



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Diseño de un chasis para un vehículo Carcross

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: García Fernández, Francisco

Tutor/a: García Sanoguera, David

Cotutor/a: Gómez Caturla, Jaume

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

Resumen

En el presente TFG abordamos el diseño de un chasis tubular para un vehículo Cross car. Todos los vehículos que compiten en la categoría Cross car deben cumplir con las reglas aprobadas por la Real Federación Automovilística. La potencia disponible para estos monoplazas está limitada y son diseñados para circuitos de tierra con superficies de cierto desnivel y de forma altamente agresiva y con riesgos de colisión. En estas circunstancias, el diseño que se implementará pasará por una serie de fases, empezando por la especificación de los requisitos a cumplir, la evaluación de posibles soluciones, eligiendo la opción que mejor satisfaga las necesidades de la competición y del piloto. El diseño implicará la creación de un chasis hecho de barras tubulares que puedan soportar las cargas potenciales aplicadas durante una competencia de Cross car y proteger tanto los componentes del vehículo como al conductor. Además de esto se pretende combinar la rigidez y la ligereza para mejorar el rendimiento y ahorrar combustible.

Palabras clave: Cross Car; Diseño; Estructura tubular.

Resum

En aquest projecte final de grau abordem el disseny d'un xassís tubular per a un vehicle Cross car. Tots els vehicles que competeixen a la categoria Cross car han de complir amb les regles aprovades per la Reial Federació Automobilística. La potència disponible per a aquests monoplaques està limitada i són dissenyats per a circuits de terra amb superfícies de cert desnivell i de forma altament agressiva i amb riscos de col·lisió. En aquestes circumstàncies, el disseny que s'implementarà passarà per una sèrie de fases, començant per l'especificació dels requisits a complir, l'avaluació de possibles solucions, escollint l'opció que satisfaci millor les necessitats de la competició i del pilot. El disseny implicarà la creació d'un xassís fet de barres tubulars que puguin suportar les càrregues potencials aplicades durant una competència de Cross car i protegir tant els components del vehicle com el conductor. A més d'això, es pretén combinar la rigidesa i la lleugeresa per millorar el rendiment i estalviar combustible.

Paraules clau: Cross Car; Disseny; Estructura tubular.

Summary

In this final project we address the design of a tubular chassis for a Cross car vehicle. All vehicles competing in the Cross car category must comply with the rules approved by the Royal Automobile Federation. The power available for these single-seaters is limited and they are designed for dirt circuits with surfaces with a certain unevenness and in a highly aggressive way and with risks of collision. In these circumstances, the design to be implemented will go through a series of phases, beginning with the specification of the requirements to be met, the evaluation of possible solutions, choosing the option that best meets the needs of the competition and the pilot. The design will involve the creation of a chassis made of tubular bars that can withstand the potential loads applied during a cross car competition and protect both the vehicle's components and the driver. In addition to this, it is intended to combine rigidity and lightness to improve performance and save fuel.

Keywords: Cross Car; Design; tubular structure.

Contenido

MEMORIA	7
1. INTRODUCCIÓN	7
1.1 HISTORIA	7
1.2 TIPOS DE BUGGY.....	9
1.2.1 Buggy monocasco	9
1.2.2 Buggy monoplaaza o Cross car	10
1.2.3 Buggy anfibio	11
1.3 COMPETICIÓN DE CROSS CAR	12
1.3.1 Aspectos generales	12
1.3.2 Competiciones de renombre	13
1.4 SEGURIDAD DEL VEHÍCULO Y PILOTO	15
1.4.1 Jaula antivuelco:	15
1.4.2 Cinturones de seguridad y arneses:	16
1.4.3 Casco, sotocasco y Hans.....	17
1.4.4 Sistemas de extinción de incendios:.....	19
1.4.5 Ropa ignífuga	20
1.4.6 Asiento Baquet.....	21
2. OBJETIVOS	22
3. DISEÑO DEL CHASIS	23
3.1 METODOLOGÍA	23
3.2 INGENIERÍA INVERSA.....	23
3.2.1 Chasis 1	24
3.2.2 Chasis 2	25
3.2.3 Chasis 3	26
3.2.4 Grupos de elementos a considerar.....	27
3.3 NORMATIVA.....	28
3.3.1 Normativa Estructural.....	28
3.3.2 Reglamento técnico	30
3.4 ESTUDIO ERGONÓMICO	30
3.5 MODELADO DEL CHASIS	32
3.6 MATERIAL.....	42
3.7 ANÁLISIS.....	45
3.8 RESULTADOS	52
3.9 FABRICACIÓN.....	60
3.9.1 Corte.....	60
3.9.2 Curvado	63
3.9.3 Soldeo.....	65
3.10 DESCRIPCIÓN PRESUPUESTARIA	67
4. CONCLUSIONES	69
5. BIBLIOGRAFIA	70
ANEXOS	71
PLANOS	72
PLIEGO DE CONDICIONES	73
1. INTRODUCCIÓN	73
1.1 CONDICIONES GENERALES	73

1.2 CONDICIONES TÉCNICAS.....	74
1.2.1 Requerimiento mínimo de herramientas	74
1.2.2 Materiales.....	75
1.2.3 Gestión de documentos.....	75
1.2.4 Especificaciones de ejecución.....	75
1.3 PREVENCIÓN DE RIESGOS Y SEGURIDAD.....	76
PRESUPUESTO	77
1. METODOLOGÍA	77
1.1 COSTES DE FABRICACIÓN.....	77
1.1.1 Perfiles Tubulares.....	77
1.1.2 Corte.....	77
1.1.3 Plegado	77
1.1.4 Soldadura	78
1.2 COSTES DE INGENIERÍA	78
1.3 COSTES.....	78
1.3.1 Costes de fabricación	78
1.3.2 Costes de ingeniería	81
1.4 RESUMEN	81

Lista de ilustraciones

<i>Ilustración 1. Cross Car en Competición</i>	7
<i>Ilustración 2. Cross car del grupo Tenman.</i>	8
<i>Ilustración 3. Buggy monocasco.</i>	9
<i>Ilustración 4. Exhibición de buggys.</i>	10
<i>Ilustración 5. Vehículo anfibio de vanguardia.</i>	11
<i>Ilustración 6. Circuito mixto.</i>	12
<i>Ilustración 7. Arnés homologado por la FIA</i>	16
<i>Ilustración 8. Hans Homologado.</i>	17
<i>Ilustración 9. Hans Homologado.</i>	18
<i>Ilustración 10. Sotocasco con etiqueta de homologación.</i>	18
<i>Ilustración 11. Traje ignífugo.</i>	20
<i>Ilustración 12. Asiento Baquet.</i>	21
<i>Ilustración 13. Modelo de estudio 1.</i>	24
<i>Ilustración 14. Modelo de estudio 2.</i>	25
<i>Ilustración 15. Modelo de estudio 3.</i>	26
<i>Ilustración 16. Federación internacional de automovilismo.</i>	28
<i>Ilustración 17. Perfil tubular mínimo.</i>	29
<i>Ilustración 18. Percentil 95.</i>	30
<i>Ilustración 19. Perfil de visión.</i>	31
<i>Ilustración 20. Medias baquet homologadas.</i>	31
<i>Ilustración 21. Boceto percentil 95.</i>	32
<i>Ilustración 22. Estructura principal.</i>	32
<i>Ilustración 23. Arcos traseros.</i>	33
<i>Ilustración 24. Estructura frontal</i>	33
<i>Ilustración 25. Refuerzos traseros.</i>	34
<i>Ilustración 26. Refuerzo superior.</i>	34

Ilustración 27. Refuerzo lateral.	35
Ilustración 28. Refuerzos frontales.	35
Ilustración 29. geometría inicial Chasis 1.	36
Ilustración 30. Croquis base.	36
Ilustración 31. Estructura principal.	37
Ilustración 32. Arcos traseros.	37
Ilustración 33. Primer cuadro de refuerzo.	38
Ilustración 34. Refuerzos laterales.	38
Ilustración 35. Cuadro refuerzo delantero.	39
Ilustración 36. Jaula superior.	39
Ilustración 37. Croquis Chasis 2.	40
Ilustración 38. Perfiles $\varnothing 40\text{mm}$ y 2mm.	40
Ilustración 39- geometría inicial Chasis 2.	41
Ilustración 40. parámetros del método H.	47
Ilustración 41. Calidad de mallado.	48
Ilustración 42. Ensayo longitudinal Chasis 1.	49
Ilustración 43. Ensayo longitudinal chasis 2.	49
Ilustración 44. Ensayo longitudinal trasero chasis 1.	49
Ilustración 45. Ensayo longitudinal trasero chasis 2.	50
Ilustración 46. Ensayo lateral chasis 1.	50
Ilustración 47. Ensayo lateral chasis 2.	51
Ilustración 48. Ensayo vertical chasis 1.	51
Ilustración 49. Ensayo vertical chasis 2.	52
Ilustración 50. Resultados de Von Mises.	52
Ilustración 51. Desplazamiento resultante.	53
Ilustración 52. Resultados de Von Mises.	53
Ilustración 53. Desplazamiento resultante.	53
Ilustración 54. Resultados de Von Mises.	54
Ilustración 55. Desplazamiento resultante.	54
Ilustración 56. Resultados de Von Mises.	54
Ilustración 57. Desplazamiento resultante.	55
Ilustración 58. Resultados de Von Mises.	55
Ilustración 59. Desplazamiento resultante.	56
Ilustración 60. Resultados de Von Mises.	56
Ilustración 61. Desplazamiento resultante.	56
Ilustración 62. Resultados de Von Mises.	57
Ilustración 63. Desplazamiento resultante.	57
Ilustración 64. Resultados de Von Mises.	57
Ilustración 65. Desplazamiento resultante.	58
Ilustración 66. Resultados corregidos.	59
Ilustración 67. Desplazamiento resultante corregido.	59
Ilustración 68. Centro de masas y peso del chasis 2.	59
Ilustración 69. Tipos de corte.	60
Ilustración 70. Sierra copa para cortes en tubo.	61
Ilustración 71. Operación de alisado del área de la punta.4	62
Ilustración 72. Corte plano método A.	62
Ilustración 73. Corte plano método b.	62
Ilustración 74. Máquina de rodillos.	64
Ilustración 75. Máquina de soldeo.	65
Ilustración 76. Esquema MAG.	65
Ilustración 77. Potro de soldeo.	66
Ilustración 78. Propiedades físicas del perfil A.	67

Memoria

1. Introducción

1.1 Historia

Los Cross Car son vehículos tipo buggy todoterreno, ligeros y diseñados específicamente para competiciones off-road. Estos vehículos se caracterizan por su tamaño compacto, su chasis tubular resistente y su suspensión de alto rendimiento, lo que les permite enfrentar terrenos difíciles y superar obstáculos con facilidad.



Ilustración 1. Cross Car en Competición

Los comienzos de los Cross Car se remontan a la década de 1960, cuando surgieron las primeras competiciones off-road en Europa y Estados Unidos. Estas pruebas se llevaron a cabo en pistas de tierra y terrenos accidentados, con el objetivo de poner a prueba las habilidades de conducción y resistencia de los vehículos.

A medida que las competiciones ganaron popularidad, se desarrollaron categorías específicas para los Cross Car. En Europa, una de las competiciones más conocidas es el Campeonato de Europa de Auto Cross, que comenzó en la década de 1970. Este campeonato se disputa en circuitos cerrados de tierra de aproximadamente 1 kilómetro de longitud, donde los pilotos compiten en carreras cortas, técnicas y con alto riesgo de colisión.

En Estados Unidos, el deporte del off-road evolucionó en la década de 1960 y 1970, y surgieron varias competiciones y eventos icónicos, como el Baja 1000 y el Baja 500. Estas carreras de larga distancia y resistencia se llevaron a cabo en el desierto de Baja California, en México, y atrajeron a pilotos y equipos de todo el mundo.

Con el tiempo, los Cross Car se volvieron más sofisticados en cuanto a diseño y rendimiento. Se incorporaron mejoras técnicas, como motores más potentes, sistemas de suspensión avanzados y neumáticos especializados para terrenos off-road extremos. Esto permitió a los pilotos enfrentar desafíos más difíciles y alcanzar velocidades aún más altas.



Ilustración 2. Cross car del grupo Tenman.

Hoy en día, los Cross Car continúan siendo populares en competiciones off-road en todo el mundo. Además de los campeonatos nacionales e internacionales, existen eventos destacados como el Rally Dakar, que es una de las competiciones más desafiantes y prestigiosas del mundo del motor off-road. En el Rally Dakar, los pilotos recorren miles de kilómetros a través de terrenos extremos, incluyendo dunas, montañas y desiertos.

1.2 Tipos de buggy

1.2.1 Buggy monocasco

Los buggy tipo monocasco son vehículos todoterreno ligeros y de estructura abierta, diseñados específicamente para su uso en terrenos difíciles y en actividades recreativas como el off-road. Técnicamente, se caracterizan por su diseño de carrocería integral, lo que significa que tanto el chasis como la carrocería están integrados en una sola estructura.



Ilustración 3. Buggy monocasco.

El chasis del buggy monocasco suele estar construido con tubos de acero o aleación de aluminio de alta resistencia, que brindan rigidez y resistencia a la estructura. Esta construcción en forma de jaula proporciona protección adicional al conductor y los pasajeros en caso de vuelcos o impactos.

Los buggy monocasco están equipados con una suspensión independiente en las cuatro ruedas, que permite un mayor recorrido de suspensión y una mejor capacidad para absorber los impactos en terrenos irregulares. En cuanto a la propulsión puede ser de tracción trasera o en las cuatro ruedas, dependiendo del diseño y las preferencias del fabricante. El sistema de transmisión suele ser mecánico, con una caja de cambios manual o automática, que permite al conductor seleccionar la relación de transmisión adecuada para adaptarse a las condiciones del terreno.

En cuanto al motor, los buggy monocasco pueden estar equipados con motores de combustión interna, ya sean de gasolina o diésel, o con motores eléctricos en versiones más modernas y ecológicas. La potencia del motor puede variar según el modelo, pero generalmente es suficiente para proporcionar una aceleración rápida y un rendimiento adecuado en terrenos difíciles.

1.2.2 Buggy monoplaza o Cross car

Los buggy tipo monoplaza son vehículos todoterreno de tamaño pequeño diseñados para transportar a una sola persona. Técnicamente, se caracterizan por su diseño compacto y liviano, optimizado para un rendimiento ágil y una fácil maniobrabilidad en terrenos difíciles.

El chasis de un buggy monoplaza lo conforma estructura tubular rígida y resistente, fabricada con acero estructural. Estos buggy están equipados con componentes que les permiten soportar conducciones mucho más rápidas y exigentes que otros tipos.

La suspensión es un aspecto clave en los buggy Cross car ya que permite absorber los impactos y mantener las ruedas en contacto con el terreno en todo momento. Estos vehículos suelen tener una suspensión independiente en las cuatro ruedas, amortiguadores ajustables y amplio recorrido de suspensión para adaptarse a terrenos irregulares y saltos.

En cuanto a la propulsión, los buggy Cross car suelen estar equipados con motores de alto rendimiento, como motores de combustión interna especialmente diseñados para carreras. Estos motores suelen ser de alta potencia y pueden ser de gasolina o diésel, dependiendo de las regulaciones de la competición. Algunos también pueden utilizar motores eléctricos para lograr un rendimiento eficiente y respetuoso con el medio ambiente.



Ilustración 4. Exhibición de buggys.

El sistema de transmisión de un Cross car suele ser manual, con una caja de cambios secuencial que permite cambios rápidos y precisos de marcha. Esto permite al conductor adaptar la relación de transmisión a las diferentes situaciones durante la carrera.

Estos buggy suelen ser construidos de forma amateur y participan en circuitos y competiciones privadas, aunque también hay muchos de estos homologados que compiten en categorías que se expondrán más adelante. También hay modelos de monoplaza que se venden completamente equipados. Estos últimos son los que normalmente vemos en las competiciones más famosas.

1.2.3 Buggy anfibio

Los buggy tipo anfibio son vehículos todoterreno diseñados para operar tanto en tierra como en agua. Técnicamente, se caracterizan por su capacidad para moverse en ambos medios, utilizando sistemas y características específicas para lograrlo.



Ilustración 5. Vehículo anfibio de vanguardia.

El chasis de un buggy anfibio generalmente está construido con materiales livianos y resistentes, como aluminio o fibra de vidrio, que proporcionan flotabilidad en el agua y resistencia estructural en tierra. La forma y el diseño del chasis están optimizados para minimizar la resistencia en el agua y maximizar la estabilidad en terrenos irregulares.

Los buggy anfibios están equipados con sistemas de propulsión duales, que les permiten moverse tanto en tierra como en agua. En tierra, utilizan un sistema de tracción en las ruedas, ya sea en las cuatro ruedas o solo en las ruedas traseras, similar al de los vehículos todoterreno convencionales. En el agua, el buggy puede ser propulsado por medio de una hélice o chorros de agua controlados, proporcionando la capacidad de navegación.

El sistema de transmisión en un buggy anfibio puede ser mecánico o hidrostático, dependiendo del diseño y la configuración del vehículo. Esto permite al conductor cambiar entre los modos de tierra y agua según sea necesario.

Además, los buggy anfibios están equipados con sistemas de flotación y estanqueidad para garantizar su seguridad y rendimiento en el agua. Pueden tener compartimentos sellados para proteger los componentes electrónicos y eléctricos, así como sistemas de sellado adicionales para evitar la entrada de agua en el chasis y el habitáculo.

La dirección y la suspensión de un buggy anfibio están diseñadas para adaptarse tanto a terrenos difíciles como al entorno acuático. La suspensión puede ser independiente en las cuatro ruedas para una mejor adaptabilidad al terreno, mientras que la dirección suele ser asistida para facilitar las maniobras tanto en tierra como en agua.

1.3 Competición de Cross car

1.3.1 Aspectos generales

Las competiciones de Cross car no suelen presentarse en formatos “pequeños” debido a la complejidad técnica que estos requieren, esto hace que las grandes competiciones tengan un gran impacto y se masifiquen tanto de competidores como de aficionados.

A continuación, explicaremos los aspectos más importantes de las competiciones de Cross car y mencionaremos los campeonatos más importantes.

Circuitos y superficies: Los campeonatos de Cross car se llevan a cabo en una variedad de circuitos diseñados específicamente para este deporte. Estos circuitos pueden variar en longitud, diseño y superficie. Algunos circuitos pueden ser de tierra, mientras que otros pueden incluir tramos de asfalto. Los trazados suelen tener una combinación de secciones técnicas, curvas cerradas, saltos y rectas, desafiando así a los pilotos en diferentes aspectos de su conducción.



Ilustración 6. Circuito mixto.

Categorías y clases:

Los campeonatos de Cross car suelen contar con diferentes categorías y clases, con el objetivo de equilibrar la competencia entre los vehículos y pilotos de diferentes niveles de experiencia y capacidades. Estas categorías pueden basarse en el tamaño del motor, la potencia, el peso y otras características técnicas de los vehículos. Cada categoría tiene sus propias reglas y regulaciones específicas para garantizar una competencia justa.

Reglas técnicas:

Los campeonatos de Cross car tienen reglas técnicas establecidas para garantizar que todos los vehículos cumplan con ciertos estándares y especificaciones. Estas reglas pueden abarcar aspectos como el tamaño y el peso del vehículo, las especificaciones del motor, el sistema de frenado, la jaula antivuelco, los sistemas de seguridad y otros componentes técnicos. Las reglas técnicas están diseñadas para garantizar la seguridad de los pilotos y mantener un campo de juego nivelado.

Normas de seguridad:

La seguridad es una prioridad en los campeonatos de Cross car. Se requiere que todos los pilotos utilicen equipo de seguridad adecuado, como cascos, arneses de seguridad, trajes ignífugos y dispositivos de contención, como las jaulas antivuelco. Los circuitos también están equipados con medidas de seguridad, como barreras de protección y áreas de escape, para minimizar los riesgos de lesiones en caso de accidente.

Formato de carrera:

Los campeonatos de Cross car suelen seguir un formato de carrera que incluye sesiones de clasificación y carreras eliminatorias. Las sesiones de clasificación determinan la posición de salida para las carreras eliminatorias, donde los pilotos compiten en rondas de enfrentamientos directos. Los puntos se otorgan según la posición final en cada carrera, y el piloto con más puntos al final de la temporada es declarado campeón.

1.3.2 Competiciones de renombre

Campeonato de Europa de Auto Cross:

Circuito: El campeonato se lleva a cabo en diferentes circuitos de Europa, que varían en cuanto a su diseño y superficie. Algunos circuitos son pistas de tierra ovaladas, mientras que otros pueden combinar tramos de tierra y asfalto.

Reglas especiales: Las reglas del campeonato están estipuladas por la FIA (Federación Internacional del Automóvil) (Federación Internacional de Automovilismo) y se aplican a todas las categorías, incluyendo las de Cross car. Estas reglas cubren aspectos como las especificaciones técnicas de los vehículos, las normas de seguridad, el formato de las carreras y los criterios de puntuación.

Campeonato de Francia de Auto Cross:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en diferentes circuitos de tierra en toda Francia. Estos circuitos están especialmente diseñados para el Auto Cross, con secciones de curvas cerradas, saltos y tramos rectos para desafiar a los pilotos.

Reglas especiales: El campeonato francés tiene sus propias reglas y regulaciones que rigen las categorías, incluyendo los Cross car. Estas reglas abarcan aspectos técnicos, de seguridad y de competición, y están determinadas por la Federación Francesa de Automovilismo (FFSA).

Campeonato de España de Auto Cross:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en diferentes circuitos de tierra en toda España. Estos circuitos están diseñados para el Auto Cross, con curvas cerradas, secciones de saltos y rectas.

Reglas especiales: El campeonato español tiene sus propias reglas y regulaciones que rigen las categorías, incluyendo los Cross car. Estas reglas cubren aspectos técnicos, de seguridad y de competición, y son establecidas por la Real Federación Española de Automovilismo (RFEDA).

Nordic Cross kart Championship:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en diferentes circuitos de tierra en países nórdicos como Finlandia, Suecia y Noruega. Estos circuitos están diseñados para desafiar a los pilotos con secciones técnicas y terrenos variables.

Reglas especiales: El campeonato nórdico de Cross car tiene sus propias reglas y regulaciones, que se aplican a todas las categorías. Estas reglas cubren aspectos técnicos, de seguridad y de competición, y son establecidas por las federaciones automovilísticas de cada país.

British Auto Grass Series:

Circuitos: Las competiciones de Auto Grass en el Reino Unido se llevan a cabo en pistas de tierra especialmente preparadas. Estas pistas suelen ser óvalos y están divididas en diferentes sectores, con curvas pronunciadas y secciones rectas.

Reglas especiales: El Auto Grass en el Reino Unido tiene sus propias reglas y regulaciones, que abarcan aspectos técnicos de los vehículos y normas específicas.

FIA World Rallycross Championship:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en circuitos mixtos de tierra y asfalto en diferentes partes del mundo. Estos circuitos suelen tener una mezcla de tramos rápidos, secciones técnicas y saltos espectaculares.

Reglas especiales: El campeonato está regulado por la FIA y sigue las reglas y regulaciones específicas del rallycross, incluyendo las categorías de Cross car. Las reglas cubren aspectos técnicos, de seguridad, de competición y de puntuación.

European Rallycross Championship:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en circuitos mixtos de tierra y asfalto en Europa. Los circuitos varían en su diseño y dificultad, con curvas cerradas, tramos de tierra y secciones rápidas.

Reglas especiales: El campeonato europeo sigue las reglas y regulaciones establecidas por la FIA para el rallycross, que se aplican a todas las categorías, incluyendo los Cross car. Estas reglas abarcan aspectos técnicos, de seguridad, de competición y de puntuación.

Global Rallycross Championship:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en circuitos mixtos de tierra y asfalto en diferentes partes del mundo. Estos circuitos están diseñados específicamente para el rallycross, con una combinación de tramos técnicos y rápidos, saltos y curvas desafiantes.

Reglas especiales: El Global Rallycross Championship tiene sus propias reglas y regulaciones, que cubren aspectos técnicos, de seguridad y de competición. Estas reglas pueden variar dependiendo de la ubicación y los organizadores del evento.

X Games Rallycross:

Circuitos: Esta competición se realiza en circuitos mixtos de tierra y asfalto, y se da en diferentes lugares del mundo. Los circuitos suelen ser diseñados para ofrecer emocionantes carreras con secciones técnicas, saltos y curvas cerradas.

Reglas especiales: Las reglas del X Games Rallycross son específicas para este evento y pueden diferir de otros campeonatos. Las reglas cubren aspectos técnicos, de seguridad y de competición, y son establecidas por los organizadores del evento.

Campeonato Italiano de Auto Cross:

Circuitos: El campeonato se lleva a cabo en diferentes circuitos de tierra en Italia. Estos circuitos están diseñados para el Auto Cross, con secciones técnicas, curvas cerradas y tramos rectos.

Reglas especiales: El campeonato italiano tiene sus propias reglas y regulaciones, que abarcan aspectos técnicos, de seguridad y de competición. Estas reglas son establecidas por la Federación Italiana di Automovilismo Sportivo (FIA) y se aplican a todas las categorías, incluyendo los Cross car.

1.4 Seguridad del vehículo y piloto

1.4.1 Jaula antivuelco:

A nivel técnico, la jaula antivuelco homologada debe cumplir con ciertos criterios y normativas específicas para garantizar su seguridad y eficacia. A continuación, se detallan algunos aspectos clave:

Materiales: La jaula antivuelco generalmente está fabricada con acero de alta resistencia, como el acero al carbono o acero de aleación especial. Estos materiales ofrecen una combinación de resistencia y rigidez necesaria para soportar las fuerzas generadas durante un vuelco o impacto lateral. La selección del material depende de las regulaciones específicas y puede variar en función de la categoría y nivel de competición.

Diseño y configuración: El diseño de la jaula antivuelco debe cumplir con las normativas de la federación automovilística correspondiente. Esto incluye la ubicación de las barras principales y de refuerzo adicionales, el espaciado y el diámetro de las barras, así como la forma y la estructura global de la jaula. El diseño debe garantizar una protección óptima del habitáculo del vehículo y una resistencia adecuada ante las cargas a las que pueda estar expuesta.

Normativas de homologación: La jaula antivuelco debe cumplir con las normativas de homologación establecidas por la federación automovilística. Estas normativas pueden variar en función del país y de la categoría de competición. Algunas de las normativas más comunes son las especificaciones técnicas de la FIA (Federación Internacional del Automóvil), que establecen los requisitos dimensionales, de materiales, de soldadura y de anclaje de la jaula.

Proceso de instalación: La instalación de la jaula antivuelco debe ser realizada por profesionales cualificados y con experiencia en la construcción de estructuras de seguridad. Es fundamental seguir las pautas y recomendaciones del fabricante de la jaula, así como las regulaciones de la federación automovilística, para asegurar una instalación correcta y segura.

Inspección y certificación: Después de la instalación, la jaula antivuelco debe someterse a una inspección de seguridad por parte de las autoridades competentes. Esto incluye pruebas de resistencia y rigidez, así como la verificación de que la jaula cumple con las normativas establecidas. Una vez aprobada, se emitirá un certificado de homologación que demuestre que la jaula cumple con los estándares de seguridad requeridos.

Es importante tener en cuenta que las regulaciones y normativas específicas pueden variar según el país, la federación automovilística y la categoría de competición. Por lo tanto, es fundamental consultar las regulaciones correspondientes y trabajar con profesionales especializados para asegurar el cumplimiento de los requisitos técnicos y de seguridad.

1.4.2 Cinturones de seguridad y arneses:



Ilustración 7. Arnés homologado por la FIA

Se requiere el uso de cinturones de seguridad y arneses de múltiples puntos para asegurar adecuadamente al piloto dentro del vehículo. Estos sistemas de retención ayudan a mantener al piloto en su posición durante las maniobras y en caso de accidente.

