que se va a cortar. El alambre caliente se mueve a través del material a una velocidad controlada, generando una zona de fusión y separando el material a lo largo de la trayectoria del alambre.

El corte por hilo caliente se utiliza en una variedad de aplicaciones industriales, incluyendo la fabricación de envases, la industria del embalaje, la fabricación de aislantes y la producción de piezas de espuma y plástico. Es particularmente adecuado para cortar formas complejas y curvas precisas en materiales termoplásticos, ya que el alambre caliente puede seguir con precisión el contorno deseado.

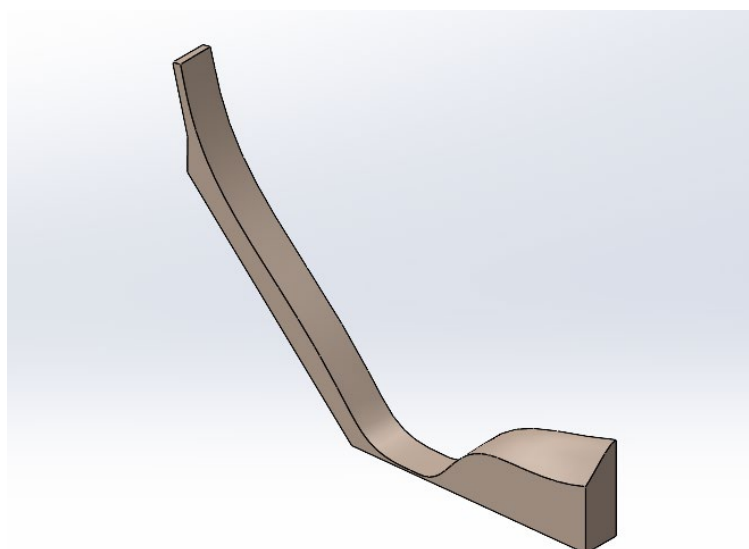
Una ventaja del corte por hilo caliente es que produce un corte limpio y preciso sin generar virutas o residuos significativos. Además, es un proceso relativamente rápido y eficiente, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de producción en serie. Como ventaja principal del hilo caliente, al tratarse de una pieza simétrica, puede realizar los cortes simultáneamente. Por otro lado, la geometría del producto permite, con las dimensiones adecuadas del bloque primario, sacar dos cortes en el mismo bloque reduciendo así el gasto en material a la mitad frente a una CNC.

Como desventaja, es obvio que el corte es recto (Ilustración 33) por lo que no reproduce la pieza con exactitud. Por esta razón, es necesario realizar un lijado para dar la forma final eliminando los escalones generados en la sección transversal (Ilustración 34). Para ello, es necesario elaborar unas plantillas o guías transversales en distintos planos para comprobar la forma final a medida que se va lijando.



**Ilustración 33. Resultado tras el corte con hilo caliente.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 34. Forma real de la pieza tras lijado.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

Aprovechando las dimensiones en las que se encuentra la espuma en el mercado, se ha dividido la pieza en planchas longitudinales con el espesor del bloque de espuma que serán cortadas en función a la sección que corresponda en esa parte de la pieza para posteriormente ensamblarlas con algún adhesivo cada una de las secciones transversales conformando la pieza final.

#### 6.3.1. Optimización de recursos

Si se toma como proveedor Obramat, debido a la gran variedad que ofrece en cuanto a este tipo de espuma y aporta la ventaja de la cercanía en cuanto al transporte, por su aplicación aislante en la construcción, se ofertan 3 espesores distintos (4 cm, 5 cm, 6 cm) Por lo que se han estudiado las distintas posibilidades en busca de alguna ventaja en cuanto a la elección de un espesor u otro:

Longitud (cm)	Altura (cm)	Espesor (cm)	Planchas necesarias	Precio unitario	Precio Final
125	60	4	7	3,22€	22,54€
125	60	5	6	4,02€	24,12€
125	60	6	5	4,82€	24,1€
125	60	2*5 + 3*6	5	-	22,5€

**Tabla 2. Combinaciones posibles para la espuma necesaria.**

Como se muestra en la Tabla 2, la última opción en la que se utiliza una combinación de espesores para abarcar el ancho de la pieza (56,6 cm) es la más adecuada si tenemos en cuenta el precio y el número de planchas que posteriormente será necesario pegar entre ellas. Esta configuración nos obliga a ajustar la pieza en su parte más ancha a 56 cm eliminado 0,6 cm que no conlleva ninguna consecuencia.

### 6.3.2. Instrucciones del proceso de fabricación

Precauciones a tener en cuenta; el poliestireno se disuelve con:

- Ácidos concentrados (sin agua) al 100%;
- Disolventes orgánicos (acetona, esteres...);
- Hidrocarburos alifáticos saturados;
- Carburantes, aceite de diésel y aceites de silicona.
- Masilla, por lo que antes es necesario aplicar una capa de cola en esa zona.

Necesidades para realizar el trabajo:

- Espuma de poliestireno extruido: 3 Uds. × (125 × 60 × 6 cm) + 2 Uds. × (125 × 60 × 4 cm).
- Pegamento para poliestireno: 1 bote de 300 ml aprox.
- Madera MDF: 2 Uds. × (122 × 61 × 0,3 cm).
- Brochas: 2 Uds.
- Lijas: Papel de lija 5 Uds. × gr 80 y 3 Uds. × gr 120.
- Tira de velcro: 1 Uds.
- Equipo de protección.

Etapas del proceso:

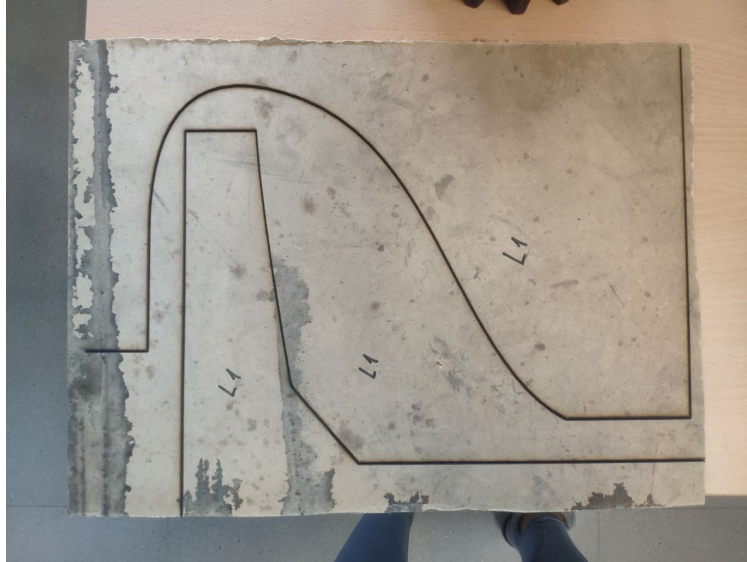
- 1) **Corte de la espuma:** (Ilustración 35) Se preparan los croquis en archivo PLT y se realiza cada uno en el bloque de espuma correspondiente tal y como se recoge en los planos. El corte se puede realizar doble o pieza a pieza, pero si se realiza doble, se necesita un operario o algún sistema de agarre al estilo gato para sujetar las dos planchas por un lugar donde no pase el hilo.



**Ilustración 35. Resultado de uno de los cortes realizados en los moldes para el bodywork.**

Fuente: Banco de fotos MART FS.

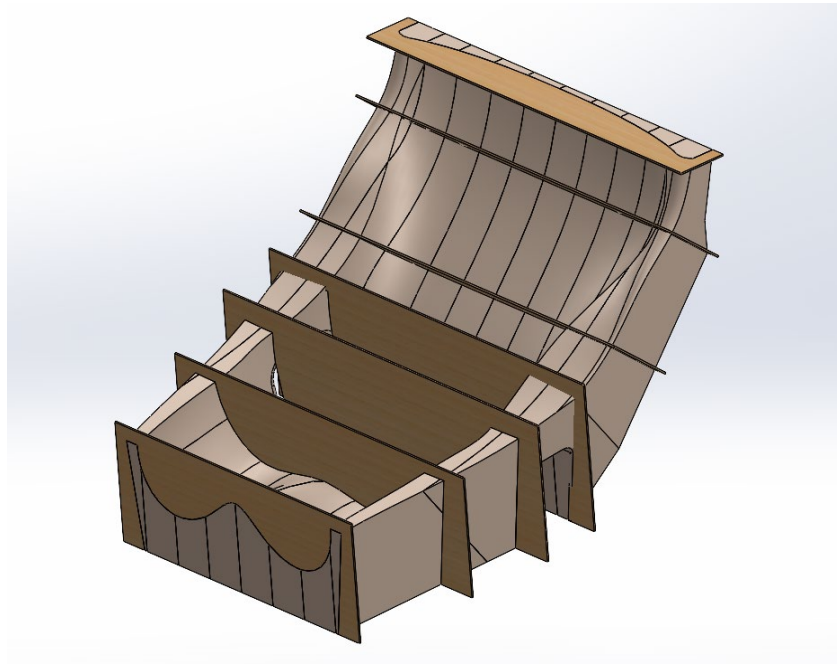
- 2) **Corte de las guías:** (Ilustración 36) Por otro lado, es necesario sacar los croquis que se van a utilizar como guías en la cortadora láser. Estos archivos se pueden pasar como PDF al programa de la cortadora. La cortadora realizará un corte en madera de balsa de 3 mm de espesor en tamaño A3.



**Ilustración 36. Resultado corte láser para las guías del bodywork.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

- 3) **Ensamblar bloques de espuma:** Para pegar los bloques unos a otros se utilizará el pegamento especial para poliuretano. Es importante tomar como referencia las caras planas que quedan contra el suelo, contra el firewall y la cara frontal ya que estas son paralelas y coincidentes y son las que aportarán mayor precisión.
- 4) **Lijar la espuma:** Antes de empezar a lijar se debe marcar en las caras planas laterales de la espuma el lugar donde se coloca cada una de las guías (Ilustración 37) tal y como se muestra en el Plano 7, haciendo hincapié en que las caras mencionadas es donde se debe de marcar ya que estas al no ser lijadas siempre mantendrán la referencia. A la hora de empezar a lijar es conveniente tener clara la geometría final para entender cómo se debe de lijar cada zona ya que esta puede ser cóncava o convexa. El proceso es repetitivo y consiste en lijar con cuidado cuando queda poco e ir colocando la guía de madera para comprobar. En caso de que haya errores de falta de material, siempre se puede arreglar con masilla, aunque este paso se debe evitar siempre que se pueda. El tamaño de grano a utilizar en la espuma es de 80 para un desbaste más agresivo y de 120 en acabados finales de mayor precisión.



**Ilustración 37. Demostración de la colocación de las guías para el lijado.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

- 5) **Tratar la superficie:** Una vez se tenga la forma terminada, se recomienda que los pilotos prueben el asiento con cuidado por si es necesario hacer algún retoque. Para endurecer la superficie y protegerla del desgaste se va a aplicar una capa de cola blanca en todas las superficies con una brocha creando una capa superficial impermeable y dura en unos minutos. Por último, colocar las tiras de velcro en el lugar más conveniente del fondo.

#### **6.4. Mediciones y presupuesto**

Por un lado, se tienen los costes de producción, enfocados a la fabricación del producto vinculados directamente al precio. Por otro lado, los costes indirectos más vinculados al diseño y tareas que no dependen de la cantidad de producto u horas de fabricación.

Este presupuesto está orientado al coste que le supondría al equipo como empresa en la que un ingeniero elabora el proyecto y requiere de recursos de otras empresas, así como operarios propios.

Antes de establecer los costes es necesario hacer una medición de los recursos empleados:

- Coste de ingeniería: este incluye la elaboración del proyecto desde el anteproyecto hasta la memoria completa del mismo incluyendo las horas dedicadas.
- Materiales: en este caso se mide la cantidad de materia prima necesaria.
- Corte con hilo caliente: es el coste presupuestado por la empresa que va a realizar el corte.
- Corte Láser: es el coste presupuestado por la empresa que va a realizar el corte.

- Material de trabajo: todo el material requerido para trabajar la espuma hasta su estado final.
- Equipo de protección: EPIs necesarios.
- Mano de obra: en función del personal requerido y las horas estimadas, se asignará un sueldo por horas según convenio tanto de los operarios como del ingeniero.

El desglose del presupuesto se encuentra en el apartado medición y presupuesto. En la siguiente tabla se muestran los totales:

TOTALES	Coste	I.V.A.
Costes de ingeniería	2.146,00 €	2.146,00 €
Costes directos	1.349,82 €	1.416,86 €
TOTAL	3.495,82 €	<b>3.562,86 €</b>

**Tabla 3. Tabla de presupuesto total.**

En total el coste de este proyecto para la empresa se ha presupuestado en **3.562,86 €**.

## 7. Evaluación del diseño

### EVALUACIÓN ERGONÓMICA

Los métodos de evaluación ergonómica desempeñan un papel crucial al identificar y evaluar los factores de riesgo presentes en los puestos de trabajo, en este caso, para evaluar la postura del piloto. Estos métodos proporcionan información valiosa para plantear opciones de rediseño que reduzcan el riesgo. La exposición depende de la magnitud, frecuencia y duración del riesgo.

Los principales métodos de carga postural son:

- El método Rula (Rapid Upper Limb Assessment) es una herramienta utilizada para evaluar la exposición a riesgos derivados de mantener posturas inadecuadas que pueden causar trastornos en los miembros superiores del cuerpo. Este método se centra específicamente en analizar y clasificar las posturas y movimientos de los miembros superiores durante las tareas laborales.
- El método REBA (Rapid Entire Body Assessment) es una herramienta utilizada para evaluar la exposición a factores de riesgo que pueden provocar trastornos traumáticos acumulativos debido a la carga postural dinámica y estática. Este método se enfoca en analizar y clasificar la postura de todo el cuerpo durante las tareas laborales.
- El método OWAS (Ovako Working Posture Analysis System) es una herramienta sencilla utilizada para el análisis ergonómico de la carga postural. Este método se basa en la observación de las diferentes posturas adoptadas por los trabajadores durante sus actividades laborales.
- El método EPR (Evaluación de la Postura Relativa) es una herramienta que permite evaluar de manera global la carga postural a lo largo de su jornada laboral. Este método se concibe como un examen preliminar destinado a identificar la necesidad de realizar una evaluación más exhaustiva.

Debido a los recursos que se disponen con respecto a software de este tipo de evaluaciones, se ha optado por el software online de Ergoniza proporcionado por la Universidad Politécnica de Valencia. Al tratarse de evaluaciones basadas en el puesto de trabajo, no es posible introducir la postura que llevaría, en este caso, un piloto. Por esta razón, se ha optado por utilizar un método de evaluación biomecánico, en concreto, BIO-MEC.

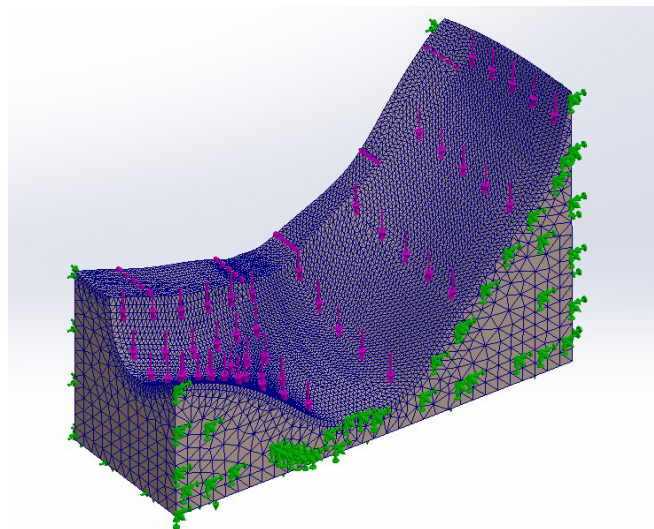
BIO-MEC, basado en el método de Chaffin, es un método de evaluación biomecánica que se utiliza para analizar los esfuerzos estáticos coplanares basados en la postura adoptada [18], la carga aplicada y la frecuencia y duración de los esfuerzos. Este método permite determinar el riesgo de sobrecarga en las articulaciones, identificar la carga máxima recomendable y evaluar la estabilidad de la postura.

Al utilizar el método BIO-MEC, se tienen en cuenta varios factores para evaluar los esfuerzos biomecánicos. Esto incluye la posición del cuerpo, las fuerzas aplicadas, la dirección y magnitud de los esfuerzos, así como la duración y frecuencia de estos. A partir

de estos datos, se pueden calcular los momentos articulares y las cargas soportadas por las articulaciones involucradas.

En resumen, el método BIO-MEC es una herramienta de evaluación biomecánica que analiza los esfuerzos estáticos coplanares en función de la postura adoptada, la carga y la frecuencia y duración de los esfuerzos. Proporciona información valiosa sobre el riesgo de sobrecarga por articulación, la carga máxima recomendable y la estabilidad de la postura.

Estos resultados, que se encuentran en el Anexo I, pueden servir de orientación ya que no representan exactamente la realidad. Los datos nos sugieren que la parte que más va a sufrir son los hombros seguido de los codos debido a la fuerza que se ejerce en la dirección del vehículo.



**Ilustración 38. Resultado de la malla generada para el estudio FEM.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

Por otro lado, tal y como se ha visto en el apartado de ergonomía y antropometría, si se compara con la postura de gravedad 0 que se encuentra en la Ilustración 12, se obtienen los siguientes resultados:

Articulación	MA23RT	0-G Neutral Body Posture
Cuello - Torso	33°	24° (±5°)
Upper Arm - Torso	36°	36° (±19°)
Upper Arm - LowerArm	144°	122° (±24°)
Upper Leg - Torso	75°	128° (±7°)
Upper Leg - Lower Leg	140°	133 (±8°)
Lower Leg - Pedal	102°	111° (±6°)

**Tabla 4. Comparativa entre MA23RT y NBP.**

Como se puede observar los ángulos son muy parecidos exceptuando Upper Leg - Torso. Esto se debe a la inclinación del respaldo ya impuesta por el firewall.

## EVALUACIÓN DE FABRICACIÓN

El material permite formas laminadas, así como el uso de CNC para obtener mayor exactitud de fabricación. Por otro lado, el peso total del conjunto, 1,23 kg, es bajo con respecto a su volumen.

## EVALUACIÓN DE DISEÑO DEL ENTORNO

En cuanto a los cinturones, se ha respetado la normativa [1] de forma que se han creado orificios en el asiento para que los cinturones pasen a través y se han redondeado los cantos de acuerdo con T5.3.3.

## EVALUACIÓN MEDIOAMBIENTAL

Debido a que se trata de un asiento genérico, este puede ser reutilizado tanto en otras temporadas y, como se ha mencionado anteriormente, con el tratamiento adecuado se puede utilizar como molde para un asiento en fibra.

