

E.T.S. de Ingeniería Industrial,
Informática y de Telecomunicación

Cálculo y Diseño de Basculante Para Motocicleta de Competición en Aluminio y Fibra de Carbono



Grado en Ingeniería en Diseño Mecánico

Trabajo Fin de Grado

Autor: Rubén Pardo González

Director: José Ramón Alfaro López

Tudela, Junio de 2023

upna

Universidad Pública de Navarra
Nafarroako Unibertsitate Publikoa

AGRADECIMIENTOS

En especial, quiero agradecer a mis padres, quienes han sido mis pilares y guías en la vida, además de apoyarme y confiar en mí en mis momentos más oscuros. Su dedicación y sacrificio para brindarme la mejor educación y oportunidades han sido invaluable.

A aquellos seres queridos que, lamentablemente, ya no están junto a nosotros y no han podido presenciar este momento. Va por vosotros.

A mi abuela, mis tíos, tías, primos y primas por su preocupación e interés.

A mi tutor José Ramón Alfaro, por ayudarme a realizar este trabajo incluso cuando parecía imposible, gracias.

A mis compañeros de clase, que han sido más que compañeros, han sido amigos y cómplices en esta travesía académica.

A todos mis amigos, les agradezco por su amor incondicional, por aceptarme tal como soy y por ser una fuente constante de inspiración y motivación. Su amistad ha sido un faro en mi camino y me ha dado la fuerza para seguir adelante.

Parte del viaje es el final.

A todos los mencionados, muchas gracias de corazón por ser parte de este gran viaje, siempre estaré en deuda con vosotros.

Resumen:

En el presente trabajo de fin de grado se ha realizado el cálculo y diseño de un basculante para una motocicleta destinada a competición, la cual podría llegar a participar en el torneo conocido como "Motostudent". Previamente se ha realizado el análisis de otros basculantes fabricados en diversos materiales como aluminio y acero, gracias a ello se ha podido llevar a cabo el diseño y análisis del basculante en fibra de carbono y aluminio.

En primer lugar se han sopesado varias ideas de diseño y bocetado del basculante, una vez se ha tenido la idea definida por completo se ha llevado a cabo su diseño y ensamblaje en SolidWorks, posteriormente se ha procesado en Ansys Workbench y se han realizado unos estudios mecánicos, obteniendo y analizando los resultados.

Palabras Clave:

Motocicleta, Basculante, Fibra de Carbono, Aluminio, Motostudent, Sistema de Suspensión, Suspensión Trasera, Bieletas, Amortiguador, Diseño.

Abstract:

In the present final degree project we have carried out the calculation and design of a swingarm for a motorcycle intended for competition, which could participate in the tournament known as "Motostudent". Previously, the analysis of other swingarms made of different materials such as aluminum and steel has been carried out, thanks to this it has been possible to carry out the design and analysis of the swingarm in carbon fiber and aluminum.

First of all, several design ideas and sketches of the swingarm have been considered, once the idea has been completely defined, its design and assembly has been carried out in SolidWorks, then it has been processed in Ansys Workbench and some mechanical studies have been carried out, obtaining and analyzing the results.

Keywords:

Motorcycle, Swingarm, Carbon Fiber, Aluminum, Motostudent, Suspension System, Rear Suspension, Linkages, Shock Absorber, Design.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	11
OBJETIVOS DEL PROYECTO	13
ESTRUCTURA DEL PROYECTO	14
ANTECEDENTES	15
Motostudent Como Competición	15
Resultados del Equipo de la UPNA en el Desafío Motostudent	16
Reglamento Técnico y Normas	17
Dimensiones	17
Pesos	19
Basculante	19
Suspensión Trasera	19
Sistema de Frenado	20
Llantas y Neumáticos	20
ELEMENTOS DE UNA MOTOCICLETA	21
BASCULANTE Y SISTEMAS DE SUSPENSION EN MOTOCICLETAS	22
Evolución Histórica del Basculante	22
Tipos de Basculantes	22
Basculante de Doble Brazo	22
Basculante Monobrazo	24
Comparación Entre Ambos Tipos	24
Análisis de Necesidades y Selección del Tipo de Basculante	25
Suspensión Trasera	26
Amortiguador	27
Tipos de Suspensión Trasera	28
Selección del Tipo de Suspensión	29
METODOLOGÍA	30
Datos de Partida	30
Herramientas de Diseño y Cálculo	30
Criterios de Diseño	31
Criterio Para el Basculante	31
Criterio Para la Suspensión	32
Criterio Para los Elementos Auxiliares	32

EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DEL BASCULANTE	33
Propuestas de Diseño	33
Bocetados Previos	33
Primera Propuesta de Diseño	34
Segunda Propuesta de Diseño	35
Valoración de las Propuestas y Selección del Diseño Final	37
MATERIALES: FIBRA DE CARBONO Y ALUMINIO	39
Introducción	39
Parámetros Generales de Selección	39
Selección de Materiales	39
Fibra de Carbono: Hexcel AS4C (3000 filamentos)	40
Introducción	40
Hexcel como Proveedor	41
Propiedades de la Fibra de Carbono: Hexcel AS4C (3000 filamentos)	41
Aleación de Aluminio 6061	42
Introducción	42
Aleación 6061	43
Propiedades de la Aleación 6061	43
Coefficientes de Dilatación de la Fibra de Carbono y el Aluminio 6061	44
Introducción	44
Primera Idea de Diseño	45
Segunda Idea de Diseño	46
Selección de la Idea Definitiva	46
Uniones de la Fibra de Carbono y la Aleación de Aluminio 6061	46
Introducción	46
Unión Fibra de Carbono - Aluminio: ¿Dónde Se Usa?	47
Unión Fibra de Carbono - Aluminio con Remaches Autoperforantes por Fricción	48
Adhesivos Industriales	51
Combinación de Remaches Autoperforantes por Fricción con Adhesivo Industrial	52
CÁLCULOS	53
Cálculos Estáticos	53
Cálculos Dinámicos	55
Fuerzas Debidas a un Movimiento Rectilíneo Uniforme	55
Fuerzas Debidas a Aceleraciones	57