1.4.3 Casco, sotocasco y Hans

El HANS (Head and Neck Support) es un dispositivo de seguridad utilizado en competiciones de automovilismo, incluyendo el Cross car, para proteger la cabeza y el cuello de los pilotos en caso de accidentes o impactos bruscos.

Consiste en un arnés que se coloca alrededor del cuello y se conecta a los cascos de los pilotos. El HANS está diseñado para evitar movimientos bruscos del cuello y la cabeza, reduciendo así el riesgo de lesiones graves, como fracturas cervicales y lesiones en la médula espinal.

El HANS funciona mediante un sistema de soporte que distribuye y disipa la energía del impacto a través de los hombros y la parte superior del torso, evitando que la cabeza y el cuello se muevan hacia adelante de forma violenta. Esto ayuda a mantener la alineación correcta de la columna vertebral y minimiza las fuerzas que actúan sobre el cuello durante un accidente.



Ilustración 8. Hans Homologado.

El uso del HANS es obligatorio en muchas competiciones de automovilismo, incluyendo aquellas regidas por las federaciones automovilísticas más reconocidas. Es considerado un elemento fundamental para la seguridad de los pilotos, ya que ayuda a prevenir lesiones graves en la cabeza y el cuello en situaciones de alto impacto.

El Casco obligatorio para los pilotos de competición siguen una serie de normativas muy estrictas, aunque pueden regirse por distintos estándares de calidad como Snell 2000/2005, BSI 6658-1985 o FIA 8860-2004. Además, deben llevar incorporados un sistema de amarre para instalar el Hans.



Ilustración 9. Hans Homologado.

El sotocasco es una prenda de seguridad utilizada por los pilotos en competiciones de automovilismo, incluyendo el Cross car, para proporcionar protección adicional y mejorar la comodidad dentro del casco. También se conoce como balaclava o capucha ignífuga.



Ilustración 10. Sotocasco con etiqueta de homologación.

El objetivo principal del sotocasco es absorber el sudor y la humedad de la cabeza, evitando que lleguen al interior del casco, lo que ayuda a mantener una visión clara y prevenir el empañamiento de la visera. Además, proporciona una capa adicional de aislamiento térmico, ayudando a regular la temperatura dentro del casco.

En cuanto a su normativa, existen ciertas regulaciones y estándares establecidos por las federaciones automovilísticas para los sotocascos utilizados en competiciones. Estas normativas varían según el campeonato, la categoría y el nivel de competición, por lo que es importante revisar las regulaciones específicas de cada competición.

Algunas de las normativas comunes para los sotocascos en competiciones de automovilismo incluyen:

Material ignífugo: Los sotocascos deben estar fabricados con materiales ignífugos para garantizar la seguridad en caso de incendio. Los materiales más comunes utilizados son el Nomex y otras fibras resistentes al fuego.

Grosor y protección: Los sotocascos deben tener un grosor mínimo establecido para proporcionar una protección adecuada. Esto puede variar según la normativa específica de cada competición.

Ajuste y comodidad: Los sotocascos deben ser de talla adecuada y ajustarse cómodamente a la cabeza del piloto. Esto ayuda a evitar molestias durante la conducción y garantiza un ajuste seguro dentro del casco.

Higiénicos: En algunas competiciones, los sotocascos pueden tener restricciones en cuanto a su reutilización. Es posible que se exija a los pilotos utilizar sotocascos limpios en cada sesión o competición.

1.4.4 Sistemas de extinción de incendios:

El sistema de incendios en los vehículos de Cross car en competición es una medida de seguridad crucial para proteger a los pilotos en caso de incendio repentino. Estos sistemas están diseñados para detectar y extinguir rápidamente cualquier fuego que pueda surgir en el vehículo, minimizando así el riesgo de lesiones y daños graves.

A continuación, se presentan los aspectos clave del sistema de incendios utilizado en los Cross car de competición:

Detección de incendios: Los sistemas de incendios en los Cross car están equipados con sensores que detectan la presencia de fuego o altas temperaturas. Estos sensores pueden ser térmicos, ópticos o basados en otros principios de detección de incendios.

Activación del sistema: Cuando se detecta un incendio, el sistema de incendios se activa automáticamente o mediante una acción manual. La activación automática puede estar vinculada a los sensores de detección de incendios, mientras que la activación manual se realiza a través de un interruptor o un botón accesible para el piloto.

Agente extintor: Los sistemas de incendios utilizan un agente extintor específico para apagar el fuego. Los agentes más comunes incluyen espumas o agentes químicos que pueden sofocar las llamas y enfriar la fuente de calor.

Distribución del agente extintor: Una vez activado, el sistema de incendios distribuye el agente extintor dentro del compartimento del motor y otras áreas vulnerables del vehículo donde puede haber riesgo de incendio. Esto se logra mediante boquillas o inyectores estratégicamente ubicados que dispersan el agente extintor en forma de niebla o espuma para cubrir eficazmente el área afectada.

Activación remota: Además de la activación automática y manual, algunos sistemas de incendios también pueden ser activados de forma remota por parte del personal de seguridad o por el propio piloto desde el exterior del vehículo en caso de emergencia.

1.4.5 Ropa ignífuga

La ropa ignífuga, también conocida como ropa de competición o ropa de carreras, está fabricada con materiales especiales que ofrecen propiedades ignífugas y resistencia al fuego. Los materiales más comunes utilizados son el Nomex, el Proban y otras fibras resistentes al fuego.



Ilustración 11. Traje ignífugo.

Algunas características y aspectos clave de la ropa ignífuga utilizada por los pilotos en Cross car son:

Mono ignífugo: El mono ignífugo es una pieza integral de la vestimenta de los pilotos. Está diseñado para cubrir todo el cuerpo del piloto y proporcionar protección contra las altas temperaturas y el fuego. Los monos suelen ser de una sola pieza para asegurar una cobertura completa y están confeccionados con capas de material ignífugo.

Capa de aislamiento térmico: Los monos ignífugos suelen tener una capa adicional de aislamiento térmico para proteger al piloto del calor intenso en el habitáculo del vehículo. Esta capa ayuda a mantener una temperatura corporal estable y evita la transmisión excesiva de calor al piloto.

Costuras resistentes al fuego: Las costuras de la ropa ignífuga están diseñadas para ser resistentes al fuego y mantener la integridad del mono en caso de incendio. Se utilizan técnicas de costura especiales y materiales resistentes al fuego para asegurar que las costuras no se deshagan bajo altas temperaturas.

Cuello y puños ajustados: Los monos ignífugos suelen tener cuellos y puños ajustados para evitar la entrada de calor o fuego hacia el interior del mono. Esto ayuda a mantener una barrera de protección adicional alrededor del cuello y las muñecas del piloto.

1.4.6 Asiento Baquet

En cuanto al asiento baquet utilizado en los vehículos de Cross car, es un tipo de asiento diseñado específicamente para proporcionar un mejor soporte y sujeción al piloto durante las maniobras en pista. Algunas características importantes del asiento baquet son:

Soporte lateral: Los asientos baquet tienen refuerzos laterales pronunciados que brindan un mayor soporte al cuerpo del piloto, especialmente en curvas y maniobras rápidas. Esto ayuda a mantener al piloto en su lugar y reducir el deslizamiento lateral durante la conducción.



Ilustración 12. Asiento Baquet.

Apoyo para el cuello: Algunos asientos baquet están diseñados con un soporte integrado para el cuello, lo que proporciona una mayor estabilidad y protección para esta zona vulnerable en caso de impacto o vuelco.

Carecen de regulación o inclinación, por lo que la geometría de la cabina debe acompañar su diseño.

2. Objetivos

Como objetivo principal del proyecto tenemos el diseño del chasis tubular de un car Cross de competición. El diseño está acotado por las normativas, reglamentos y pautas de homologación establecidos por los organismos pertinentes, en nuestro caso tenemos el campeonato de España de auto Cross.

En este proyecto estudiaremos también varios chasis tubulares ya existentes con la finalidad de realizar un proyecto de ingeniería inversa, además de seguir la normativa impuesta por la RFEDA para la selección de materiales del chasis.

El estudio ergonómico es un factor importante del proyecto ya que la posición del piloto en el vehículo influirá de manera significativa en el diseño, la distancia de seguridad del piloto con el chasis debe cumplir la normativa de seguridad además de ser un espacio, aunque pequeño, cómodo para la conducción sin limitar la visibilidad del piloto.

Otro de los objetivos importantes del proyecto es cumplir con las normativas de homologación estructurales que dicta la RFEDA.

Para el proyecto utilizaremos únicamente el programa de SolidWorks y su función de análisis. Muchas empresas tienen un solo programa a la hora de realizar modelos CAD y simulaciones, por lo que nos adaptaremos a este software ya que nos brinda la posibilidad de estudiar las estructuras con restricciones y distintos tipos de aplicación de fuerzas externas.

Por último, estudiamos el proceso de fabricación junto con un estudio económico, ya que el último objetivo del proyecto es la viabilidad de fabricación del proyecto.

3. Diseño del Chasis

3.1 Metodología

La metodología seguida es lineal, partiendo del conocimiento adquirido de la ingeniería inversa, la normativa y el estudio ergonómico realizaremos un diseño inicial de dos modelos de chasis con los cuales simularemos los ensayos técnicos pertinentes y seleccionaremos uno de ellos tras las modificaciones que nos requieran los resultados de las simulaciones. Obtendremos un diseño final del chasis y realizaremos los planos de fabricación y su estudio económico.

3.2 Ingeniería inversa

La ingeniería inversa es una disciplina que ha ganado relevancia en los últimos años debido a su capacidad para desentrañar los secretos de los productos existentes y comprender su funcionamiento interno. Es un proceso por el que se analiza y descompone un objeto o sistema para revelar su diseño, estructura y funcionalidad, para obtener conocimientos valiosos y aplicarlos en diversas áreas, como la mejora de productos, la resolución de problemas y la innovación tecnológica.

Este enfoque permite a los estudiantes de ingeniería adentrarse en el mundo de los productos existentes, analizar su diseño y entender cómo se desarrollaron. Además, proporciona una oportunidad única para aplicar y desarrollar habilidades técnicas, de investigación y análisis en un contexto real. El análisis de distintos tipos de chasis nos proporcionará una visión clara tanto de aspectos positivos como negativos que implementaremos en nuestro proyecto además de la visión real antes mencionada de las estructuras tubulares existente

3.2.1 Chasis 1



Ilustración 13. Modelo de estudio 1.

- La zona delantera con grandes ángulos.
- La zona de evacuación del piloto es amplia.
- Visibilidad comprometida por la barra central del acto frontal.
- El motor y demás elementos mecánicos están altamente protegidos y con facilidad de sujeción.
- Espacio delantero para eje de dirección y amortiguación.
- La estructura poco triangulada.
- Arco central con ángulo enfrentado al arco delantero.
- Parte posterior excesivamente alargada
- Los refuerzos estructurales inferiores no coinciden con los apoyos de los elementos estructurales principales.
- Arco central poco reforzado
- Arco delantero con un único plano

3.2.2 Chasis 2



Ilustración 14. Modelo de estudio 2.

- Un arco central principal
- Parte delantera con variedad angular
- Estructura triangulada
- Arco central bien reforzado
- Doble refuerzo lateral
- Zona trasera bien protegida y definida
- Poco espacio para los elementos mecánicos
- Buena zona de evacuación
- Muy buena visibilidad del piloto
- Dos arcos como elementos estructurales principales naciendo del arco central

3.2.3 Chasis 3



Ilustración 15. Modelo de estudio 3.

- Varios planos en zona frontal
- Habitáculo del piloto muy amplio y zona amplia de extracción
- Zona trasera protegida
- Estructura altamente triangulada
- Estructura alargada
- Protección lateral partida con doble apoyo en arcos principales formando varios triángulos
- Visibilidad aceptable del piloto
- Arco central acompañando en inclinación al asiento baquet

3.2.4 Grupos de elementos a considerar

Los chasis que hemos estudiado comparten unos arcos traseros curvados protegiendo los elementos mecánicos del vehículo y un arco central del que nace la estructura. El arco delantero no siempre es uniplano, sino que se compone de varios planos e incluso está puede estar presente como unión de varios elementos estructurales. También observamos una clara intención de reforzar la parte delantera del vehículo, aunque no siempre de forma triangular. Las diversas inclinaciones que encontramos nos revelan la intencionalidad del diseño, brindando más espacio al piloto y visibilidad o una forma más compacta del vehículo. Los refuerzos laterales nacen de diferentes partes de los arcos principales y no siempre se busca crear nodos estructurales ya que dificulta el proceso de soldadura y la disposición de los elementos, aunque esto traiga puntos de tensión estructural que deben tenerse en cuenta.

La zona delantera puede estar abarcada por el mismo arco principal delantero o formar otro arco, permitiendo que el arco principal apoye más cerca de la estructura del arco central.

3.3 Normativa



Ilustración 16. Federación internacional de automovilismo.

3.3.1 Normativa Estructural

La normativa actual [1] recoge los aspectos más importantes a la hora de diseñar del chasis. Este nos regula las dimensiones máximas y el peso mínimo del vehículo, así como el material de la estructura y el perfil del tubo estructural.

Chasis y carrocería.

Para que el diseño del estudio sea válido las dimensiones máximas vendrán acotadas de la siguiente manera:

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

La carrocería será rígida, con una altura mínima de 420 mm desde el anclaje del asiento, los elementos del vehículo no pueden sobresalir de la carrocería.

Peso

El peso no podrá ser inferior a 345 kg sin piloto, sin combustible, sin agua y sin lastre.

El peso del vehículo en estado de iniciar la competición, con el conductor vistiendo su traje completo y todos los fluidos necesarios para su correcto funcionamiento no podrá ser inferior a 425 Kg.

Perfiles tubulares

Por normativa, tenemos los siguientes esquemas, los cuales fijan un perfil mínimo de $\varnothing 40\text{mm}$ y 2mm de espesor para los elementos remarcados en rojo y un perfil mínimo de $\varnothing 40\text{mm}$ y 1.5mm de espesor para el resto de los tubos.

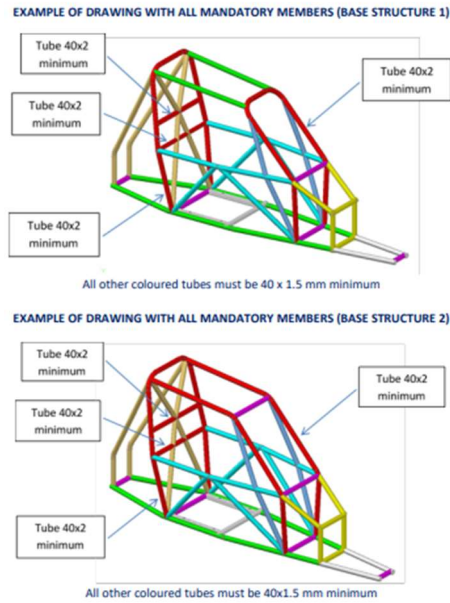


Ilustración 17. Perfil tubular mínimo.

Material

La normativa recogida en el apartado 4 de [2] establece el uso de acero sin costuras estirado en frío sin alea, para el cual establece un máximo de presencia de otros metales y limita el porcentaje de carbono.

Para el acero sin alea, el contenido máximo de aditivos es del 1,7% para manganeso (mn) y 0,6% para otros elementos.

C = 0.29 % ; Si = 0.4 % ; Mn = 0.9 % ; Cr = 1.2 % ; Mo = 0.3 %.

Como podemos ver en la siguiente tabla, el material debe tener un mínimo de resistencia a la tracción de 350 N/mm²

Tabla 1. Datos del reglamento de homologación.

Spéc. Min. matériau Min. material spec.	Résistance min. à la traction Min. tensile strength	Dimensions minimales (mm) Minimum dimensions (mm)	Utilisation Use
Acier au carbone non allié (ou autre - voir ci-dessous) étiré à froid sans soudure contenant au maximum 0.3 % de carbone <i>Cold drawn seamless unalloyed carbon steel (or other - see below) containing a maximum of 0.3 % of carbon</i>	350 N/mm ²	40 x 2 mm	Arceau principal Arceau avant ou Demi-arceau latéral 2 entretoises transversales montées sur l'arceau principal (matériau : voir article 14.3.2) <i>Main rollbar Front rollbar or Lateral half-rollbar 2 transverse members fitted to the main rollbar (material : see article 14.3.2)</i>
		40 x 1.5 mm	Autres parties de l'armature de sécurité (sauf indications contraires des articles ci-dessus) <i>Other parts of the safety cage (unless otherwise indicated in the articles above)</i>

Al seleccionar el acero, se debe prestar atención a obtener buenas propiedades de elongación y soldabilidad. El tubo debe ser doblado por un proceso de trabajo en frío y el radio de curvatura de la línea central debe ser al menos 3 veces el diámetro del tubo.

Si el tubo se ovala durante la flexión, la relación de diámetro menor a mayor debe ser 0.9 o mayor.

La superficie al nivel de las curvas debe ser lisa y uniforme, sin ondulaciones ni grietas.

La soldadura debe realizarse en todo el perímetro del tubo. Todas las soldaduras deben ser con penetración total y preferiblemente usando un arco protegido con gas. Cuando se utilice acero tratado térmicamente, se deben seguir las instrucciones especiales de los fabricantes (electrodos especiales, soldadura protegida con gas).

3.3.2 Reglamento técnico

El reglamento técnico al que debemos ceñirnos en el proyecto esta recopilado en los documentos:

1. REGLAMENTO DE HOMOLOGACIÓN DE ESTRUCTURAS DE SEGURIDAD ANTE LA R.F.E de A.
2. Technical Regulations for Cross Cars PENDICE J ARTICULO 2

3.4 Estudio ergonómico

El espacio con el que cuenta el piloto a la hora de conducir es muy reducido en comparación con otro tipo de vehículos, ya que estos premian mucho un tamaño mínimo con peso liviano. Para ofrecer un buen punto de ergonomía en el diseño del proyecto sin comprometer el peso y las dimensiones del vehículo, se pondrá de base las medidas del percentil 95 de hombre y su rango de visión.

Nombre	Valor	Esquema
Longitud del pie.	30cm	
Angulo del pie con la pierna.	90°	
Longitud de la pierna.	53cm	
Longitud del muslo.	51cm	
Altura del piso a la cadera.	20cm	
Longitud del torso.	55cm	
Inclinación del torso respecto a la vertical.	15°	
Longitud del antebrazo.	35cm	
Inclinación del antebrazo con respecto a la vertical.	10°	
Longitud del brazo.	30cm	
Diámetro del casco.	35cm	

Ilustración 18. Percentil 95.



Ilustración 19. Perfil de visión.

El espacio de la cabina también está comprometido principalmente por el asiento ya que, como hemos comentado antes estos asientos no son fácilmente regulables. Tomaremos las dimensiones de un asiento estándar de competición profesional para implementarlo en nuestro proyecto.

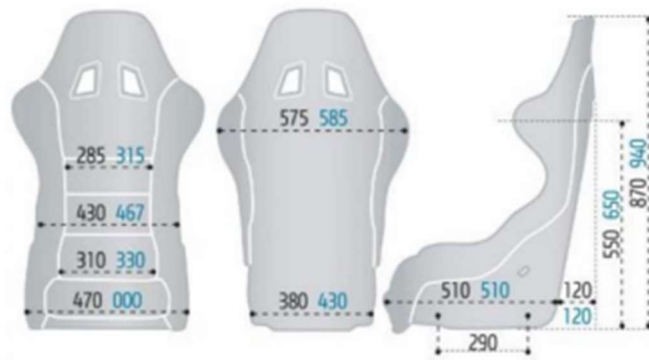


Ilustración 20. Medias baquet homologadas.

Para tener estos puntos en cuenta a la hora del diseño del proyecto croquizaremos una figura que cuadro con las dimensiones del percentil 95 y la usaremos de base en referente a la geometría principal.

3.5 Modelado del chasis

Como hemos estudiado en el apartado de ingeniería inversa, podemos ver que predominan dos tipos de chasis, por lo que diseñaremos dos modelos que serán sometidos a los ensayos de homologación para su posterior optimización.

Para comenzar, crearemos un boceto del piloto siguiendo el percentil 95 como hemos explicado anteriormente, sentado en posición de conducción, lo cual nos permitirá dibujar sobre él la estructura principal formada por los arcos delantero y central, así como las barras de unión superiores e inferiores dejando espacio suficiente para cumplir tanto la normativa de seguridad vigente como los criterios de ergonomía.

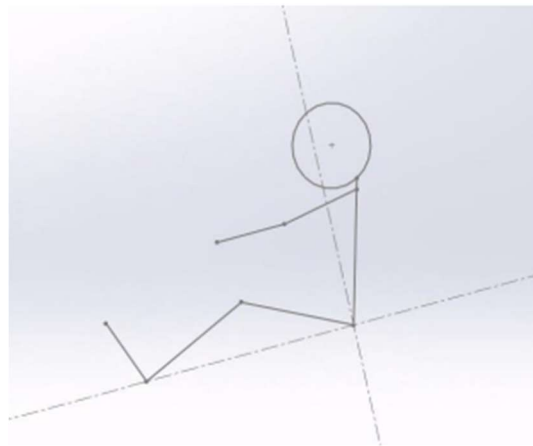


Ilustración 21. Boceto percentil 95.

Para el diseño del primer chasis tenemos en cuenta la distancia de los pies a la cadera, la posición de las manos al volante y la altura de la cabeza con el casco, lo que nos brinda una inclinación de 41° , mientras que el arco trasero debe acompañar la posición del conductor y sujetar el asiento baquet, lo cual nos restringe una inclinación de 105° . También tenemos en cuenta que la separación de la cabeza del piloto con las barras superiores y el arco frontal deben ser de un mínimo de 50mm.

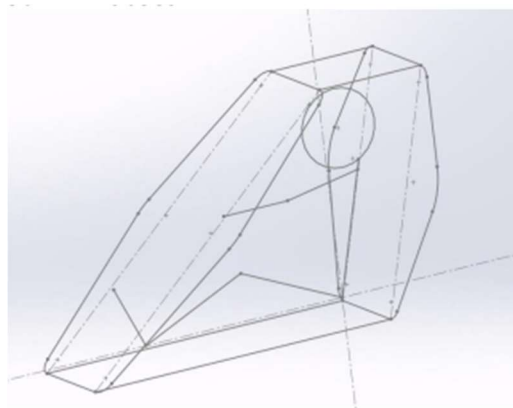


Ilustración 22. Estructura principal.

La parte trasera del chasis debe proteger los elementos que soporta, como el motor y demás elementos mecánicos, además de resistir impactos traseros. Para la geometría de este optamos por barras dobladas en varias secciones creando un semi ovalo que posteriormente será reforzado. Para abaratar costes creamos la menor cantidad de pliegues de barra posibles, teniendo en consideración además que una geometría de barra totalmente curvada daría problemas con el refuerzo de esta.

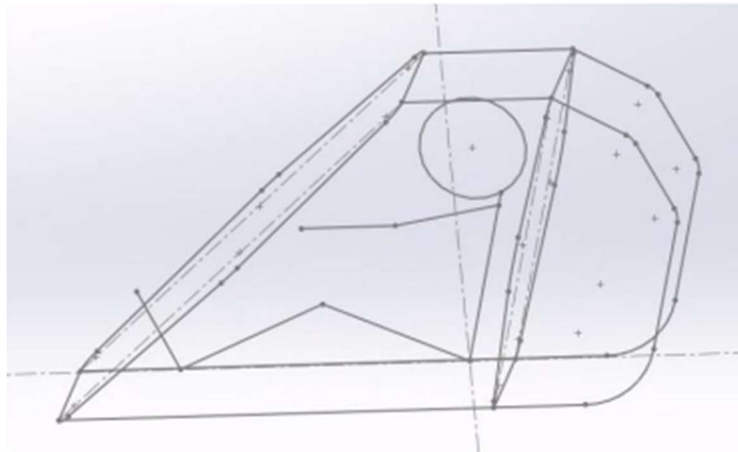


Ilustración 23. Arcos traseros.

La última parte que debemos tener en cuenta en la geometría base es la parte delantera, que, además de llevar instalada el sistema de dirección y suspensión, debe proteger la parte inferior del piloto. Para esto realizamos un arco frontal que mantendrá la dirección del arco delantero, naciendo de este y siendo reforzado por sujeciones que también irán apoyadas en el arco delantero. También añadiremos el cuadro de refuerzo alrededor del piloto, lo que protegerá al mismo de impactos laterales directos, reforzando las estructuras del arco central y el arco delantero.

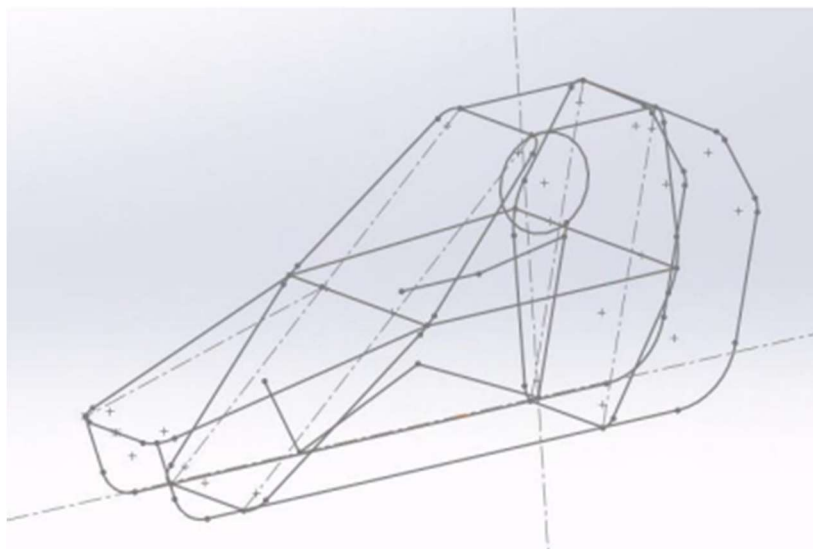


Ilustración 24. Estructura frontal

Para reforzar los arcos traseros, creamos una continuación desde la unión de las barras traseras con el arco central, uniéndolo de forma que no sobresalga de los arcos como vemos en la siguiente imagen. Además de esta estructura también se croquiza una barra en la parte superior uniéndolo a los arcos por la zona de pliegue de la barra y otra en la zona inferior en el centro del arco, la cual servirá no solo para el refuerzo de esta zona sino también como punto de aplicación de la fuerza del ensayo trasero y como punto de geometría fija en otros ensayos.

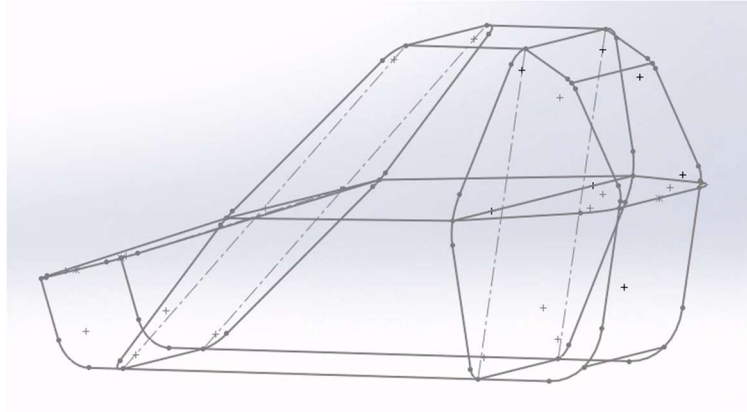


Ilustración 25. Refuerzos traseros.

La parte superior del chasis debe ser reforzada para la posterior instalación de la plancha de seguridad, por lo que croquizamos una estructura que nace del punto medio de las barras de unión superiores y que se proyecta tanto interiormente como exteriormente al arco central.