## PROPIEDADES FÍSICAS DEL MODELO GENERADO

- Densidad: 33 kg/m<sup>3</sup>.
- Masa: 1,229 kg.
- Volumen: 0,037267763 m<sup>3</sup>.
- Centro de masa (con respecto al eje de coordenadas del ensamblaje MA23RT):
  - X = 0,00 mm.
  - Y = 215,09 mm.
  - Z = 375,23 mm.

## 8. Líneas futuras

En el mundo del motorsport, al igual que en otros deportes, hay una categoría reina o competición de referencia y en este caso es la Formula 1. Esta categoría está en el punto de mira no sólo por el resto de las categorías, sino que también es clave para la innovación del mundo del motor a nivel de la ciudadanía, debido a la gran inversión económica y de recursos que realizan las marcas con el fin de encontrar el máximo rendimiento.

Esto mismo también ocurre en la Formula Student, desde la organización del equipo, los diseños y hasta las técnicas de fabricación siempre se pasa por una fase de búsqueda de referencias en esta categoría. Con el cockpit pasa lo mismo, todas las categorías de mayor prestigio utilizan la misma técnica para el modelado del asiento que, de no ser el más económico, aporta el mayor rendimiento y ergonomía.

En este caso, en el que son varios pilotos, la referencia está en el mundial de resistencia. Una competición en la que se hacen carreras largas y el piloto tiene que ser relevado como por ejemplo las 24 Horas de Le Mans. Aunque el concepto es totalmente distinto a la F1, el método que utilizan para la fabricación del asiento es exactamente igual.

El método consiste en obtener un molde exacto del cuerpo del piloto en la postura adoptada en el cockpit. De esta forma el cuerpo queda totalmente sujeto y una ergonomía totalmente adaptada a cada piloto. El proceso, en el que se utiliza un kit como el mencionado en el estudio de mercado de Schroth [4], es el siguiente [19]:

- Etapa de pre-ajuste: esta etapa consiste en colocar al conductor en un chasis de prueba y ajustar la posición del asiento, el volante, el reposacabezas y otros componentes como la pedalera para mayor comodidad y legalidad. Los talones se utilizan para proporcionar apoyo y se pueden mover para encontrar la posición de conducción correcta.
- Moldeado del asiento: Una vez fijados los componentes, se introduce una bolsa rellena de bolas de poliestireno en la que previamente se ha mezclado con una resina endurecedora hasta tener una mezcla homogénea a la que se le hace vacío.
- Las bolas proporcionan volumen mientras se solidifica la resina que suele tardar alrededor de los 30 min hasta que el piloto puede levantarse y el vacío inmoviliza las bolas durante el proceso de solidificación. Desde que la bolsa se introduce y se adecua al habitáculo el piloto debe sentarse en ella y ajustarse hasta estar en una posición cómoda. También es conveniente realizar movimientos de conducción como puede ser mover el volante o pisar los pedales para asegurar que no hay inconvenientes una vez que se seca la mezcla. La resina seguirá endureciendo durante unas 3 horas más.
- Ajustes finales: después de distribuir la resina, el conductor vuelve a subir a la cabina y realiza los ajustes finales para mayor comodidad. El piloto indicará si se requiere de zonas en las que hay que añadir o eliminar material, aunque es habitual que durante la temporada el asiento vaya evolucionando conforme va pasando horas en él.

- Aprobación y producción: el paso final consiste en crear un escaneo 3D del asiento y usar el escaneo para crear un molde con el que se fabricará una pieza laminada de fibra de carbono.

Este método requiere de un sistema de extracción del asiento del estilo de las piezas de la carrocería en las que se utilizan tornillería de cuarto de vuelta como son los Dzus que además permiten un desmontaje rápido.

Por otro lado, es necesario fabricar un cockpit adaptable (Ilustración 39) con materiales baratos que permita estudiar los ángulos de inclinación del firewall a la vez que se ajustan los demás componentes de forma que se distribuyan de mejor manera los espacios y se tenga como referencia al piloto a la hora de diseñar el chasis optimizando así las dimensiones del monoplaza. Esto también permite mejorar la ergonomía ya que se tendría en cuenta desde el principio y se evita tener ciertas restricciones a la hora de las posiciones que puede adoptar el piloto.



**Ilustración 39. Maqueta cockpit de Cornell Racing FSAE.**

Fuente: Cornell Racing [20].

En la fabricación la única diferencia está en determinar las capas de fibra necesarias para la rigidez adecuada del asiento ya que lo demás son procesos ya utilizados anteriormente. Como alternativa, se puede utilizar el método indicado por parte de Castro Composites abaratando el precio de obtención del molde por un precio 10 veces inferior.

En cuanto a la fibra, si se utiliza una resina con retardante de llama como el estándar 94UL V-0 u otro que cumpla con la normativa [1] y añadiéndole un adhesivo de aislante térmico, se puede conseguir un ahorro de unos 4 kg. Esto se consigue aislando totalmente el cockpit con fibra en lugar de utilizar un firewall de aluminio y sus respectivas uniones necesarias.

# ANEXO I: Estudio ergonómico y antropométrico

## Estudio de nuestros pilotos

Para conocer bien las dimensiones en las que vamos a trabajar es necesario hacer un estudio antropométrico de nuestros pilotos. Este estudio nos permite realizar un diseño lo más ajustado posible y conocer las necesidades de cada uno de ellos.

La toma de medidas se ha realizado en función a la norma UNE-EN ISO 7250: Definiciones de las medidas básicas del cuerpo humano para el diseño tecnológico y la UNE-EN ISO 15536: Maniqués informatizados y plantillas del cuerpo humano.

Para su realización, como las dimensiones del monoplaza están de forma virtual, necesitamos virtualizar también estas medidas de cada uno de los pilotos (Ilustración 40), es decir, se va a generar un maniquí articulado para cada piloto para posteriormente introducirlo en el ensamblaje. Partiendo de un modelo humano obtenido mediante la plataforma GrabCAD se ha modificado con los parámetros de cada usuario.

La toma de medidas se realiza a mano utilizando un antropómetro y una cinta métrica. Teniendo en cuenta que son medidas principalmente orientativas la precisión no es importante en este caso. Durante la realización de esta práctica, los datos se van apuntando en una tabla, concretamente una por cada persona, en la siguiente tabla:

<b>Piloto</b>			
<b>Torso</b>	Longitud	Ancho hombros	Ancho cintura
<b>Pelvis</b>	Longitud		Ancho caderas
<b>Upper Arm</b>	Longitud		
<b>Lower Arm</b>	Longitud		
<b>Upper Leg</b>	Longitud		
<b>Lower Leg</b>	Longitud		

Tabla 5. Tabla registro antropométrico del piloto.

El registro de medidas tomadas en centímetros es:

<b>Piloto</b>	<b>Alejandro R.</b>		
<b>Torso</b>	Longitud	Ancho hombros	Ancho cintura
	38	41	32
<b>Pelvis</b>	Longitud		Ancho caderas
	14		35
<b>Upper Arm</b>	Longitud	25	
<b>Lower Arm</b>	Longitud	24	
<b>Upper Leg</b>	Longitud	38	
<b>Lower Leg</b>	Longitud	42	

**Tabla 6. Tabla registro antropométrico en cm de Alejandro R.**

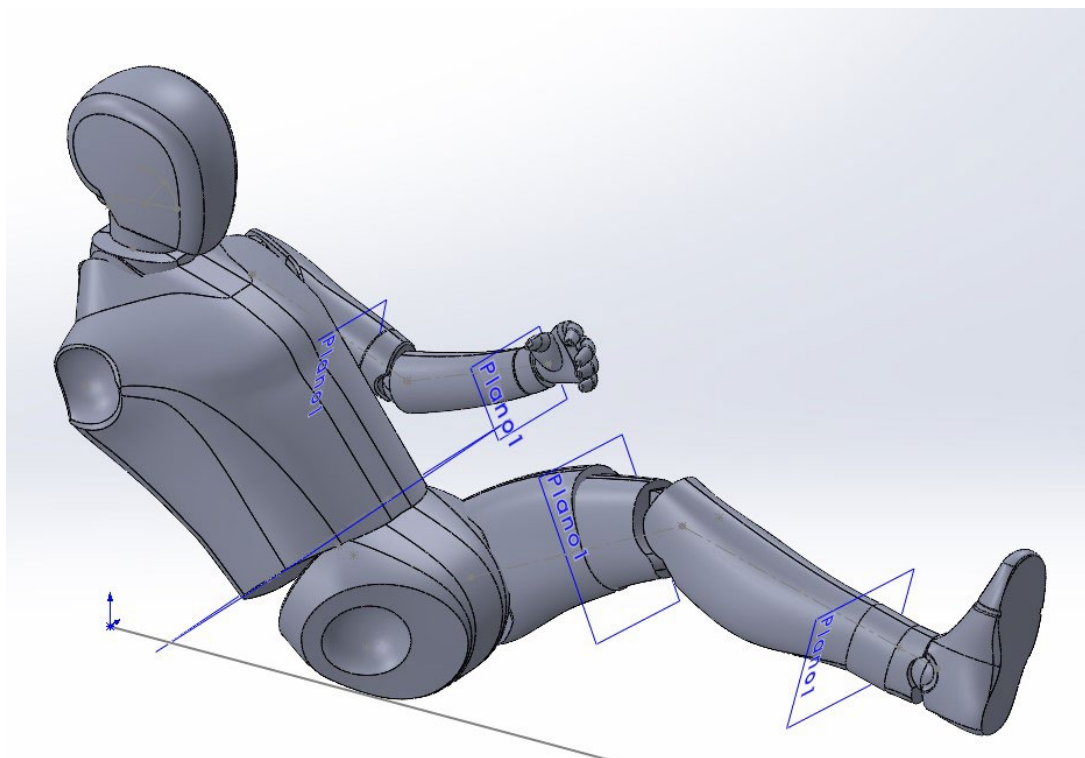
<b>Piloto</b>	<b>Francisco J.</b>		
<b>Torso</b>	Longitud	Ancho hombros	Ancho cintura
	45	42	35
<b>Pelvis</b>	Longitud		Ancho caderas
	21		40
<b>Upper Arm</b>	Longitud	29	
<b>Lower Arm</b>	Longitud	28	
<b>Upper Leg</b>	Longitud	43	
<b>Lower Leg</b>	Longitud	45	

**Tabla 7. Tabla registro antropométrico en cm de Francisco J.**

Piloto	Raúl R.		
Torso	Longitud	Ancho hombros	Ancho cintura
	35	36	27
Pelvis	Longitud		Ancho caderas
	14		29
Upper Arm	Longitud		27
Lower Arm	Longitud		24
Upper Leg	Longitud		39
Lower Leg	Longitud		36

**Tabla 8. Tabla registro antropométrico en cm de Raúl R.**

Con estas medidas se han realizado cortes y extrusiones para alargar o acortar las medidas iniciales del modelo importado. Una vez se tienen a los 3 pilotos virtualizados, se ensamblan las distintas articulaciones añadiéndole las relaciones y restricciones de posición para ajustarlo a la posición que adoptaría en el coche.

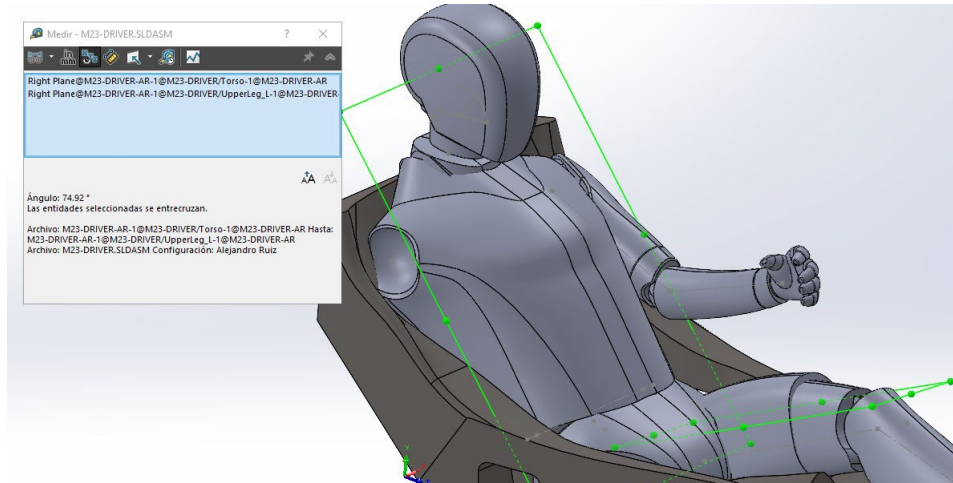


**Ilustración 40. Modelo modificado con las medidas tomadas de uno de los pilotos.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

## Evaluación Bio-Mec con Ergoniza

Con la herramienta “medir” de SolidWorks se obtienen los ángulos entre articulaciones (Ilustración 41) que posteriormente se introducen en Ergoniza (Ilustraciones 42 y 43).



**Ilustración 41. Herramienta medir en SolidWorks.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

Datos de la Evaluación

**Datos del trabajador**

Sexo:  Hombre  Mujer

Soporte de la carga:  Con dos manos  Con una mano

Peso: 75 Kg

Estatura: 173 cm

[Antropometría](#) ?

**Repetitividad y duración de la postura**

¿Cuánto tiempo adopta el trabajador posturas como la analizada?

Menos de una hora  
 Una hora o más

**La postura analizada...**

Se mantiene más de un minuto seguido  
 Se repite cíclicamente más de una vez cada 5 minutos  
 Se repite en ciclos de frecuencia inferior a una vez cada 5 minutos  
 No se repite, se lleva a cabo muy raramente y no más de una vez al día

**Coefficiente de rozamiento calzado/suelo**

Coeff. de rozamiento: 0,8

**Porcentaje de población protegida**

% de población: 60

**Postura del trabajador**

Elige una postura de las mostradas en las imágenes o indica los ángulos formados por los diferentes miembros del cuerpo y la carga o fuerza actuante

**Definición de la postura**

\* Ángulos en grados sexagesimales

Mantener las piernas verticales

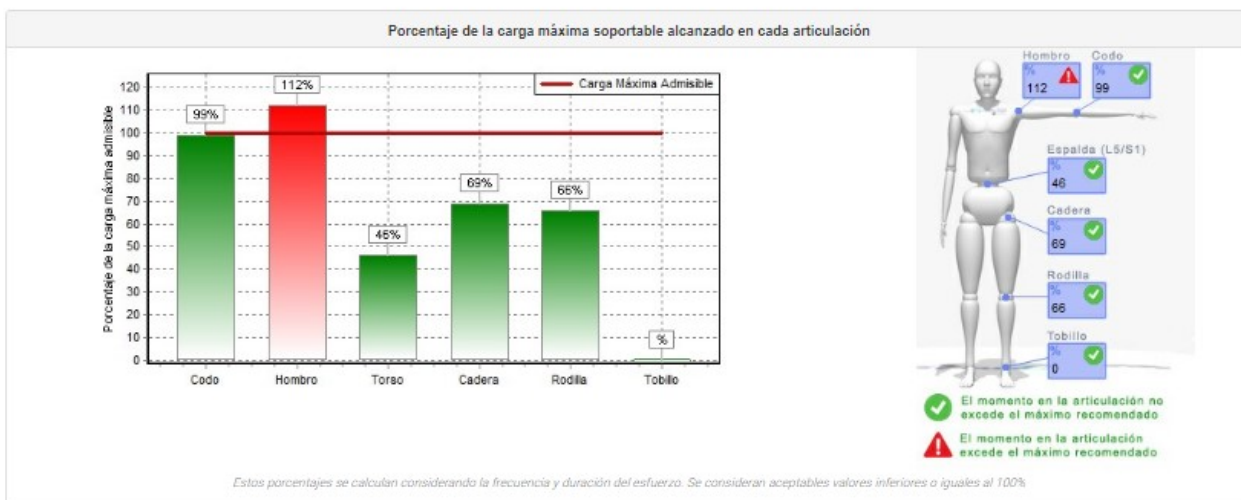
**Postura resultante**

El origen de coordenadas está situado en la cadera  
Unidades en centímetros

**Ilustración 42. Datos introducidos en Ergoniza.**  
Fuente: Elaboración propia (Ergoniza).

Conclusiones

% de población protegida 60



Cargas máximas recomendables, sobrecarga y riesgo por articulación

Se muestran las cargas máximas recomendables, la sobrecarga y el riesgo para el trabajador según cada articulación en la postura actual, considerando que se desea proteger al 60% de los trabajadores y la frecuencia y duración del esfuerzo establecidas.

Articulación	Carga Máxima*	Sobrecarga*	Riesgo*	% Pob_prot*
Codo	2,03 kg.	-0,03 kg.	No	100,0%
Hombro	1,78 kg.	0,22 kg.	Sí	100,0%
Lumbar (L5/S1)	4,33 kg.	-2,33 kg.	No	99,9%
Cadera	2,89 kg.	-0,89 kg.	No	0,0%
Rodilla	3,04 kg.	-1,04 kg.	No	75,3%
Tobillo	0 kg.	2 kg.	Sí	0,0%

\*Carga Máxima: Carga máxima que debería soportar el trabajador en las condiciones actuales según cada articulación. Si la carga es sostenida con las dos manos la Carga máxima de hombro y codo es el doble de la calculada para una sola articulación. En el resto de articulaciones, excepto la zona lumbar (L5/S1), es el doble de la calculada en cada articulación individual.

\*Sobrecarga: Diferencia entre la Carga Máxima aceptable por articulación y la realmente sostenida.

\*Riesgo: Existencia de riesgo por sobre esfuerzos. Se considerará que existe riesgo cuando la sobrecarga sea positiva.

\*% Pob\_prot: Porcentaje de trabajadores de las características físicas del actual que no encontrarían problemas en esta situación si el esfuerzo fuera puntual y no duradero, es decir, sin considerar la frecuencia y duración del esfuerzo.

Ilustración 43. Resultados obtenidos en Ergoniza.

Fuente: Elaboración propia (Ergoniza).