Conclusiones de los Cálculos Realizados	64
Esfuerzos Producidos por el Caso Desfavorable en el Basculante Definitivo.....	64
DISEÑO FINAL Y ENSAMBLADO DEL CONJUNTO.....	65
Partes Principales	65
Brazos Superiores	65
Brazos Inferiores.....	66
Núcleo de Aluminio	66
Cabezal de Aluminio Basculante - Rueda Trasera	68
Cabezal de Aluminio Basculante - Chasis.....	68
Cabezal de Aluminio Basculante - Balancín	69
Refuerzo Interior de los Brazos Superiores	70
Balancín.....	70
Bieleta	71
Amortiguador	71
Casquillos, Arandelas y Anillos.....	72
Ensamblaje Final Completo.....	73
SIMULACIÓN DEL DISEÑO FINAL EN ANSYS WORKBENCH	74
Mallado del Basculante	74
Carga Vertical.....	75
Carga Horizontal	76
Paso por Curva.....	77
Análisis de las Simulaciones	78
CONCLUSIONES	79
BIBLIOGRAFÍA.....	80

ANEXOS

- I. CATÁLOGOS Y ELEMENTOS COMERCIALES.
- II. PRESUPUESTO.
- III. PLANOS.

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES Y TABLAS

Ilustración 1: Motocicletas de las diferentes Universidades en MotorLand para el evento de Motostudent. [1].....	11
Ilustración 2: El equipo de Motostudent de la UPNA realiza pruebas el día de la carrera en presencia de Alex Ruiz Jiménez, actual campeón de España de supermotard. [2]	15
Ilustración 3: Vista aérea del circuito MotorLand (Alcañiz). [4].....	16
Ilustración 4: Equipo y motocicleta de la UPNA en MotorLand, donde compitió en la VI edición de Motostudent. [6].....	17
Ilustración 5: Ángulo mínimo de inclinación lateral. [7]	18
Ilustración 6: Distancia libre al pavimento. [7]	18
Ilustración 7: Límite posterior. [7].....	18
Ilustración 8: Anchura máxima del asiento. [7]	19
Ilustración 9: Sistema de suspensión Full Floater. [8].....	19
Ilustración 10: Partes de una motocicleta de Competición. [9].....	21
Ilustración 11: Tipos de basculantes de Doble Brazo, orden de izquierda a derecha. [14], [15], [16]	23
Ilustración 12: Basculante Monobrazo. [17].....	24
Ilustración 13: Amortiguador Hidráulico. (Fuente: Propia).....	27
Ilustración 14: Sistema de suspensión trasera por Conexión Directa. [22].....	28
Ilustración 15: Sistema de suspensión trasera por Bieletas. [22].....	29
Ilustración 16: Suspensión por Bieletas. [23].....	29
Ilustración 17: Iconos de SolidWorks y Ansys Workbench. [26] [27].....	30
Ilustración 18: Descripción gráfica de la prueba. [7]	31
Ilustración 19: Fuerzas generadas en una curva. [29]	32
Ilustración 20: Bocetos Iniciales de basculantes. (Fuente: Propia)	33
Ilustración 21: Modelado 3D del Primer Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)	34
Ilustración 22: Vistas del Primer Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)	35
Ilustración 23: Modelado 3D del Segundo Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)	36
Ilustración 24: Vistas del Segundo Diseño de Basculante. (Fuente: Propia).....	36
Ilustración 25: Especificación del peso de la propuesta de diseño definitivo del basculante. (Fuente: Propia).....	38
Ilustración 26: Malla de Carbono Tubular. [36].....	40
Ilustración 27: Tubos fabricados en Aluminio 6061. [40]	43
Ilustración 28: Horquilla de Fibra de Carbono con pieza de Aluminio. [44].....	47
Ilustración 29: Capó en Fibra de Carbono. [45].....	47
Ilustración 30: Remachadora con presión de multiplicador externo. (Fuente: Propia).....	49
Ilustración 31: Esquema de Unión con remache autopercutor por fricción entre HEXCEL AS4C (3000 Filamentos) en verde con la Aleación de Aluminio 6061 en Azul. [47]	49
Ilustración 32: Trayectoria del remache en el cabezal de Aluminio. (Fuente: Propia).	50
Ilustración 33: Remache Autopercutor Por Fricción elegido para el Proyecto. [48]	50
Ilustración 34: Adhesivo Industrial elegido para el proyecto. [50].....	52
Ilustración 35: Fuerzas sobre la motocicleta que aparecen en la prueba de prensa. (Fuente: Propia).....	53