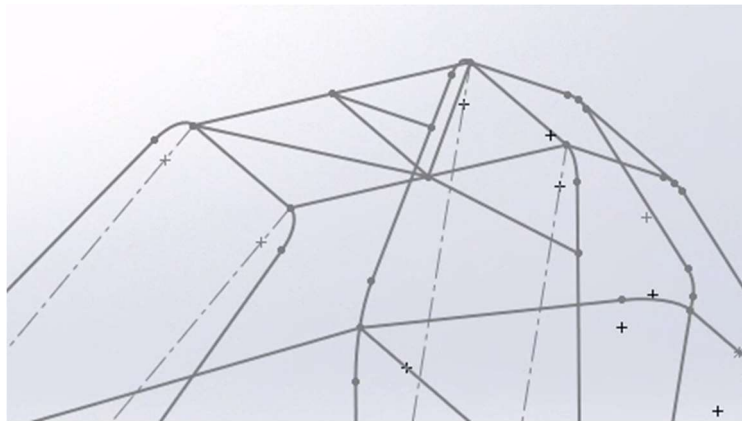


Ilustración 26. Refuerzo superior.

En el aspecto lateral del chasis acabamos teniendo una gran geometría paralelogramica que expone al piloto ante posibles impactos laterales y compromete su seguridad y la integridad del chasis, por lo que se busca triangulizar esta zona, croquizando un tubo desde el punto de unión del arco delantero hasta la zona inferior del arco central.

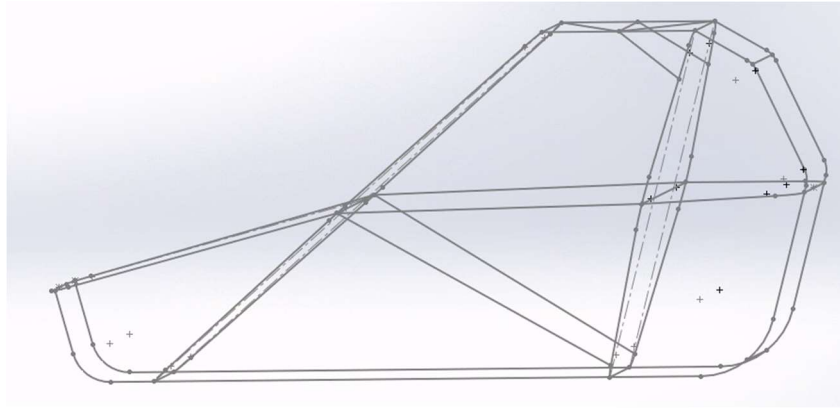


Ilustración 27. Refuerzo lateral.

Para terminar el croquis del chasis reforzamos la zona delantera del chasis con elementos estructurales importantes como son la barra de unión de los arcos delanteros, la cual servirá además como punto de aplicación de la fuerza del ensayo delantero y como punto de geometría fija de varios ensayos. Junto con este elemento se añaden los tubos que soportarán la suspensión y la dirección del vehículo, estos se croquizan desde la zona interior del arco delantero hasta el arco frontal como vemos en la siguiente imagen.

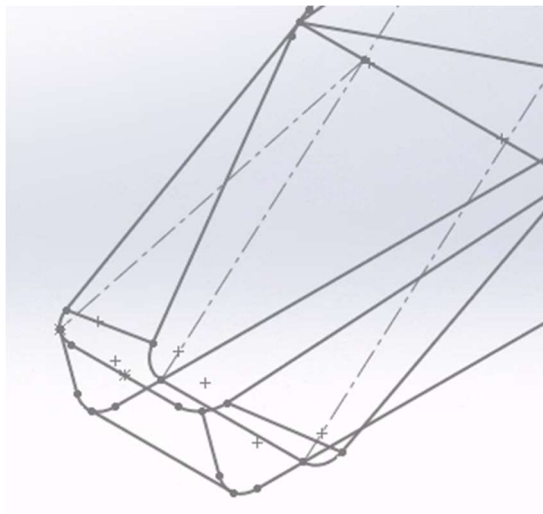


Ilustración 28. Refuerzos frontales.

Una vez contamos con la geometría base del proyecto comenzamos a generar los sólidos para el estudio de impactos. Recordemos que en la figura 17 se define el perfil del tubo para los elementos que se representan. Todos los elementos restantes tendrán, a priori, un perfil tubular de $\varnothing 40\text{mm}$ y 1.5mm de espesor tal y como se refleja en la normativa. Con lo mencionado como referencia usaremos las herramientas de la sección de operaciones Saliente/Base barrido junto con Extuir para generar la estructura que se observa en la siguiente figura.

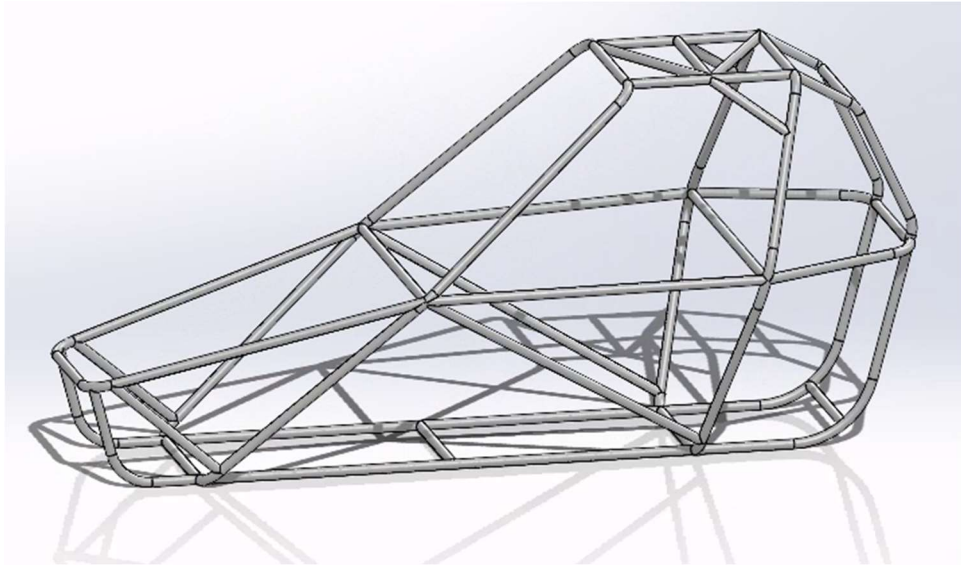


Ilustración 29. geometría inicial Chasis 1.

Para el diseño del segundo chasis partimos de igual manera de un boceto del piloto siguiendo la descripción del percentil 95 y croquizando sobre este las dimensiones de los actos delantero y central junto con los miembros estructurales superiores e inferiores.

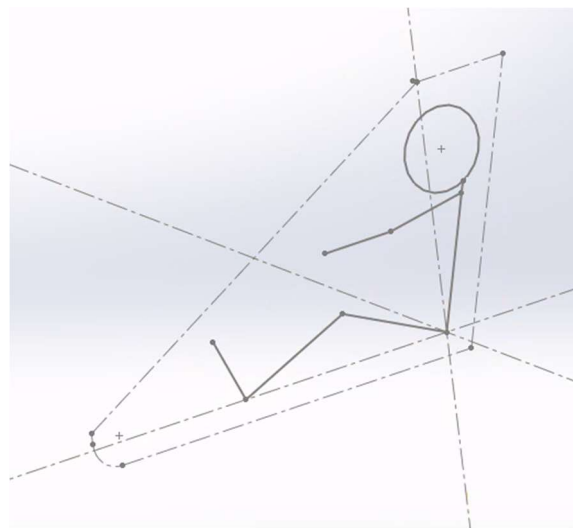


Ilustración 30. Croquis base.

Con esta base croquizamos un arco delantero con las restricciones de [2], teniendo presente los motivos ergonómicos de visión y espacio. Tras esto diseñamos el arco central con la misma inclinación que en el primer diseño, 105° debido a que debe acompañar de la misma forma el asiento baquet.

Tras esto unimos los arcos mediante los miembros estructurales superiores e inferiores. Alargamos además el carril inferior para construir en base a él los arcos traseros, delimitando también la medida del chasis de acuerdo con el apartado de máximas dimensiones de [1].

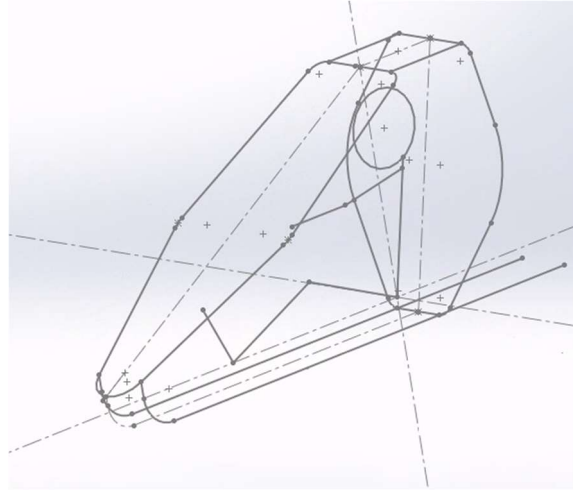


Ilustración 31. Estructura principal.

Croquizamos los arcos traseros con el mínimo de secciones curvas para facilitar su refuerzo y minimizar los procesos de fabricación. Estos arcos nacen desde el final de los miembros estructurales inferiores hasta la parte superior del arco central, apoyando estos en el mismo punto que los miembros estructurales superiores, creando así dos nodos estructurales.

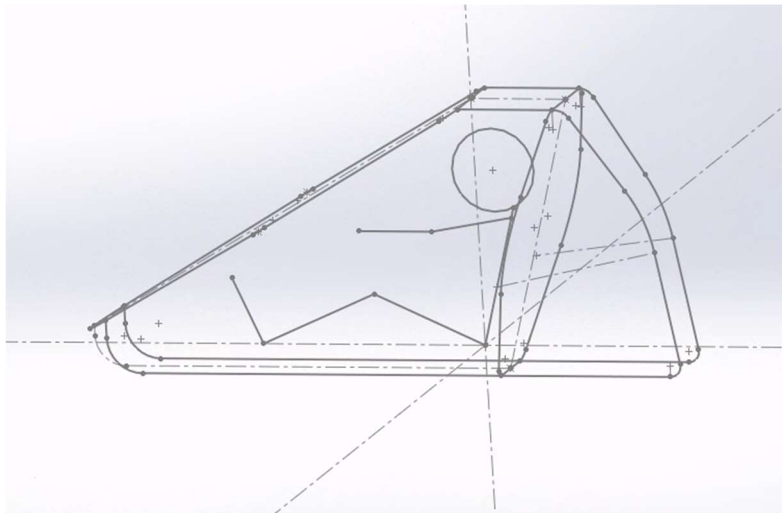


Ilustración 32. Arcos traseros.

Esta configuración crea un gran espacio en el lateral del chasis, por lo que debemos croquizar miembros estructurales que reduzcan estos espacios, para ello modelaremos un cuadro de protección que unirá la sección curva central del arco frontal y bajara formando un ángulo de 90 grados con este mismo y cerrara su geometría en los tubos inferiores.

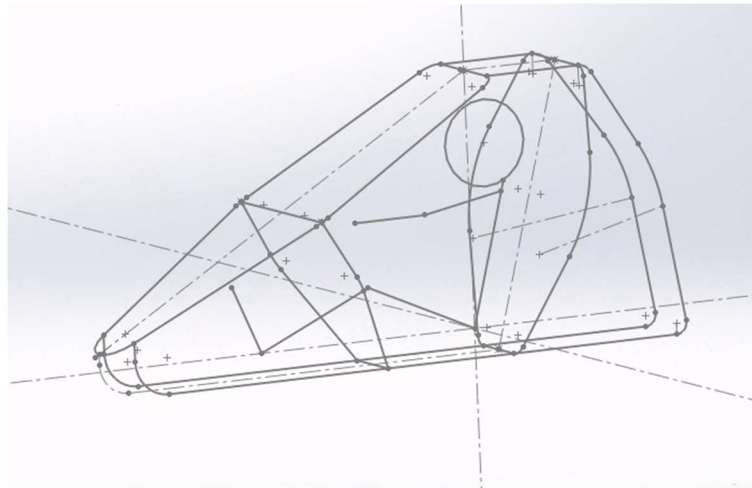


Ilustración 33. Primer cuadro de refuerzo.

Ahora disponemos de una distancia inferior de los miembros estructurales y podemos croquizar las barras de protección lateral del piloto, estas se dibujan entre el punto medio de la sección curva del cuadro antes croquizado hasta el punto inferior de la zona curva del arco central, protegiendo al piloto de los impactos laterales, dejando espacio suficiente para una rápida extracción del piloto en caso de accidente. Estas barras se extienden hacia atrás para brindar a los arcos traseros mayor protección y resistencia.

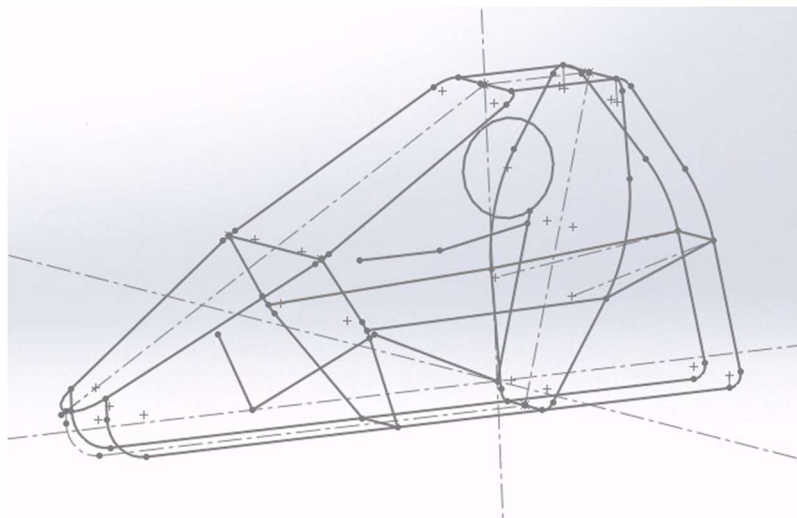


Ilustración 34. Refuerzos laterales.

La sección de los pies del conductor sigue comprometida ante impactos, ya que existe una gran apertura que reforzaremos con otro cuadro estructural, en este caso a 90 grados en lo referente a los miembros estructurales inferiores ya que este elemento servirá además de apoyo para la dirección y suspensión del vehículo. También croquizamos un elemento estructural desde el final de la protección lateral hasta el punto medio de este nuevo cuadro, como vemos en la siguiente ilustración.

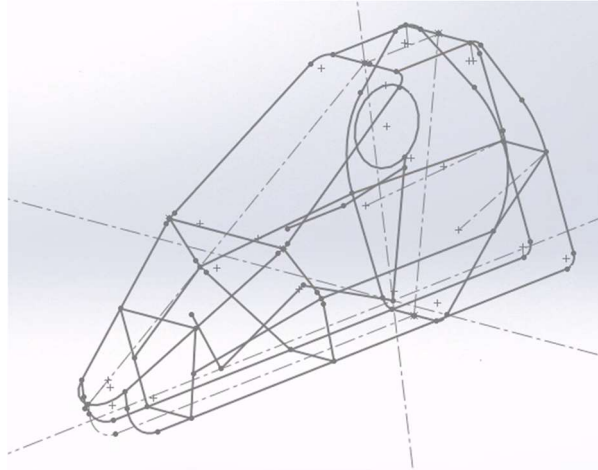


Ilustración 35. Cuadro refuerzo delantero.

Tras esto incorporaremos al diseño varios elementos estructurales, los cuales tendrán diferentes objetivos. El primero de ellos será una barra en la parte inferior de los arcos traseros, la cual servirá de punto de aplicación de la fuerza en el ensayo trasero y como punto de geometría fija para otros ensayos. También añadiremos un tubo que unirá los arcos traseros por una sección distinta como vemos en la siguiente imagen.

También debemos triangular la zona comprendida entre los miembros estructurales superiores y los arcos principales, para ello dividimos en dos este espacio y después triangulamos estos espacios con miembros estructurales de forma transversal.

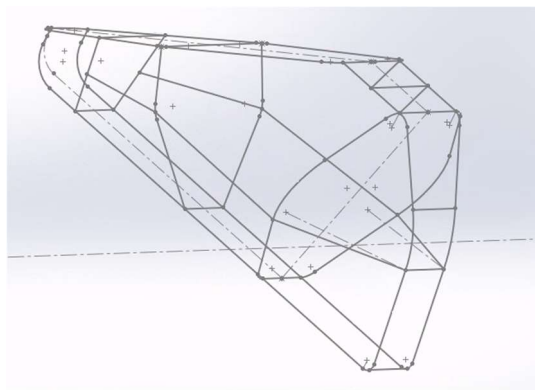


Ilustración 36. Jaula superior.

Por último, añadimos una unión entre los arcos delanteros que forman los miembros estructurales inferiores, esta barra servida tanto de refuerzo como de punto de aplicación para la fuerza del ensayo frontal y como punto de geometría fija para otros ensayos.

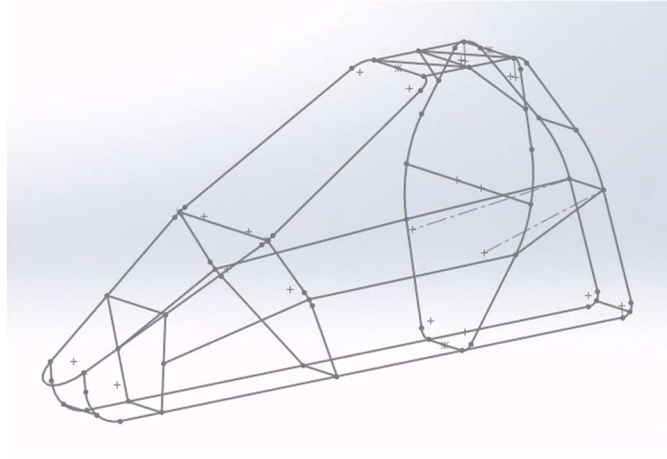


Ilustración 37. Croquis Chasis 2.

Una vez generado completamente el croquis del segundo modelo, procedemos a generar la geometría sólida. Como esclarece la normativa comenzaremos con el perfil de tubo mínimo para las distintas secciones. Comenzaremos generando los tubos de $\varnothing 40\text{mm}$ y 2mm de espesor, como vemos en la siguiente imagen.

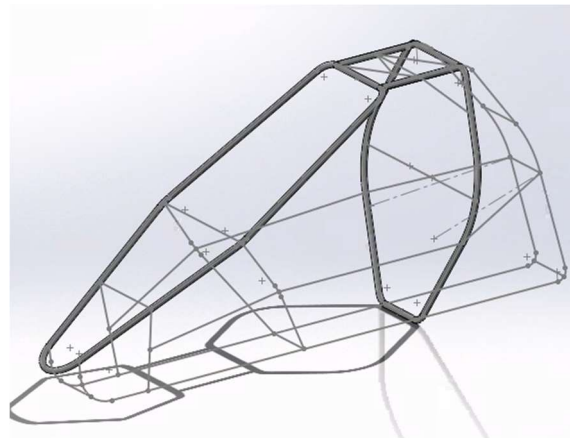


Ilustración 38. Perfiles $\varnothing 40\text{mm}$ y 2mm.

Tras esto generamos todos los demás tubos, esta vez de $\varnothing 40\text{mm}$ y 1.5mm de espesor, completando así la geometría inicial del segundo chasis.

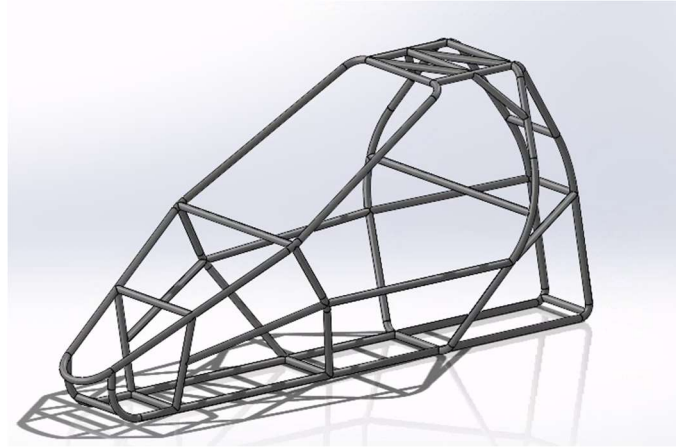


Ilustración 39- geometría inicial Chasis 2.

3.6 Material

Tras el diseño de ambos chasis procedemos a la selección del material estructural para su fabricación. Este debe de cumplir con las especificaciones citadas anteriormente en el apartado 3.3.1.

Existe un gran abanico de aceros estructurales con los que podemos conformar el proyecto en curso, existiendo también otras series de aleaciones y materiales que serían igualmente aplicables, como las aleaciones al carbono, aluminio, magnesio, titanio y sus aleaciones, además de aleaciones de cromo/molibdeno, pero estas no se contemplan como aplicables a la estructura por el reglamento antes mencionado, por lo que nos centraremos en aceros estructurales no aleados o con baja aleación, quedando estas dentro de los límites indicados en el anterior apartado.

Para la selección del material adecuado debemos además definir la norma que recoja las condiciones técnicas que los fabricantes de los materiales deban adoptar para el suministro de los tubos de acero sin soldadura estirados en frío, encontrando dicha definición en la norma UNE-EN 10305-1:2016 Tubos de acero para aplicaciones de precisión. Condiciones técnicas de suministro. Parte 1 Tubos sin soldadura estirados en frío, según refleja la RFEDA en el RHES.

De esta normativa se preseleccionan los aceros estructurales no aleados E215, E235, E255 y E355. También se preseleccionan teóricamente los aceros aleados 25CrMo4 y 42CrMo4, estos aceros no cumplen con las especificaciones del reglamento debido a la excesiva presencia de cromo, se toman como referencia ya que otros fabricantes utilizan aleaciones más ajustadas en CrMo para sus chasis, junto con la presencia de estos aceros aleados en otras competiciones donde el uso de acero estructural aleado está permitido.

El fabricante SHAANXI SHEW-E STEEL PIPE nos facilita el análisis de colada de los materiales según la normativa antes mencionada, el cual podemos ver en las siguientes tablas.

Tabla 2. Propiedades de colada.

Steel grade		% by mass					
Steel name	Steel number	C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S ^b max.	Al min.
E215	1.0212	0,10	0,05	0,70	0,025	0,025	0,025
E235	1.0308	0,17	0,35	1,20	0,025	0,025	-
E355 ^c	1.0580	0,22	0,55	1,60	0,025	0,025	-

^a Elements not included in this Table (but see footnote c) shall not be intentionally added to the steel without the agreement of the purchaser, except for elements which may be added for finishing the cast. All appropriate measures shall be taken to prevent the addition of undesirable elements from scrap or other materials used in the steel making process.

^b See option 2.

^c Additions of Nb, Ti and V are permitted at the discretion of the manufacturer. The content of these elements shall be reported.

Tabla 3. Propiedades de suministro.

Steel grade		% by mass									
Steel name	Steel number	C	Si	Mn	P max.	S	Cr	Mo	V	Others	Cr+Mo+Ni max.
E255	1.0408	≤ 0,21	≤ 0,35	0,40 to 1,10	0,025	≤ 0,025	-	-	-	-	-
C35E	1.1181	0,32 to 0,39	≤ 0,40	0,50 to 0,80	0,035	≤ 0,035	≤ 0,40	≤ 0,10	-	-	0,63
C45E	1.1191	0,42 to 0,55	≤ 0,40	0,50 to 0,80	0,035	≤ 0,035	≤ 0,40	≤ 0,10	-	-	0,63
25CrMo4	1.7218	0,22 to 0,29	≤ 0,40	0,60 to 0,90	0,035	≤ 0,035	0,90 to 1,20	0,15 to 0,30	-	-	-
42CrMo4	1.7225	0,38 to 0,45	≤ 0,40	0,60 to 0,90	0,035	≤ 0,035	0,90 to 1,20	0,15 to 0,30	-	-	-

Estos materiales presentan variaciones que debemos considerar dependiendo de la condición del suministro. El mismo fabricante nos facilita estas variaciones de las cuales estimaremos únicamente la condición +C, estirado en frío no tratado térmicamente.

Tabla 4. Propiedades de colada.

Steel grade		Minimum values for the delivery condition ^{a,b}											
Steel name	Steel number	+C ^c		+LC ^c		+SR			+A ^d		+N		
		R_m MPa	A %	R_m MPa	A %	R_m MPa	R_{eH} MPa	A %	R_m MPa	A %	R_m MPa	R_{eH}^e MPa	A %
E215	1.0212	430	8	380	12	380	280	16	280	30	290 to 430	215	30
E235	1.0308	480	6	420	10	420	350	16	315	25	340 to 480	235	25
E355	1.0580	640	4	580	7	580	450 ^f	10	450	22	490 to 630	355	22

^a R_m : tensile strength ; R_{eH} : upper yield strength (but see 11.1) ; A: elongation after fracture. For symbols for the delivery condition see Table 1.

^b 1 MPa = 1 N/mm².

^c Depending on the degree of cold work in the finishing pass the yield strength may nearly be as high as the tensile strength. For calculation purposes the following relationships are recommended :
 — for delivery condition +C : $R_{eH} \geq 0,8 R_m$;
 — for delivery condition +LC : $R_{eH} \geq 0,7 R_m$.

^d For calculation purposes the following relationship is recommended : $R_{eH} \geq 0,5 R_m$.

^e For tubes with outside diameter ≤ 30 mm and wall thickness ≤ 3 mm the R_{eH} minimum values are 10 MPa lower than the values given in this Table.

^f For tubes with outside diameter > 160 mm: $R_{eH} \geq 420$ MPa.

Tabla 5. Propiedades de suministro.

Steel grade		Values for the delivery condition ^b											
Steel name	Steel number	+C		+LC		+SR			+A		+N		
		R_m MPa min.	A % min.	R_m MPa min.	A % min.	R_m MPa min.	R_{eH} MPa min.	A % min.	R_m MPa min.	A % min.	R_m MPa	R_{eH} MPa Min.	A % min.
E255	1.0408	580	5	520	8	520	375	12	390	21	440 to 570	255	21
C35E	1.1181	590	5	540	7	-	-	-	440	22	≥ 460	280	21
C45E	1.1191	720	4	670	6	-	-	-	510	20	≥ 540	340	18
25CrMo4	1.7218	720	4	670	6	-	-	-	-	-	-	-	-
42CrMo4	1.7225	720	4	670	6	-	-	-	-	-	-	-	-

En primera instancia podemos descartar el uso del material 42CrMo4 pues su alto contenido en carbono dificulta tratar con este a la hora de soldarlo y la baja elongación que presenta dificulta su conformado.

El uso del material E215 puede ser descartado a priori debido a sus bajas propiedades mecánicas comparado con los otros aceros no aleados. Este material podría ser recuperado entre las posibles opciones si en el apartado de análisis los otros materiales presentan un coeficiente de seguridad excesivo, ya que este material es económicamente atractivo y mantiene una excelente soldabilidad y conformado.

El uso del material 25CrMo4 es un material que presenta una soldabilidad regular, aunque con buen coeficiente de elongación y unas características mecánicas excelentes este acero queda reservado en el caso de que las propiedades mecánicas de los otros candidatos sean escasas para cumplir con los ensayos impuestos por la normativa.

Quedando finalmente los aceros no aleados E235, E255 y E355.

En referencia a los dos primeros estos cuentan con un límite elástico y una resistencia a la tracción considerablemente inferiores al acero E355, aunque sus bajos porcentajes de carbono dotan y un nivel de azufre del 0.025% les confiere una mecanización sencilla y una soldabilidad muy buena.

El acero E355 en comparación tiene una soldabilidad y conformado algo más pobre que las opciones antes mencionadas pero estas características siguen siendo suficientemente buenas para este proyecto. Aunque es el acero más caro de estas tres últimas opciones su precio no difiere en gran medida por lo que es posible desestimar el incremento de precio con relación al gran aumento de propiedades mecánicas.

Debido a lo antes descrito, el material escogido es el acero no aleado E355+C, también denominado ST52/E355.




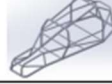
En resumen, este acero recoge todo lo necesario para el presente proyecto, con una alta resistencia a la tracción y al límite elástico, una alta tenacidad que le permite absorber impactos y deformarse sin romperse, manteniendo una conformabilidad y mecanizado que le permiten ser tratado en frío sin problemas junto con, finalmente, una muy decente soldabilidad. Aun no siendo un acero diseñado para ser soldado este puede integrarse en los métodos convencionales como la soldadura por arco eléctrico (MIG/MAG, TIG).