## **ANEXO II: Ingeniería inversa con asiento de karting**

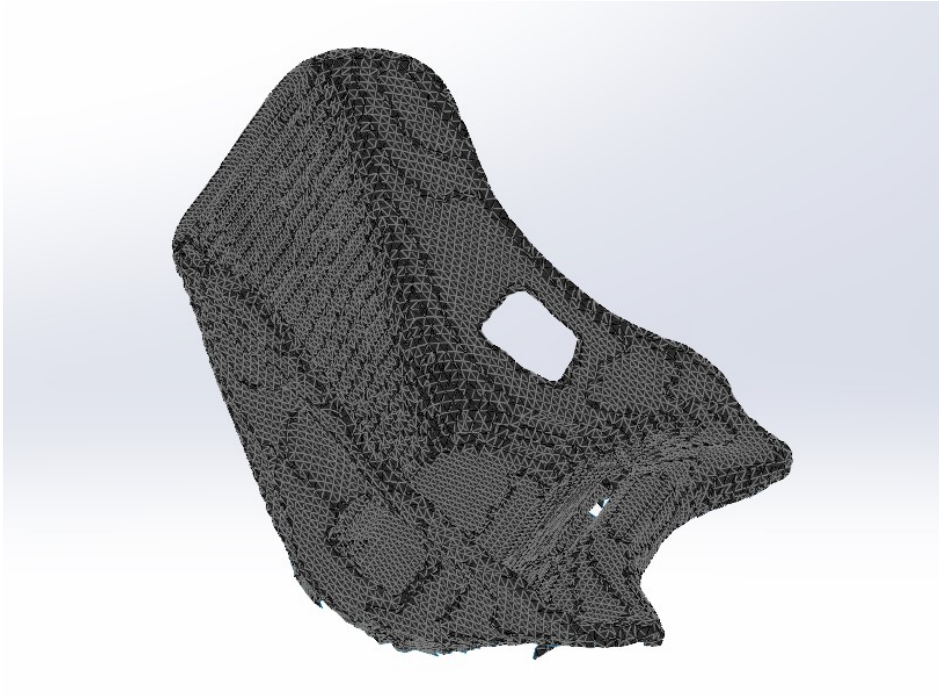
Se ha utilizado la ingeniería inversa para obtener de forma digital un modelo de asiento de karting como se ha visto anteriormente con el uso del dispositivo de hardware de Structure SDK y el software CAD de Dassault Systèmes, SolidWorks.

Para ello, previamente se han realizado pruebas hasta dar con la posición ideal para el escaneo y una vez decidida se hacen varios escaneos para asegurar una mejor calidad y detalle. A la hora de escanear es importante dar varias pasadas para no dejar zonas sin detectar por el sensor y centrarse sobre todo en las superficies de mayor importancia que en este caso es la zona en la que se apoya espalda, glúteos y femoral.

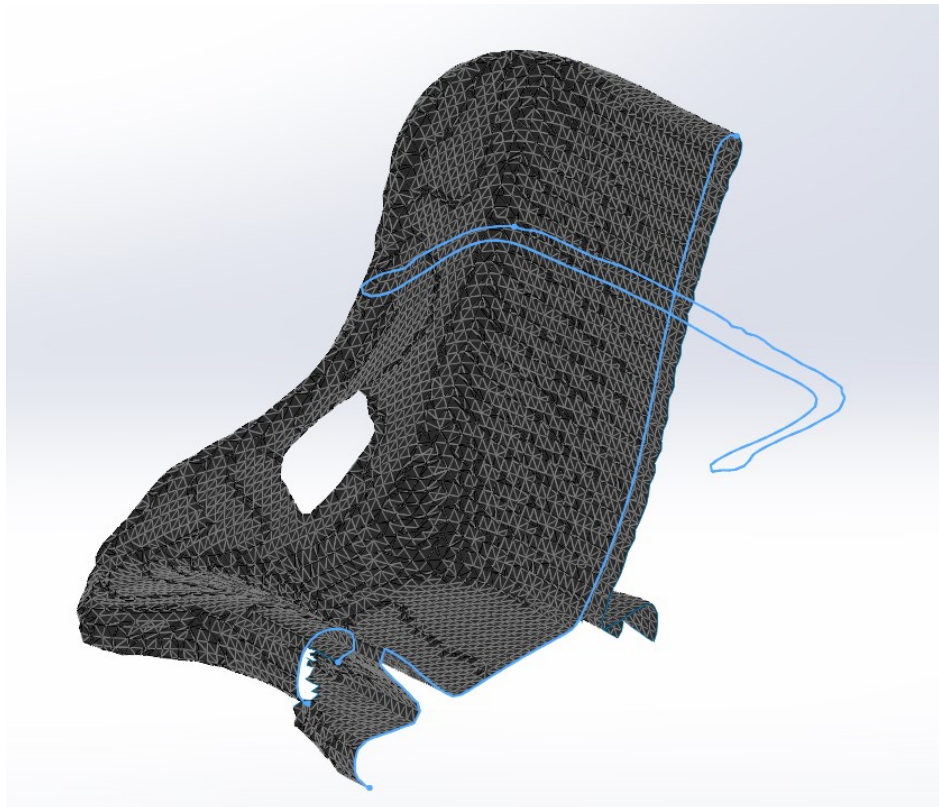
A la hora de escanear se inicia la app y una vez dentro de esta, se comporta como una cámara. Antes de empezar se deberá de cuadrar en un cubo espacial al objeto que se va a escanear, el asiento en este caso. Es importante ajustar bien el espacio ya que en caso contrario pueden quedar partes sin escanear, además, deben evitarse otros objetos en este espacio de escaneo ya que también serán escaneados de forma indirecta y luego puede resultar tedioso de eliminarlos en CAD. En este caso, se ha utilizado una banca para evitar la superficie del suelo y que sea más cómodo el escaneo por lo que la parte superior de esta banca quedó en el modelo escaneado, pero en una zona de poca importancia.

Cuando se considere terminado el proceso hay que detener el proceso en la aplicación y en unos segundos muestra el resultado de tres maneras distintas: una nube de puntos, una superficie y un modelo con textura de imagen. Si se valida el resultado da la posibilidad de compartirlo por correo de forma que envía desde el correo de la tablet un e-mail con tres archivos en un archivo comprimido ZIP, donde uno de ellos es la nube de puntos (OBJ) (Ilustración 44) y una previsualización para identificarlo en imagen.

Sobre este modelo se han podido tomar croquis mediante intersecciones entre el modelo y planos en los lugares requeridos (Ilustración 45) que se han utilizado en el modelado del nuevo asiento como referencia de diseño. El resultado obtenido es:



**Ilustración 44. Modelo escaneado.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 45. Vista del modelo escaneado con corte.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

## ANEXO III: Análisis mecánico de resistencia FEM

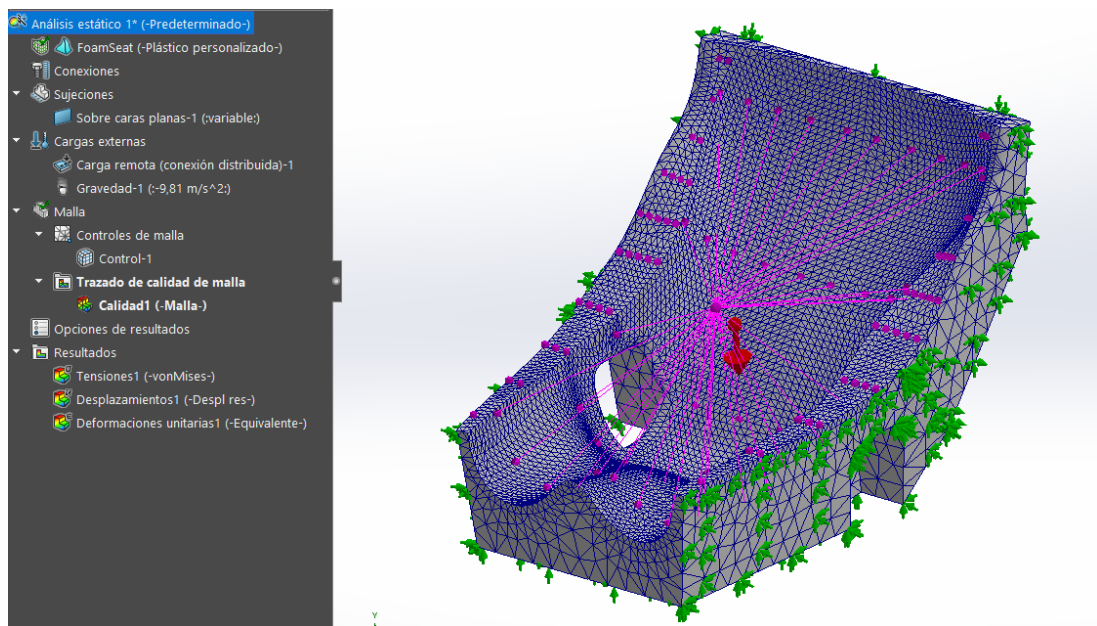
El cálculo se ha realizado mediante el software de SolidWorks Simulation. El estudio es estático y las fuerzas aplicadas se han tomado a partir del peso de una persona de 100 kg cuyo centro de gravedad se ha obtenido a partir de uno de los dummies junto con los momentos de inercia

Como se observa en la Ilustración 48, se ha aplicado una carga remota en el centro de gravedad del piloto para acercar más los resultados a la realidad. Posteriormente se añade la gravedad y el resto de las fuerzas se van añadiendo con su respectivo módulo y dirección en cada simulación.

Es necesario configurar el material, que en este caso no se encuentra predefinido en la librería del software por lo que con los datos de la ficha técnica de la espuma y algunos datos sacados del software CES EduPack se ha creado el material.

También es necesario fijar el modelo de forma que se ha restringido el movimiento de las caras que están en contacto con el firewall y la cara de simetría para que tenga las condiciones reales de trabajo.

Por otro lado, para obtener una calidad de mallado buena se ha aplicado un control de malla en las superficies de contacto con el piloto para mejorar los resultados sin necesidad de aumentar el número de celdas del modelo. Por lo tanto, la malla está refinada en esta superficie y va aumentando el volumen de las celdas conforme se aleja (Ilustración 48).

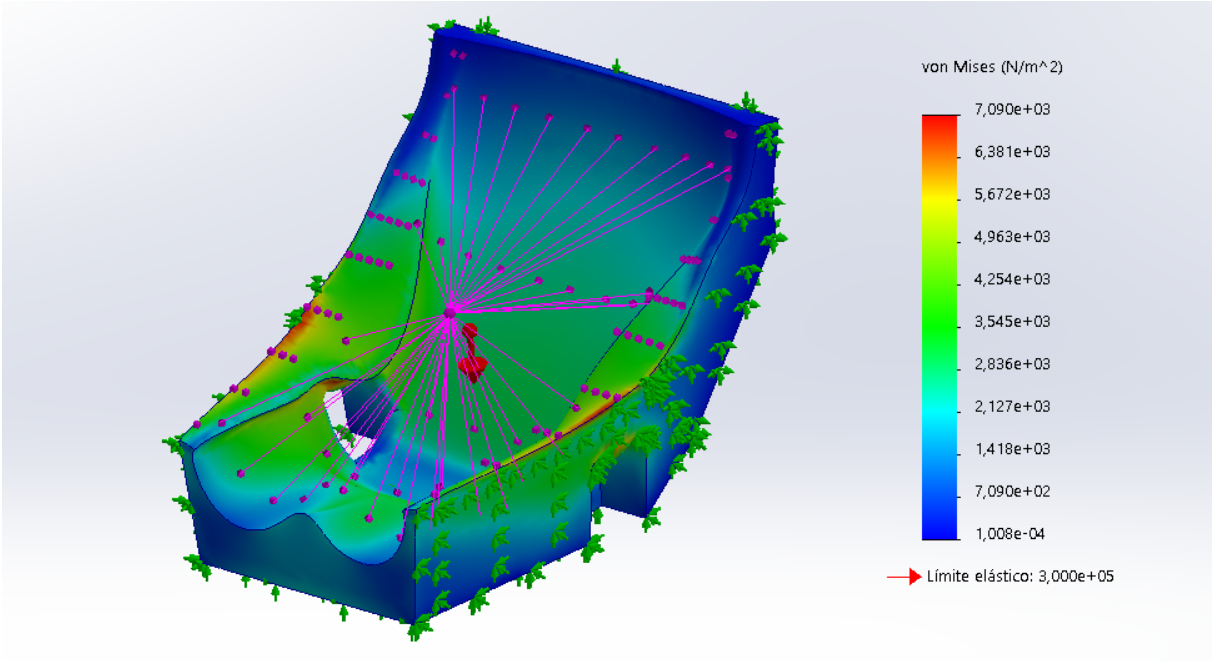


**Ilustración 46. Resultado del mallado.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

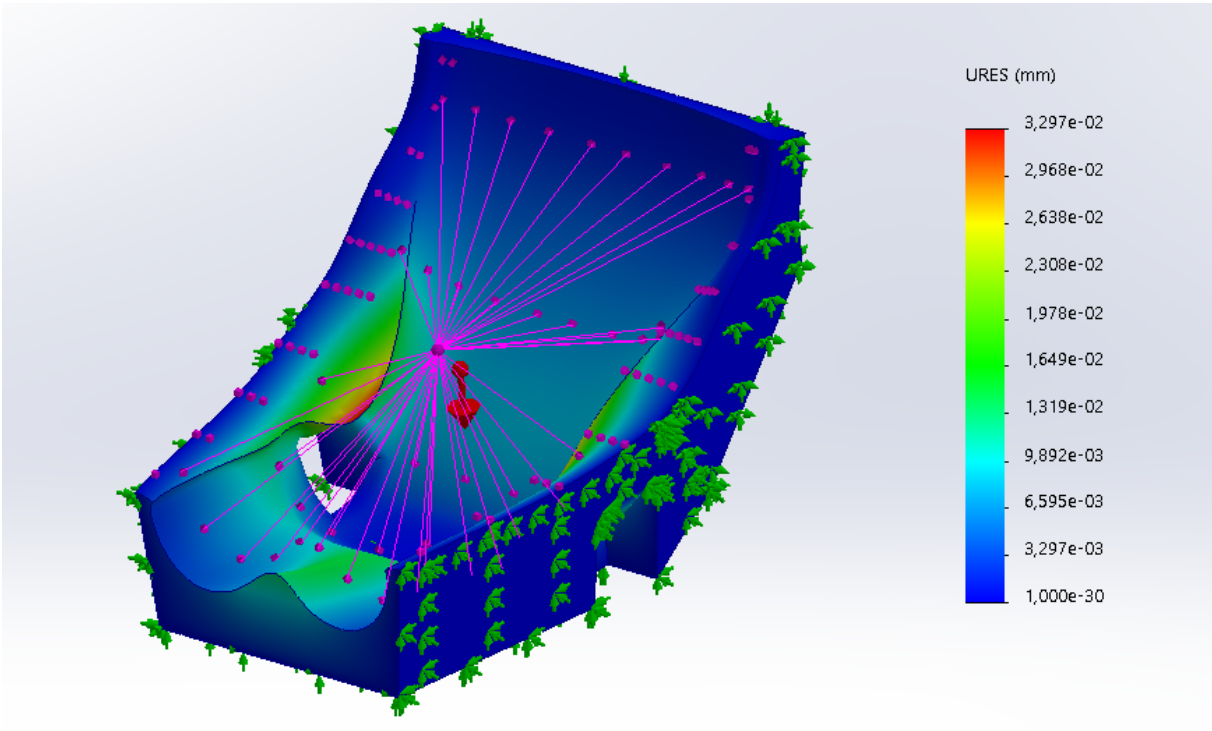
Una vez se ha configurado la malla, las fuerzas, las restricciones y sujeciones, se puede llevar a cabo la simulación. En este caso la más importante es la estática, es decir, la que soporta el peso del piloto sin ninguna aceleración que no sea la de gravedad, pero también se va a cambiar la dirección y el valor de las fuerzas para simular frenada, aceleración y aceleración lateral en curva del vehículo.

# Simulación para el peso del piloto

Resultados para una persona de 100 kg (Ilustraciones 47 y 48).



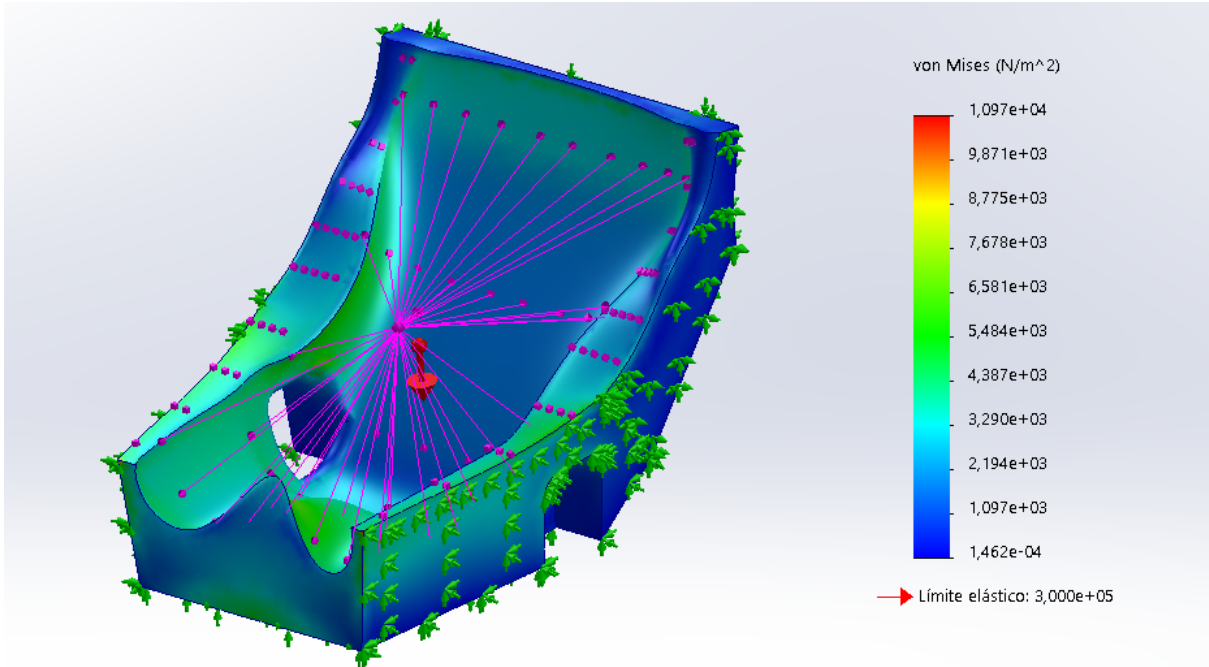
**Ilustración 47. Tensiones de Von Mises.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



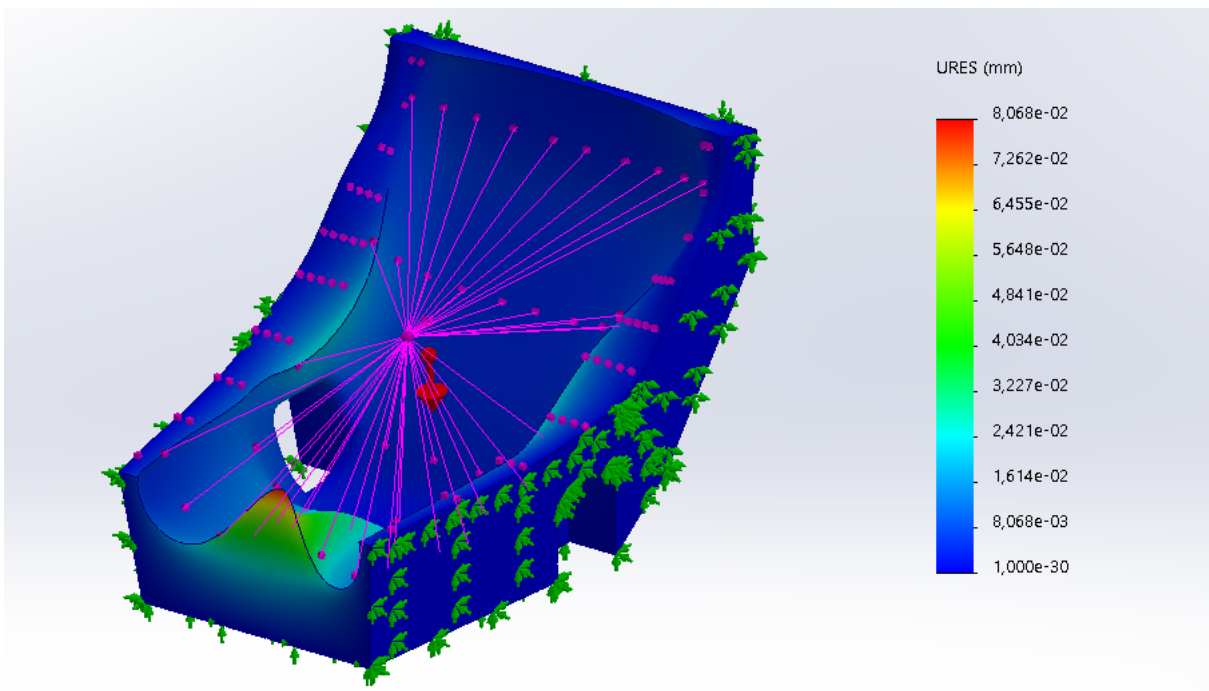
**Ilustración 48. Deformaciones URES.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

## Simulación para la aceleración longitudinal máxima

El valor teórico de aceleración longitudinal máxima es de  $8,14 \text{ m/s}^2$ . Los resultados se muestran en las Ilustraciones 49 y 50.