Ilustración 36: Fuerzas que actúan en un movimiento rectilíneo uniforme. [51].....	55
Ilustración 37: Fuerzas que actúan en la pérdida de tracción. [51].....	57
Ilustración 38: Fuerzas a causa de la aceleración máxima por Wheeling. [51].....	59
Ilustración 39: Fuerzas que actúan en el paso por curva. [51].....	60
Ilustración 40: Fuerzas que actúan en la rueda trasera al inclinarse durante una curva. [51] ..	63
Ilustración 41: Fuerzas que actúan durante el paso por curva en una rueda vertical. (Fuente: Propia).....	63
Ilustración 42: Fuerzas obtenidas en el diseño de basculante definitivo. (Fuente: Propia)	64
Ilustración 43: Dirección de las fuerzas obtenidas, a la izquierda la aplicación de la carga horizontal y a la derecha la carga vertical. (Fuente: Propia).....	64
Ilustración 44: Brazos Superiores del Basculante. (Fuente: Propia)	65
Ilustración 45: Brazo Inferior Derecho e Izquierdo del Basculante. (Fuente: Propia)	66
Ilustración 46: Núcleo del Basculante en la Aleación de Aluminio 6061. (Fuente: Propia)	67
Ilustración 47: Cabezal de Aluminio Basculante - Rueda Trasera. (Fuente: Propia).....	68
Ilustración 48: Cabezal de Aluminio Basculante - Chasis. (Fuente: Propia)	69
Ilustración 49: Cabezal de Aluminio Basculante - Balancín. (Fuente: Propia).....	69
Ilustración 50: Refuerzo Interior de los Brazos Superiores. (Fuente: Propia).....	70
Ilustración 51: Balancín. (Fuente: Propia)	70
Ilustración 52: Bieleta. (Fuente: Propia).....	71
Ilustración 53: Amortiguador. (Fuente: Propia).....	71
Ilustración 54: Casquillo, arandela y eje del ensamblaje. (Fuente: Propia)	72
Ilustración 55: Conjunto Basculante - Sistema de Suspensión Trasera. (Fuente: Propia)	73
Ilustración 56: Transparencia para ver las piezas de aluminio interiores. (Fuente: Propia).....	73
Ilustración 57: Mallado del Ensamblaje Final. (Fuente: Propia).....	74
Ilustración 58: Tensiones producidas en el prototipo final provocadas por la aplicación de la carga vertical. (Fuente: Propia)	75
Ilustración 59: Deformaciones producidas en el prototipo por la aplicación de la carga vertical. (Fuente: Propia).....	75
Ilustración 60: Tensiones producidas en el prototipo por la aplicación de la carga horizontal. (Fuente: Propia).....	76
Ilustración 61: Deformaciones producidas en el prototipo por la aplicación de la carga horizontal. (Fuente: Propia)	76
Ilustración 62: Tensiones producidas en el prototipo provocadas por el paso por curva. (Fuente: Propia).....	77
Ilustración 63: Deformaciones producidas en el prototipo provocadas por el paso por curva. (Fuente: Propia).....	77

INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos, ha habido un incremento bastante significativo en la popularidad de los deportes de motor, con cada vez más usuarios y aficionados mostrando un elevado interés en poder ver dichas competencias o incluso formarse para poder participar en dichas carreras y competiciones, ya sea en circuitos como en carreteras o rutas de montaña.

En la sociedad actual las motocicletas se encuentran entre los medios de transporte más populares, ya que en su mayoría son más económicas que un automóvil, ligeras y no se requiere de mucho espacio para poder guardarla. Estos vehículos son principalmente impulsados por motores de combustión interna, aunque gracias a los recientes avances tecnológicos, se ha popularizado el uso de motores eléctricos para su propulsión en lugar del ya mencionado motor de combustión interna.

Como consecuencia de dicho cambio han surgido nuevas competiciones específicas para motocicletas impulsadas por un motor eléctrico, al igual que en su día surgieron las tradicionales competiciones de motocicletas que integran un motor de combustión interna.



Ilustración 1: Motocicletas de las diferentes Universidades en MotorLand para el evento de Motostudent. [1]

La creación de este proyecto surge debido a la necesidad de calcular y diseñar un basculante y su respectivo sistema de suspensión para el prototipo del equipo de la Universidad Pública de Navarra llamado "UPNA Racing" que participará en la próxima edición de Motostudent Electric.

Además dicho proyecto es una oportunidad única que permite poner a prueba casi todos los conocimientos de ingeniería adquiridos durante el grado como: mecánica, materiales, diseño, calculo, conocimientos de estructuras, etc.

Los cuales me serán de gran utilidad en mi posterior vida laboral.

En este escenario asumí la responsabilidad de llevar a cabo el desarrollo del sistema basculante y suspensión trasera de la motocicleta.

La estructura que se sigue en el trabajo es la siguiente: Se definen los conceptos básicos relacionados con todo lo que engloba al basculante y el sistema de suspensión trasera en motocicletas, lo que permitirá entender su funcionamiento.

Se lleva a cabo la identificación del problema y planteamiento de la solución, datos de partida y las herramientas y criterios de diseño.

Se valoran las ideas y propuestas de diseño y se selecciona la adecuada.

Una vez conocida la idea final elegida se lleva a cabo la explicación y especificaciones del basculante, se definen los materiales que se utilizaran en el basculante y además se presenta su diseño general.

Se presenta el diseño final, ensamblado y al detalle del basculante y de todos los componentes principales y secundarios por individual.

Este diseño final se va a procesar en un programa que permita su estudio por elementos finitos, usando Ansys se llevarán a cabo varios estudios y simulaciones estructurales, todo esto proporciona unos resultados que serán sometidos a interpretación.

En último lugar se expondrán las conclusiones y las posibles propuestas de futuro.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

El principal objetivo de este proyecto es ser capaces de realizar una unión correcta entre las piezas diseñadas en fibra de carbono del basculante y los cabezales de aluminio que conectan el basculante a las diferentes partes de la motocicleta, como el chasis, la rueda trasera, etc.

El segundo objetivo del presente trabajo de fin de grado es diseñar un basculante en fibra de carbono y aluminio, que sea completamente funcional y que se adapte a las exigencias y necesidades de la próxima motocicleta, la cual participará en el equipo de la Universidad Pública de Navarra en la competición llamada Motostudent, como ya se ha mencionado en la introducción.

El tercer objetivo es tratar de disminuir el peso del basculante, en comparación con el de la edición pasada, consiguiendo así que la moto pueda ser más ligera y alcanzar velocidades más elevadas.