3.7 Análisis

Introducción

En este apartado procedemos a la ejecución del ensayo exigido por la RFEDA para la homologación del chasis en [2]. Para nuestro caso la normativa contempla los diversos ensayos, los cuales deben reflejar que la estructura resiste las siguientes solicitaciones:

Tabla 6. Cargas en ensayo.

Especialidad	Solicitaciones de carga [daN]						Desplazamientos máx. [mm] En cualquier caso de carga
	P	Vertical	Frontal	Longitudinal	Lateral	Esquema explicativo	
Prototipo E1 Nacional Prototipo E2 Nacional	Masa del vehículo [kg] + 160 kg	7,5P	3,5P	N/A	3,5P		50
Buggies Nacionales TT							
CM Promoción CM+							
Car Cross Car Cross Junior			N/A	6P			

En nuestro caso el factor P se define como el peso mínimo que debe presentar el vehículo en condiciones de competición, descrito en el apartado 3.3.1, 425Kg.

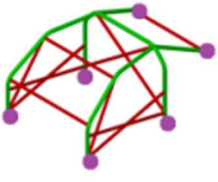
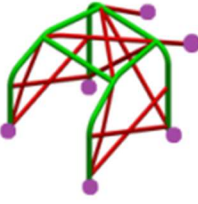
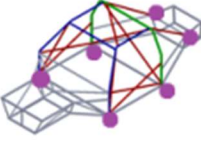
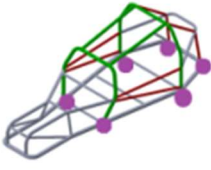
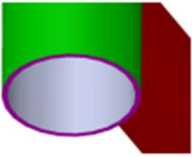
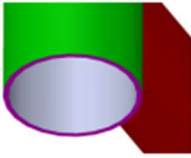
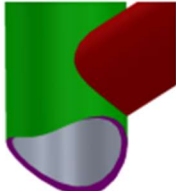
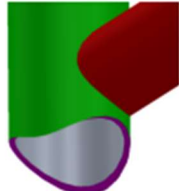
Esto define las cargas a las que se verán sometidas nuestras estructuras:

- 31270N en carga vertical.
- 14600N en carga lateral.
- 25000N en carga longitudinal.

También se impone como criterio de homologación un máximo desplazamiento de material de 50mm en cualquier caso de carga.

Por último, abordamos la aplicación de geometría fija durante los ensayos, tal y como nos esclarece la normativa en el subsecuente apartado, aplicaremos las restricciones pertinentes según la siguiente tabla.

Tabla 7. Puntos de restricción.

	Pototipos E1 y E2	Buggies TT	CM España	Carcross y Carcross Junior
Puntos de Fijación				
Superficie de aplicación				

Criterio de Von Mises.

Es importante repasar este criterio pues definirá nuestro fallo en los ensayos. El apartado 5.4.2 Tensiones de [2] se esclarece que en caso de realizar un análisis lineal no se podrá superar el límite elástico del material en toda la estructura. En el caso de superarse el límite elástico, se deberá justificar el ensayo con un análisis no lineal. En caso de realizar un análisis no lineal no se podrá superar la tensión de rotura del material en toda la estructura.

El criterio de Von Mises, o criterio de fluencia máxima, es una teoría de falla en el campo de la mecánica de materiales y la resistencia de materiales. Fue propuesto por el matemático y físico austríaco Richard Von Mises a principios del siglo XX. Este criterio se utiliza para predecir el inicio de la deformación plástica y la falla de materiales dúctiles cuando están sometidos a cargas mecánicas.

El criterio de Von Mises se basa en la idea de que la deformación plástica se inicia cuando la energía de deformación acumulada en un punto del material alcanza un valor crítico. Esta energía de deformación es una función de los esfuerzos principales (tensiones principales) que actúan en el punto de interés.

La expresión matemática del criterio de von Mises es la siguiente:

$$\sigma_{\text{von Mises}} = \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

Donde:

σ_1 , σ_2 , y σ_3 son los esfuerzos principales en el punto de interés.

Si el valor calculado de σ von Mises en un punto supera el límite de fluencia del material, se considera que la deformación plástica ha comenzado y el material está en el umbral de falla.

Mallado

Antes de comenzar con los ensayos definiremos el proceso de mallado.

El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. El mallado automático en el software genera una malla basándose en un tamaño de elemento global, una tolerancia y especificaciones locales de control de malla. El control de malla le permite especificar diferentes tamaños de elementos de componentes, caras, aristas y vértices.

El software estima un tamaño de elemento global para el modelo tomando en cuenta su volumen, área de superficie y otros detalles geométricos. El tamaño de la malla generada (número de nodos y elementos) depende de la geometría y las cotas del modelo, el tamaño del elemento, la tolerancia de la malla, el control de malla y las especificaciones de contacto. En las primeras etapas del análisis de diseño donde los resultados aproximados pueden resultar suficientes, es posible especificar un tamaño de elemento mayor para una solución más rápida. Para obtener una solución más precisa, es posible que sea necesario utilizar un tamaño de elemento más pequeño.

Para nuestro caso, ya que las tensiones máximas se concentrarán en puntos determinados, utilizaremos sistema de mallado adaptativo h, método por el cual el programa realiza varias iteraciones de mallado, siendo esta refinada en puntos de mayor tensión, consiguiendo un mallado preciso en las áreas significativas y un mallado de menor precisión donde no sea menester presentar una mayor calidad de malla. Este método nos permite realizar ensayos de forma fiable, ajustando el nivel y el balance de presión sin necesidad de destinar la gran cantidad de tiempo y recursos que requieren un mallado fino y preciso en la totalidad de la estructura.

Para realizar este método, configuraremos las propiedades del estudio y nos centraremos en el apartado de solución adaptativa, en la cual seleccionaremos el Método-h, buscando un nivel de precisión mayor al 85% para considerarlo un mallado fiable. Estos parámetros tienen la posibilidad de generar errores en las iteraciones, por lo que no siempre se conseguirá una malla de la calidad deseada (entorno al 98%) pero si podremos conseguir unos parámetros fiables.

Para reducir la posibilidad de error en el mallado y buscar la solución más fiable, seleccionamos el máximo número de bucles posibles, 5.

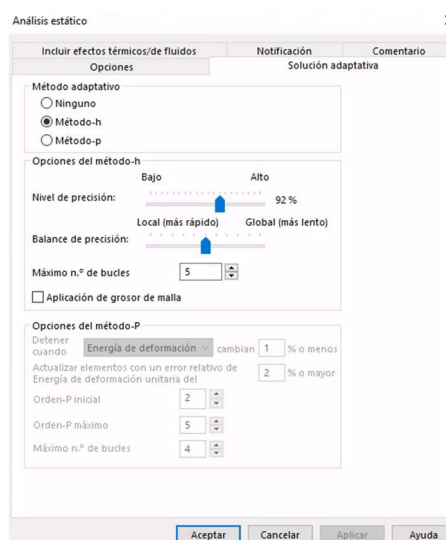


Ilustración 40. parámetros del método H.

Para que este método de mallado funcione, debemos seleccionar una malla basada en curvatura en los parámetros de mallado y buscar una densidad de malla gruesa para refinarla con las posteriores iteraciones. Estos parámetros los ajustamos dentro del apartado Malla, en la opción Crear malla.

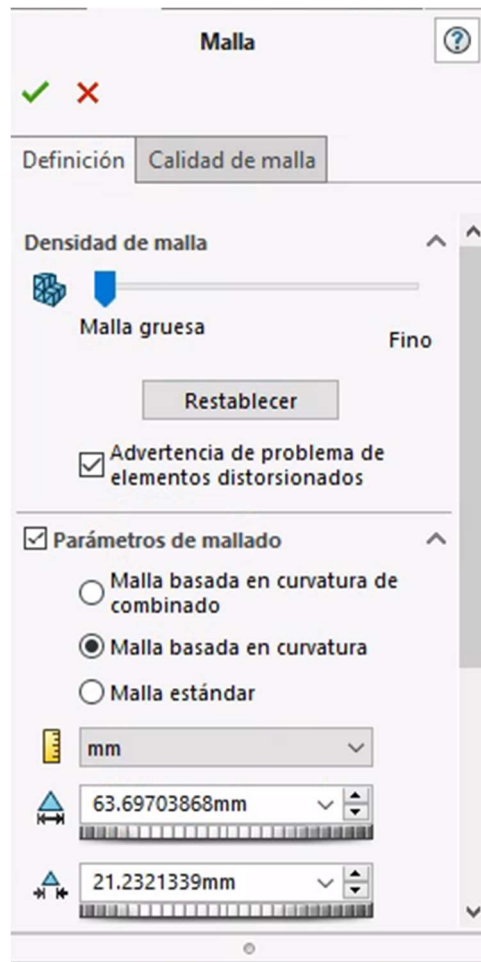


Ilustración 41. Calidad de mallado.

Ensayo longitudinal.

Este apartado abarca tanto el ensayo longitudinal delantero como el trasero, siendo ambos sometidos a una fuerza de 25000N y restringidos según la normativa antes mencionada.

En las siguientes simulaciones buscamos el mayor porcentaje de precisión sin que el programa genere errores. Lo cual conseguimos buscando precisiones entorno al 92% y 94%. En las siguientes imágenes podemos ver la aplicación de la carga, restricciones y mallado del ensayo delantero en ambos chasis, 1 y 2 respectivamente.

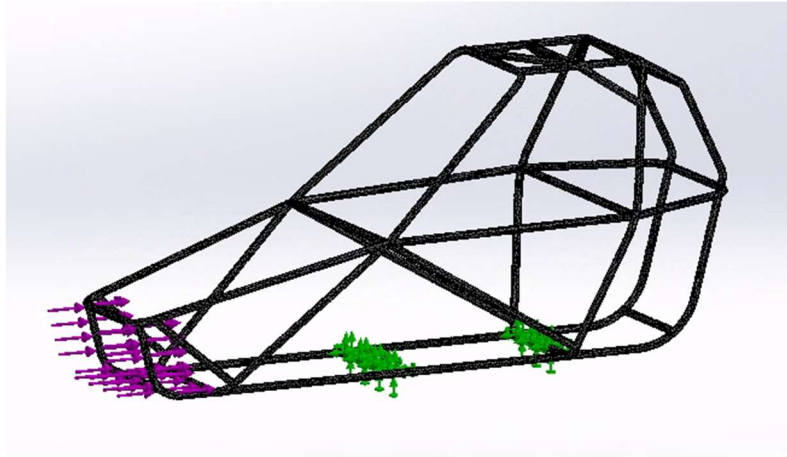


Ilustración 42. Ensayo longitudinal Chasis 1.

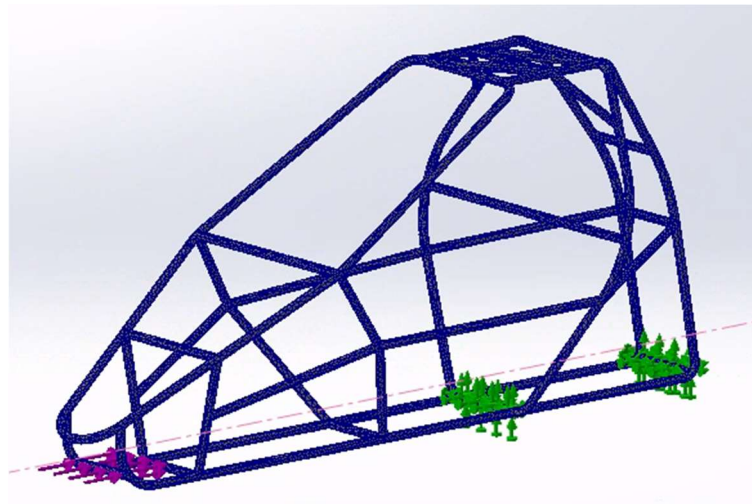


Ilustración 43. Ensayo longitudinal chasis 2.

Ahora abordamos las simulaciones traseras en los chasis 1 y 2 respectivamente, las cuales se disponen como podemos ver en las siguientes imágenes.

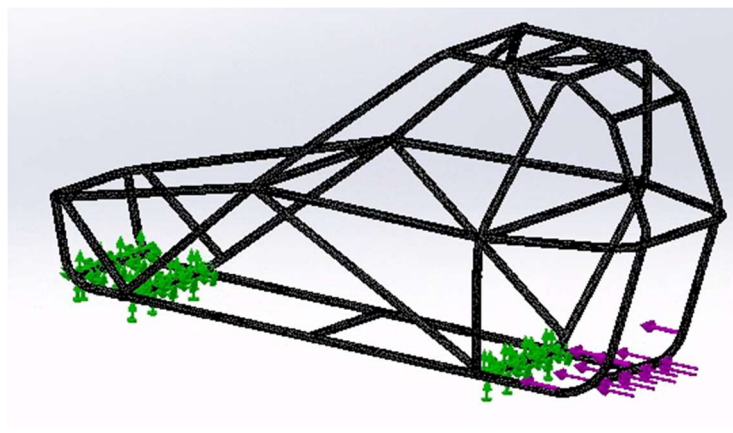


Ilustración 44. Ensayo longitudinal trasero chasis 1.

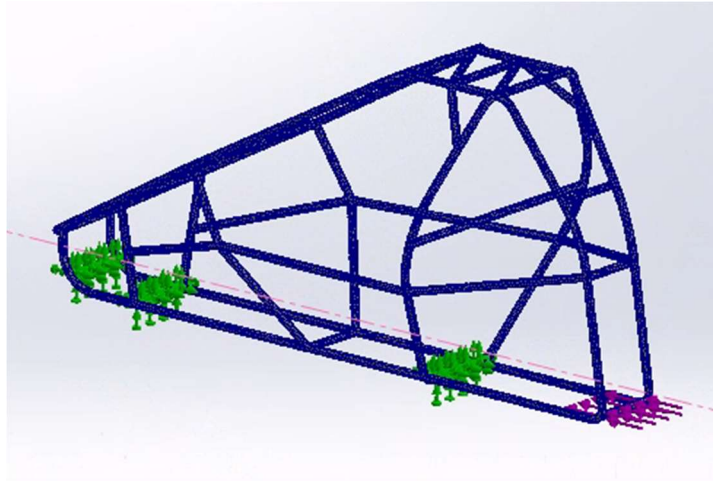


Ilustración 45. Ensayo longitudinal trasero chasis 2.

Ensayo lateral.

En el ensayo lateral aplicamos una fuerza de 14600N en las barras laterales. En el caso del primer chasis existen dos barras laterales frente al segundo chasis, que mantiene una barra lateral más baja.

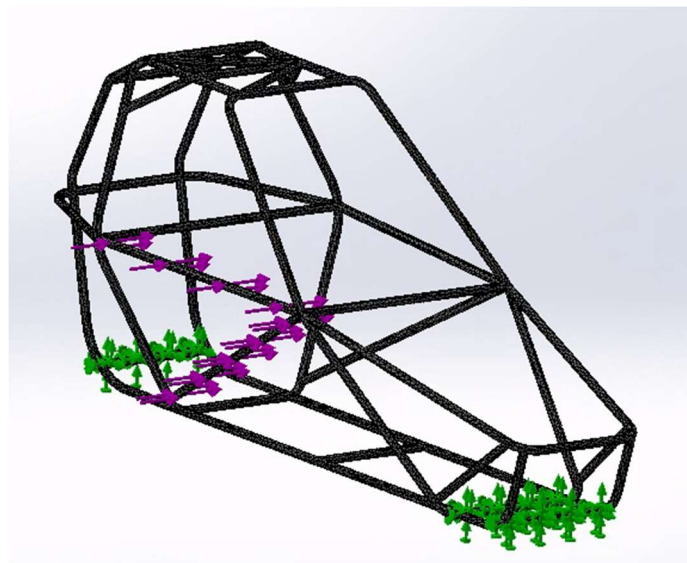


Ilustración 46. Ensayo lateral chasis 1.

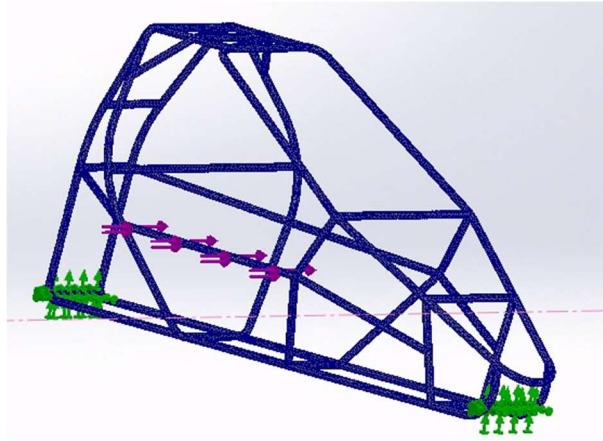


Ilustración 47. Ensayo lateral chasis 2.

Tras aplicar las cargas y restricciones para la simulación, obtenemos las configuraciones que muestran las siguientes imágenes, siendo estas el ensayo en el chasis 1 y en el chasis 2 respectivamente.

Vertical

Por último, tenemos la carga vertical, con esta se procederá de igual forma que con las anteriores, aplicando una fuerza de 31270N en la barra superior del arco central en dirección vertical en dirección al centro del chasis. Como vemos en las siguientes imágenes, se aplica al chasis 1 y 2 respectivamente.

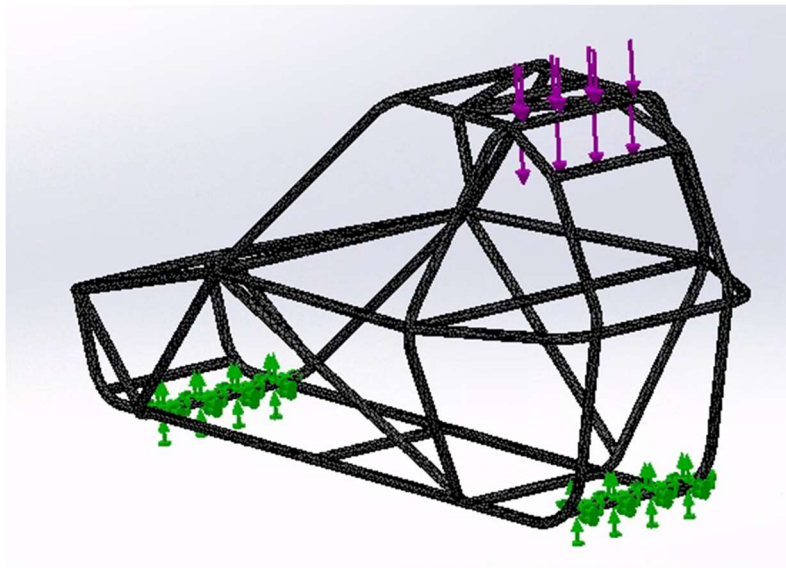


Ilustración 48. Ensayo vertical chasis 1.

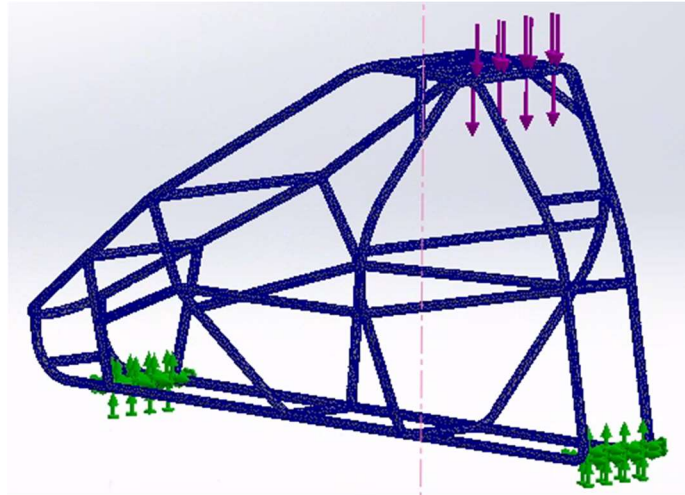


Ilustración 49. Ensayo vertical chasis 2.

3.8 Resultados

Tras simular los ensayos estudiaremos y compararemos ambos modelos, comprobando tanto el comportamiento de la estructura como la resistencia del material aplicado. Los resultados se exponen a continuación con las siguientes imágenes, mostrándose con el mismo orden que en los apartados anteriores, apareciendo primero las Tensiones de Von Mises y posteriormente el desplazamiento del material.

Ensayo longitudinal

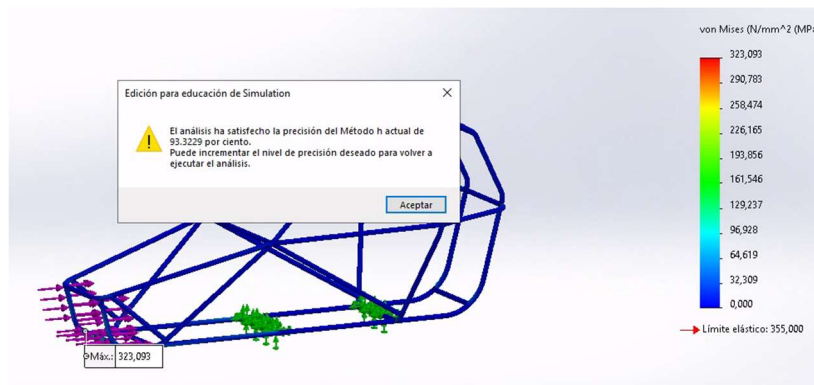


Ilustración 50. Resultados de Von Mises.

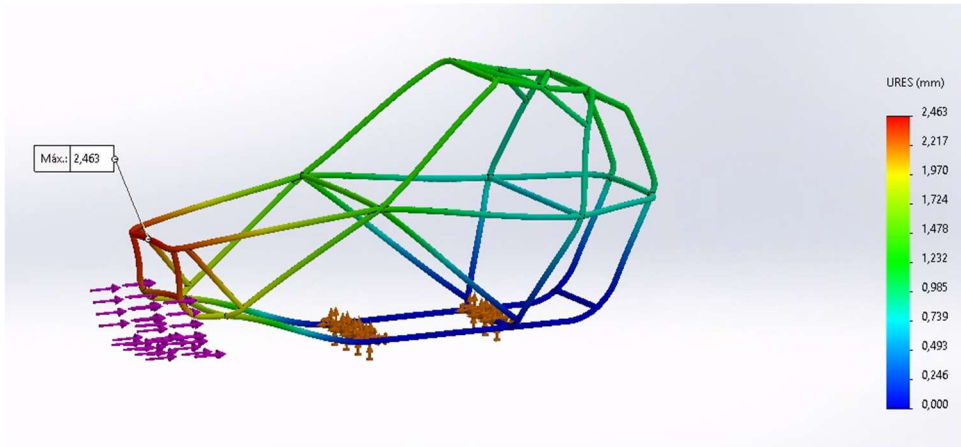


Ilustración 51. Desplazamiento resultante.

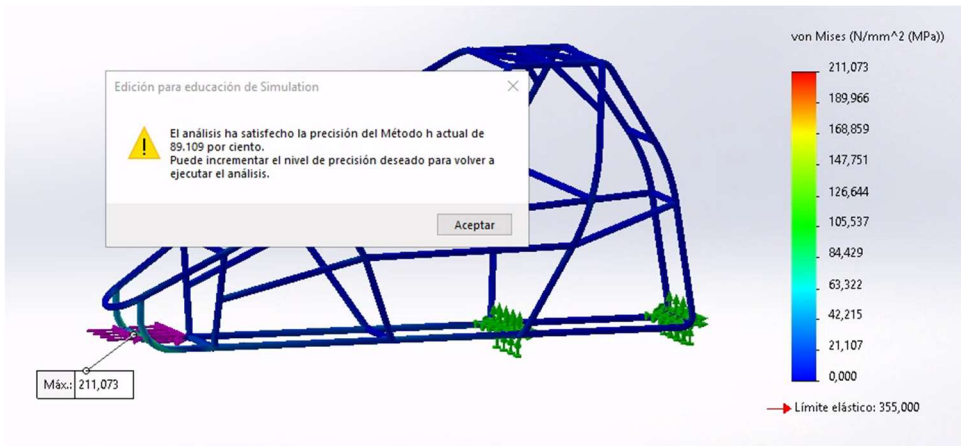


Ilustración 52. Resultados de Von Mises.

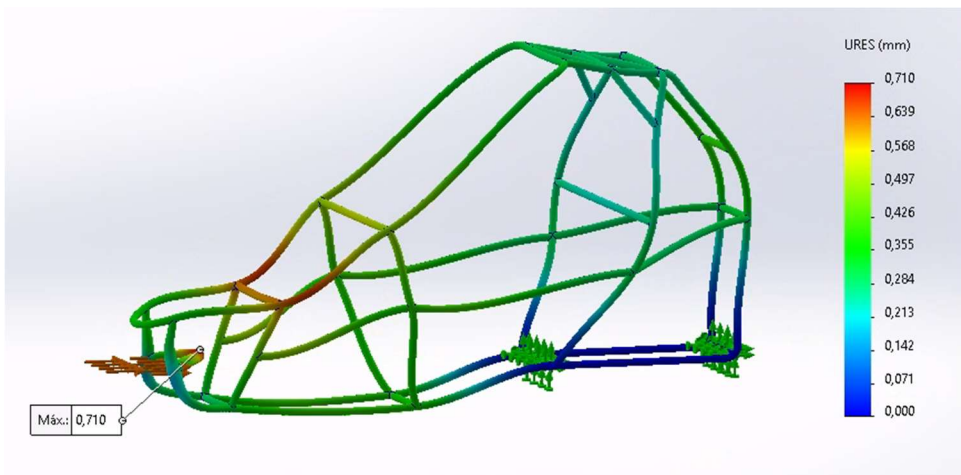


Ilustración 53. Desplazamiento resultante.

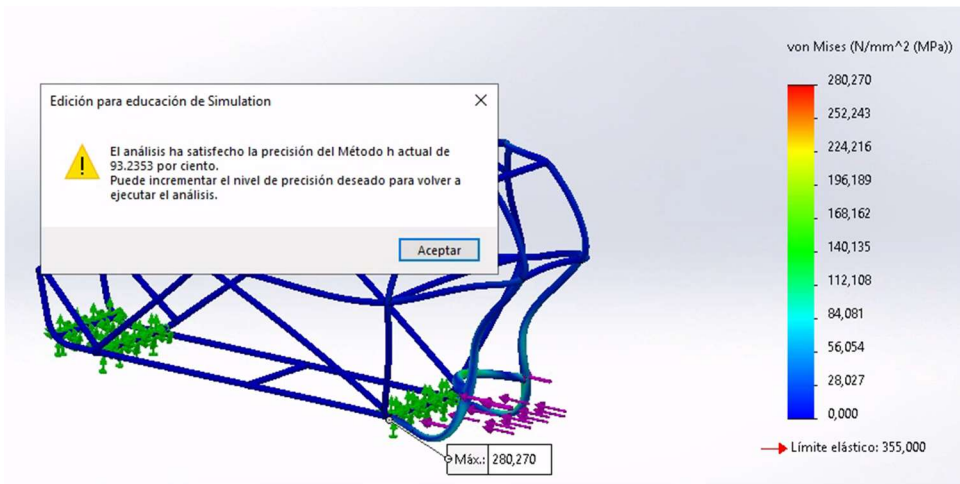


Ilustración 54. Resultados de Von Mises.