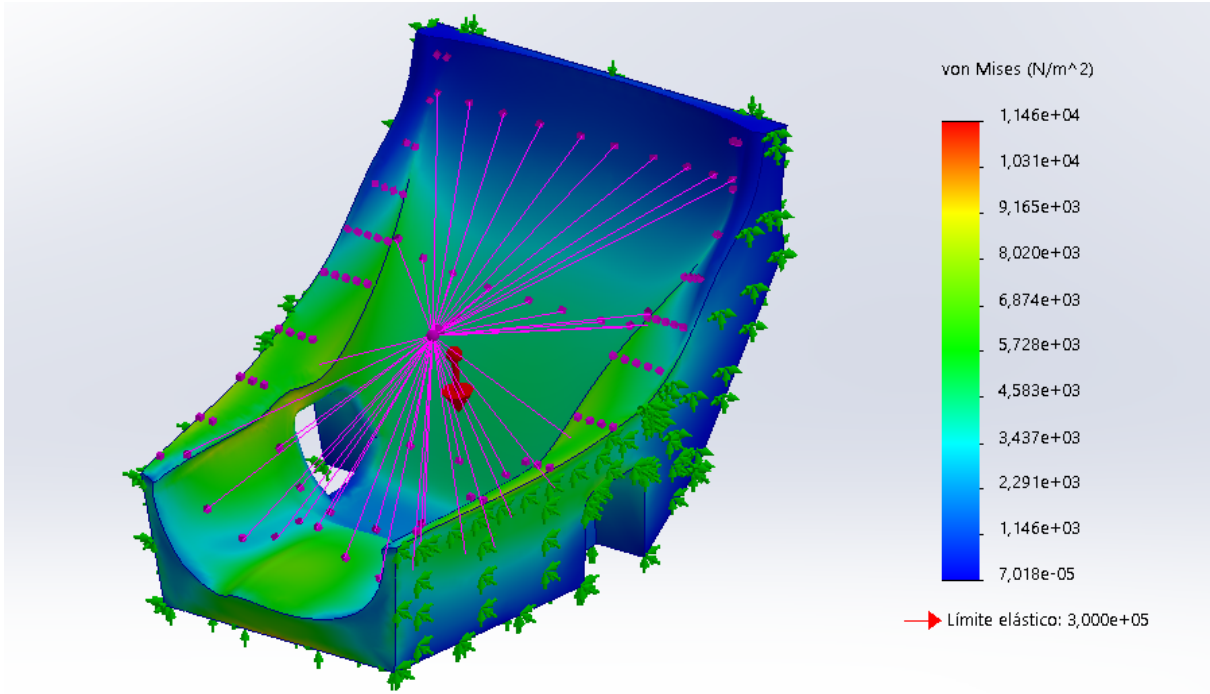
**Ilustración 49. Tensiones de Von Mises.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 50. Deformaciones URES.**  
Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

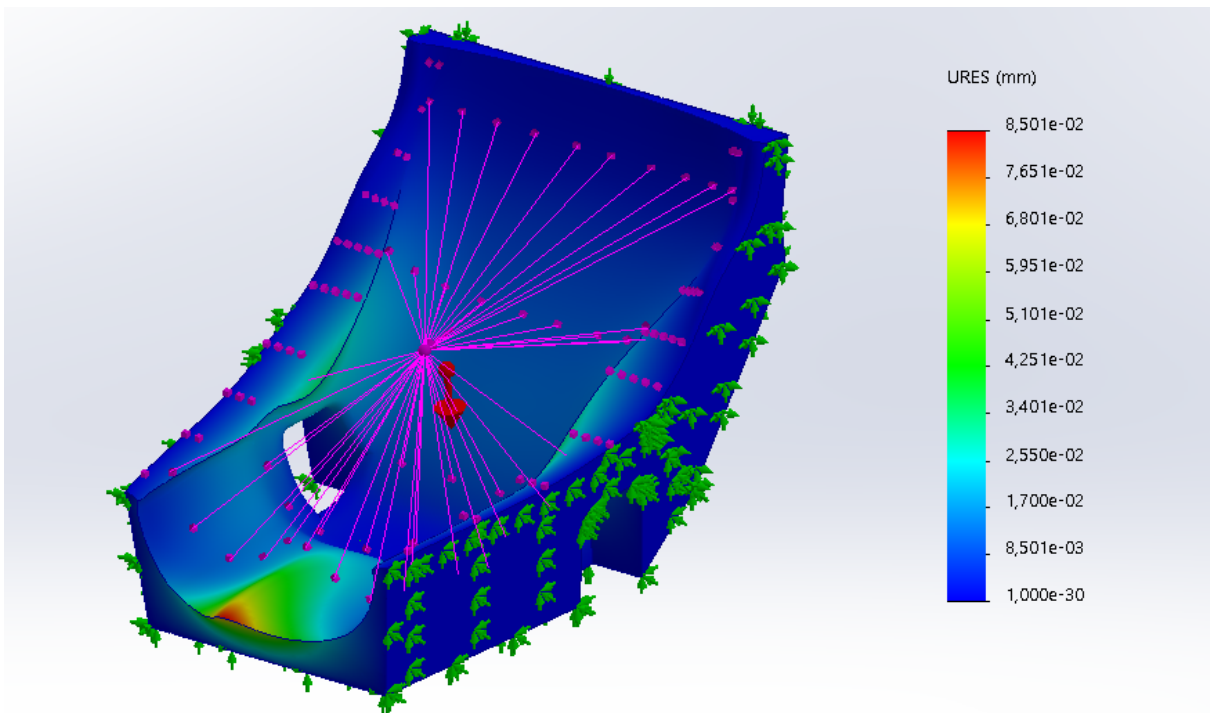
## Simulación para la deceleración longitudinal máxima

El valor teórico de deceleración longitudinal máxima es de  $8,88 \text{ m/s}^2$ . Los resultados se muestran en las Ilustraciones 51 y 52.



**Ilustración 51. Tensiones de Von Mises.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

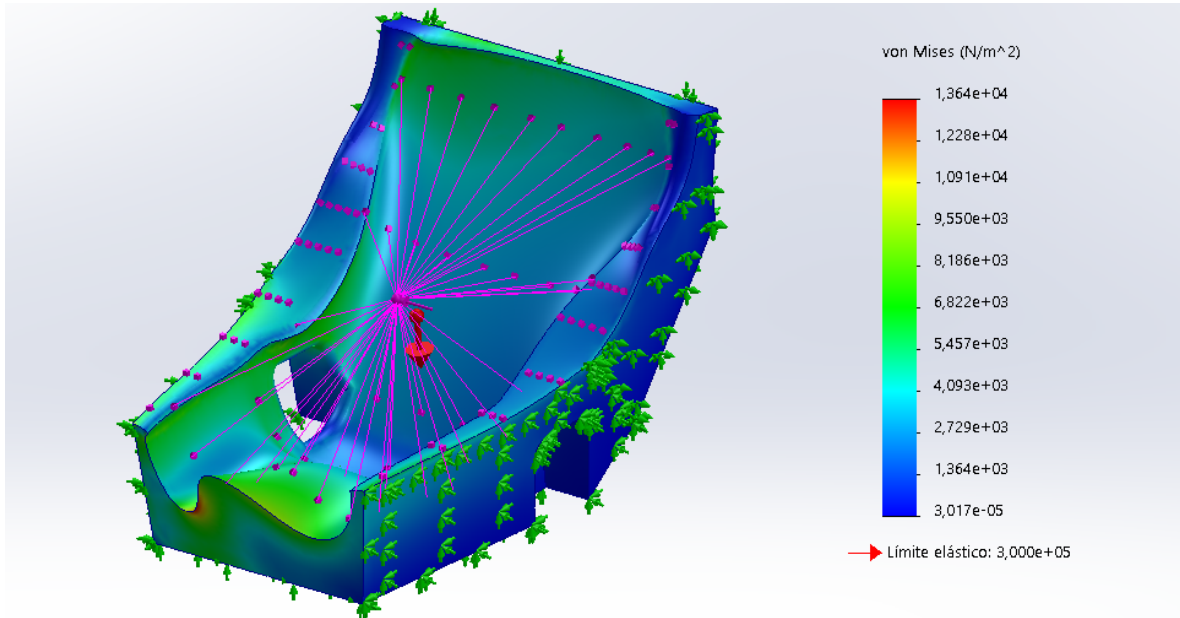


**Ilustración 52. Deformaciones URES.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

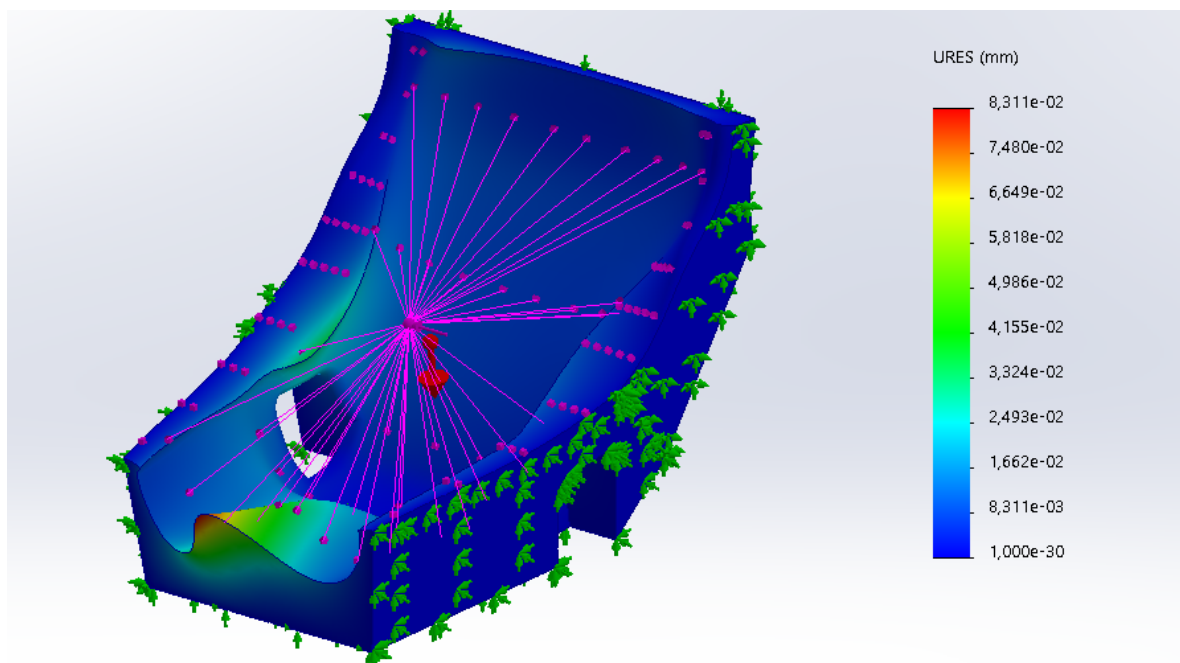
## Simulación para la aceleración lateral máxima

El valor teórico de aceleración lateral máxima es de  $8,21 \text{ m/s}^2$ . Los resultados se muestran en las Ilustraciones 53 y 54.



**Ilustración 53. Tensiones de Von Mises.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).



**Ilustración 54. Deformaciones URES.**

Fuente: Elaboración propia (SolidWorks).

NOTA: Considerar el factor de escala aplicado a las deformadas de 6184 en todos los resultados (se aplica de forma automática).

# ANEXO IV: Datasheets y documentación necesaria

## Ficha técnica del fabricante de poliestireno extruido



### THERMOGREEN SL

THERMOGREEN SL es una plancha de poliestireno extruido (XPS) de estructura celular cerrada utilizada como aislante térmico. Se presenta en forma de planchas de 1250x600 mm, de superficie lisa y acabado lateral en media madera.

#### CAMPO DE APLICACIÓN RECOMENDADO:

- Cubierta plana invertida.
- Cubierta inclinada (tejas ancladas con rastrel).
- Aislamiento de suelos.
- Aislamiento de muros enterrados.

#### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS:

THERMOGREEN SL es un aislante térmico conforme a la norma UNE EN 13164.

CARACTERÍSTICA	VALOR	UNIDAD	NORMA	
Conductividad térmica	0,032 (espesor: 40-80 mm)	W/m·K	EN 12667 / EN 12939	
	0,034 (espesor: 90-120 mm)	W/m·K		
	0,035 (espesor: 130-200 mm)	W/m·K		
Resistencia térmica	Espesor:	R <sub>D</sub> :	EN 12667 / EN 12939	
	40	1,20		m <sup>2</sup> ·K/W
	50	1,50		m <sup>2</sup> ·K/W
	60	1,85		m <sup>2</sup> ·K/W
	70	2,15		m <sup>2</sup> ·K/W
	80	2,45		m <sup>2</sup> ·K/W
	90	2,70		m <sup>2</sup> ·K/W
	100	3,00		m <sup>2</sup> ·K/W
	110	3,30		m <sup>2</sup> ·K/W
	120	3,60		m <sup>2</sup> ·K/W
	130	3,75		m <sup>2</sup> ·K/W
	140	4,05		m <sup>2</sup> ·K/W
	150	4,35		m <sup>2</sup> ·K/W
160	4,65	m <sup>2</sup> ·K/W		
180	5,20	m <sup>2</sup> ·K/W		
200	5,80	m <sup>2</sup> ·K/W		
Resistencia a compresión	≥ 300	kPa	EN 826	
Reacción al fuego	E	Euroclase	EN 13501-1	
Tolerancia en espesor	T1	-	EN 823	
Tolerancia en longitud	-8 / +8	mm	EN 822	
Tolerancia en anchura	-8 / +8	mm	EN 822	
Rectangularidad	≤ 5	mm/m	EN 824	
Planimetría	≤ 6	mm/m	EN 825	
Estabilidad dimensional (70°C y 90%)	≤ 5	%	EN 1604	
Absorción de agua por inmersión total	≤ 0,7	%	EN 12087	
Absorción de agua por difusión	≤ 3	%	EN 12088	
Deformación bajo carga y temperatura	≤ 5	%	EN 1605	
Coefficiente lineal de dilatación térmica	0,07	mm/m·K	-	

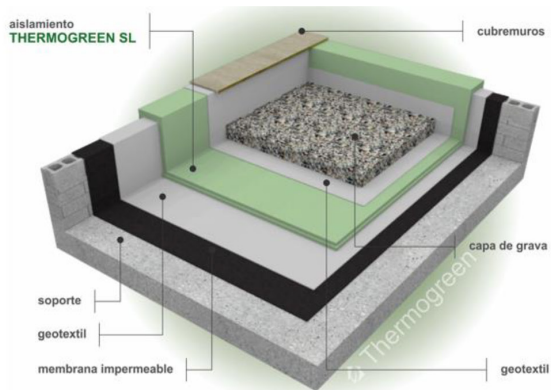
**MEMORIA DESCRIPTIVA:**

\_\_\_ m<sup>2</sup> de plancha de poliestireno extruido (XPS) THERMOGREEN SL, según UNE-EN 13164, de superficie lisa y mecanizado lateral media madera, de \_\_\_ mm de espesor, de resistencia térmica \_\_\_ (m<sup>2</sup>·K)/W, de conductividad térmica \_\_\_ W/(m·K), reacción al fuego Euroclase E y código de designación: XPS-EN13164-T1-CS(10\Y)300-WL(T)0.7-DS(70,90) -DLT(2)5-TR200.