A partir de estos objetivos, se derivan otros que permiten encauzar el diseño del basculante, así como mejorar el rendimiento general de la motocicleta.

Se establece un orden de trabajo desde la parte teórica, pasando por la parte de análisis hasta la parte de diseño.

Entre los objetivos que se han especificado se encuentran los siguientes:

- Realizar un diseño que entre dentro de las restricciones definidas por el reglamento de la competición.
- Cálculo de los esfuerzos a los que se expone el basculante durante las pruebas de seguridad llevadas a cabo por la competición, con el objetivo de garantizar la seguridad durante su uso.
- Mejorar el reparto de masas de la motocicleta anterior.
- Diseñar un basculante con materiales más modernos y con una mejor estética, ya que estaba confeccionado anteriormente en Aluminio macizo.
- Definir el proceso de montaje del basculante para permitir una fabricación sencilla al alcance de usuarios de deportes de motor no profesionales.

Se implementa un proceso de trabajo que facilite la consecución de todos los objetivos previamente establecidos y que demuestre el logro del objetivo final.

ESTRUCTURA DEL PROYECTO

Con la finalidad de brindar una visión general de este proyecto, a continuación se presentan los distintos apartados que conforman el documento, junto con una breve explicación de cada uno de ellos.

- **Introducción:** Se explica en que se basa el proyecto, describiendo el marco en el que se sitúa y porque se decidió llevar a cabo este proyecto.
- **Antecedentes:** Se ponen en contexto los datos y resultados obtenidos en ediciones pasadas y el punto de partida para este nuevo proyecto.
- **Elementos de una motocicleta:** Se exponen las diferentes partes de una motocicleta de competición, para así poder saber lo que se va a desarrollar en el presente proyecto
- **Basculante y sistemas de suspensión en motocicletas:** Se analizan los diferentes tipos de basculantes que existen en la actualidad así como tipos de sistemas de suspensión trasera
- **Metodología:** Explica la planificación que se va a ejecutar para el correcto desarrollo y resolución del proyecto.
- **Evolución de la propuesta de diseño de basculante:** Se define el basculante definitivo y se perfecciona hasta que cumple con los requisitos requeridos.
- **Basculante ensamblado en Fibra de Carbono y Aluminio:** Se estudian y exponen las propiedades de dichos materiales, como unirlos y cómo se comportan en el ensamblado del diseño final del basculante.
- **Cálculos:** Se ejecuta el cálculo de los esfuerzos a soportar por el basculante, la suspensión y otros elementos auxiliares que integran el diseño final.
- **Diseño final:** En esta sección se presenta el prototipo que se va a fabricar, asegurando el cumplimiento de todas las restricciones establecidas.
- **Simulaciones:** Análisis estructural del prototipo final en Ansys Workbench.
- **Conclusiones y propuestas de futuro:** Se pone punto final al proyecto y se analizan los resultados, proponiendo mejoras o aspectos que sería interesante tratar en un futuro.
- **Bibliografía:** Recopila los libros, documentos y páginas web utilizadas en el desarrollo del proyecto. Son expresadas a lo largo de este en forma de citas.
- **Anexo (Presupuesto):** Exposición del presupuesto desglosado del proyecto y coste total de este.

ANTECEDENTES

Como bien se ha comentado anteriormente, este proyecto surge debido a la participación por parte de la Universidad Pública de Navarra en la nueva edición de la competición conocida como Motostudent Electric, donde ya ha participado en ocasiones anteriores.



Ilustración 2: El equipo de Motostudent de la UPNA realiza pruebas el día de la carrera en presencia de Alex Ruiz Jiménez, actual campeón de España de supermotard. [2]

A continuación se va a explicar más sobre el origen de este proyecto, para permitir una mejor comprensión del marco en que se engloba.

Motostudent Como Competición

La competición MotoStudent es un desafío bienal impulsado por la fundación Moto Engineering Foundation y TechnoPark MotorLand. En este evento, equipos de diversas universidades españolas y europeas compiten diseñando y desarrollando prototipos de motocicletas de competición, brindando a los estudiantes la oportunidad de enfrentarse a un proyecto industrial real.

El progreso de los equipos se evalúa a través de una serie de entregas de documentación sobre el proyecto, así como mediante pruebas prácticas finales que comparan el prototipo teórico con el prototipo real. Durante las tres fases de cada edición, se deben presentar informes que detallen el proceso de diseño y fabricación.

El evento final se lleva a cabo en MotorLand Aragón, donde se realizan diversas pruebas prácticas, que van desde verificaciones de seguridad y pruebas estáticas, hasta pruebas dinámicas en pista, que incluyen aceleración, frenado y una carrera final. [3]



Ilustración 3: Vista aérea del circuito MotorLand (Alcañiz). [4]

En cuanto a la evaluación que se lleva a cabo, consta de las dos fases siguientes:

- Fase MS1: Los proyectos serán evaluados desde una perspectiva industrial, considerándolos como modelos de proyectos empresariales reales en los que se aplican los conocimientos adquiridos durante la formación. Estos proyectos sirven para destacar los aspectos y desafíos que pueden surgir en la fabricación industrial. [3]
- Fase MS2: Previo al ingreso a esta fase, las motocicletas serán sometidas a un escrutinio exhaustivo para evaluar su seguridad y funcionalidad. Esto se llevará a cabo mediante una serie de controles estáticos y dinámicos. Una vez que las motocicletas hayan sido homologadas por la Organización, se llevarán a cabo pruebas dinámicas puntuables para demostrar su rendimiento. Estas pruebas culminarán con la única carrera universitaria internacional FIM en el Circuito FIM de Carreteras de MotorLand Aragón. [3]

Resultados del Equipo de la UPNA en el Desafío Motostudent

En la VI Edición de Motostudent de 2019 - 2021 (celebrado en MotorLand Aragón, Alcañiz), cuyos resultados definitivos se dieron a conocer recientemente tras el periodo de reclamaciones, el equipo de la UPNA quedó en la posición número 19 (puntuaban tanto pruebas prácticas como escritas, en las que se describía el proyecto).