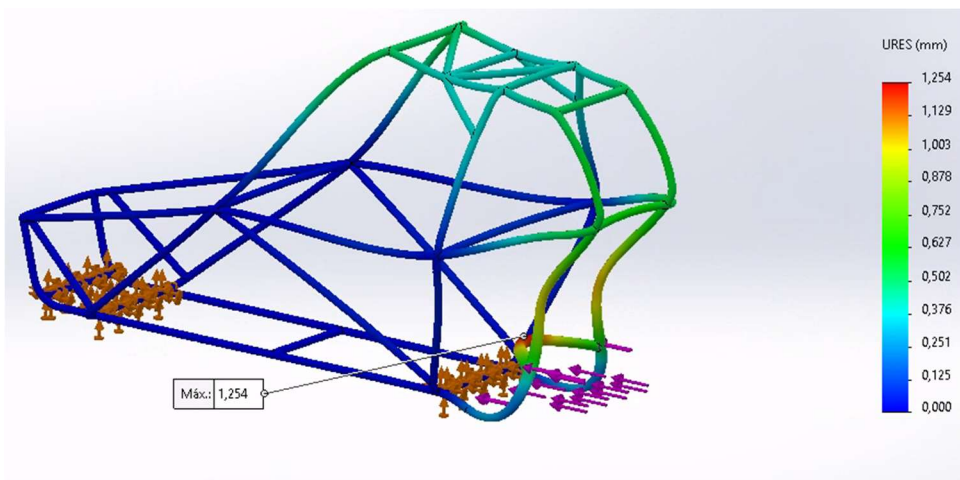


Ilustración 55. Desplazamiento resultante.

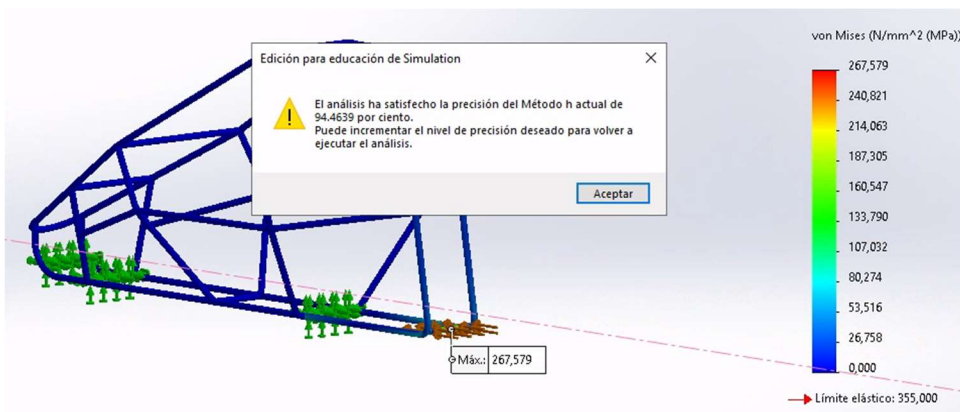


Ilustración 56. Resultados de Von Mises.

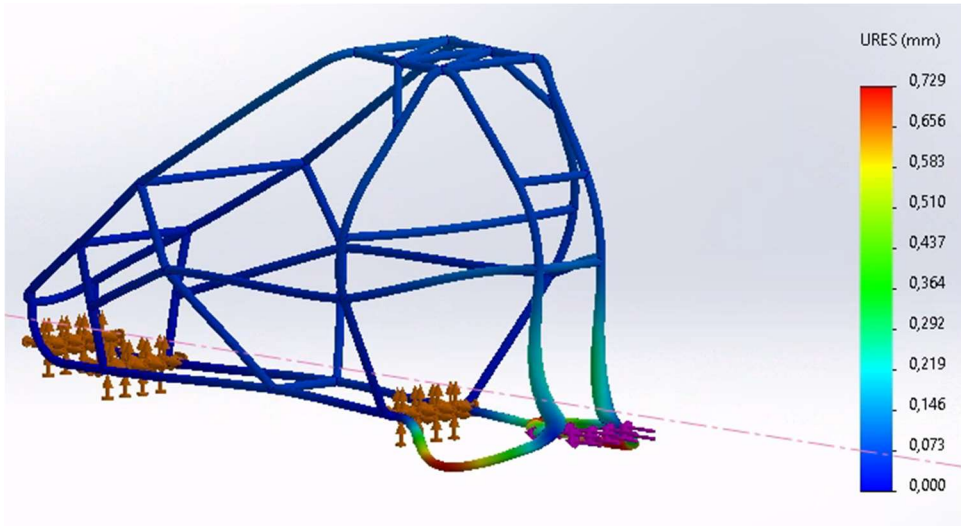


Ilustración 57. Desplazamiento resultante.

Lateral

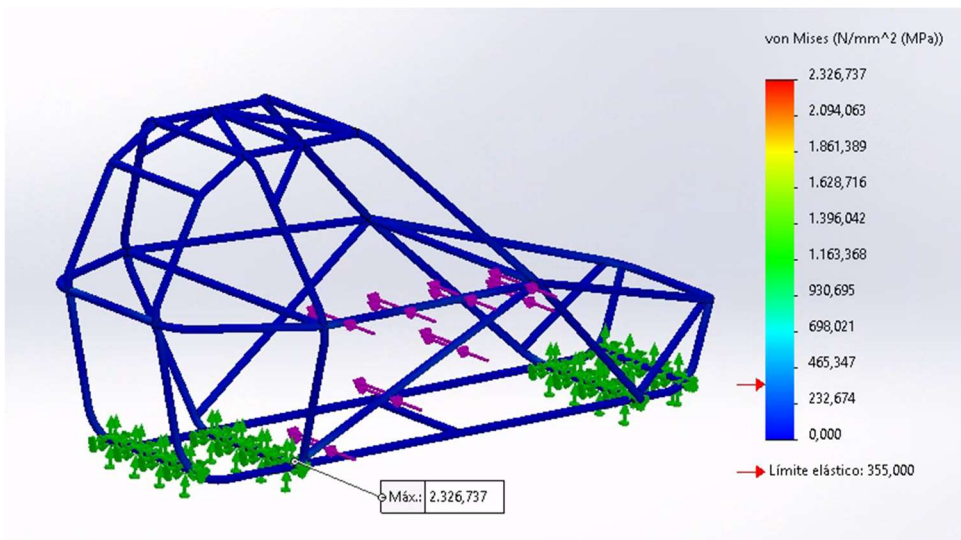


Ilustración 58. Resultados de Von Mises.

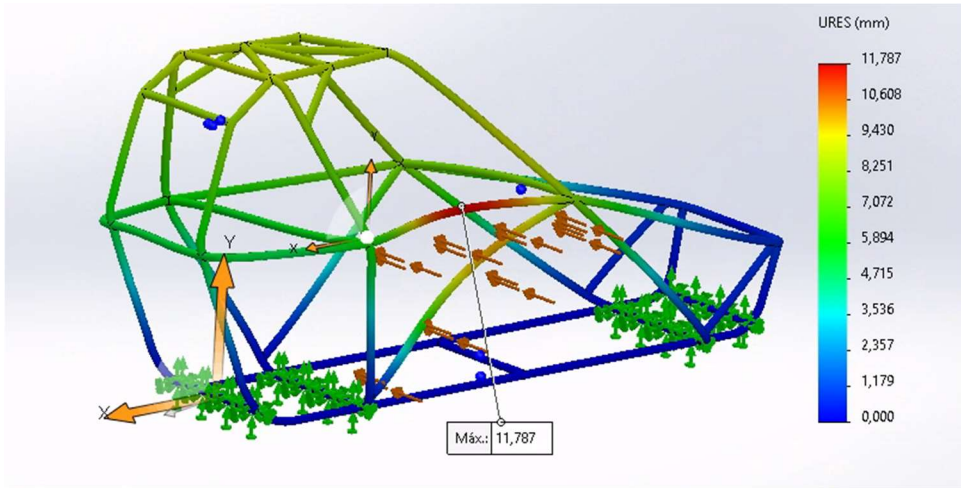


Ilustración 59. Desplazamiento resultante.

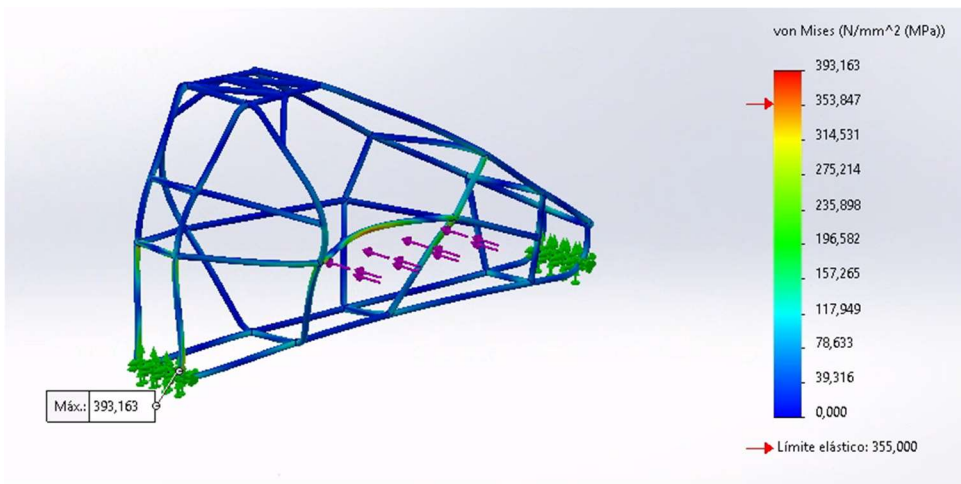


Ilustración 60. Resultados de Von Mises.

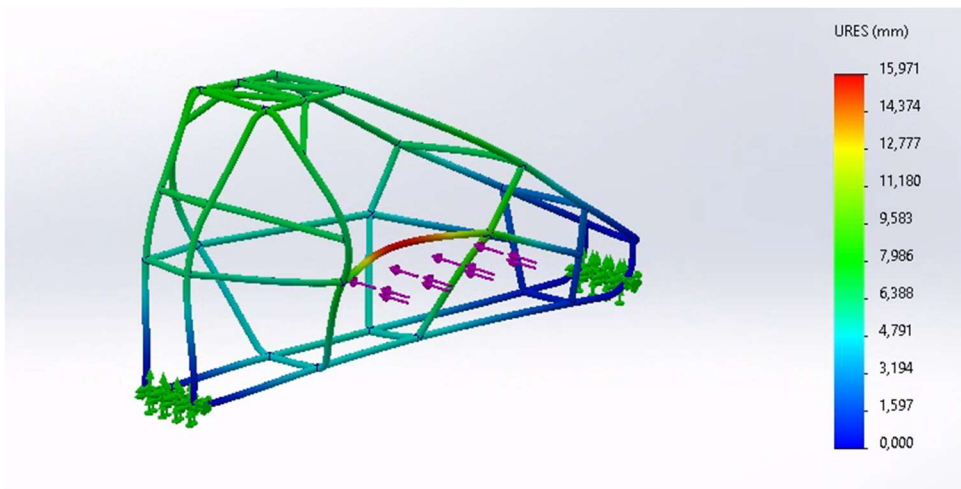


Ilustración 61. Desplazamiento resultante.

Vertical

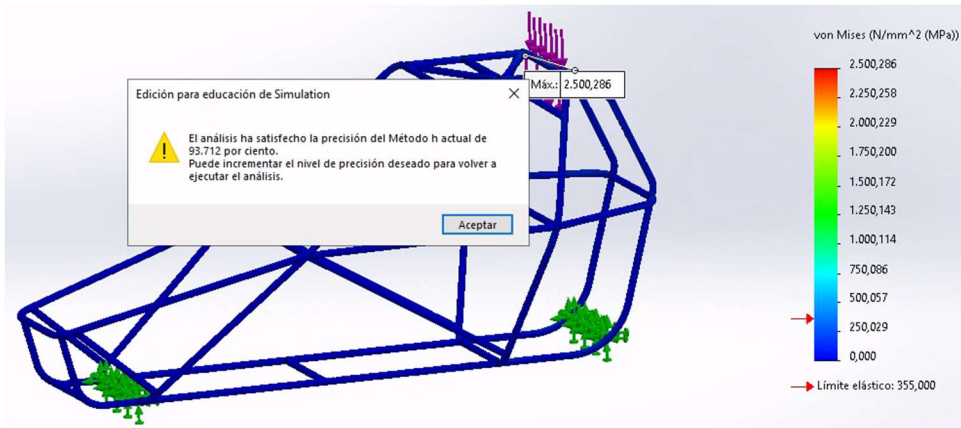


Ilustración 62. Resultados de Von Mises.

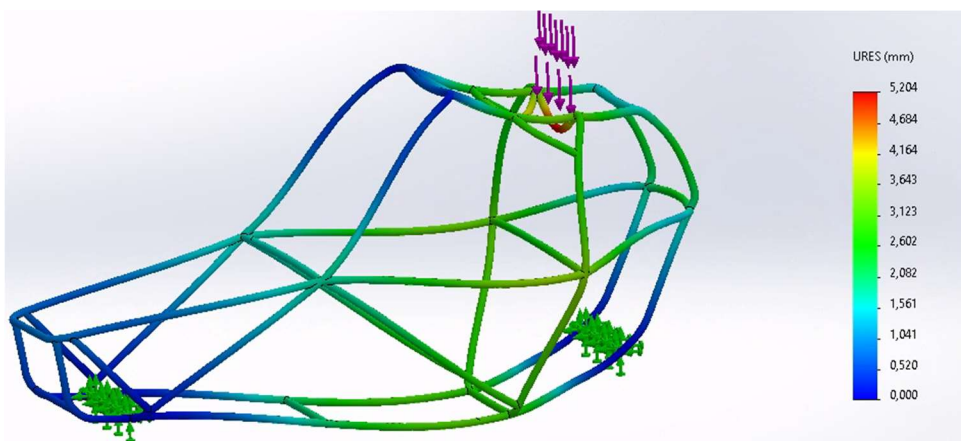


Ilustración 63. Desplazamiento resultante.

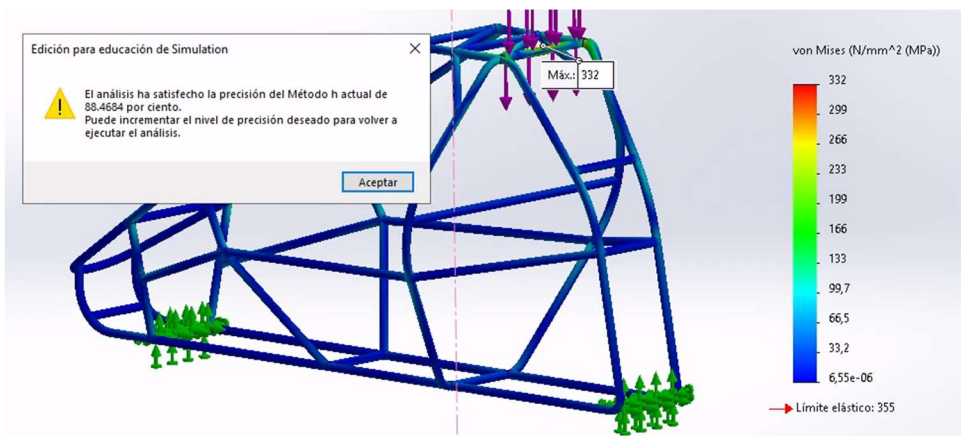


Ilustración 64. Resultados de Von Mises.

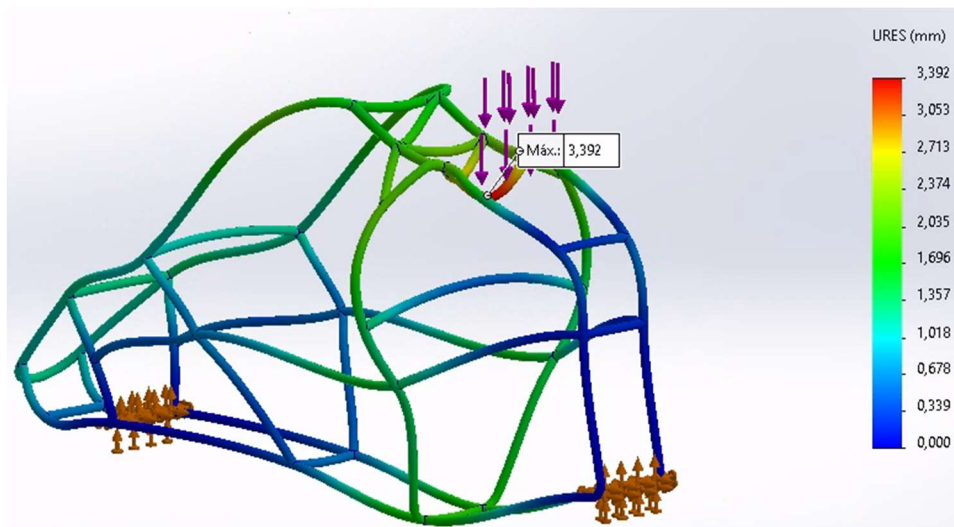


Ilustración 65. Desplazamiento resultante.

Tras comprobar los resultados podemos observar que todos cumplen con el requisito de máximo desplazamiento de material, pero algunos ensayos fallan con respecto al criterio de Von Mises. Estos son los ensayos lateral y vertical para el chasis 1 y únicamente el lateral para el chasis 2.

Comparando las grandes magnitudes de las tensiones de fallo de los ensayos del primer chasis, este puede resultar difícil de solucionar, debiendo ser replanteado o exigentemente reforzado. Un refuerzo en X o doble X en la parte interior del arco central aportaría una gran resistencia a la estructura para soportar ambos ensayos, aunque esto es preferiblemente evitable, ya que sobrecarga los nodos de conexiones entre miembros estructurales, lo que conlleva a una compleja geometría a la hora de cortar los tubos para su soldado, comprometiendo además este mismo al soldar constantemente una misma zona de perfiles con poco espesor.

El chasis 2 tiene una configuración estructural menos compleja además de cumplir con las sollicitaciones requeridas excepto en el ensayo lateral, el cual queda excedido por relativamente poco.

Si además comparamos los pesos de ambos modelos, el chasis 2 presenta una mayor ligereza, por lo que podemos concluir que, una vez se refuerce el chasis 2 con el fin de resistir el ensayo lateral, este conformará la geometría final del proyecto.

Para reforzar el chasis encontramos una configuración que nos permite no rebasar el límite elástico del material sin añadir una cantidad excesiva de peso y elementos, añadimos un tubo de $\varnothing 40\text{mm}$ y 2mm de espesor en el arco central junto con dos tubos de $\varnothing 40\text{mm}$ y 1.5mm de espesor en los laterales del chasis. Para esta configuración realizamos nuevamente el ensayo lateral, solucionándose como vemos en la siguiente imagen, cumpliendo con los criterios de diseño.

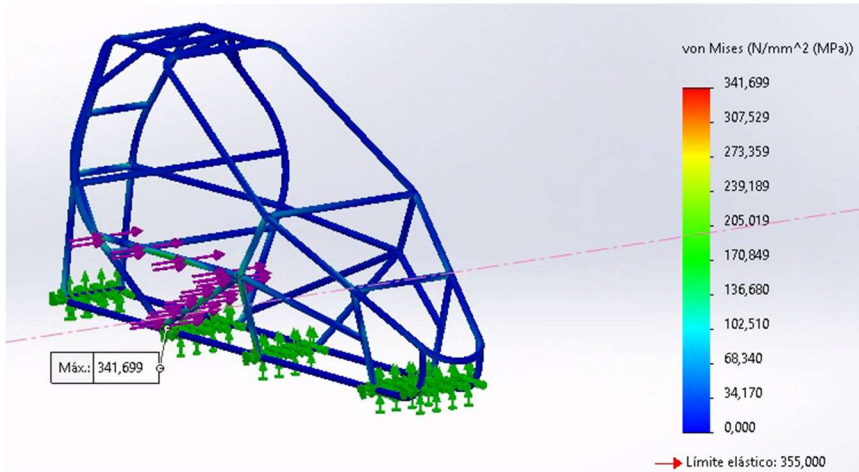


Ilustración 66. Resultados corregidos.

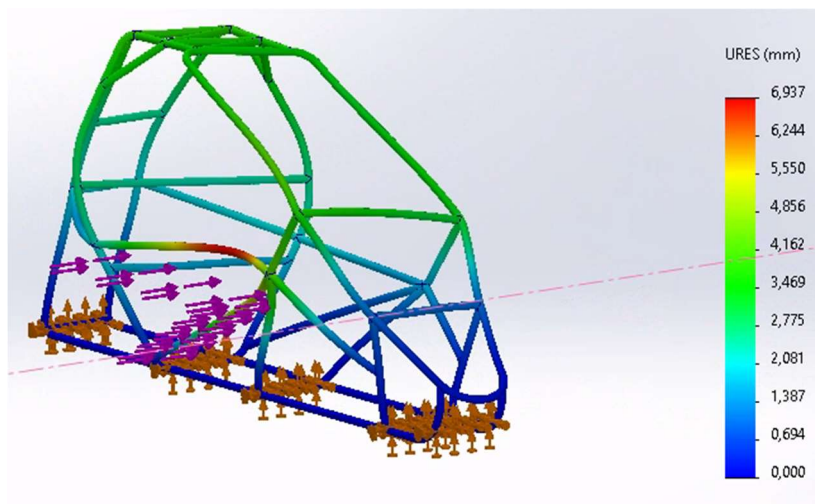


Ilustración 67. Desplazamiento resultante corregido.

Propiedades de masa de Chasis tubular TFG
Configuración: Predeterminado
Sistema de coordenadas: -- predeterminado --
Densidad = 0.007800 gramos por milímetro cúbico
Masa = 47164.534418 gramos
Volumen = 6046735.181765 milímetros cúbicos
Área de superficie = 7397739.681138 milímetros cuadrados
Centro de masa: (milímetros)
X = -228.593581
Y = 374.814303
Z = 0.000398

Ilustración 68. Centro de masas y peso del chasis 2.

3.9 Fabricación

Como parte importante del proyecto tenemos la fabricación del chasis, así pues, en este capítulo abordaremos tanto el método de fabricación del chasis como todo lo relacionado al tratamiento de los tubos para su confección.

El proceso de fabricación de un chasis de esas características es difícilmente automatizable por lo que crearemos una secuencia con un orden establecido para la fabricación de las barras. Estas vienen en tamaños estandarizados por los fabricantes y con cortes rectos en los finales.

3.9.1 Corte

Existen diferentes tipos de corte de tubos que facilitan la soldadura en distintas superficies, creando un cordón adecuado y sin excesos, con el tubo asentado correctamente en la superficie de soldado. Los cortes que usaremos en este proyecto son mayoritariamente los cortes tipo silla de montar, boca de pez y rectos.









Tubo redondo		
Tipo de borde	Imagen	Ensamble
Corte recto o escuadra		
Corte en ángulo		
Corte boca de pescado		
Corte tipo silla de montar de montar		

Ilustración 69. Tipos de corte.

Existen varios métodos de corte para conseguir la geometría que deseamos en nuestros tubos, entre estos se encuentran el corte por plasma, por soplete, por láser y por aserrado. Debido a las condiciones del proyecto, ya que tratamos con tubos de 2 y 1.5 milímetros de espesor que son cortados exclusivamente para ser soldados, el método escogido tras estudiar los anteriores mencionados es el corte por aserrado.

El corte por aserrado es un método comúnmente utilizado para cortar tubos estructurales de acero. Es una técnica sencilla y eficiente que permite obtener cortes precisos en diferentes tipos de tubos. El proceso de corte por aserrado implica el uso de una sierra de cinta o una sierra circular con dientes afilados que realizan cortes lineales en el tubo.

Tras este corte lineal se utiliza un taladro con sierra copa, la cual nos permite crear la geometría en boca de pez o silla de montar para acomodar los miembros estructurales entre sí y permitir un proceso de soldadura seguro y óptimo.



Ilustración 70. Sierra copa para cortes en tubo.

Las características principales por las que se escoge este método frente a los otros se pueden recopilar en los siguientes puntos:

1. **Precisión dimensional:** El corte por aserrado permite obtener cortes rectos y precisos en los tubos, lo que es crucial en aplicaciones donde se requiere alta precisión dimensional. Esto es especialmente importante en la construcción de estructuras donde los tubos deben encajar de manera precisa y segura.
2. **Velocidad y eficiencia:** El corte por aserrado es un proceso rápido y eficiente, lo que permite realizar cortes en una amplia variedad de tubos en un corto período de tiempo. Esto contribuye a aumentar la productividad y acelerar el proceso de fabricación.
3. **Acabado superficial:** El corte por aserrado generalmente produce un acabado superficial limpio y uniforme en los bordes del tubo. Sin embargo, pueden quedar ligeras marcas de aserrado, que generalmente se eliminan mediante un proceso de acabado o esmerilado.
4. **Baja deformación térmica:** A diferencia de algunos métodos de corte térmico, como el corte con soplete o láser, el corte por aserrado genera una baja deformación térmica en el material, además el calor se concentra exclusivamente en la zona de corte sin afectar a los alrededores del miembro estructural. Esto significa que hay menos distorsión y cambios en las propiedades mecánicas del tubo después del corte tanto en el mismo corte como en las zonas colindantes.
5. **Menor generación de virutas:** Aunque se generan virutas durante el proceso de aserrado, su cantidad es generalmente menor en comparación con otros métodos de corte, como el corte con soplete o plasma. Esto facilita la limpieza y el manejo de los residuos.

En la preparación del tubo para el soldeo también debemos tener en cuenta la preparación de las puntas y bordes de la zona de unión.

- A: rectificando los ángulos internos.
- B: rectificando con plantilla.
- C: cizallando.

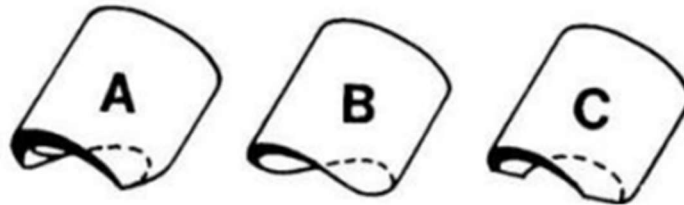


Ilustración 71. Operación de alisado del área de la punta.4

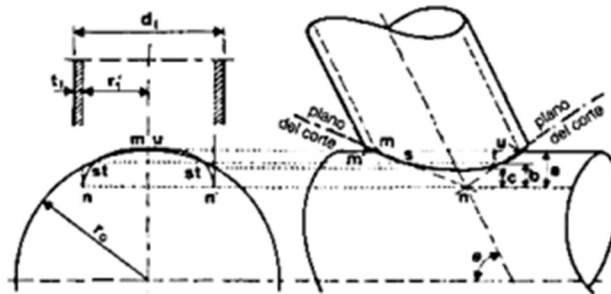


Ilustración 72. Corte plano método A.

2 cortes

$$h = \frac{d_o}{2} - \sqrt{\frac{d_o^2}{4} - r_i^2}$$

$$\alpha_g = \arctg \left(\frac{h \operatorname{sen} \theta}{r_i + h \operatorname{cos} \theta} \right)$$

$$\alpha_d = \arctg \left(\frac{h \operatorname{sen} \theta}{r_i - h \operatorname{cos} \theta} \right)$$

2 cortes y 3 cortes: $\beta_g = 90^\circ - \theta + \alpha_g$ $\beta_d = -90^\circ + \theta + \alpha_d$

3 cortes

$$l = \sqrt{r_i^2 - (r_i - t_i)^2}$$

$$h = \frac{d_o}{2} - \sqrt{\frac{d_o^2}{4} - (r_i - t_i)^2}$$

$$\alpha_g = \arctg \left(\frac{h \operatorname{sen} \theta}{r_i + h \operatorname{cos} \theta - l \operatorname{sen} \theta} \right)$$

$$\alpha_d = \arctg \left(\frac{h \operatorname{sen} \theta}{r_i - h \operatorname{cos} \theta - l \operatorname{sen} \theta} \right)$$

Ilustración 73. Corte plano método b.

3.9.2 Curvado

El conformado de los perfiles puede realizarse en frío o en caliente, siendo esta primera opción más barata y posible en nuestro caso, ya que no requerimos de excesivos ni complejos plegados de material.

Para verificar la viabilidad de curvado de tubos de acero redondos, se considera la relación entre el radio medio de curvatura, el diámetro y el espesor del tubo en cuestión. Estos factores se relacionan entre sí obteniendo un factor K.

- Rm = radio medio de curvatura
- Sp = espesor de la pared del tubo
- \emptyset = diámetro exterior

$$\frac{Rm \times Sp}{\emptyset^2}$$

El grado de dificultad del curvado del tubo es inversamente proporcional a su valor. aumenta cuando el factor K es bajo, mientras que este disminuye cuando es alto.