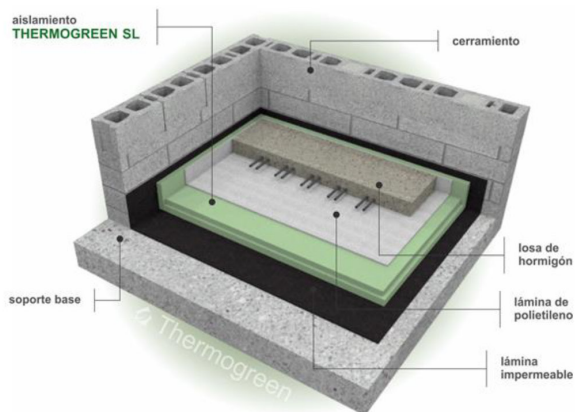


**DETALLES CONSTRUCTIVOS:**

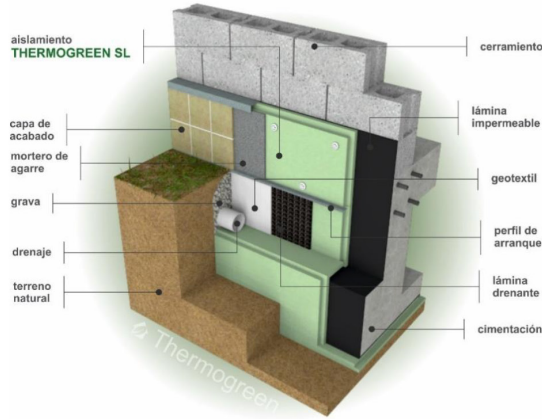
Ejemplo de aplicación en cubierta plana invertida:



Ejemplo de aplicación en aislamiento de suelos:



Ejemplo de aplicación en aislamiento de muros enterrados:



### CUMPLIMIENTO CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN 2019:

Para aplicación en cubiertas:

CUMPLIMIENTO CTE - DB HE 1 (2019)		
Zona Climática	Espesor recomendado (cm)	Transmitancia Térmica U (W/m <sup>2</sup> ·K)
<b>α</b>	5	0,50
<b>A</b>	6	0,44
<b>B</b>	10	0,33
<b>C</b>	14	0,23
<b>D</b>	14	0,22
<b>E</b>	18	0,19

Para aplicación en suelos:

CUMPLIMIENTO CTE - DB HE 1 (2019)		
Zona Climática	Espesor recomendado (cm)	Transmitancia Térmica U (W/m <sup>2</sup> ·K)
<b>α</b>	5	0,56
<b>A</b>	6	0,50
<b>B</b>	10	0,38
<b>C</b>	12	0,29
<b>D</b>	12	0,27
<b>E</b>	16	0,23



## THERMOGREEN SL

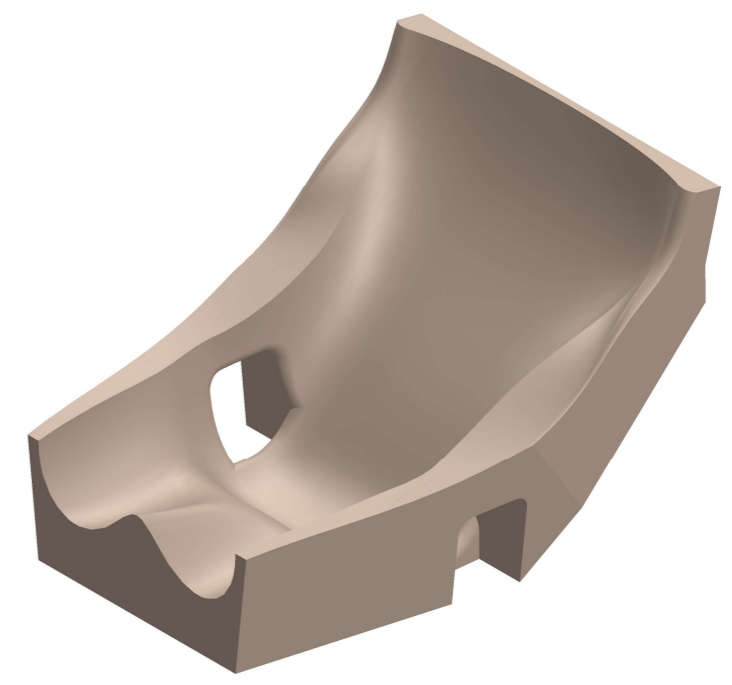
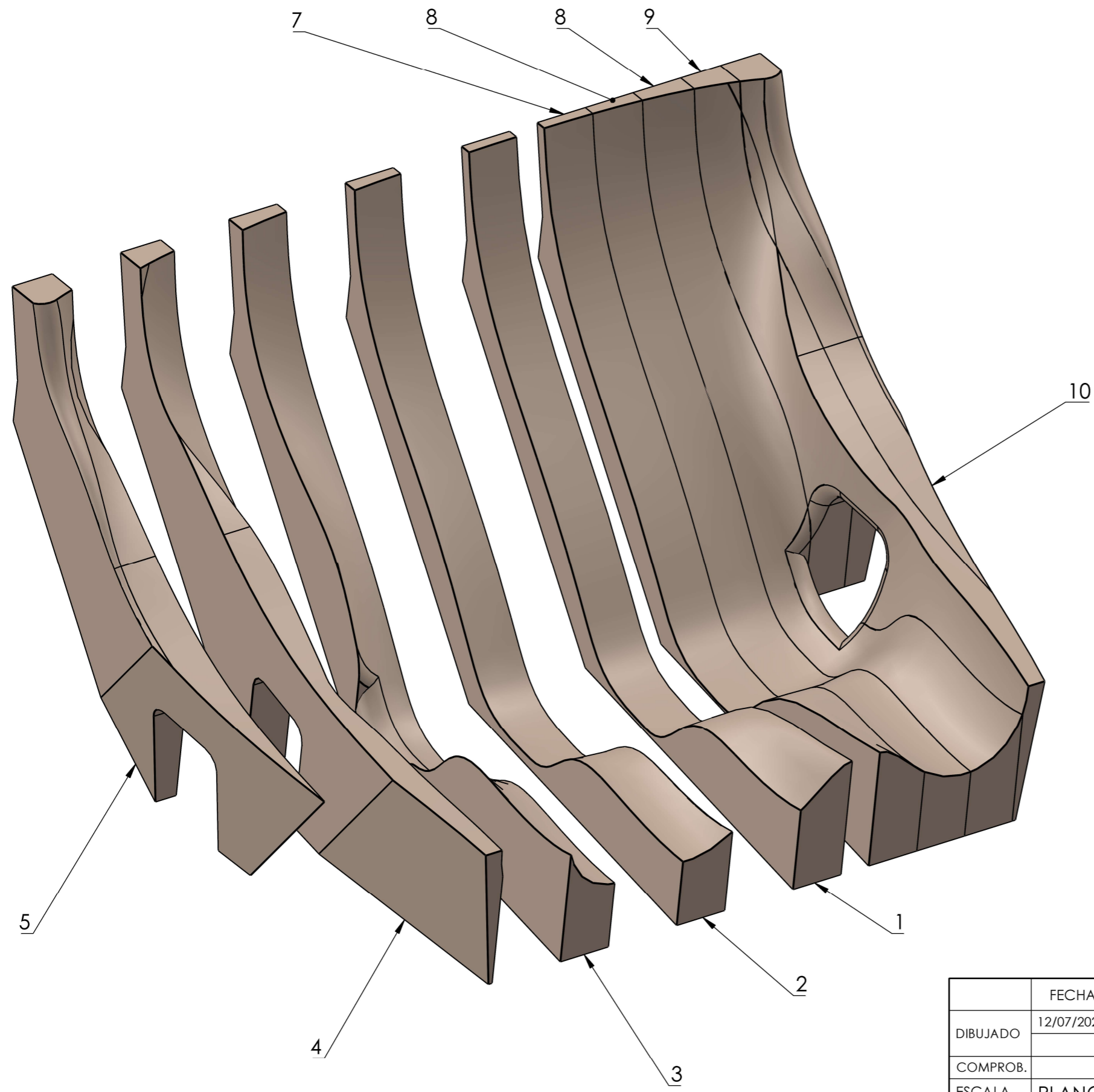
### **RECOMENDACIONES DE USO:**

No utilizar el producto a temperaturas de aplicación superiores a 75°C.

Almacenar el producto dentro del embalaje original para protegerlo del sol (rayos UV).

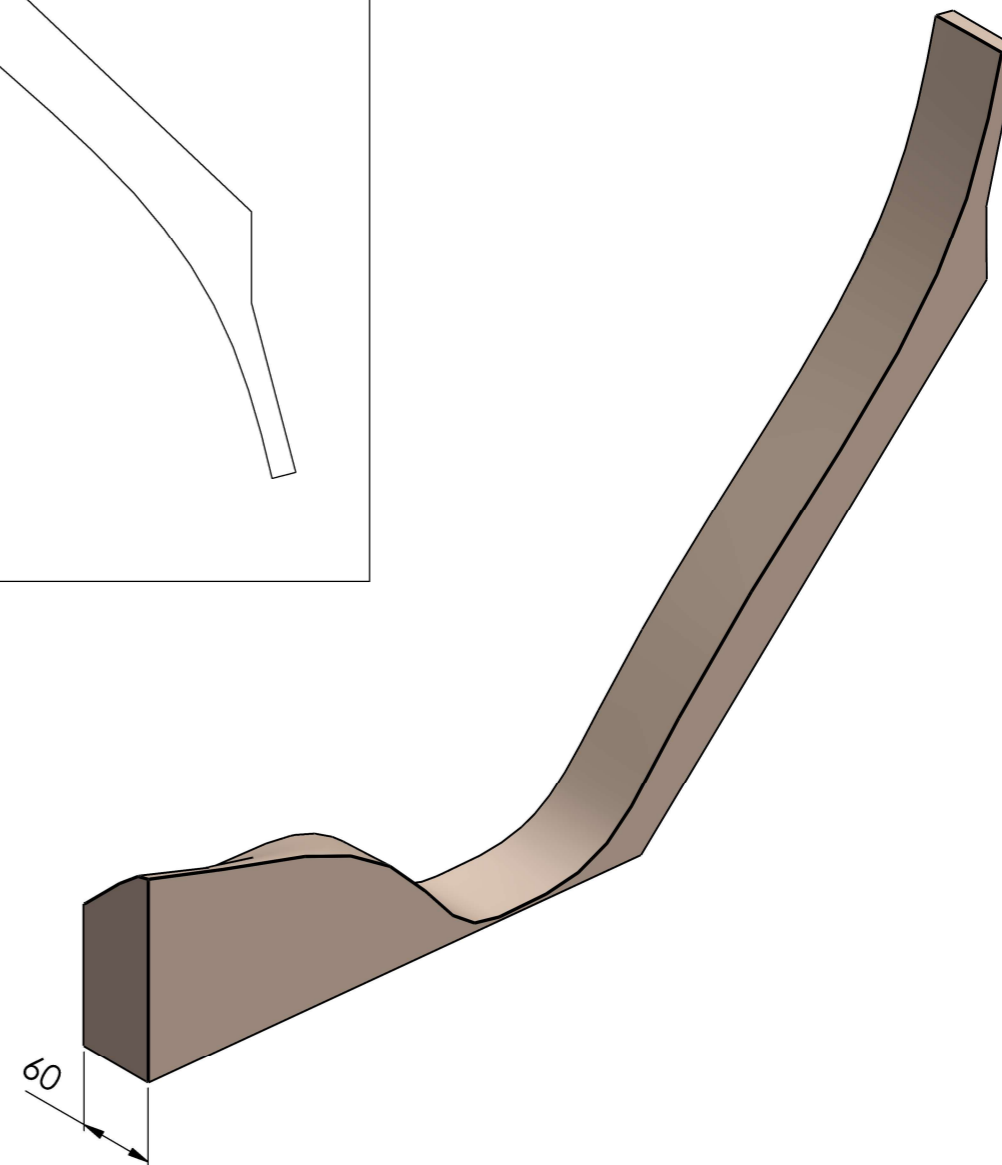
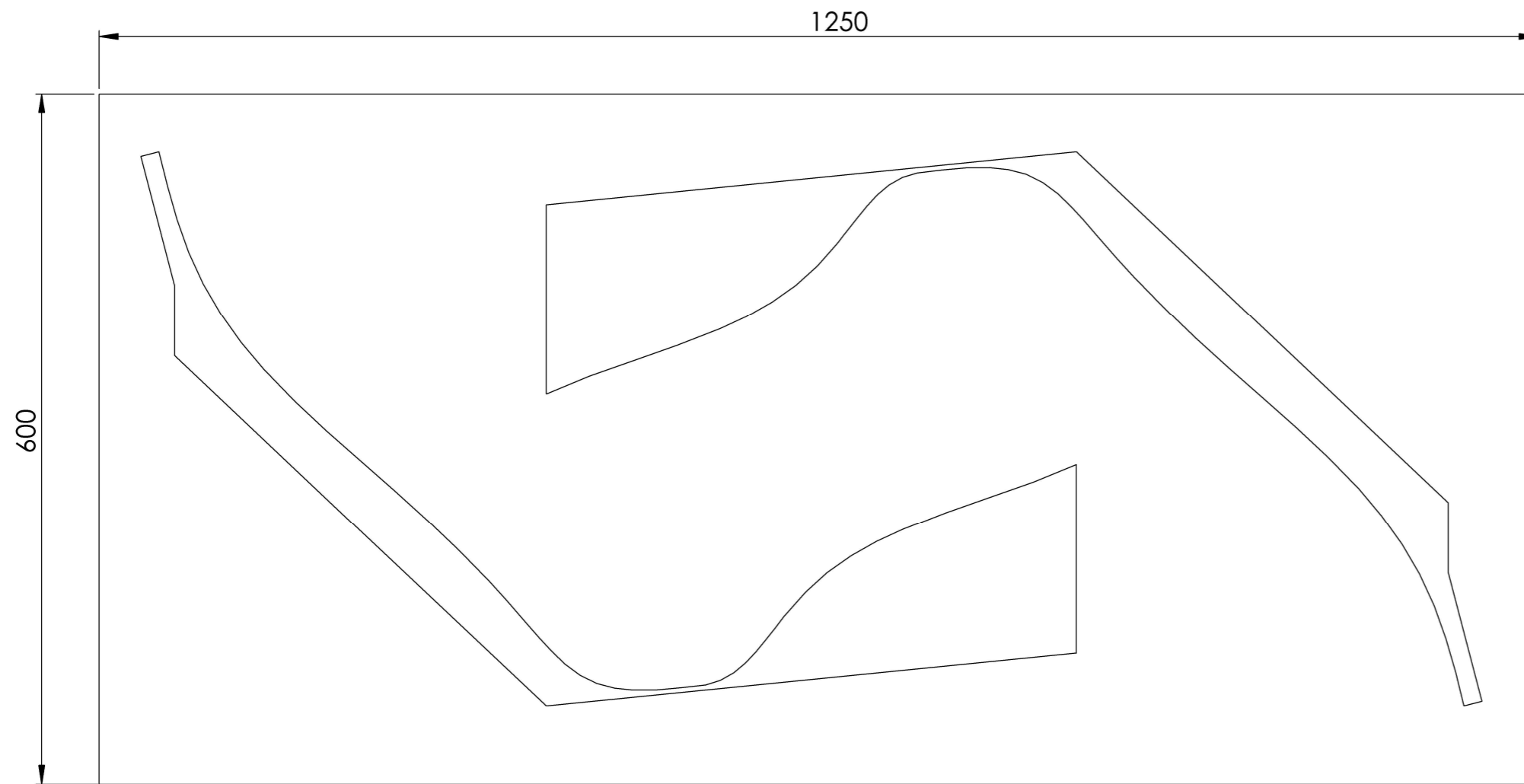
Para aplicaciones en las que el producto queda a la intemperie, es necesario cubrir el producto con la protección pesada antes de la finalización de la jornada, con el fin de proteger al producto del calor y de los efectos de los rayos U.V.

# PLANOS

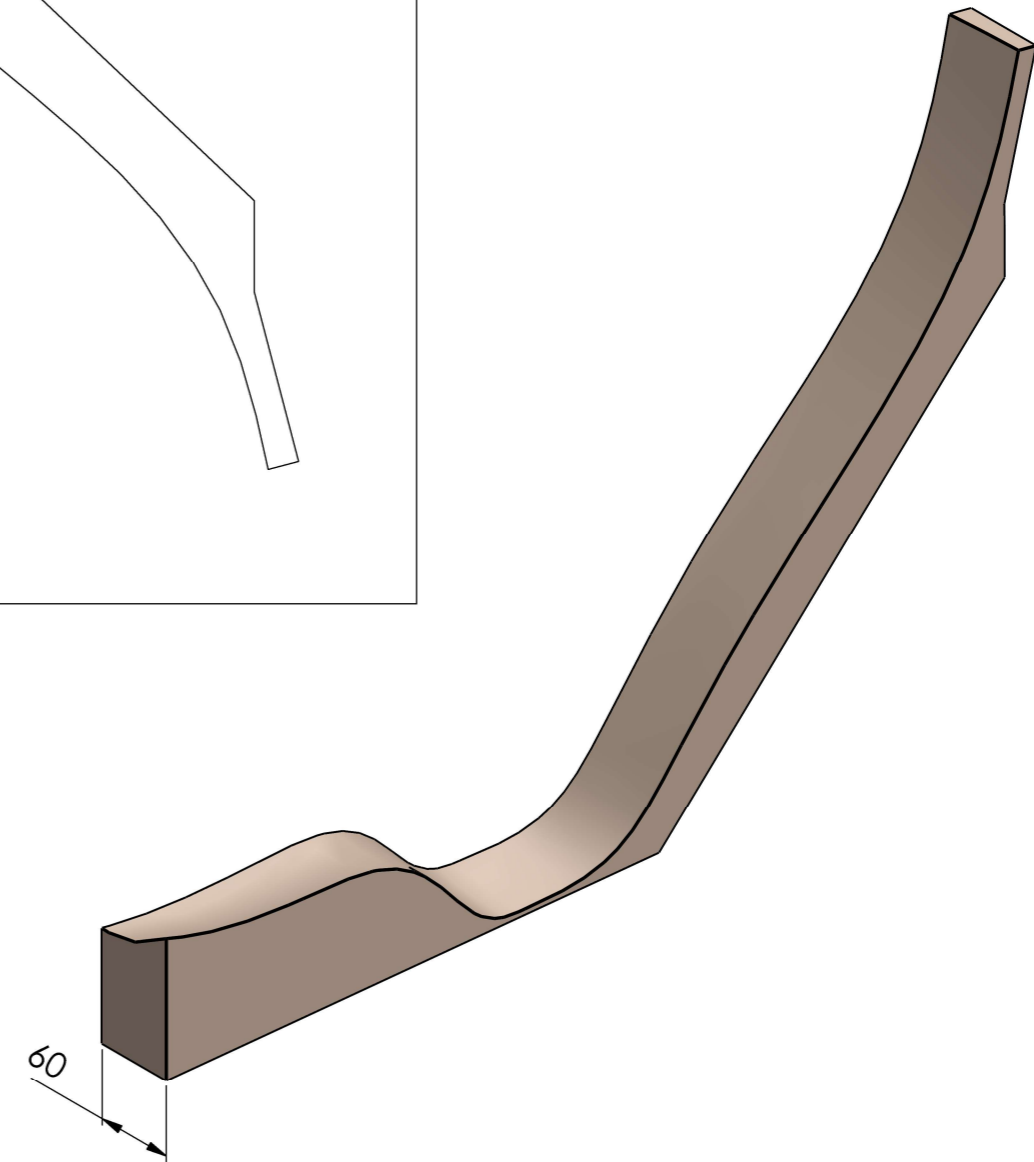
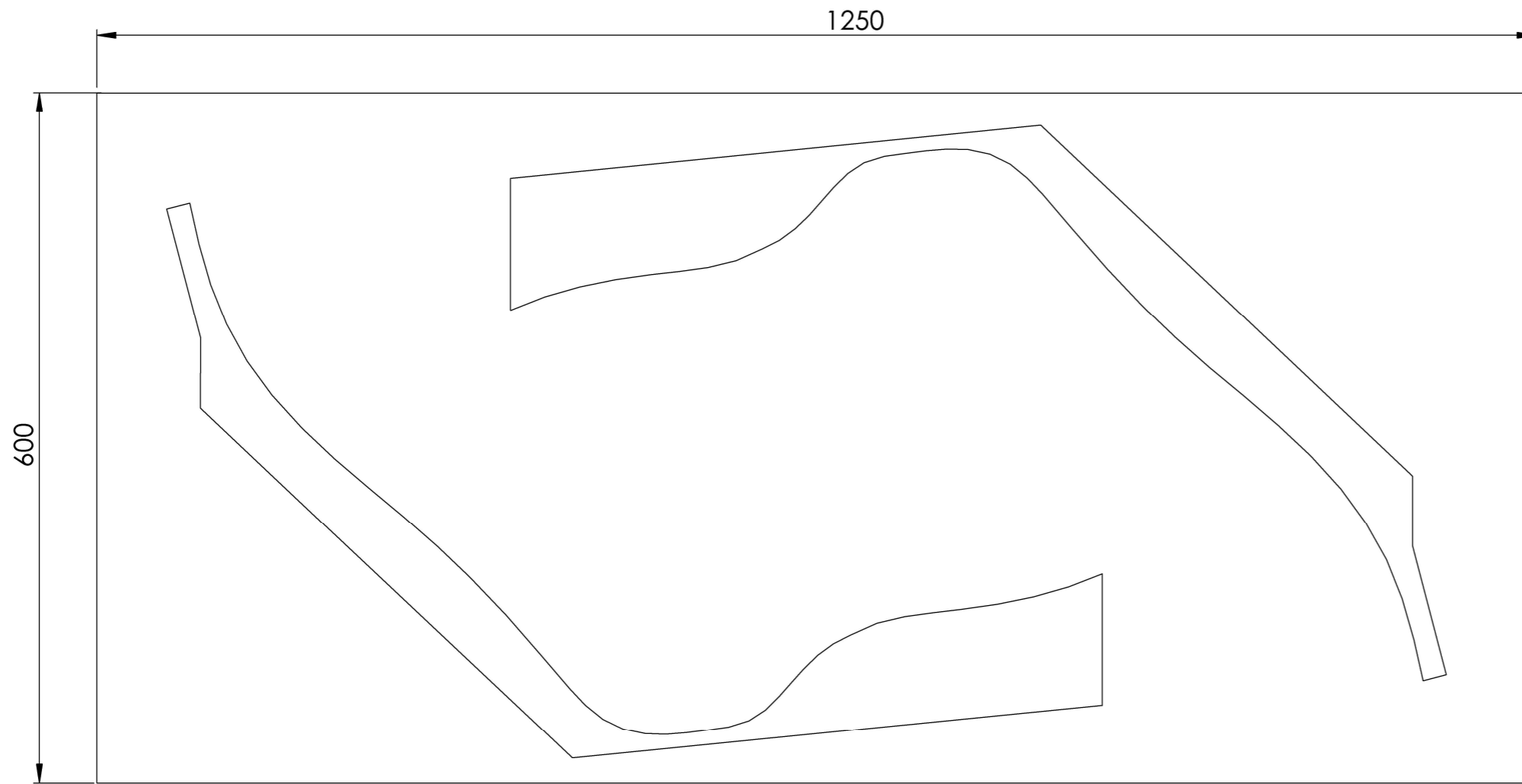