De manera desglosada, quedaron en el puesto 7º en la categoría de “mejor innovación”, en el 9º en “mejor diseño” y en el 11º en “mejor proyecto”.

Cabe destacar especialmente la 2º posición en las subcategorías “desarrollo de concepto” o la 3ª posición cosechada en la primera ronda de la ghymkana.

En la competición participaron un total de 83 equipos de 16 países distintos y de 4 continentes diferentes, encuadrados en dos modalidades: Motostudent Petrol (combustión) o Motostudent Electric.

Es, en esta última, en la que participó el alumnado de la UPNA junto a otros 46 equipos de 15 países. [1]

Además, el equipo de la Universidad Pública de Navarra puede decir que se proclamó campeón en la I edición de Motostudent en la categoría de “Mejor Proyecto Industrial Petrolífero”, comprendida entre los años 2009 - 2010.

En esta primera edición de la competición participaron un total de 23 equipos de gasolina de 2 países diferentes. [5]



Ilustración 4: Equipo y motocicleta de la UPNA en MotorLand, donde compitió en la VI edición de Motostudent. [6]

Reglamento Técnico y Normas

En lo que respecta al reglamento técnico, abarca numerosos aspectos relacionados con diferentes componentes del prototipo. Sin embargo, nos centraremos únicamente en aquellos puntos que son relevantes para el desarrollo de este proyecto, incluyendo el dimensionamiento, diseño y otros elementos que deben considerarse durante su realización.

Dimensiones

Las dimensiones de la motocicleta son libres exceptuando algunos requisitos básicos aquí numerados:

- El ángulo mínimo de inclinación lateral del prototipo sin que ningún elemento de este (exceptuando los neumáticos) toque el pavimento debe ser 50°. Dicha medición se realizará con el prototipo descargado (es decir, sin piloto) pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento. [7]

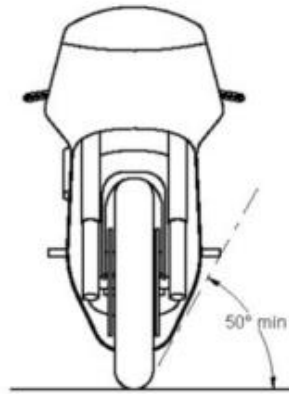


Ilustración 5: Ángulo mínimo de inclinación lateral. [7]

- La distancia libre al pavimento con el prototipo en posición vertical ha de ser de un mínimo de 100 mm en situación de reposo. Esta medición se realizará con el prototipo descargado (es decir, sin piloto), pero con todo el equipamiento y líquidos para su funcionamiento. [7]

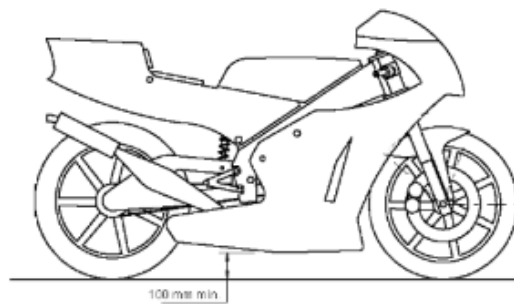


Ilustración 6: Distancia libre al pavimento. [7]

- Límite posterior: Ningún elemento del prototipo podrá rebasar la línea tangente vertical trazada a la circunferencia exterior del neumático trasero.

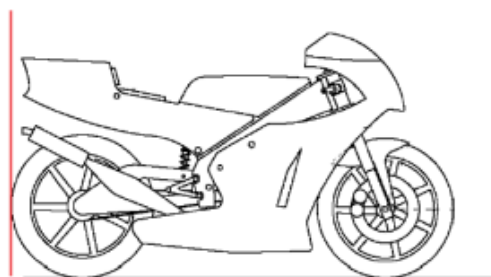


Ilustración 7: Límite posterior. [7]

- La banda de rodadura de los neumáticos deberá presentar una distancia libre mínima de 15mm a lo largo de toda su superficie a cualquier elemento del prototipo, en cualquier posición de este y para cualquier reglaje de geometrías.

- La anchura máxima del asiento no debe rebasar los 450mm. No podrá sobresalir de esa anchura ningún otro elemento del prototipo del asiento hacia atrás.

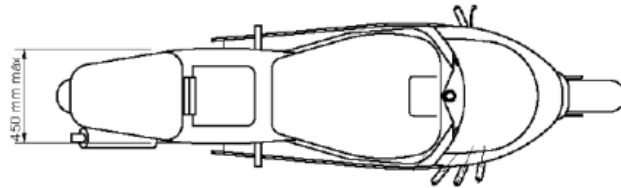


Ilustración 8: Anchura máxima del asiento. [7]

Pesos

El peso mínimo del conjunto de la motocicleta en orden de marcha incluido depósito, gasolina y líquidos en ningún momento de las pruebas deberá ser inferior a 95 kg, el peso se podrá verificar tanto al inicio, durante y al final de la competición.

Está permitido lastrar el vehículo para alcanzar el peso mínimo, este dato nos será muy importante a la hora de calcular los esfuerzos que debe soportar el chasis. [7]

Basculante

El basculante deberá ser de fabricación propia.

No hay limitaciones en el tipo de diseño o materiales utilizados para la fabricación de chasis, basculante o subchasis, siempre y cuando el resultado cumpla con la normativa impuesta en el presente Reglamento.