- $K > 0,30$ – El curvado del tubo es «más fácil» y no es necesario utilizar equipo de soporte específico, producido «ad hoc».
- $0,3 > K > 0,1$ – Proceso de curvado de dificultad normal para el cual es necesario el uso de un solo mandril interno y fijo.
- $0,1 > K > 0,08$ – Para doblar el tubo se requiere un mandril fijo con un dado alisador, un herramienta especial para evitar que el tubo se arrugue.
- Si $0,08 > K > 0,05$ – El doblado del tubo solo es posible utilizando un mandril articulado interno y un dado alisador.
- Si $K < 0,05$ – El tubo no puede ser doblado bajo condiciones normales. En este caso, deben realizarse pruebas para evaluar la posibilidad de reducir el valor K y de fabricar herramientas de doblado especiales.

Para doblar los tubos tenemos una serie de métodos a considerar:

1. Doblar manual.
2. Doblar con máquinas de rodillos.
3. Doblar con mandriles.
4. Doblar con máquinas CNC.
5. Doblar por estirado.
6. Doblar en prensa hidráulica.

Entre estos procesos doblado, dado que nuestro material mantiene una buena propiedad para ser conformado, su espesor está comprendido entre 2 y 1.5mm, los radios de curvatura no son excesivos y no requerimos una compleja configuración de doblado, nuestra elección será el doblado con máquina de rodillos. Esta resulta rápida, barata, precisa con alta productividad y se puede utilizar en frío.

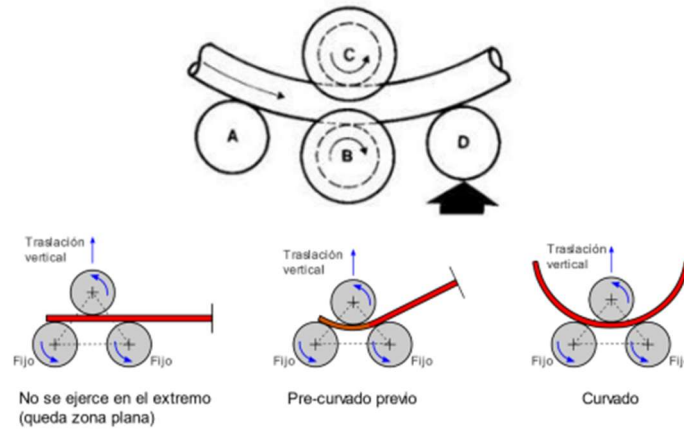


Ilustración 74. Máquina de rodillos.

El proceso de curvado de rodillos generalmente se lleva a cabo en tres rodillos: dos laterales y uno superior. El tubo se coloca entre los rodillos y se hace pasar mediante rotación. Los rodillos laterales, también conocidos como rodillos de tracción, aplican la fuerza necesaria para curvar el tubo, mientras que el rodillo superior ayuda a mantener la curvatura deseada y a controlar el proceso.

3.9.3 Soldeo

El soldeo, tal como se recomienda en el apartado 12.4.4 de [1], será por el método de arco con gas protector (MAG).

Este presenta además una gran cantidad de ventajas junto con el acero escogido para el proyecto:

Alta productividad: El soldeo MAG es un proceso de alta velocidad que permite una soldadura rápida y eficiente, lo que puede ser beneficioso cuando se trabaja en proyectos con plazos ajustados o grandes volúmenes de producción.

Penetración profunda: El soldeo MAG es capaz de proporcionar una penetración más profunda en comparación con algunos otros métodos de soldadura, lo que puede ser especialmente importante para tubos de espesor más fino.



Ilustración 75. Máquina de soldeo.

Menor distorsión: Al utilizar el soldeo MAG, es posible reducir la distorsión y deformación en las piezas soldadas, lo que garantiza una mayor precisión dimensional y estabilidad estructural.

No se requiere material de aporte: En el soldeo MAG, el electrodo es el alambre de soldadura, lo que significa que no se necesita material de aporte adicional. Esto puede simplificar el proceso y reducir los costos asociados.

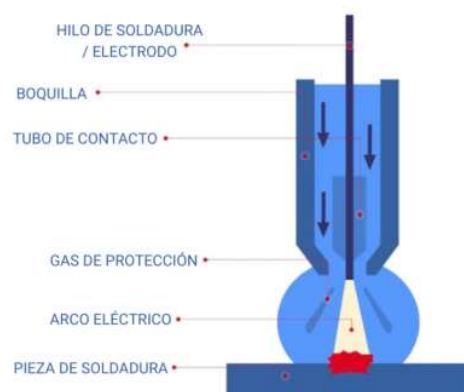


Ilustración 76. Esquema MAG.

Versatilidad: El soldeo MAG se puede utilizar para soldar diversos materiales, incluido el acero ST52/E355. Esto proporciona flexibilidad en aplicaciones industriales y de fabricación.

Automatización: El soldeo MAG se presta bien a la automatización y puede integrarse en máquinas de soldadura automatizadas, lo que aumenta la eficiencia y la repetibilidad del proceso.

Sin embargo, es importante tener en cuenta que también existen otros métodos de soldadura que podrían ser adecuados para tubos de acero ST52 de entre 2 y 1.5 mm de espesor. Por ejemplo, el soldeo TIG (Tungsten Inert Gas) es conocido por su alta calidad y precisión, lo que puede ser crucial en aplicaciones que requieren soldaduras de alta calidad y sin salpicaduras. Además, el soldeo por láser o el soldeo por electrodo revestido (SMAW) también podrían ser considerados en función de las necesidades específicas del proyecto.

Para facilitar el proceso de soldadura se usa una mesa con un soporte llamado potro a medida en el que se colocaran los tubos sin soldar o punteados con la configuración que aparece en los planos y se amarraran a los demás componentes de forma que ensamblen la geometría final del chasis.



Ilustración 77. Potro de soldeo.

3.10 Descripción presupuestaria

Por último, estudiamos el presupuesto que supone el proyecto realizado midiendo tanto los aspectos necesarios para fabricar el chasis como el diseño y estudio alrededor de él.

En lo referente al Software hemos usado los programas SolidWorks y Microsoft Office, los cuales tienen un precio de 2750 y 150€ respectivamente. El Hardware utilizado para manejar estos programas, un ordenador portátil ASUS, cuenta con un precio de 1450€.

Con respecto a los costes de ingeniería contamos con 192 horas de proyecto a un precio de 9,50€/h, lo cual suma un precio de 1824€, a este le sumamos los costes de homologación de la FIA, con un precio de 120€.

Los costes de fabricación se dividen en cuatro partes;

1. Costes de los perfiles tubulares.
2. Costes del proceso de doblado
3. Costes del proceso de corte
4. Costes de Soldadura.

Abarcando el primer punto, tenemos en nuestro proyecto dos tipos de perfil de un mismo material, el perfil A, Diámetro 40mm y 2mm de espesor cuenta con un precio de 16.20 €/m, mientras que el perfil B, Diámetro 40 y 1.5 mm de espesor cuenta con un precio de 12.15€/m.

Para determinar la longitud total de los miembros estructurales necesaria, usaremos la siguiente formula:

$$L_t = P_t / P_m$$

Donde P_t es el peso total del perfil, el cual lo facilita el apartado de propiedades físicas del programa Solidworks, y P_m , el peso por metro de tubo estructural, el cual es calculable con la siguiente formula:

$$P_m = \rho * S$$

Donde ρ es la densidad del material y S es la sección del tubo.

Para el perfil A, el cual será usado para fabricar los miembros estructurales de la figura 38, tenemos un P_t de 16.25 Kg y un P_m de 1.86 kg/m.

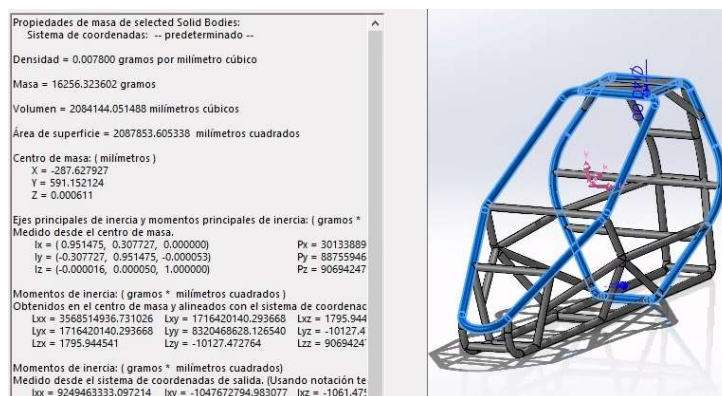


Ilustración 78. Propiedades físicas del perfil A.

Para el perfil B, el cual será usado para todos los miembros restantes, tenemos un Pt de 30.91 y un Pm de 1.41 kg/m.

Lo que nos deja unas longitudes de 8.72 metros de perfil A y de 22 metros de perfil B.

Un coste de 137.79€ para el perfil A y 269.12€ de perfil B.

El coste de ambos perfiles suma un total de 406.91€.

Para el segundo punto, tenemos que considerar los costes del operario, el tiempo de operación y el número de estas. El coste medio de un operario para el doblado de tubos es de 8.24€/h.

Al seleccionar como método de doblado el uso de la dobladora de rodillos, nos permite realizar operaciones rápidamente con facilidad para cambiar el radio de doblado, el tiempo medio del proceso de doblado se establece en 4 minutos por pliegue, operando a 4kW. Sabiendo además que el número de procesos de debemos efectuar es de 21, y estimando un coste de 0.12kW/h nos deja un valor de 12.27€

Para el tercer punto usamos la misma metodología que en el punto anterior, estableciendo un coste de 8.24€/h para el operario de corte. En este punto tenemos dos tipos de corte, los cortes rectos marcando la longitud del elemento estructural y el corte en boca de pez o silla de montar, para los cuales se les asigna un tiempo de proceso medio de 3 y 6 respectivamente por unidad de corte.

El número de cortes de debemos realizar para el proyecto son 32 rectos y 64 en boca de pez o silla de montar, por lo que se deben destinar 1.6 y 6.4 horas respectivamente. Estimamos que la sierra de corte recto opera de media a 1.6kW y el taladro de cortes en boca de pez o silla de montar a 1.15kW, estimando el coste de 0.12 kW/h, conlleva un precio final de proceso de 51.63€. Para este apartado debemos contar con el precio de las sierras circulares y de copa, con un precio estimado de 24.49 y 12 euros respectivamente.

Para cerrar los costes de fabricación tenemos la soldadura, este cuarto punto es más complicado de estimar, ya que debemos de tener en cuenta una gran cantidad de factores como eficiencias de deposición, el área de refuerzo, el consumo de gas, desgaste del electrodo, perdidas en ajuste de flujo y rectificaciones. Por lo tanto, estimaremos unos costes de soldadura, preguntando a empresas locales como Industrias David, KSD y MetalSax, de 60€/h.

Para el tiempo de soldadura de los tubos se establece una media de 16 minutos por unión entre miembro estructural. Sabiendo que tenemos 64 puntos de unión, debemos invertir unas 17 horas en soldadura por chasis, con un coste total de 1020€.

El coste final del proyecto se estima en el apartado de Presupuesto.

4. Conclusiones

La realización del proyecto realizado a sido posible gracias en gran medida al apartado de ingeniería inversa, pudiendo estudiar casos reales e identificar sus partes, ventajas e inconvenientes. Cabe mencionar que, dado que el mundo del automóvil es altamente competitivo es difícil encontrar datos, por muy superficiales que sean, del diseño de las grandes empresas o de las novedades más prometedoras.

Con el fin de que el proyecto sea homologable, ha sido necesario un estudio de la normativa vigente de la RFEDA, y adaptar el modelo mediante el estudio de los ensayos realizados en la plataforma SolidWorks. Con esto conseguimos acotar el modelo a las especificaciones técnicas exigidas en cuanto a longitud, altura y anchura, además de utilizar perfiles estructurales y acero según la normativa.

El uso del programa SolidWorks nos permite realizar los ensayos normativos antes mencionados sin la necesidad de fabricar uno o varios prototipos del chasis hasta conseguir un diseño final, la cual abarata enormemente el diseño del proyecto.

También hemos comprobado la viabilidad de fabricación del proyecto y realizado su presupuesto los cuales eran objetivos específicos del proyecto. Cabe destacar que la herramienta SolidWorks nos permite realizar planos del modelo, los cuales permite realizar la fabricación del proyecto de forma precisa.

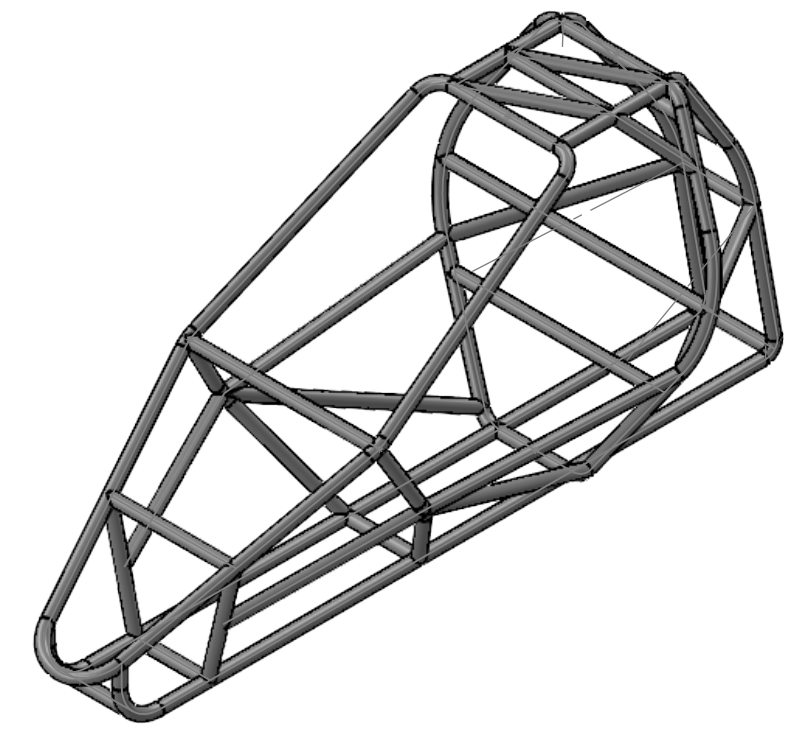
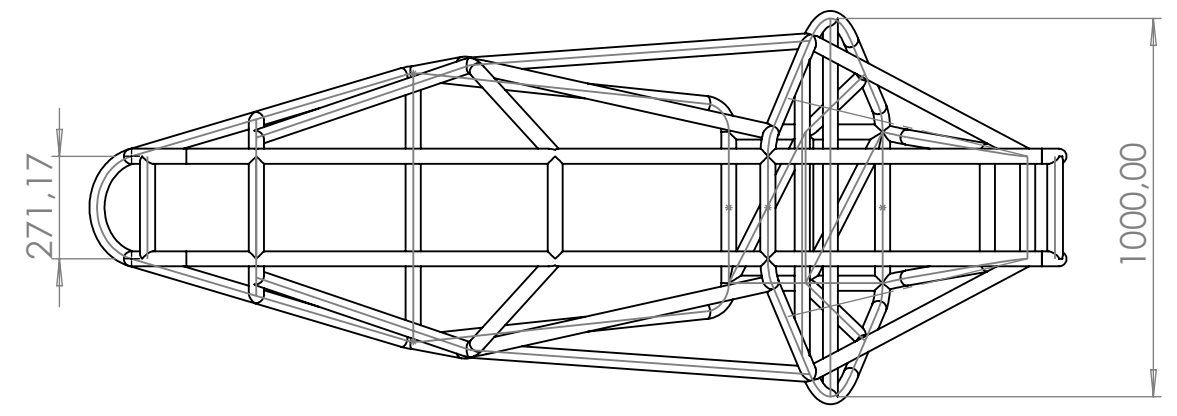
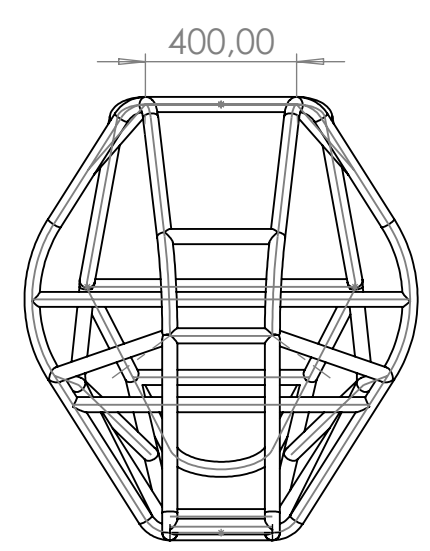
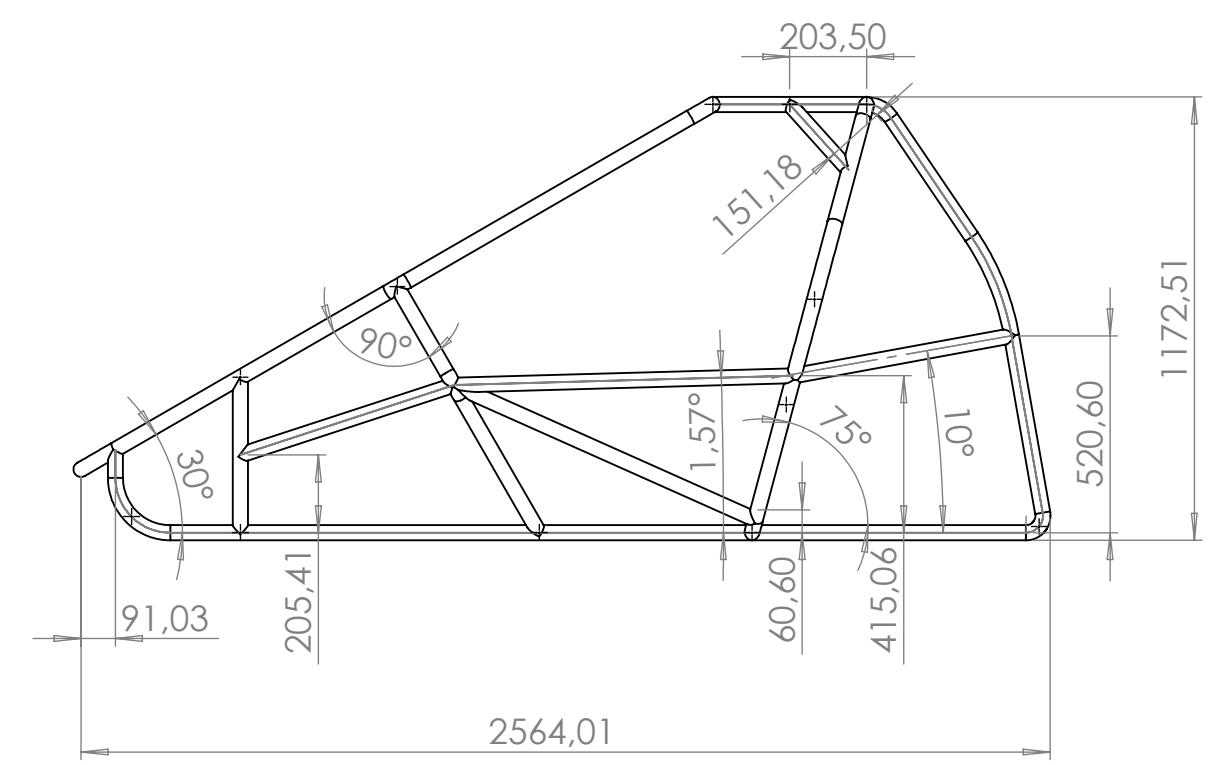
Este proyecto prepara una base para futuros trabajos los cuales podrían basarse en la instalación de elementos mecánicos en este chasis o el diseño su carrocería.


5. Bibliografía.

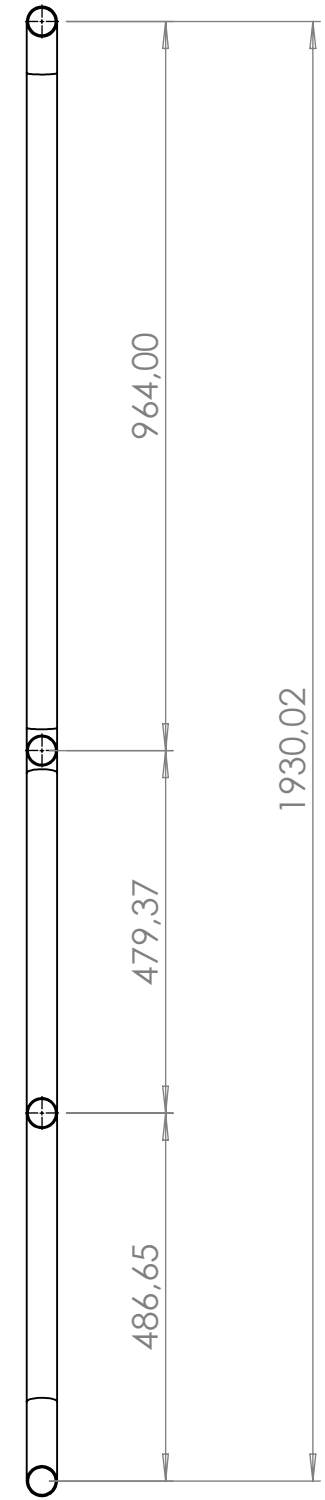
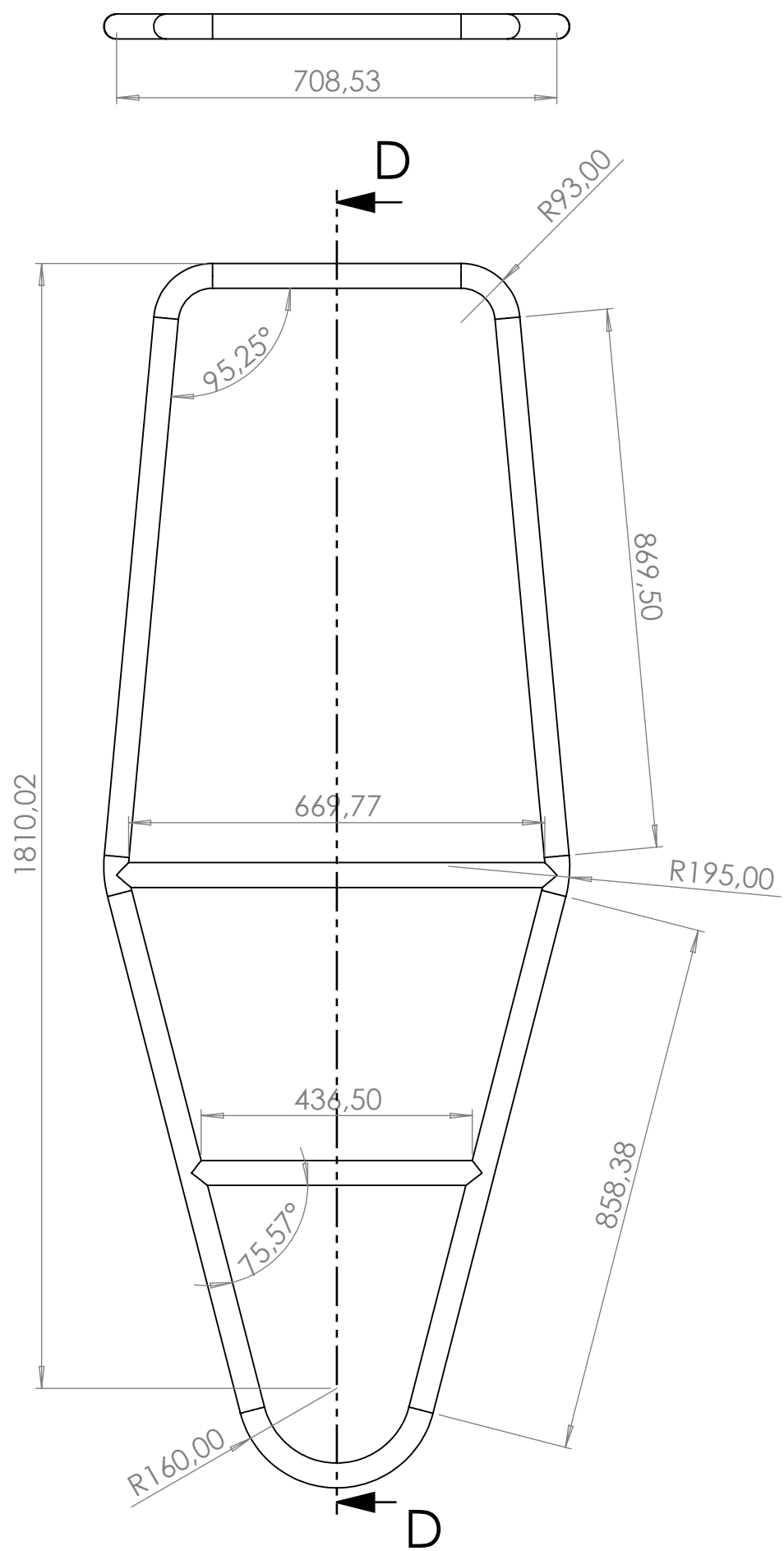
- [1] Real Federación Española de Automovilismo. Reglamento Técnico de vehículos Car Cross. Anexo J – Artículo 279B
https://www.fia.com/sites/default/files/279b_2023_wmsc_2023.06.20_khg.pdf
- [2] Real Federación Española de Automovilismo. Reglamento de Homologación de Estructuras de Seguridad ante la RFEDA
<https://docplayer.es/62508700-Reglamento-de-homologacion-de-estructuras-de-seguridad-ante-la-r-f-e-de-a.html>
- [3] FIA EUROPEAN AUTOCROSS CHAMPIONSHIP,
<https://www.fia.com/es/regulation/category/102>.
- [4] Speedcar cómo se hace un car cross / Speedcar How to make a cross kart.
www.youtube.com, https://www.youtube.com/watch?v=a84W_235lxY.
- [5] Salinas, Raul. «Así nació el buggy original: una historia fascinante». Auto Bild España, 3 de mayo de 2015, <https://www.autobild.es/reportajes/asi-nacio-buggy-original-una-historia-fascinante-252629>.
- [6] Sparco. <https://www.sparco-official.com/es/>
- [7] «Normas Aws Soldadura | Construcción». Scribd,
<https://es.scribd.com/presentation/381214499/4-Normas-Aws>.
- [8] Catálogo de sierras para metal 2023.
<https://www.leroymerlin.es/>
- [9] «Kartcross». Autocross Yacarcross,
<https://yacarcross.es/vehiculos/kartcross/>.
- [10] Car cross | Demoncar.
<https://www.demoncar.es/car-cross/>
- [11] Gómez, Elizabeth. «Precios de Licencias COMPRA SOLIDWORKS». ORIGEN,
<https://origencadcam.es/precios-de-licencias-compra-solidworks/>
- [12] ¿Qué es una dobladora de tubos? Definición y funcionamiento | Production Tools.
<https://productiontools.es/herramientas-industriales/dobladora-de-tubos-definicion/>