10	P5_Sym - Seat_Assembly	XPS e = 5 mm	1
9	P4_Sym - Seat_Assembly	XPS e = 5 mm	1
8	P3_Sym - Seat_Assembly	XPS e = 6 mm	1
7	P2_Sym - Seat_Assembly	XPS e = 6 mm	1
6	P1_Sym - Seat_Assembly	XPS e = 6 mm	1
5	P5 - Seat_Assembly	XPS e = 5 mm	1
4	P4 - Seat_Assembly	XPS e = 5 mm	1
3	P3 - Seat_Assembly	XPS e = 6 mm	1
2	P2 - Seat_Assembly	XPS e = 6 mm	1
1	P1 - Seat_Assembly	XPS e = 6 mm	1
REF.	NOMBRE	MATERIAL	CANT.

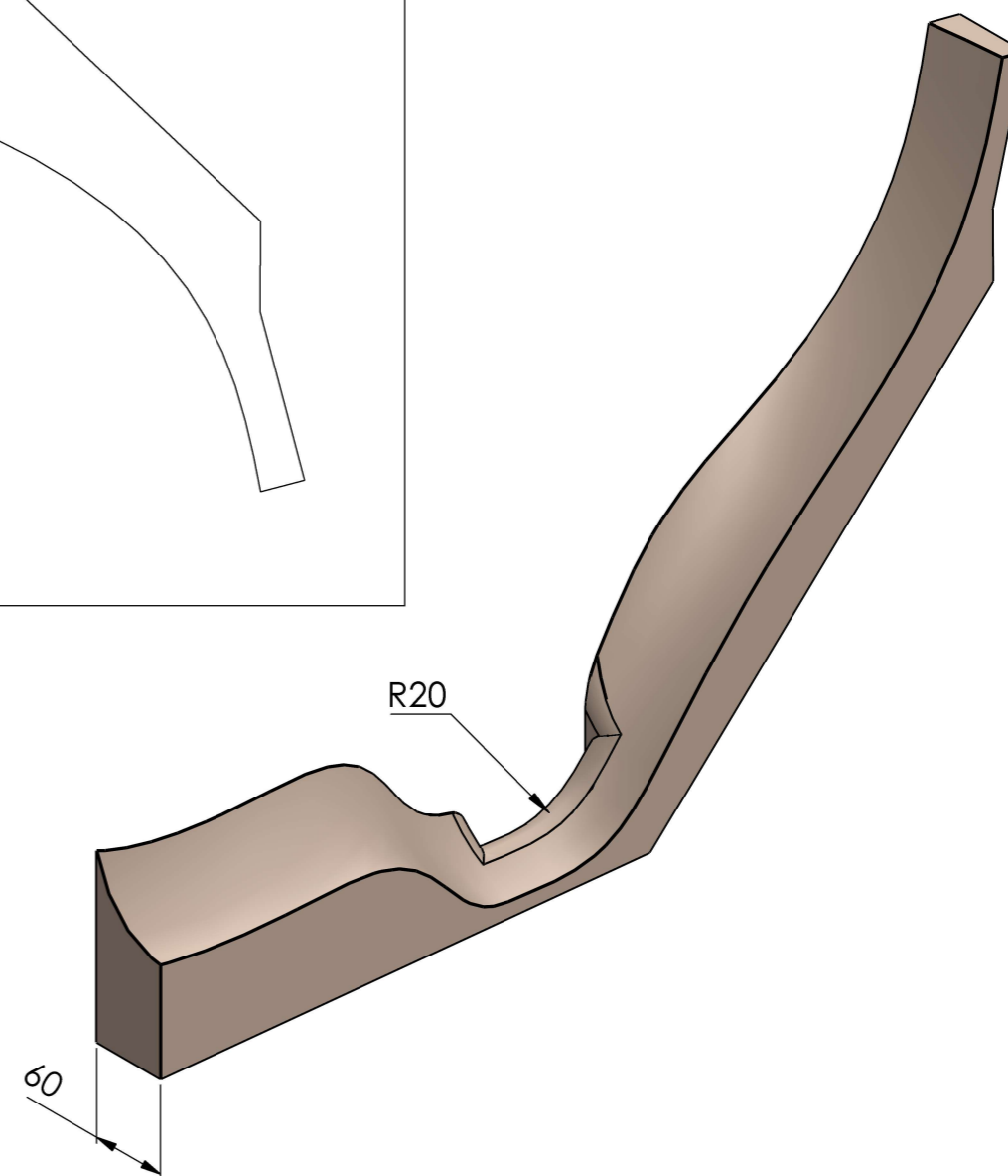
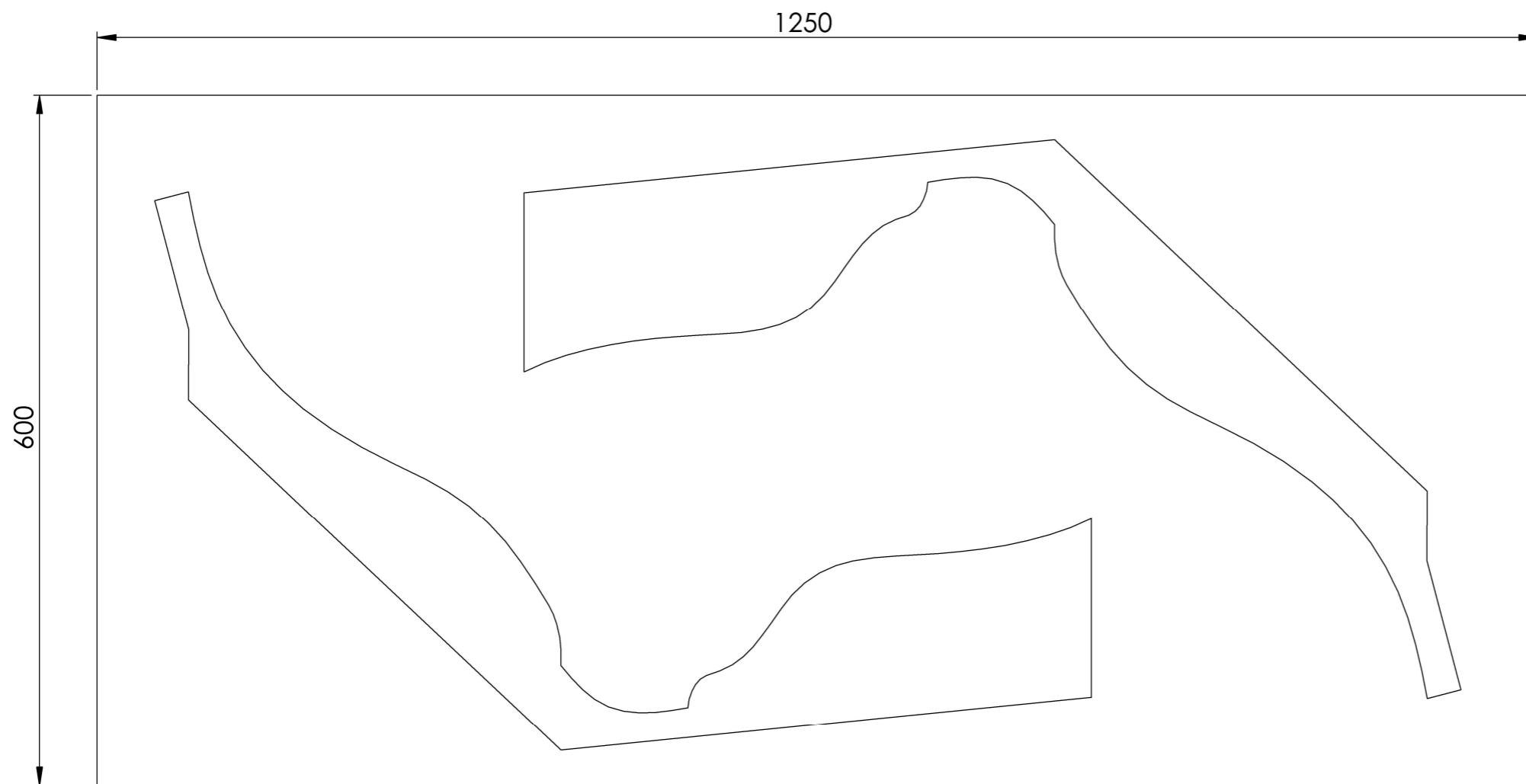
	FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> MÁLAGA RACING TEAM FORMULA STUDENT
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO	Seat_Assembly	
COMPROB.		AGUILAR		
		NAVARRO		
ESCALA	PLANO DE DESPIECE			Nº DE PLANO:
1:5	Vista explosionada de las piezas y su simetría			1/8
				FORMATO DE HOJA:
				A3



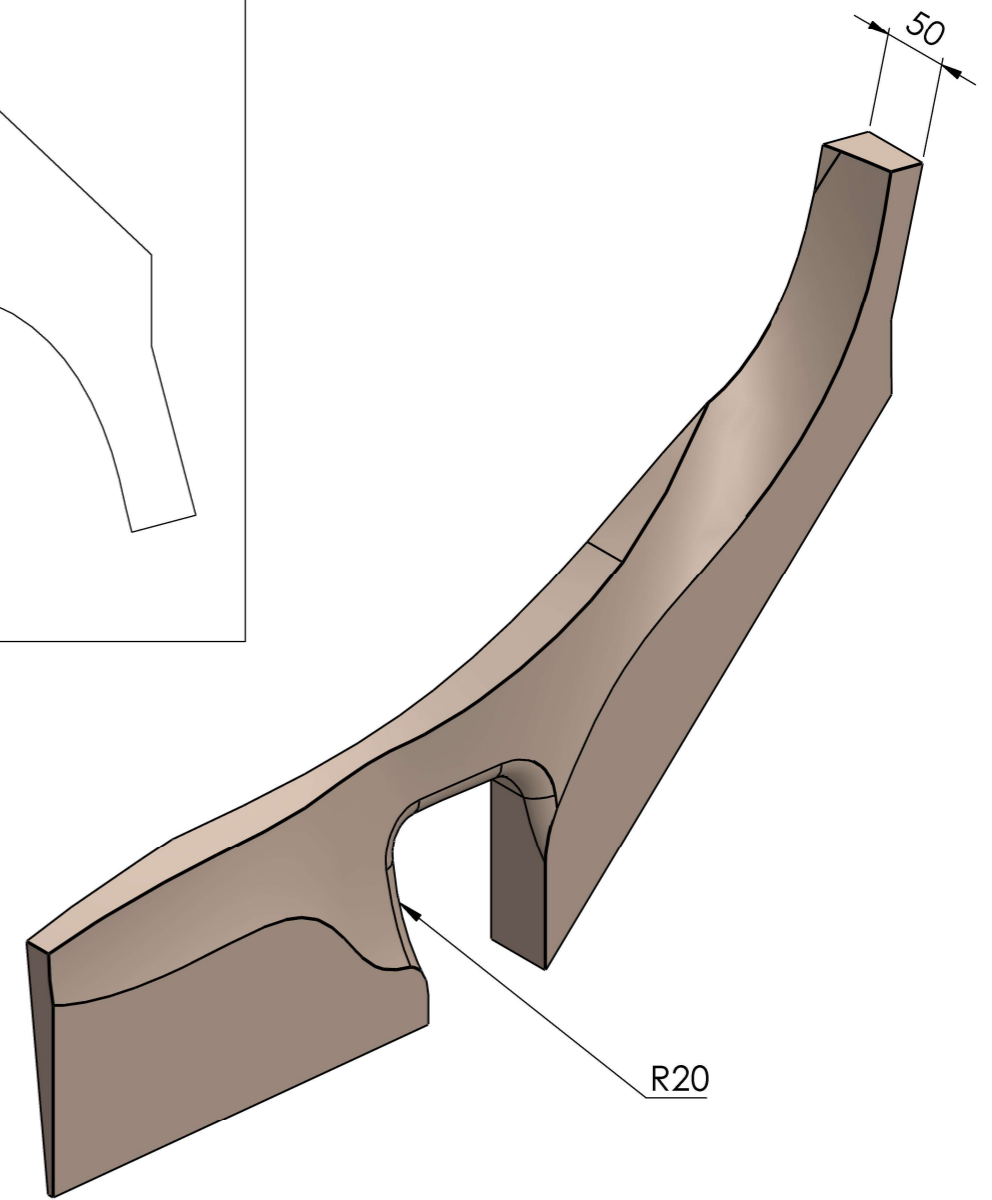
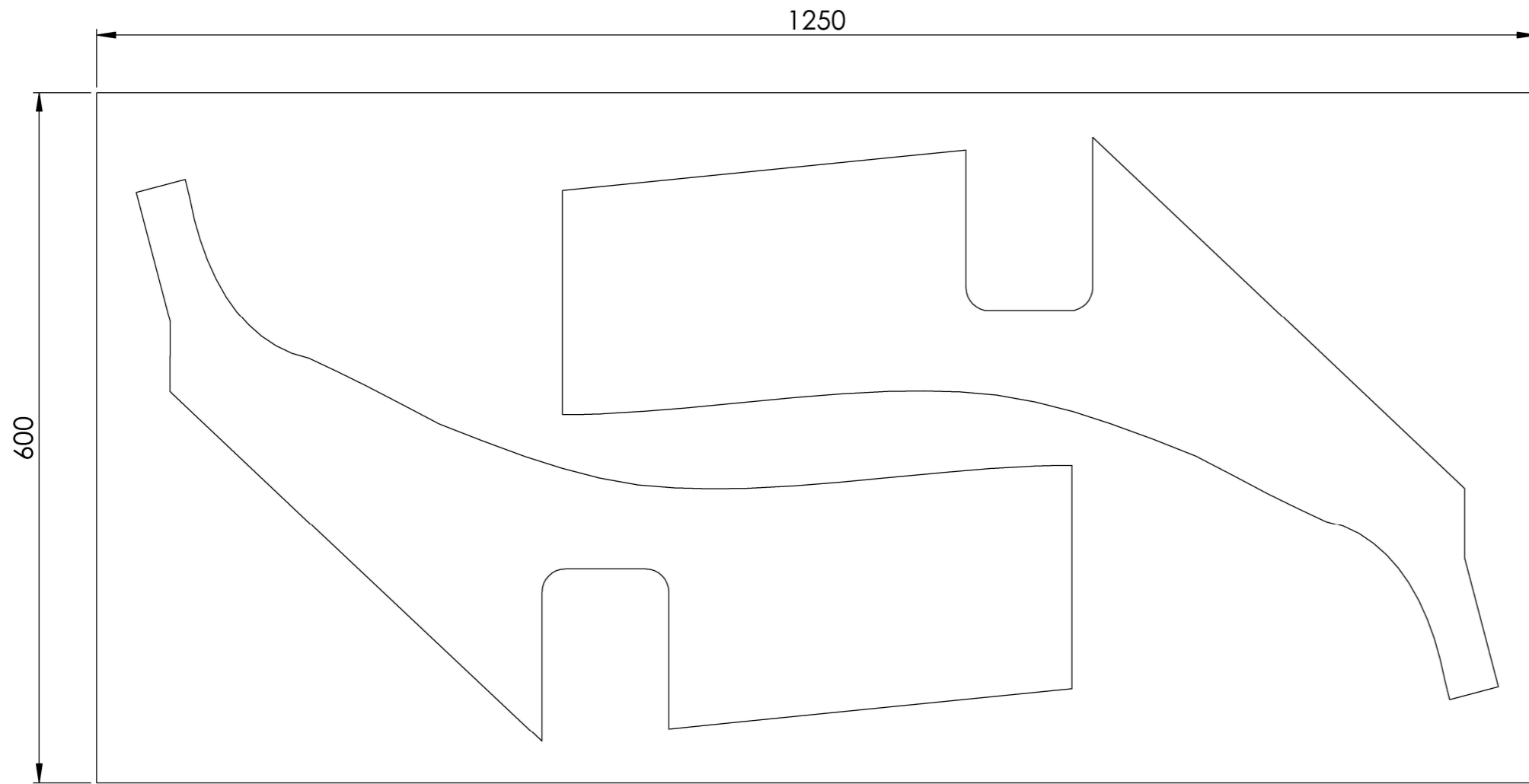
		FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> <b>MÁLAGA RACING TEAM</b> <b>FORMULA STUDENT</b>	
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO	AGUILAR	P1 - part		
COMPROB.		NAVARRO				
ESCALA	1:5	Plano de corte P1 y simetría Espesor de bloque 60 mm			Nº DE PLANO:	2/8
					FORMATO DE HOJA:	A3