Es obligatorio el uso de un protector de cadena que impida la interferencia entre el cuerpo del piloto y el punto de engrane cadena-corona en la rueda trasera.

La pinza de freno trasera debe instalarse con al menos algún elemento de anclaje directo al basculante. [7]

Suspensión Trasera

En el caso de uso de amortiguador en la composición de la suspensión trasera se deberá utilizar el proporcionado por la organización. El amortiguador proporcionado por la organización no puede ser modificado estructuralmente. Se permite el reglaje del amortiguador solo en base a cambio de muelles y fluidos hidráulicos. [7]

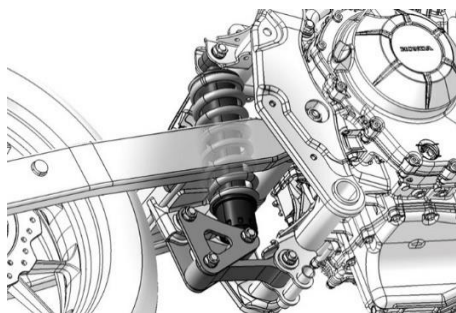


Ilustración 9: Sistema de suspensión Full Floater. [8]

Sistema de Frenado

La motocicleta deberá disponer de sistema de frenado por discos tanto en eje delantero como trasero. La Organización suministrará varios elementos del sistema de frenado:

- Maneta de freno delantero + bomba.
- Bomba de freno trasero.
- Pinzas de freno delantero y trasero

Todas las especificaciones se encuentran detalladas en el Reglamento Técnico de Motostudent. [7]

Llantas y Neumáticos

Las llantas serán libremente elegidas por cada equipo, las medidas de las llantas (considerando las áreas habilitadas para el montaje de las llantas) deben ser:

- Delantera: 2.5" x 17"
- Trasera: 3.5" x 17"

Los ejes de la rueda no podrán sobresalir de su alojamiento en sus extremos más de 30 milímetros.

Solo se pueden utilizar en Motostudent los neumáticos suministrados por el proveedor oficial de neumáticos del respectivo año de competición. La organización suministrará un juego (delantero y trasero) para seco dentro del Kit Motostudent. [7]

La información técnica relativa al juego de neumáticos oficial será enviada a todos los equipos participantes en la competición. Se permite el uso de calentadores de neumáticos. [7]

ELEMENTOS DE UNA MOTOCICLETA

Entre la amplia variedad de componentes necesarios para poder llevar a cabo la construcción de las piezas y el ensamblado una motocicleta, hemos resaltado los más significativos en la imagen de abajo.

Mientras que algunos de ellos son suministrados por la organización, otros deberemos diseñarlos y fabricarlos por nuestra cuenta.

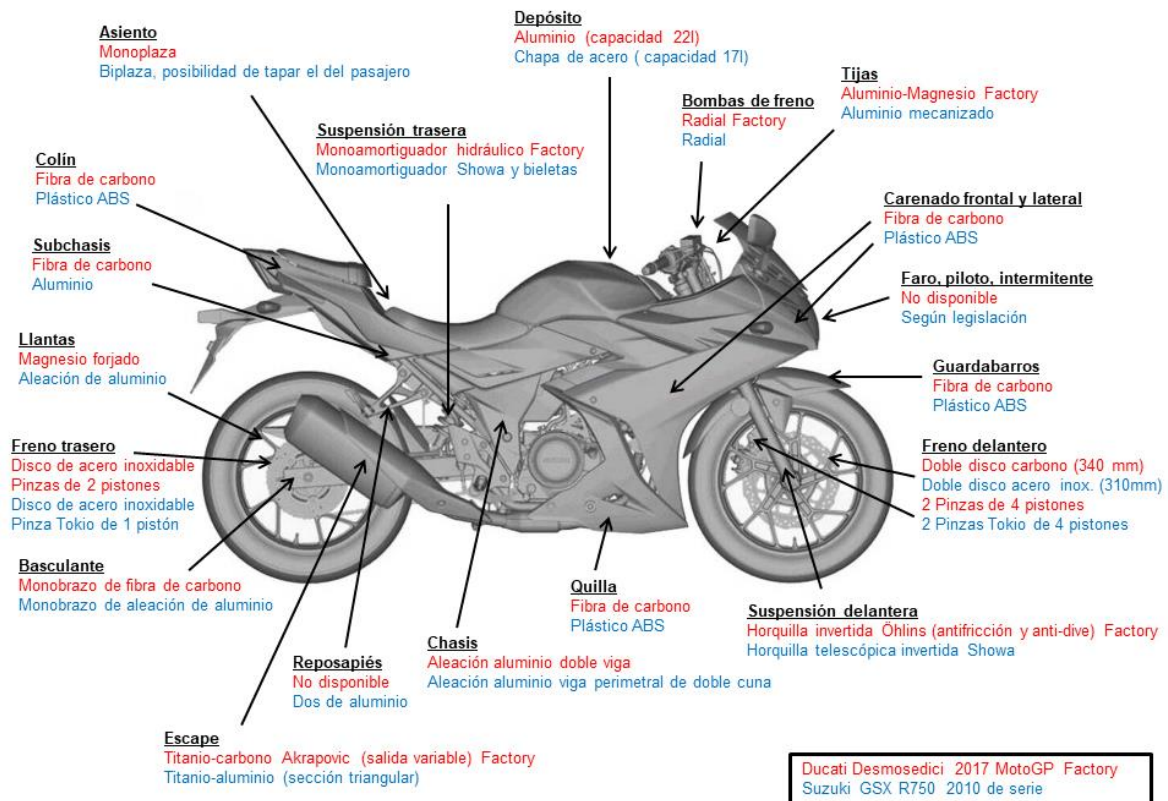


Ilustración 10: Partes de una motocicleta de Competición. [9]

En nuestro caso deberemos diseñar y construir tanto el sistema de suspensión trasera de la motocicleta como el basculante de doble brazo.