Anexos

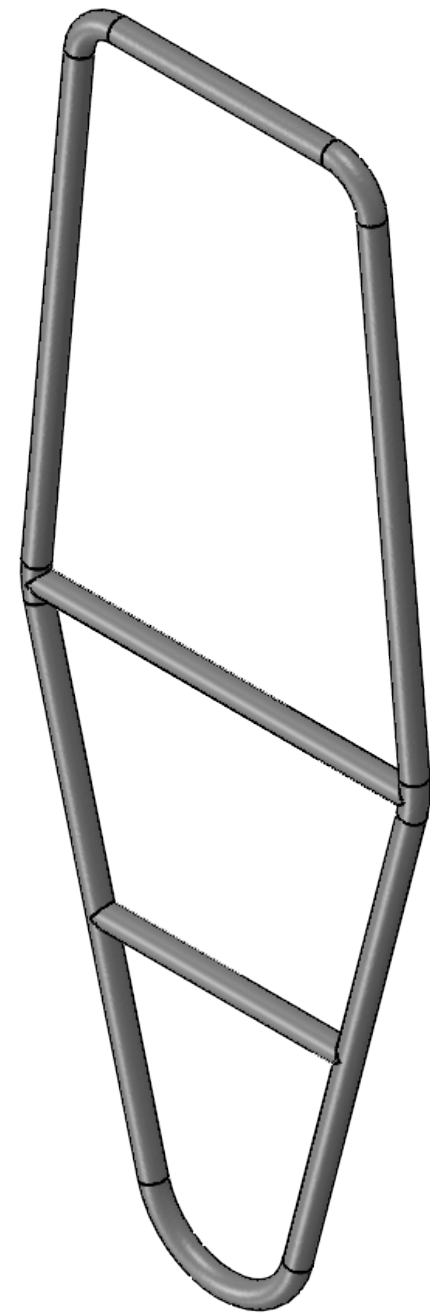
Planos




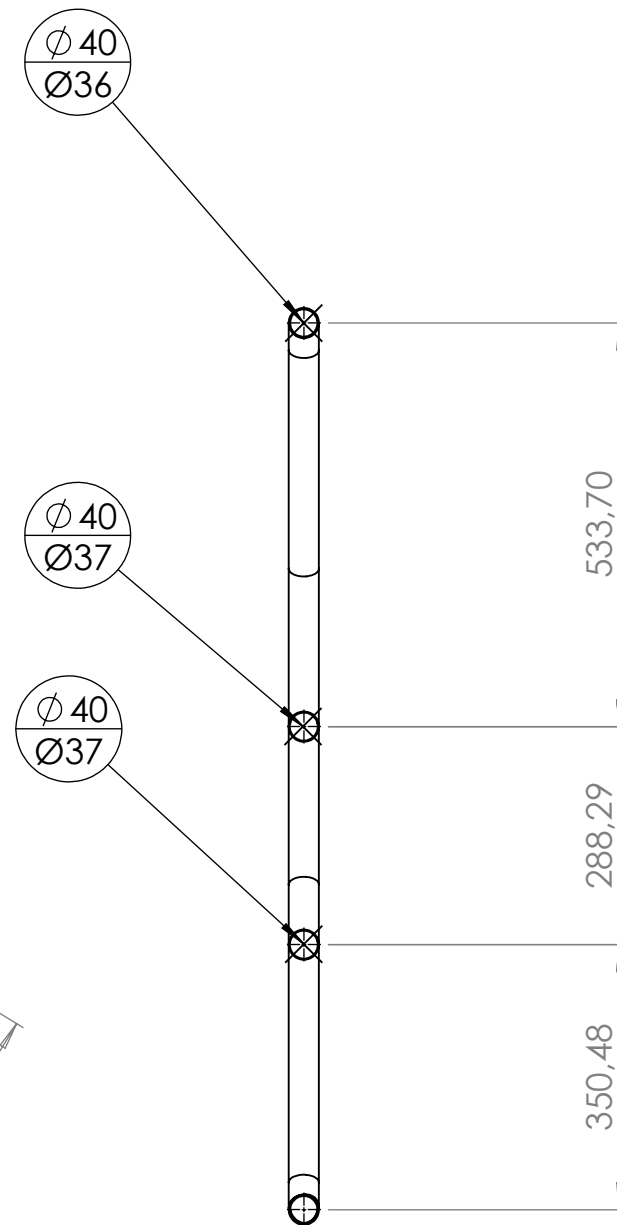
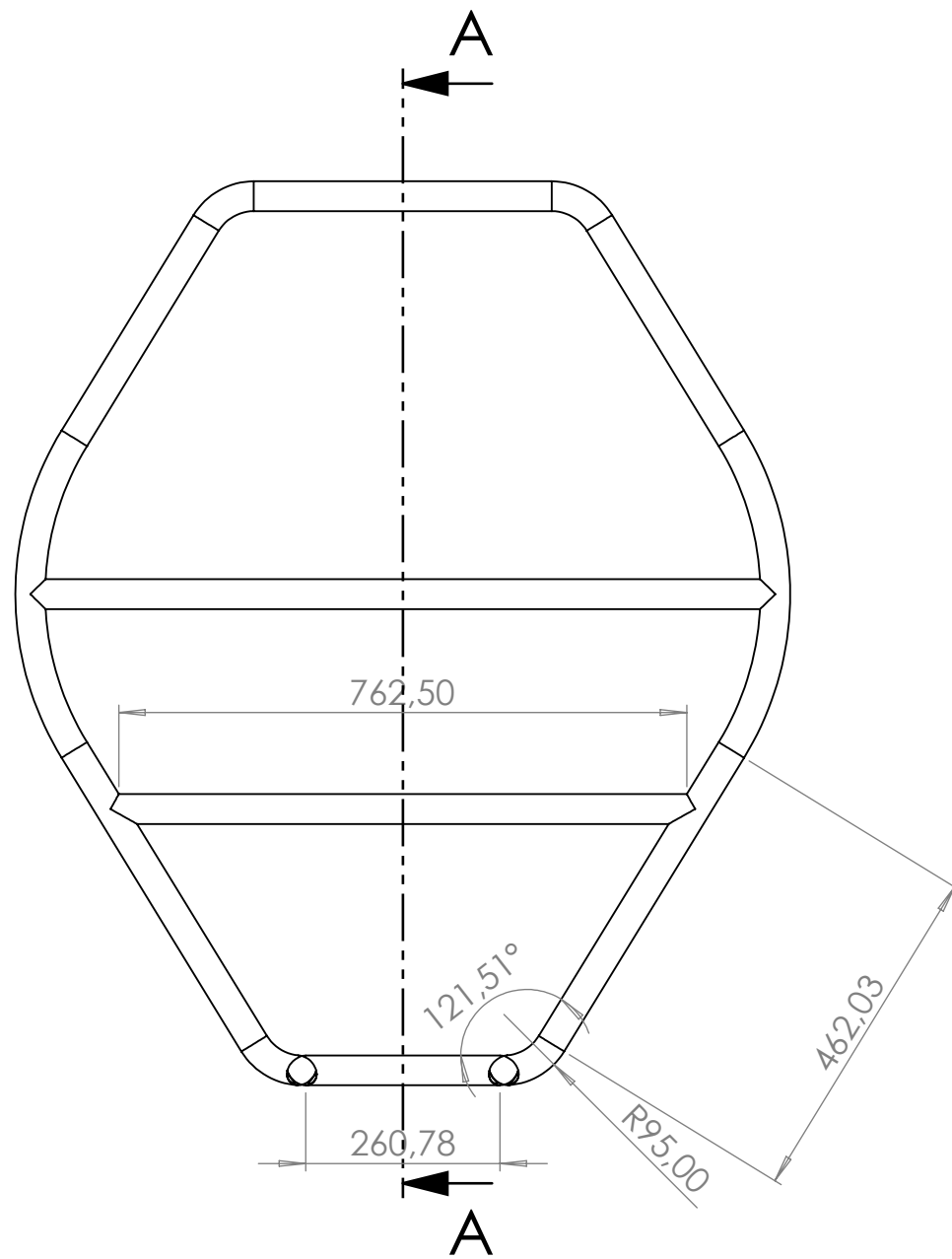
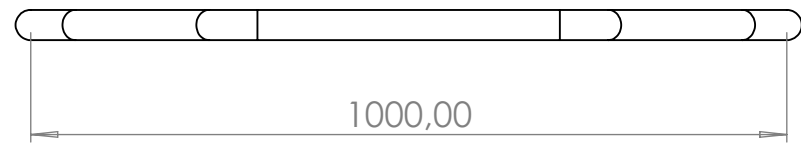
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Diseño de un chasis para un vehículo Carcross	
		TÍTULO:	
		Chasis	
DIBUJ.	Fco Garcia	FECHA	05/06/2023
APROB.	David Garcia	FECHA	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	FECHA	05/06/2023
MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
ST52/E355		1	
		A3	
		ESCALA: 1:20	
		HOJA 1 DE 1	



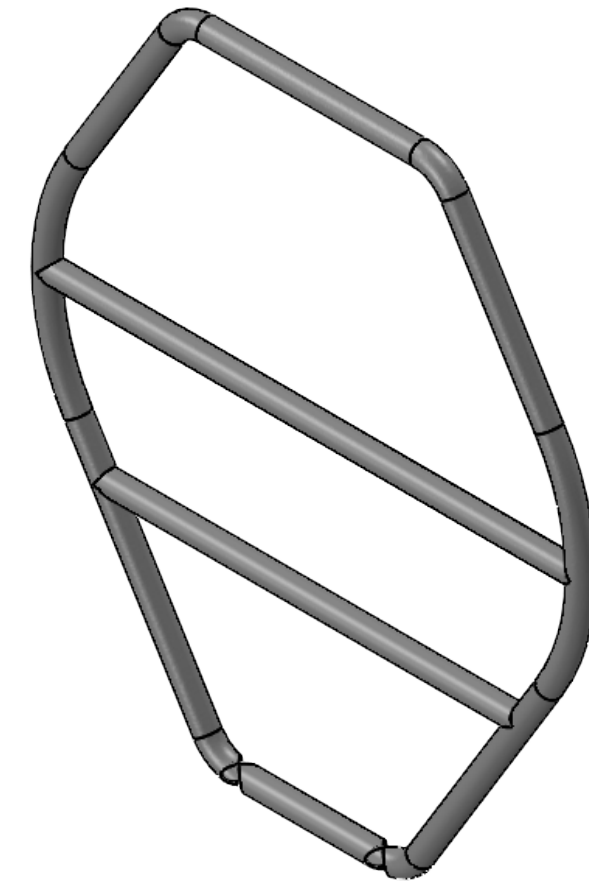
SECCIÓN D-D




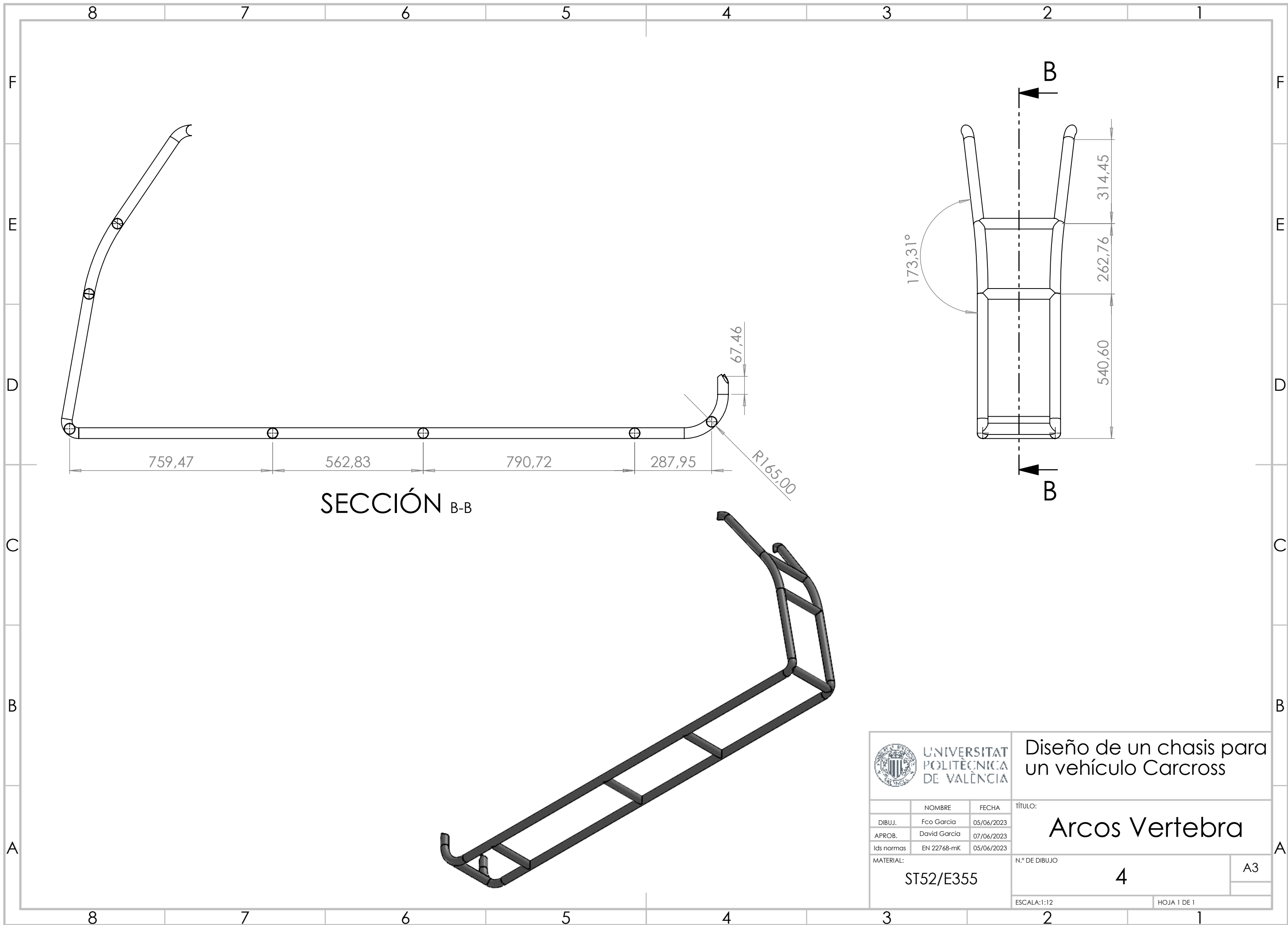
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Diseño de un chasis para un vehículo Carcross	
DIBUJ. Fco Garcia 05/06/2023 APROB. David Garcia 07/06/2023 Ids normas EN 22768-mK 05/06/2023		TÍTULO: Arco delantero	
MATERIAL: ST52/E355		N.º DE DIBUJO 2	A3
ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	



SECCIÓN A-A



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		Diseño de un chasis para un vehículo Carcross	
DIBUJ. Fco Garcia 05/06/2023 APROB. David Garcia 07/06/2023 Ids normas EN 22768-mK 05/06/2023		TÍTULO: <h2 style="text-align: center;">Arco central</h2>	
MATERIAL: ST52/E355		N.º DE DIBUJO <h1 style="text-align: center;">3</h1>	A3
ESCALA: 1:10		HOJA 1 DE 1	



SECCIÓN B-B



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un chasis para
un vehículo Carcross

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

TÍTULO:
Arcos Vertebra

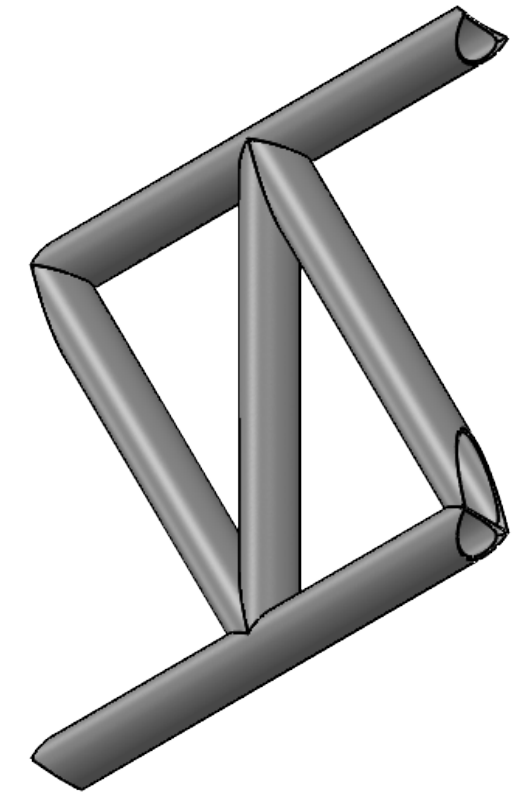
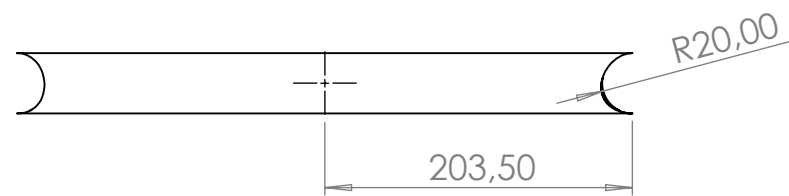
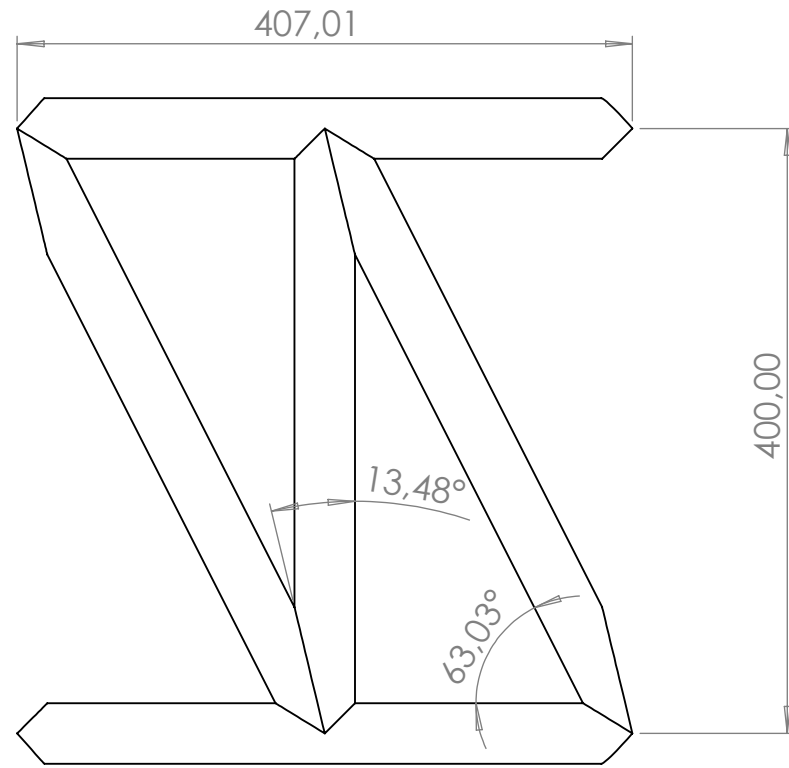
MATERIAL:
ST52/E355


N.º DE DIBUJO
4

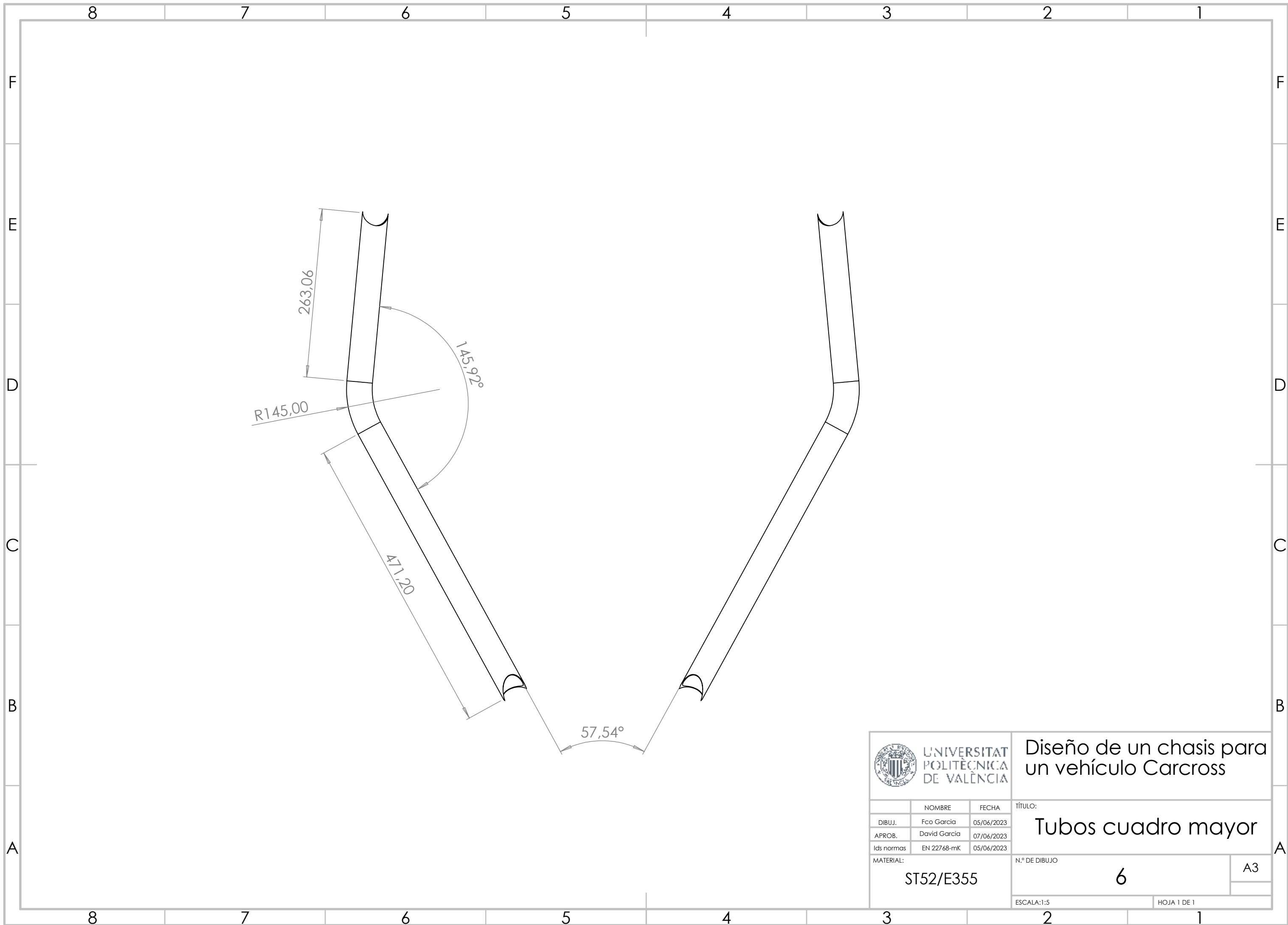
A3

ESCALA:1:12

HOJA 1 DE 1



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA			Diseño de un chasis para un vehículo Carcross	
			TÍTULO:	
			Jaula superior	
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023		
APROB.	David Garcia	07/06/2023		
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023		
MATERIAL:			N.º DE DIBUJO	A3
ST52/E355			5	
			ESCALA:1:5	HOJA 1 DE 1



Diseño de un chasis para un vehículo Carcross

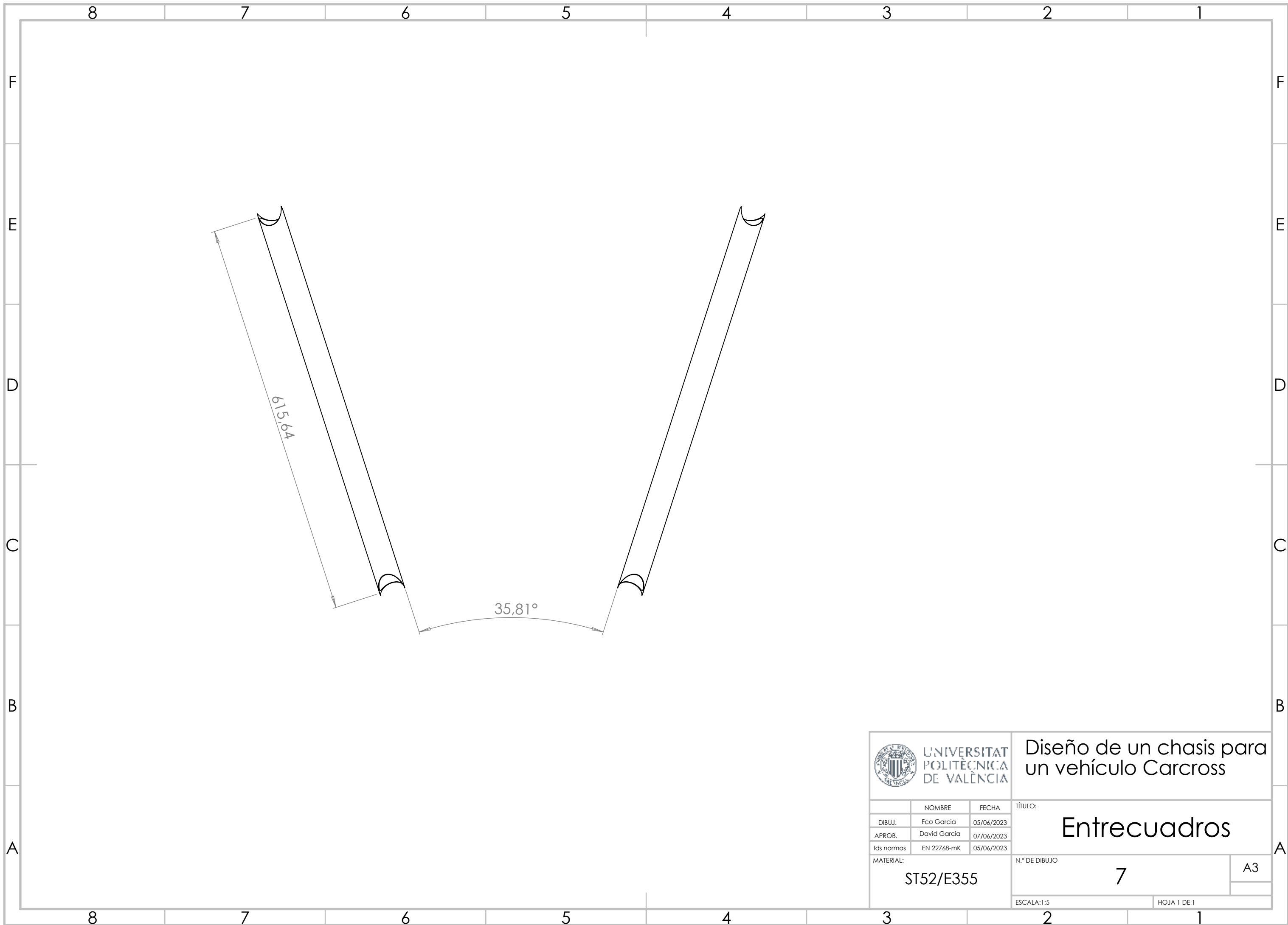
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