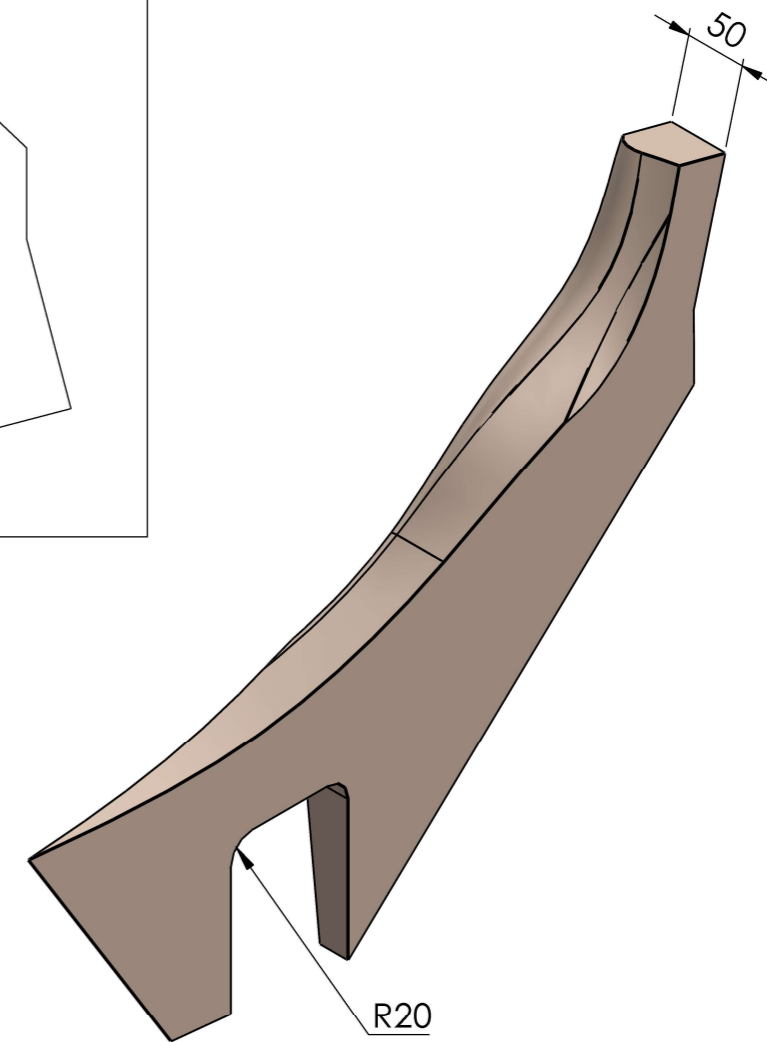
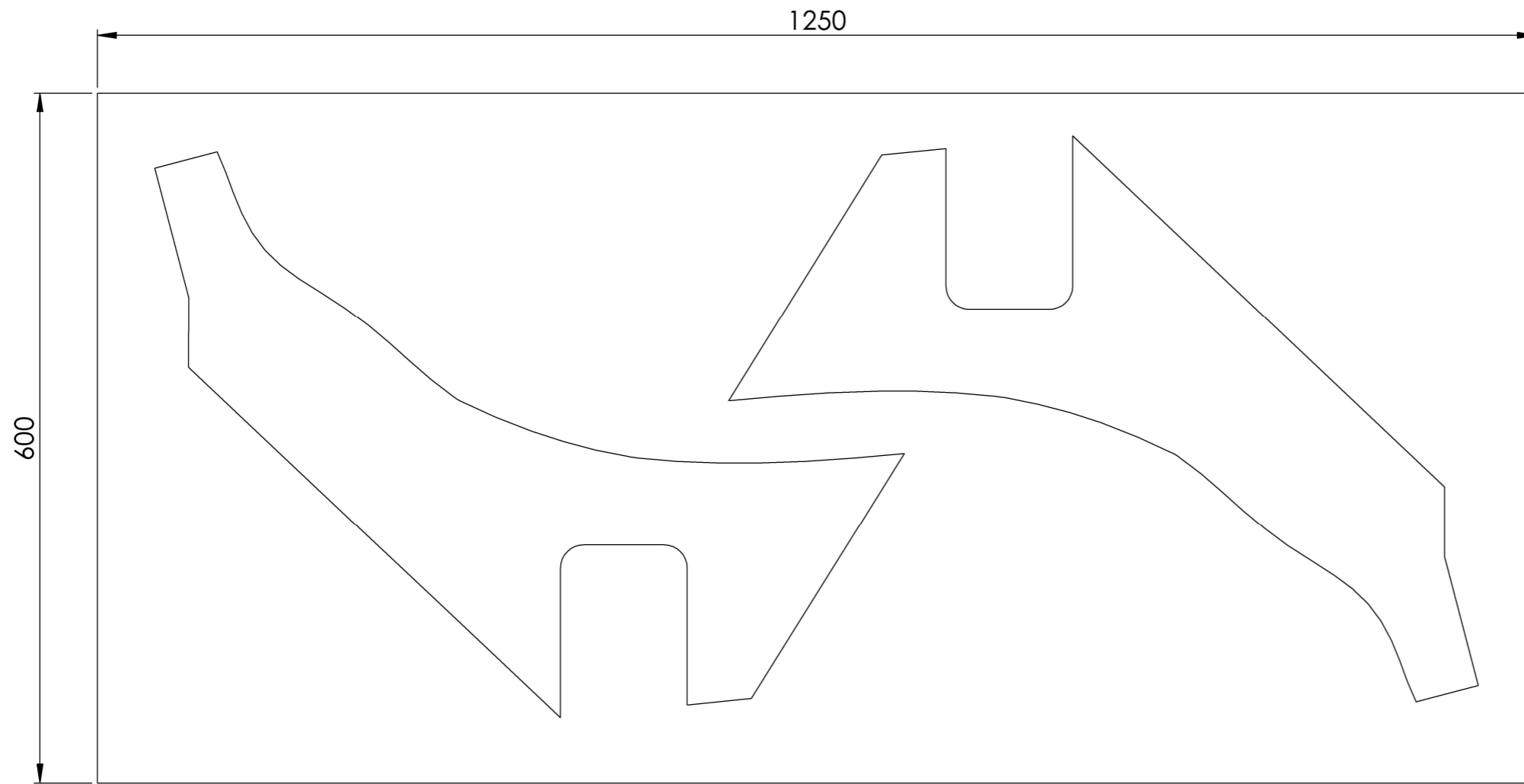
		FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> MÁLAGA RACING TEAM FORMULA STUDENT
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO	AGUILAR	P2 - part	
COMPROB.		NAVARRO			
ESCALA	1:5	Plano de corte P2 y simetría Espesor de bloque 60 mm			Nº DE PLANO: 3/8
					FORMATO DE HOJA: A3



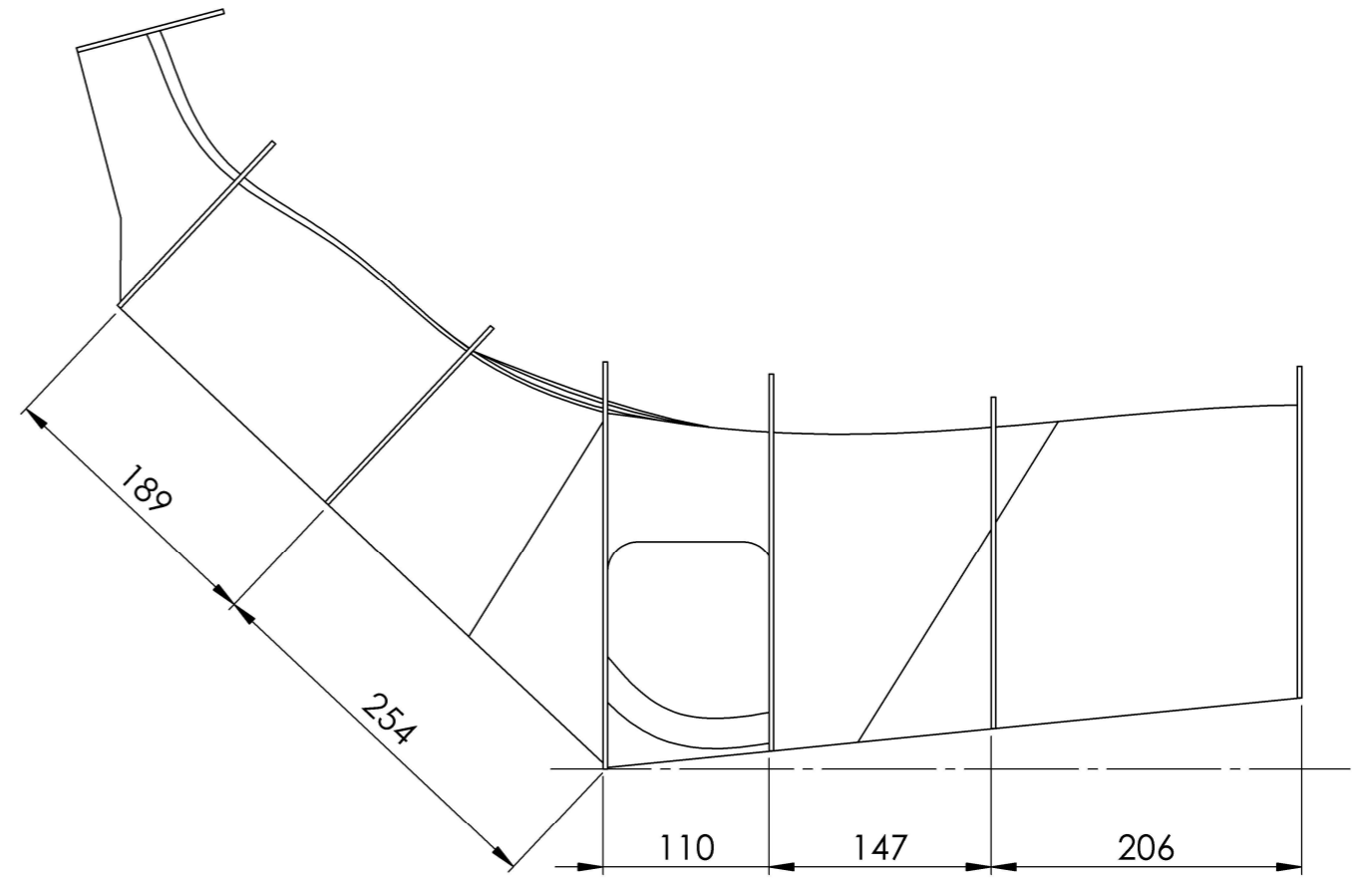
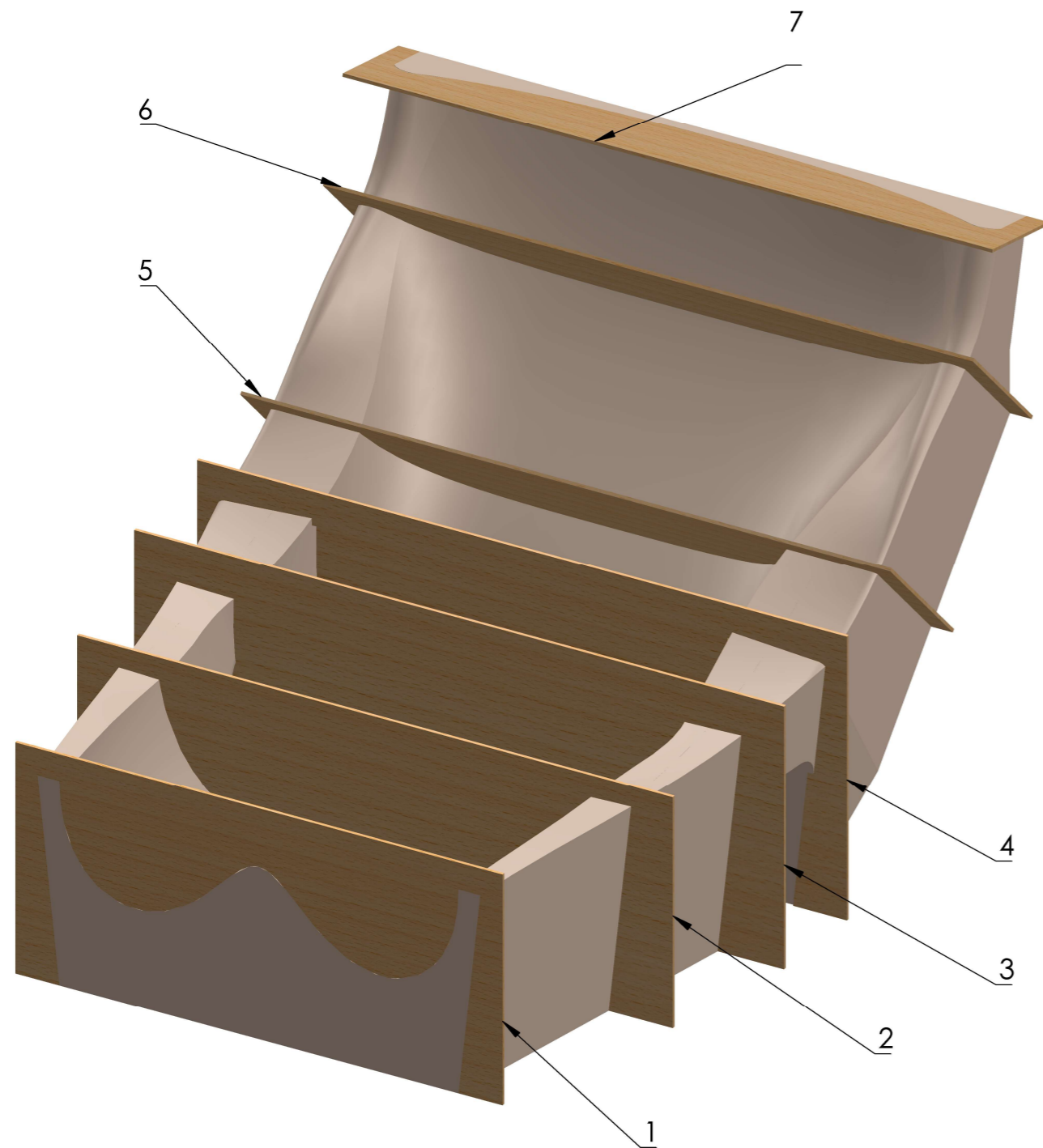
	FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> MÁLAGA RACING TEAM FORMULA STUDENT	
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO	P3 - part		
COMPROB.		AGUILAR			
		NAVARRO			
ESCALA	Plano de corte P3 y simetría			Nº DE PLANO:	
1:5	Espesor de bloque 60 mm			4/8	
				FORMATO DE HOJA:	
				A3	



	FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> <b>MÁLAGA RACING TEAM</b> <b>FORMULA STUDENT</b>	
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO	P4 - part		
COMPROB.		AGUILAR			
		NAVARRO			
ESCALA	Plano de corte P4 y simetría			Nº DE PLANO:	
1:5	Espesor de bloque 50 mm			5/8	
				FORMATO DE HOJA:	
				A3	