BASCULANTE Y SISTEMAS DE SUSPENSION EN MOTOCICLETAS

El tren trasero de una motocicleta está formado principalmente por el basculante y el sistema de suspensión, ya sea de competición, superdeportivas, ciclomotores, motos de motocross, etc.

El basculante en una motocicleta desempeña un papel crucial, ya que su función principal es la de conectar la rueda trasera con el chasis, al tiempo que contribuye al sistema de suspensión trasera.

En cuanto a la suspensión de una motocicleta es un sistema diseñado para amortiguar las irregularidades y curvas del terreno, es decir, cumple un doble propósito: garantizar la seguridad del vehículo durante la conducción y proporcionar comodidad al aislar a los pasajeros de las irregularidades de las diferentes vías y vibraciones.

Evolución Histórica del Basculante

Aunque las suspensiones delanteras se adoptaron ampliamente antes de que estallara la Primera Guerra Mundial, algunos fabricantes no implementaron suspensiones traseras en sus motocicletas hasta después de la Segunda Guerra Mundial. [10]

Cuando una suspensión trasera no cuenta con muelles ni amortiguadores, se le conoce como suspensión rígida. Sin embargo, existen suspensiones traseras no rígidas que simulan ser rígidas, ocultando los resortes y amortiguadores. Un ejemplo notable es la suspensión Softail utilizada en las motocicletas Harley-Davidson.

A pesar de ello, las motocicletas con suspensión trasera estuvieron disponibles para el público incluso antes de la Primera Guerra Mundial, entre ellas se destacan la Single Indian de 1913 con brazo basculante y muelle, y la Pope de 1913 con ruedas suspendidas mediante un par de amortiguadores y resortes. [10]

Algunos fabricantes, como Greeves, utilizaron diseños de basculante para las horquillas delanteras, que eran más robustos que las horquillas telescópicas. [11]

En la mayoría de las motocicletas convencionales, la suspensión delantera está compuesta por un par de tubos de horquilla, mientras que en la suspensión trasera se utiliza un brazo basculante con uno o dos amortiguadores. [12]

Tipos de Basculantes

Una vez que se sabe la función del basculante, se debe apuntar que hay muchos tipos de basculante en función de la utilidad que se le dé a la moto, pero en general se pueden clasificar en dos grandes grupos, los cuales son los siguientes.

Basculante de Doble Brazo

A lo largo de la historia, el basculante de dos brazos (también conocido como asimétrico), ha sido el más ampliamente utilizado, ya sea por razones de tradición, eficiencia o incluso estética.

Además, suele ser la opción preferida de los fabricantes.

Inicialmente, los basculantes eran de forma redonda, pero rápidamente se comenzaron a diseñar versiones cuadradas y triangulares con el objetivo de incrementar su resistencia y mejorar su rendimiento. Los basculantes triangulares y cuadrados son los que consiguen un mayor control de la flexión asegurando la alineación de las dos ruedas durante la curva.

Se suelen fabricar en acero o aluminio y normalmente se atornillan al motor como parte del chasis para absorber todos los esfuerzos posibles. [13]

Dentro de esta categoría, se pueden encontrar tres tipos:

- Dobles simples: son los más ligeros, este tipo es el más usados en motos de campo.
- De sección variable: como los anteriores, con la diferencia de que la zona que tiene que soportar más esfuerzo es un poco más ancha.
- Con triangulación: son los más usados actualmente, pueden ser tubulares soldados o macizos. [13]

Las siguientes fotos corresponden a los diferentes tipos mencionados.



Ilustración 11: Tipos de basculantes de Doble Brazo, orden de izquierda a derecha. [14], [15], [16]

Basculante Monobrazo

Esta estructura obviamente ha de soportar una mayor tensión, con lo que sus materiales son muy robustos y generalmente son más pesados que los que se emplean en el doble brazo.

Este tipo de basculante, como su nombre indica, consta de un único brazo que sujeta la rueda desde un lateral. Dicha configuración implica una mayor tensión sobre la estructura, por lo tanto los materiales que se utilizan son muy resistentes y por lo general, más pesados que los empleados en el basculante de doble brazo.

Por lo tanto, el basculante monobrazo debe soportar toda la presión que se distribuye en el basculante de doble brazo.

Desde hace mucho tiempo, los basculantes monobrazo se han empleado en vehículos de pequeño tamaño, como ciclomotores y scooters. No obstante, solo recientemente se comenzó a contemplar su viabilidad como una alternativa significativa para motocicletas deportivas y de competición. [13]



Ilustración 12: Basculante Monobrazo. [17]

Comparación Entre Ambos Tipos

Para poder elegir uno de los distintos tipos de basculante que existen, se van a someter a comparación.

En lo referente a las ventajas de utilizar el basculante de doble brazo, se pueden destacar los siguientes puntos:

- Es un diseño más estandarizado.
- Su comportamiento es satisfactorio en cualquier tipo de moto.
- Son más económicos en comparación con otras opciones. [18]

En cuanto a los beneficios del basculante monobrazo, se deben mencionar los siguientes puntos:

- El cambio de rueda resulta más sencillo, ya que está accesible desde uno de los lados al estar el otro lado "libre".
- Ajustar y limpiar la cadena resulta más sencillo.
- Los basculantes monobrazo no solo son adecuados para motocicletas pequeñas, sino que también se utilizan con eficacia en otras motos de mayor tamaño.
- Cumplen una clara función estética. [18]

Así pues, tanto el basculante monobrazo como el basculante de doble brazo están disponibles para todo tipo de motocicletas, manteniendo un comportamiento estructural satisfactorio.