TÍTULO:
Tubos cuadro mayor

MATERIAL:
ST52/E355

N.º DE DIBUJO: 6
A3

ESCALA:1:5 HOJA 1 DE 1



Diseño de un chasis para un vehículo Carcross

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

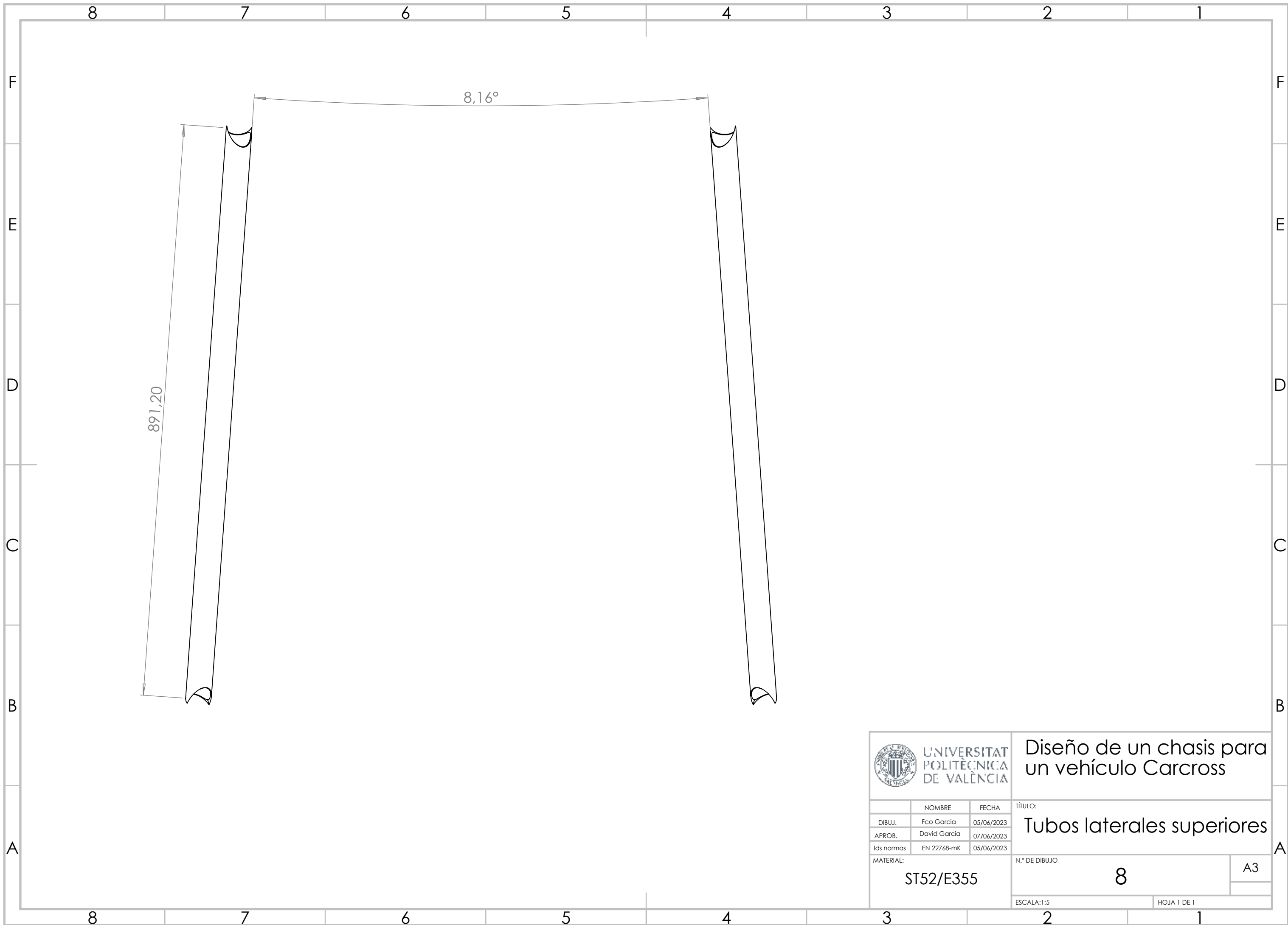
TÍTULO:
Entrecuadros

MATERIAL:
ST52/E355

N.º DE DIBUJO
7

A3

ESCALA:1:5
HOJA 1 DE 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un chasis para
un vehículo Carcross

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

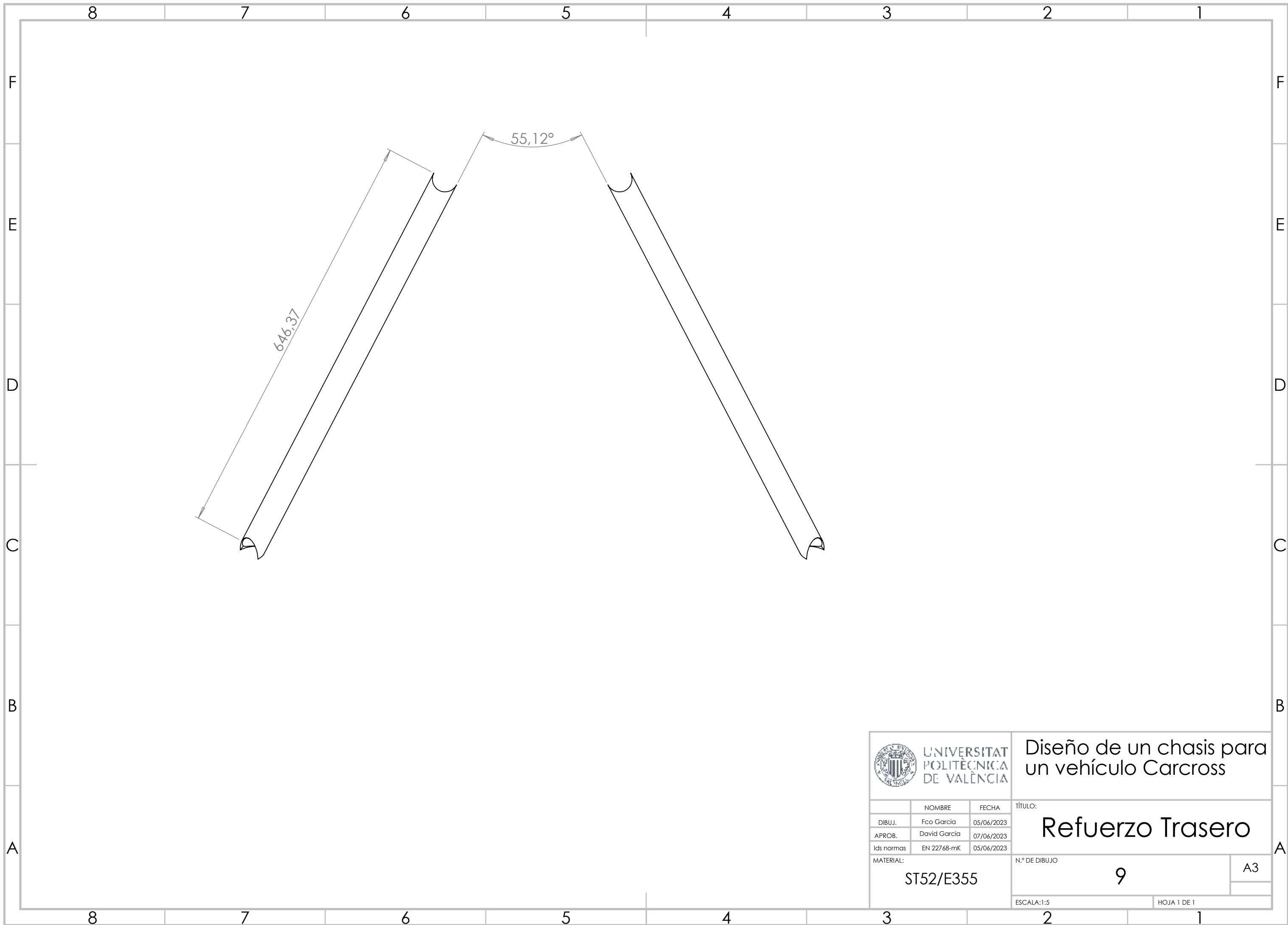
TÍTULO:
Tubos laterales superiores

MATERIAL:
ST52/E355

N.º DE DIBUJO
8

A3

ESCALA:1:5 HOJA 1 DE 1



Diseño de un chasis para un vehículo Carcross

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

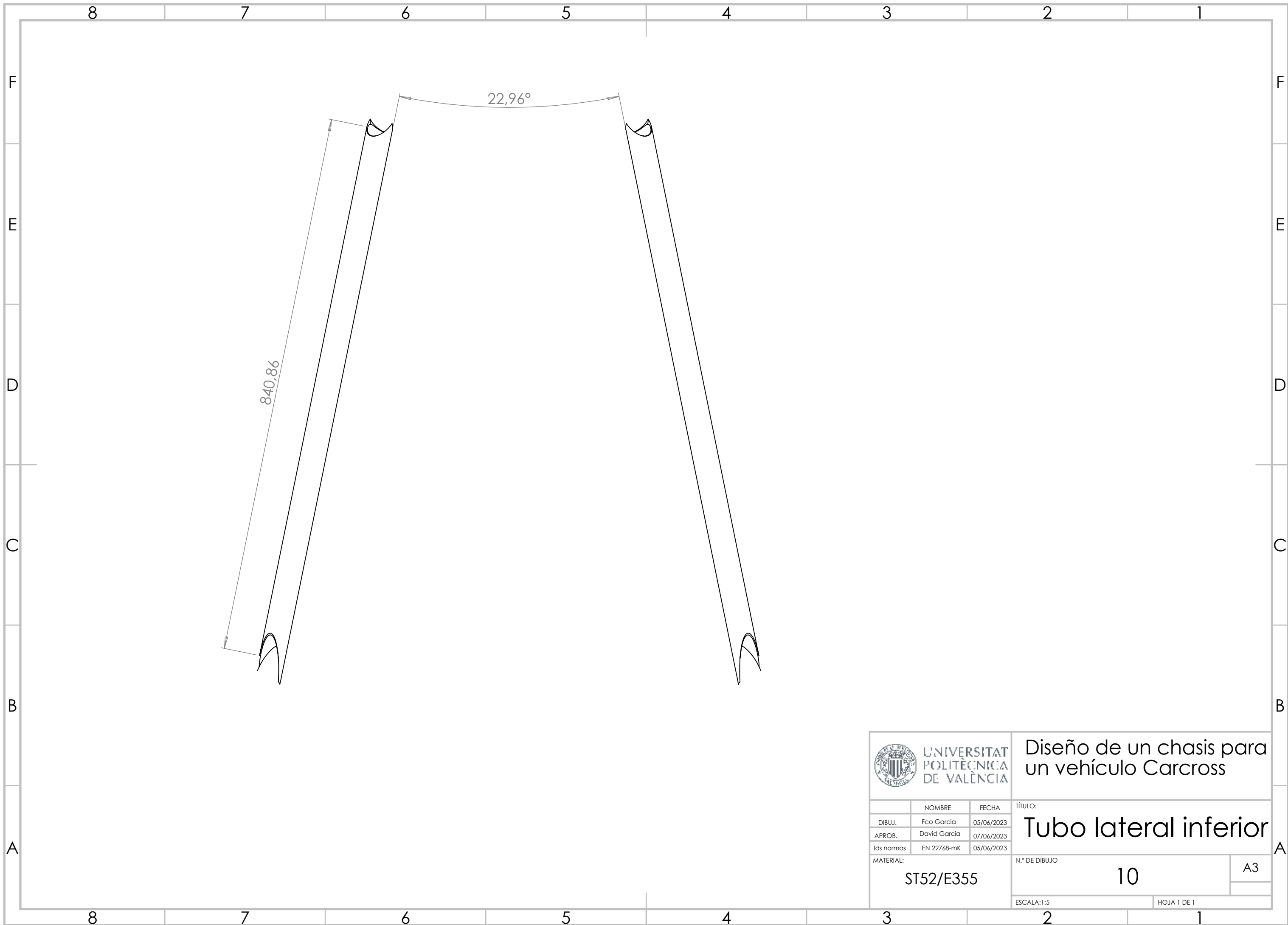
TÍTULO:
Refuerzo Trasero

MATERIAL:
ST52/E355

N.º DE DIBUJO
9

A3

ESCALA:1:5
HOJA 1 DE 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un chasis para
un vehículo Carcross

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

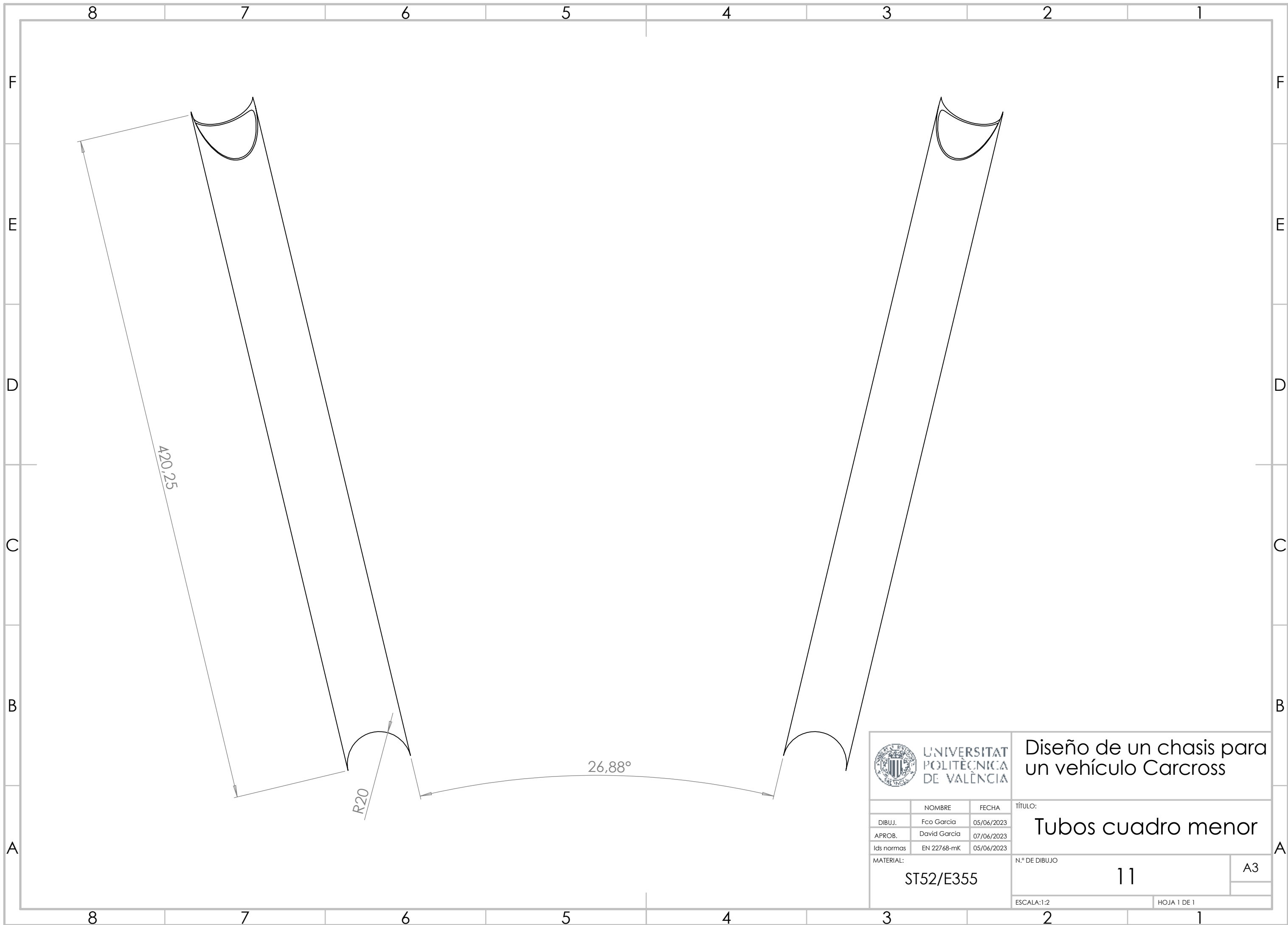
TÍTULO:
Tubo lateral inferior

MATERIAL:
ST52/E355

N.º DE DIBUJO
10

A3

ESCALA:1:5 HOJA 1 DE 1



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Diseño de un chasis para
un vehículo Carcross

	NOMBRE	FECHA
DIBUJ.	Fco Garcia	05/06/2023
APROB.	David Garcia	07/06/2023
Ids normas	EN 22768-mK	05/06/2023

TÍTULO:
Tubos cuadro menor

MATERIAL:
ST52/E355

N.º DE DIBUJO
11

A3

ESCALA:1:2 HOJA 1 DE 1

PLIEGO DE CONDICIONES

1. Introducción

Un pliego de condiciones, también conocido como especificaciones técnicas o términos de referencia, es un documento formal que detalla los requisitos, características, estándares y especificaciones que deben cumplir un producto, servicio o proyecto. Es una parte esencial en la gestión de contratos, licitaciones y proyectos, ya que establece las expectativas y los criterios que deben seguirse para satisfacer las necesidades del cliente o las partes involucradas.

Estos documentos son utilizados en una variedad de contextos, como la construcción, la ingeniería, la adquisición de bienes y servicios, y la elaboración de proyecto.

El presente Pliego de condiciones esta aplicado a la fabricación del chasis tubular diseñado en el proyecto.

1.1 Condiciones generales

La fabricación de los elementos estructurales debe realizarla personal cualificado en el uso de las herramientas pertinentes requeridas en cada operación. Queda pues bajo responsabilidad de los oficiales de primera y sus operarios el conocimiento de los diferentes utilizados en este proyecto:

- Corte de perfiles tubulares con sierra de cinta o sierra circular.
- Corte de perfiles tubulares con sierra de copa, adaptación para soldeo.
- Doblado de perfiles tubulares mediante dobladora de rodillos.
- Soldadura

1.2 Condiciones técnicas

1.2.1 Requerimiento mínimo de herramientas

- Corte de perfiles tubulares
 - Sierra para metales
 - Hoja de sierra para tubos de bajo espesor (Hojas bimetálicas de diente fino preferiblemente)
 - Sierra de copa
 - Taladro
 - Soporte gradual para tubos y taladro
 - EPI adecuado a las condiciones de trabajo.
 - Mesa de trabajo
 - Metro
 - Pie de rey
 - Abrazaderas
 - Sargentos
 - Lima para metales
 - Marcador fino
 - Sistema informático con software de lectura de ficheros .PDF

- Doblado de perfiles tubulares
 - Dobladora de rodillos
 - Marcador fino
 - Sistema informático con software de lectura de ficheros .PDF

- Soldadura
 - Equipo de soldadura MAG
 - Potro de fijación
 - Sargentos
 - Abrazaderas
 - Marcador fino
 - Cepillo metálico
 - Cortadora radial
 - Disco de desbaste
 - Lijas para oxido
 - Consumibles de soldadura
 - EPI adecuado a las condiciones de trabajo
 - Sistema informático con software de lectura de ficheros .PDF
 - Fuente de alimentación eléctrica

1.2.2 Materiales

Los materiales del proyecto quedan acotados en este apartado

Material de fabricación

Los elementos estructurales estarán compuestos de acero ST52/E355 +C, acero de bajo carbono conformado en frío sin costura. En caso de no poder obtener este acero podrá utilizarse otro con mismas o mejores propiedades mecánicas, en ningún caso superando el 0.3% de carbono en su composición.

Perfil de los elementos estructurales

Los perfiles que deben suministrarse según la normativa EN 10305-1:2016 y EN 1993-1-3:2012, para perfiles tubulares sin costuras estirados en frío.

Los elementos se fabricarán usando perfiles de 40mm de diámetro exterior con espesores de 1.5 mm y 2 mm. En caso de no poder obtener estos perfiles es posible sustituirlos por elementos de mayor espesor, sin variar el diámetro exterior en ningún caso.

1.2.3 Gestión de documentos.

El programa SolidWorks permite la creación de planos 2D de fabricación y montaje del proyecto, los cuales serán facilitados a los operarios de los procesos de fabricación en archivos .PDF. Si es menester, este PDF será impreso para facilitar la identificación de las piezas y no poner en riesgo los sistemas informáticos de lectura de los archivos PDF.

En el mismo formato, PDF, se compartirán tablas EXCEL con la relación de cantidad de elementos estructurales a fabricar.

1.2.4 Especificaciones de ejecución

La fabricación del chasis deberá seguir los procedimientos expuestos en este apartado.

Corte

En primer lugar, se acotará el elemento estructural con un corte recto con sierra circular o de cinta a las dimensiones pertinentes. Tras esto, el tubo se corta en ángulo con sierra de copa. Por último, se elimina la rebaba con un limado.

Doblado

Los elementos ya cortados se introducen en la dobladora de rodillos. Tras su curvado se procede a un control de medidas, en caso de resultar defectuoso se estudia la posibilidad de corregir el tubo si es posible.

Soldadura

Se lijará la zona sobre la que van a ser soldados los perfiles, eliminando impurezas y dejando a la vista el metal. Los tubos se acomodarán sobre el potro formando la geometría final del chasis, comprobando que todos los elementos quedan en correcta disposición tras la colocación de abrazaderas y sargentos. Una vez confirmada la correcta colocación se puntean las uniones de los tubos y se procederá después a realizar los cordones completos.

Se utilizará la técnica de soldeo MAG, con un material de aporte de mayores propiedades mecánicas que el acero empleado en los elementos del chasis.

1.3 Prevención de riesgos y seguridad.

De acuerdo con la Ley 31/1995, se realizará una identificación exhaustiva de los riesgos laborales asociados a las tareas y actividades involucradas en el proyecto. Esto incluirá la evaluación de riesgos, la elaboración de un plan de prevención y la implementación de medidas preventivas adecuadas.

De acuerdo con el Real Decreto 1215/1997, se garantizará que todos los trabajadores involucrados en el proyecto reciban la formación y la capacitación necesarias en materia de prevención de riesgos laborales. Se llevarán a cabo cursos, se proporcionará información y se promoverá la concienciación sobre los riesgos y las medidas de seguridad.

Se cumplirán las disposiciones legales relacionadas con la utilización de EPI, asegurando que los trabajadores tengan acceso a equipos adecuados y que los utilicen de acuerdo con las normativas

Se asignarán responsabilidades específicas a las partes involucradas en el proyecto para garantizar el cumplimiento de las normativas de prevención de riesgos laborales.

Presupuesto

Este documento proporciona una visión completa y detallada de los recursos financieros necesarios para la realización del proyecto, con el propósito de estimar y gestionar los costos asociados con la concepción, desarrollo y construcción del chasis tubular.

Este presupuesto incluye un desglose detallado de los costos asociados con los materiales, la mano de obra, el equipo, los procesos de fabricación y otros gastos relacionados con el diseño del chasis.

1. Metodología

En este apartado se describirán las estimaciones realizadas sobre cada coste asociado al proyecto

Los costes se recogerán en dos grupos, costes de fabricación y costes de ingeniería.

1.1 Costes de fabricación

1.1.1 Perfiles Tubulares

Para calcular el coste de los perfiles tubulares se ha utilizado el peso teórico de los perfiles por separado del programa SolidWorks y se ha dividido este por el peso por metro correspondiente.

1.1.2 Corte

Para el corte estimamos el coste de operario en 8.24€/h, al que se le sumará el coste de consumo eléctrico de la sierra circular, operando a una medida de 1.6 kW y del taladro, operando a una media de 1.15 kW. Se asume que la herramienta ya está en posesión de los operarios y se desprecia el desgaste de esta. Se asumirá el coste completo de las hojas, circular y de tapa.

1.1.3 Plegado

Para el plegado del tubo se estimamos el coste de operario en 8.24€/h, al que se le sumará el coste de consumo eléctrico de la maquina dobladora, operando a una media de 4 kW. Se asume que la maquina ya está en posesión de los operarios, se desprecia el desgaste de la maquina y los rodillos.

1.1.4 Soldadura

Para la soldadura estimamos el coste de operario de 13€/hora, al que se le sumará el coste del consumo eléctrico del equipo, operando a una media de 20 kW. Además, se añaden los gastos de consumibles de soldadura, los cuales se estiman en 45€/h.

1.2 Costes de ingeniería

El proceso de diseño tiene unos costes asociados de ingeniería. Partiremos de la base de que debemos adquirir el equipo y los programas utilizados en este proyecto, además de los costes del personal, a 9.5 €/h y coste de homologación del chasis.

El coste de diseño tiene como añadido la fabricación de un potro de fijación para soldeo, estimado en 850€.

1.3 Costes

En este apartado se contabilizarán los costes del proyecto siguiendo la metodología descrita en los anteriores apartados.

1.3.1 Costes de fabricación.

Perfiles tubulares estructurales

La siguiente tabla recoge el coste asociado al material necesario para fabricar los componentes estructurales del chasis.

Tabla 8. Coste de componentes estructurales

Perfil	Precio	Componente estructural	Peso (kg)	Cantidad relacional	Subtotal
Tubo de acero E355 40x2 mm	8,71€/Kg	Arco delantero	8,51	1	74,12 €
		Arco central	5,89	1	51,30 €
		Tubo superior derecho	0,71	1	6,18 €
		Tubo superior izquierdo	0,71	1	6,18 €
Tubo de acero E355 40x1,5 mm	8,62€/Kg	Jaula superior tubo central	0,53	1	4,57 €
		Jaula superior tubos laterales	0,53	2	9,14 €
		Refuerzo jaula derecho	0,35	1	3,02 €
		Refuerzo jaula izquierdo	0,35	1	3,02 €
		Tubo principal derecho	5,43	1	46,81 €
		Tubo principal izquierdo	5,43	1	46,81 €
		Tubo de unión baja	0,34	6	17,58 €
		Tubo unión trasero alto	0,38	1	3,28 €
		Tubo cuadro mayor derecho	1,11	1	9,57 €
		Tubo cuadro mayor izquierdo	1,11	1	9,57 €
		Entrecuadro derecho	0,84	1	7,24 €
		Entrecuadro izquierdo	0,84	1	7,24 €
		Tubo cuadro menor derecho	0,56	1	4,83 €
		Tubo cuadro menor izquierdo	0,56	1	4,83 €
		Tubo lateral superior derecho	1,23	1	10,60 €
		Tubo lateral superior izquierdo	1,23	1	10,60 €
		Tubo lateral inferior derecho	1,18	1	10,17 €
		Tubo lateral inferior izquierdo	1,18	1	10,17 €
		Refuerzo trasero izquierdo	0,89	1	7,67 €
		Refuerzo trasero derecho	0,89	1	7,67 €
		Tubo central arco delantero	0,96	1	8,28 €
		Tubo inferior arco delantero	0,62	1	5,34 €
		Tubo central arco central	1,38	1	11,90 €
Tubo inferior arco central	1,07	1	9,22 €		
				Total:	406,91 €

El coste total del perfil 40x2 mm es de ciento treinta y siete euros y setenta y nueve céntimos.

El coste total del perfil 40x1.5 mm es de doscientos sesenta y nueve euros y doce céntimos.

Corte y plegado

La siguiente tabla recoge tanto los costes asociados a los procesos de corte como los de plegado. El valor de los consumibles abarca las hojas de sierra necesarias para la realización de los dos tipos de corte. Esto último no procede en el apartado de plegado.

Tabla 9. Costes de corte y plegado

Proceso	Cantidad relacional	Tiempo invertido unitario (h)	Potencia eléctrica de maquinaria (kW)	Valor de consumible (€)	Valor consumo eléctrico (€/kWh)	Coste operario (€/h)	Subtotal
Corte recto	32	0,05	1,6	24,49	0,12	8,24	37,98 €
Corte en boca de pez	64	0,1	1,15	12			13,65 €
Plegado	21	0,067	4	0			12,27 €
Total:							63.90 €

El coste total del proceso de corte asciende a cincuenta y un euros y sesenta y tres céntimos.

El coste total del proceso de plegado, a doce euros y veintisiete céntimos.

Soldadura

La siguiente tabla recoge los costes asociados al proceso de soldadura de una unidad de chasis. El valor de los consumibles abarca tanto en gas de protección como el arco de soldadura.

Tabla 10. Costes de soldadura

Proceso	Cantidad relacional	Tiempo invertido unitario (h)	Potencia de maquinaria (kW)	Valor de consumible (€/h)	Valor consumo eléctrico (€/kWh)	Coste operario (€/h)	Total
Soldadura	64	0,267	20	45	0,12	13	1.032,12 €

El coste total del proceso de soldadura asciende a mil treinta y dos euros con doce céntimos.

1.3.2 Costes de ingeniería

La siguiente tabla recoge los costes de ingeniería totales del proyecto.

Tabla 11. Costes de ingeniería

Denominación	Cantidad	Precio	Subtotal
Estudio del proyecto	192 h	9,5 h/€	1.824 €
Homologación	1	120 €	120 €
SolidWorks Simulación	1	1.500 €	1.500 €
SolidWorks Profesional	1	1.250 €	1.250 €
Windows 10	1	20 €	20 €
Microsoft Office	1	150 €	150 €
Ordenador	1	1450 €	1.450 €
Potro de soldeo	1	850 €	850 €
		Total:	7.164 €

Los costes de ingeniería totales son siete mil ciento sesenta y cuatro euros.

1.4 Resumen

Para resumiendo el presupuesto del proyecto y cerrar este mismo, recopilamos los datos más relevantes en la siguiente tabla.

	Coste de perfil 40x2 mm	137,79 €
	Coste de perfil 40x1.5 mm	269,12 €
Costes de fabricación	Coste de proceso de corte	51,63 €
	Coste de proceso de plegado	12,27 €
	Coste de proceso de soldadura	1.032,12 €
Costes de ingeniería		7.164 €
Total		8.666,93 €

El coste total del proyecto es de ocho mil seiscientos sesenta y seis euros con noventa y tres céntimos.