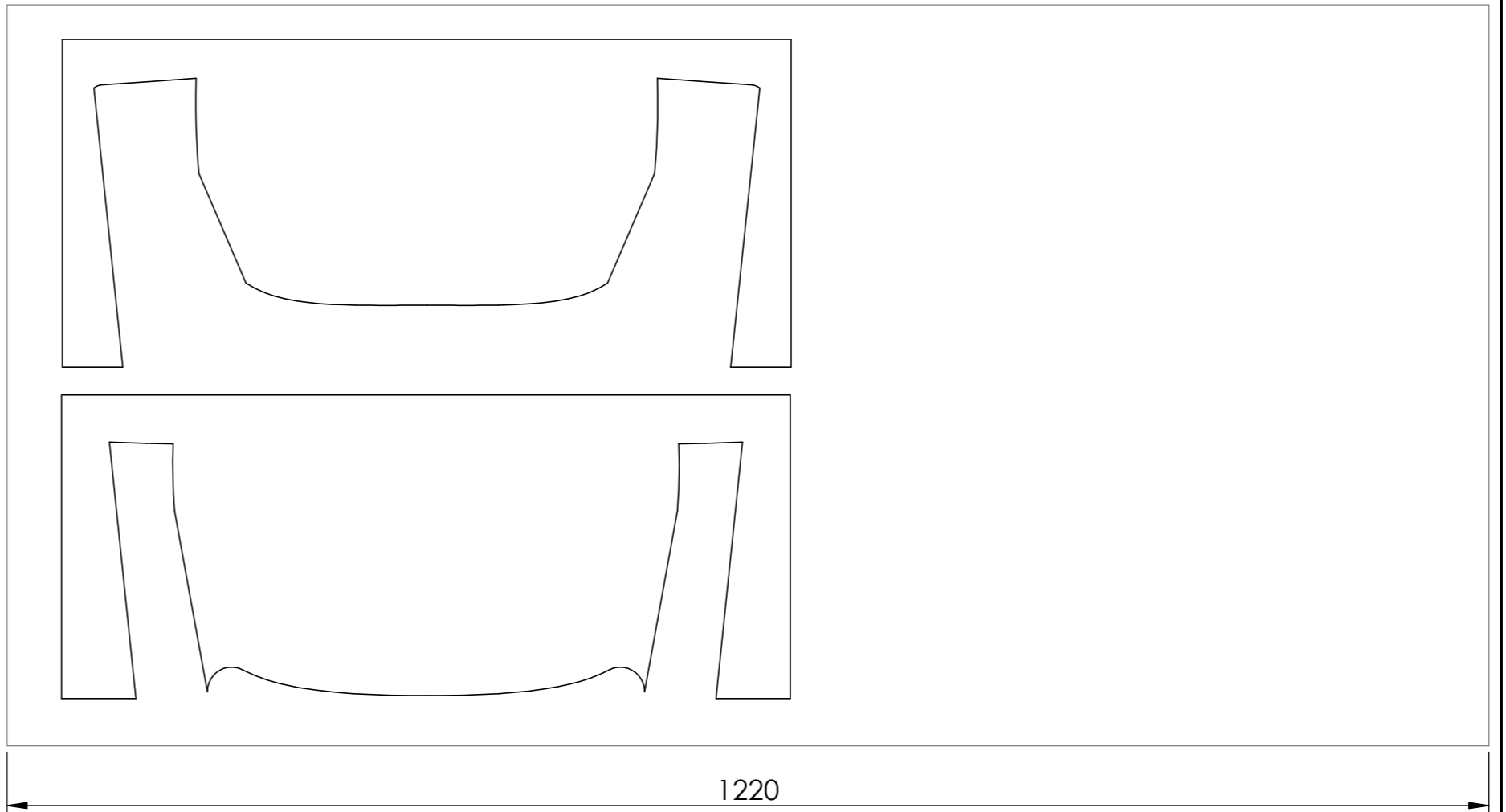
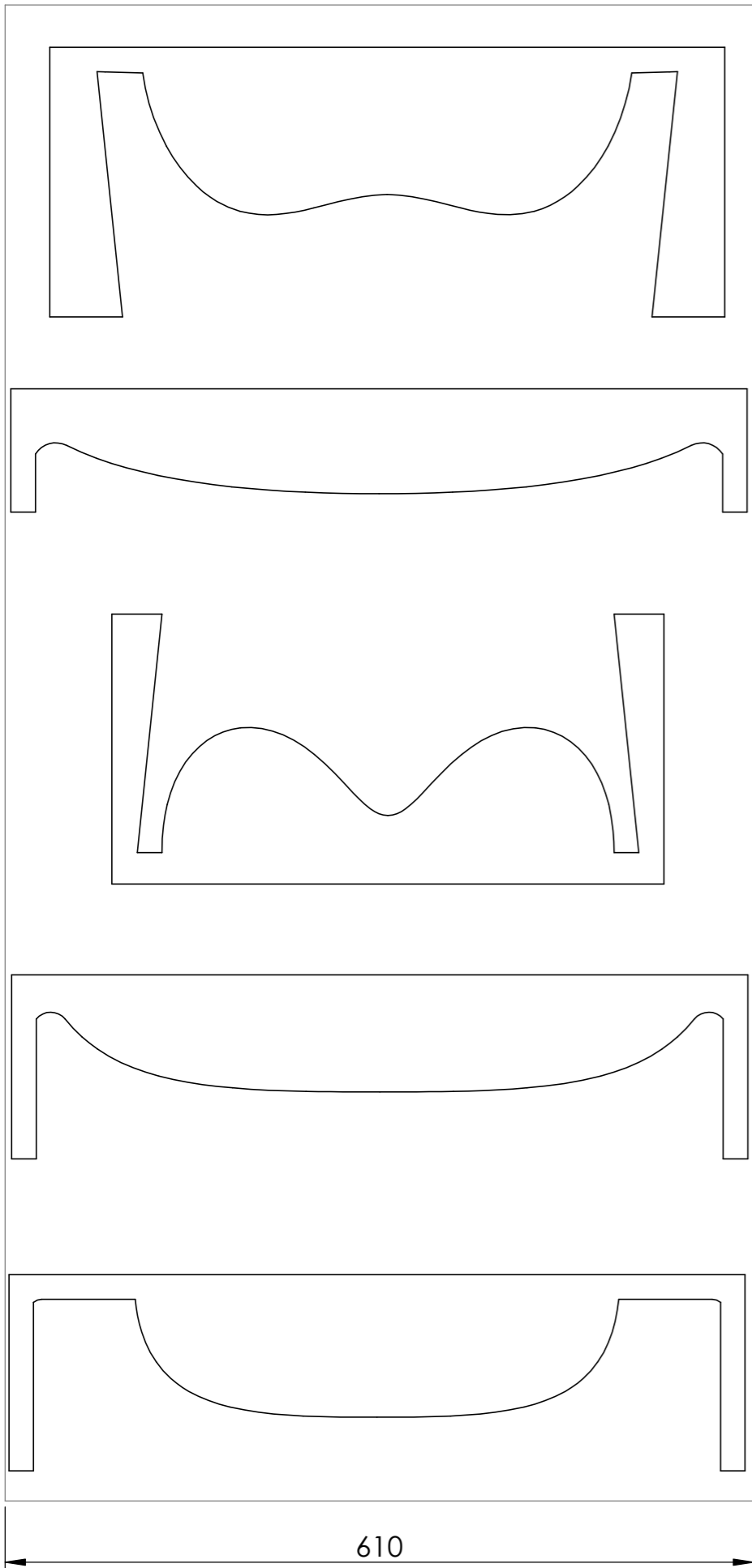


		FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> <b>MÁLAGA RACING TEAM</b> <b>FORMULA STUDENT</b>
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO	AGUILAR	P5 - part	
COMPROB.		NAVARRO			
ESCALA	1:5	Plano de corte P5 y simetría Espesor de bloque 50 mm			Nº DE PLANO: 6/8
					FORMATO DE HOJA: A3



7	G7 - Seat_Assembly	MDF	1
6	G6 - Seat_Assembly	MDF	1
5	G5 - Seat_Assembly	MDF	1
4	G4 - Seat_Assembly	MDF	1
3	G3 - Seat_Assembly	MDF	1
2	G2 - Seat_Assembly	MDF	1
1	G1 - Seat_Assembly	MDF	1
REF.	NOMBRE	MATERIAL	CANT.

	FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> MÁLAGA RACING TEAM FORMULA STUDENT
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO AGUILAR	Seat_Assembly	
COMPROB.		NAVARRO		
ESCALA	Plano de despiece guías			Nº DE PLANO:
1:5	Despiece de las guías de lijado			7/8
				FORMATO DE HOJA:
				A3



	FECHA	NOMBRE	FICHERO	<b>UNIVERSIDAD DE MÁLAGA</b> <b>MÁLAGA RACING TEAM</b> <b>FORMULA STUDENT</b>
DIBUJADO	12/07/2023	PABLO AGUILAR	CorteL_Gias	
COMPROB.		NAVARRO		
ESCALA	Plano de corte láser para guías Tableros MDF 610x122x3 mm (2 ud.)			Nº DE PLANO: 8/8
1:5				FORMATO DE HOJA: A3

# **PLIEGO DE CONDICIONES**

## **Artículo 1.** Objeto y partes vinculantes.

Se condicionan por este pliego, todas las mediciones, estudios, planos y características que se adjuntan en la memoria del presente proyecto.

Las partes vinculantes de este pliego son el autor y el equipo de Formula Student MART FS.

## **Artículo 2.** Documentos y datos.

Quedan a disposición del contratista todos los documentos y datos de este proyecto.

Los datos utilizados son válidos a fecha 15/07/23 eximiendo de responsabilidad al autor los cambios a posteriori de estos.

El uso final de metodologías, datos o procesos distintos a los recogidos en el presente documento también exime de responsabilidad al autor.

Toda la documentación y normativa consultada y utilizada queda vinculada o recogida en la bibliografía, anexos o memoria de este proyecto.

## **Artículo 4.** Especificaciones técnicas.

El proyecto debe cumplir con la normativa FSAE.

El resultado de este documento se realiza de acuerdo con las especificaciones de diseño acordadas entre el equipo y el autor, quedando estas como exigencias por parte del equipo.

## **Disposición final.**

Los documentos del Proyecto y el conjunto de normas y condiciones establecidas en el presente Pliego de Condiciones constituyen el Contrato que rige las obligaciones y derechos de ambas partes contratantes. Ambas partes se comprometen a resolver cualquier discrepancia que pueda surgir hasta su total cumplimiento.

## MEDICIÓN Y PRESUPUESTO

Costes de Ingeniería			
Concepto	Uds. (h)	Coste Ud.	Coste Total
Estudios previos	2	14,50 €	29,00 €
Anteproyecto	2	14,50 €	29,00 €
Proyecto básico	32	14,50 €	464,00 €
Especificaciones de diseño. Concreción de soluciones. Diseño preliminar			
Proyecto de ejecución	80	14,50 €	1.160,00 €
Memoria de las características técnicas. Diseño de detalle. Plan de fabricación detallado y planos.			
Estudios adicionales	32	14,50 €	464,00 €
Ingeniería inversa. Estudio antropométrico.			
TOTAL		148	2.146,00 €

Tabla 9. Costes de ingeniería.

Costes Directos					
Concepto	Uds.	Coste Ud.	Coste Total	% I.V.A.	Total + I.V.A.
<b>MATERIALES</b>			27,50 €		<b>33,28 €</b>
Espuma de poliuretano extruido 300 kPa (125 × 60 × 6 cm)	3	3,98 €	11,94 €	21,00%	14,46 €
Espuma de poliuretano extruido 300 kPa (125 × 60 × 5 cm)	2	3,32 €	6,64 €	21,00%	8,04 €
Tablero MDF (122 × 61 × 0,3 cm)	2	4,46 €	8,92 €	21,00%	10,78 €
<b>HERRAMIENTAS</b>			14,41 €		<b>15,90 €</b>
Lija gr 80 Obramat (REF:10754366)	5	0,21 €	1,05 €	21,00%	0,25 €
Lija gr 120 Obramat (REF:10754380)	3	0,21 €	0,63 €	21,00%	0,25 €
Cinta de velcro 3M Dual Lock SJ 3550 CF	1	4,95 €	4,95 €	21,00%	5,99 €
Paletina sintética 40 mm Obramat (REF:10964905)	2	2,48 €	4,96 €	21,00%	6,00 €
Adhesivo de montaje acrílico AXTON blanco 310 ml.	1	2,82 €	2,82 €	21,00%	3,41 €
<b>EPI (mascarilla y guantes)</b>	2	4,00 €	8,00 €		<b>8,00 €</b>
<b>SUELDO</b>			504,00 €		<b>504,00 €</b>
Operarios de taller (2) en horas	48,00	10,50 €	504,00 €		504,00 €
<b>CONTRATACIONES EXTERNAS</b>			125,00 €		<b>151,25 €</b>
Corte por hilo caliente Logotec 3D	1	90,00 €	90,00 €	21,00%	108,90 €
Corte láser Logotec 3D	1	35,00 €	35,00 €	21,00%	42,35 €
TOTAL			1.349,82 €		<b>1.416,86 €</b>

Tabla 10. Costes de fabricación.

TOTALES	Coste	I.V.A.
Costes de ingeniería	2.146,00 €	2.146,00 €
Costes directos	1.349,82 €	1.416,86 €
TOTAL	3.495,82 €	<b>3.562,86 €</b>

**Tabla 11. Costes finales.**

Coste final del proyecto: **3.562,86€** (tres mil quinientos sesenta y dos con ochenta y seis euros).

El Ingeniero:



Pablo Aguilar Navarro

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SAE International. (s. f.). Formula SAE. <https://www.fsaeonline.com/cdsweb/gen/DocumentResources.aspx> Normativa FSAE 2023
- [2] Fotos: Sauber corta un monoplaza de F1 por la mitad. (2022, June 2). Car And Driver. <https://www.caranddriver.com/es/formula-1/g11645/fotos-sauber-corta-un-monoplaza-de-f1-por-la-mitad/?slide=2>
- [3] Sparco. (n.d.). Sim Racing Fiberglass Seat Gp 008026G | Sparco Official | Sparco Official Online Store. <https://www.sparco-official.com/es/gaming/esports/gp-seat.html>
- [4] Schroth. (n.d.). <https://www.schroth.com/en/racing/racing/details/show/profi-seat/>
- [5] Richard. (2020). Fitting a race seat with Schroth INDI seat. Driver61. <https://driver61.com/blog/race-seat-fitting/>
- [6] Cronolita Acril. No ataca el corcho. Activada. NO INCLUYE EL CATALIZADOR. - Cronolab Spain, S.L. (n.d.). Cronolab Spain, S.L. <https://www.tiendaonlineplastiform.es/resina-para-porexpan-corcho-blanco/15-cronolita-acril-100.html>
- [7] Underwriters Laboratories. (2023). Tests for Flammability of Plastic Materials for Parts in Devices and Appliances. (UL94 V-0). [https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL94\\_7\\_S\\_20230228](https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?productId=UL94_7_S_20230228)
- [8] Federal Aviation Administration. (2023). Federal Aviation Regulation. b. (FAR 25.853(a)(1)(i)). <https://www.ecfr.gov/current/title-14>
- [9] Garnacho, J. (2016, June 25). Elemental Rp1. Con la aerodinámica de un Fórmula 1. Motor16. <https://www.motor16.com/noticias/elemental-rp1-con-la-aerodinamica-de-un-formula-1/>
- [10] NASA Standards Inform Comfortable car seats | NASA spinoff. (s. f.). [https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2013/t\\_4.html](https://spinoff.nasa.gov/Spinoff2013/t_4.html)
- [11] ANTHROPOMETRY AND BIOMECHANICS. (s. f.). <https://msis.jsc.nasa.gov/sections/section03.htm>
- [12] Creaform. (2021, 27 abril). ¿Qué es ingeniería inversa? Creaform's Blog - News, Tips & Tricks about 3D technologies, 3D Scanning, QC/Inspection, Reverse Engineering & More. [https://www.creaform3d.com/blog/es/que-es-ingenieria-inversa/#Que\\_es\\_el\\_proceso\\_de\\_ingenieria\\_inversa](https://www.creaform3d.com/blog/es/que-es-ingenieria-inversa/#Que_es_el_proceso_de_ingenieria_inversa)
- [13] Clásicos al Volante. (2016, May 30). LOS ALUMNOS DEL FSUPV TEAM PRESENTAN EL MONOPLAZA CON EL QUE DISPUTARÁN LA TEMPORADA 2016 DE LA FORMULA STUDENT. Clásicos Al Volante. <https://www.clasicosalvolante.com/los-alumnos-del-fsupv-presentan-el-monoplaza-con-el-que-disputaran-la-temporada-2016-de-la-formula-student/>
- [14] Maurici. (2021, May 6). Making a Race (foam bag) seat. experience after the first trial [Online forum post]. WSCC - Community Forum. <https://forum.wscs.co.uk/forum/topic/133249-making-a-race-foam-bag-seat-experience-after-the-first-trial/>

- [15] *Colaboradores de Wikipedia. (2020). Esfuerzo interno. Wikipedia, La Enciclopedia Libre.* [https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo\\_interno](https://es.wikipedia.org/wiki/Esfuerzo_interno)
- [16] *Cnc, R., & Cnc, R. (2022, November 15). ¿Cuál es la mejor marca en CNC Router? - Router CNC. Router CNC - Blog para expertos en Router CNC.* <https://routerscnc.com.mx/2022/10/24/cual-es-la-mejor-marca-en-cnc-router/>
- [17] *Cortadora hilo caliente foam. (2023, January 10). CNC Barcenás.* <https://cncbarcnas.com/es/cortadora-de-hilo-caliente-para-foam/>
- [18] *Diego-Mas, Jose Antonio. Análisis biomecánico estático coplanar. Ergonautas, Universidad Politécnica de Valencia, 2015. Disponible online:* <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/biomecanica/biomecanica-ayuda.php>
- [19] *Matt Amys. (2022, 21 marzo). The NEW way Formula 1 seats are made [Video]. YouTube.* <https://www.youtube.com/watch?v=yjEgSEEEhuk>
- [20] *Herbstreit, B. Seat & Firewall Design for Cornell Racing FSAE. [Trabajo Fin de Grado, Cornell University].*
- [21] *Matias. (s.f.). Propiedades químicas del poliestireno expandido. Textos Científicos.* <https://www.textoscientificos.com/polimeros/poliestireno/propiedades>
- [22] *Valero, E., Antropometría. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo.*
- [23] *Vivek, D. (2012). Ergonomics in the Automotive Design Process. CRC Press.*
- [24] *Vera, E., Morales, D., Peña, A. & Rodríguez, R. (Ed. Colloquium). (2019). Ergonomía para Pilotos de Monoplaza. ISBN.*
- [25] *Ashby, M. F. (2011). Materials Selection in Mechanical Design, Fourth Edition. Elsevier Gezondheidszorg.*
- [26] *Patterson, E. A., Diamantakos, I., Dvurecenska, K., Greene, R. J., Hack, E., Lampeas, G., . . . Siebert, T. (2022). Validation of a structural model of an aircraft cockpit panel: An industrial case study. Journal of Strain Analysis for Engineering Design, 57(8), 714-723. doi:10.1177/03093247211059084*
- [27] *Chen, N., Man, Y., & Sun, Y. (2022). Abnormal cockpit pilot driving behavior detection using YOLOv4 fused attention mechanism. Electronics (Switzerland), 11(16) doi:10.3390/electronics11162538*
- [28] *Lindstedt, Ł., Rodzewicz, M., Rzymkowski, C., & Kędzior, K. (2019). Impact loads and crash safety of the cockpit of a composite glider. Fatigue of Aircraft Structures, 2019(11), 39-55. doi:10.2478/fas-2019-0005*
- [29] *Gupta, I., Kalra, P., Chawla, P., & Singh, J. (2018). Evaluation of pilot's seat design of civil aircraft for indian anthropometric data by using delmia human software. Paper presented at the , 26 70-75. doi:10.1016/j.promfg.2018.07.009 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)*

- [30] Li, M. -, Zhao, H. -, Cheng, J. -, Wang, T., Fu, T., Zhang, A. -, & Wang, Y. -. (2022). *An effective green porous structural adhesive for thermal insulating, flame-retardant, and smoke-suppressant expandable polystyrene foam*. *Engineering*, doi:10.1016/j.eng.2020.08.032
- [31] Deepak Suresh Kumar, R., Ravi, S., Vignesh, A., & Sujith Raja, M. S. (2020). *Ergonomic evaluation of passenger car vehicle seat design*. Paper presented at the IOP Conference Series: *Materials Science and Engineering*, , 988(1) doi:10.1088/1757-899X/988/1/012086 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com)
- [32] Rune, S., Hongjun X., Bifeng, S. (2008) *Ergonomic assessment method for cockpit layout of civil aircraft x based on virtual design 26th international congress of the aeronautical sciences, China*. [Icas.org](http://icas.org)
- [33] *Moment Arm | Exercise Education*. (s. f.). <http://exerciseeducation.com/moment-arm/> Diego-Mas, J. A. (s. f.). *Métodos para la evaluación ergonómica de puestos de trabajo*. Universidad Politécnica de Valencia. <https://www.ergonautas.upv.es/metodos-evaluacion-ergonomica.html>
- [34] Vera, E. (2020). *Propuesta de diseño ergonómico en butacas de vehículos monoplaza, para equipos ecuatorianos participantes en la Formula Student*. [Trabajo Fin de Grado, Universidad Internacional SEK]. Docplayer. <https://docplayer.es/211260421-Universidad-internacional-sek.html>