La elección entre ambos depende de diversos factores, como el rendimiento, el peso y la estética de la moto entre otros.

Análisis de Necesidades y Selección del Tipo de Basculante

Una vez que se han expuesto los diferentes tipos de basculantes que hay, así como sus características y ventajas principales, se llevará a cabo un análisis para determinar cuál de ellos se ajusta mejor al objetivo propuesto.

- Rigidez

Como ya hemos visto, la rigidez es una de las características principales de un basculante.

En el ámbito de la ingeniería, la rigidez se refiere a una medida cuantitativa que representa la resistencia de un material ante las deformaciones elásticas causadas por fuerzas o esfuerzos aplicados sobre él. La rigidez también se relaciona con la capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin experimentar deformaciones significativas. [19]

Nuestro objetivo será, por tanto, diseñar un basculante lo más rígido posible.

- Peso

Como en todos los vehículos de competición el peso es un factor primordial, además, al tratarse de un basculante provoca que el peso sea una característica importantísima para el correcto funcionamiento del sistema de suspensión trasera.

- Material

Se deberá seleccionar un material que aporte la rigidez necesaria, con un peso lo más reducido posible y que además, se adapte al reglamento impuesto por la competición Motostudent.

- Montaje

El basculante se diseñará para el fácil montaje de todos los elementos que componen el sistema de suspensión trasera.

- Estética

Dado que se trata de una competición de ingeniería donde se valoran tanto el diseño como la innovación, es crucial que el basculante presente una estética atractiva. Además, tanto para el piloto como para cualquier usuario de motocicletas, es importante que el basculante transmita una sensación de seguridad a simple vista.

- Impactos

Hay que tener en cuenta que el basculante se utilizará en competiciones donde es muy probable que se someta a impactos por caída, por lo tanto tendrá que ser diseñado para aguantarlos, ya que en caso de que este se fracture supondría el abandono absoluto de la competición.

En consecuencia, el diseño definitivo elegido para el basculante a desarrollar en este proyecto será de Doble Brazo, ya que:

- Al respetarse una simetría y poder utilizar ambos brazos para el reparto de diferentes elementos externos, permite realizar geometrías más sencillas que facilitan también la tarea de fabricación y montaje.
- Así mismo, los basculantes monobrazo requieren de una mayor inversión económica en los procesos de diseño y fabricación, por lo que utilizando un basculante de doble brazo, el equipo de la UPNA podrá llevar a cabo una mayor inversión económica en otros componentes de la motocicleta.

Suspensión Trasera

En este punto se van a explicar los diferentes tipos de sistemas de suspensión traseras que existen, entendiéndose como sistema al conjunto formado por el amortiguador y el tipo de anclaje que se utiliza para unirlo tanto al chasis como al basculante.

Amortiguador

Si se compara los amortiguadores de la suspensión delantera con el trasero, se pueden observar muchas diferencias ya sean geométricas, como de cantidad y de utilidad.

La horquilla tiene como función hacer frente a los esfuerzos torsionales y laterales que se generan en la parte delantera, mientras que los esfuerzos equivalentes generados en el tren trasero son soportados por el basculante. Esto hace que el trabajo del amortiguador trasero sea únicamente la de amortiguar y evitar que el movimiento de la rueda trasera sea totalmente rígido.

En las motocicletas modernas, la suspensión trasera generalmente consta de uno o dos amortiguadores hidráulicos con un muelle incorporado. [20]

Los amortiguadores gemelos son aquellos que se refieren a las motocicletas que cuentan con dos amortiguadores en su tren trasero. Este término suele asociarse con una época específica de motocicletas y se utiliza con mayor frecuencia al hablar de motocicletas de tipo Off Road o todoterreno.

Una motocicleta tiene una suspensión trasera Mono-Shock, cuando solamente un amortiguador conecta el basculante trasero al chasis de la motocicleta. Típicamente, este único amortiguador trasero, se encuentra por delante de la rueda trasera y utiliza casquillos para conectar el basculante al chasis.

Estos conectores suelen estar diseñados para proporcionar un índice de aumento en la amortiguación de la rueda trasera. Los amortiguadores Mono-Shock están diseñados específicamente para eliminar el giro lateral del basculante y mejorar el rendimiento en términos de frenado y manejo. [10]

El amortiguador dotado por la Organización para todos los equipos inscritos en la Competición MotoStudent, esta desprovisto de regulación de compresión ni extensión, pero si tiene regulador de precarga. Es un amortiguador básico, limitando el funcionamiento de la suspensión. [7]

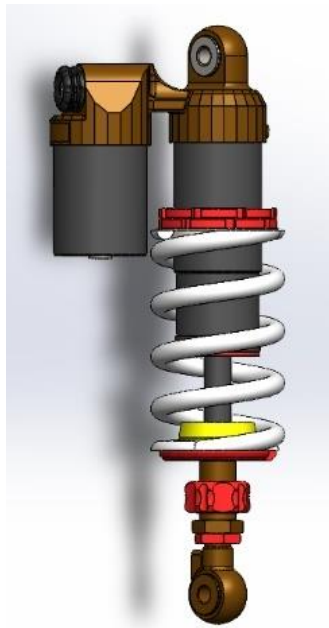


Ilustración 13: Amortiguador Hidráulico. (Fuente: Propia)

Tipos de Suspensión Trasera

Aunque existen diferentes tipos de sistemas de suspensión, en este proyecto se van a exponer los dos más utilizados actualmente, tanto a nivel comercial como competitivo.

Conexión Directa

Es el método más sencillo, consiste en una unión directa entre el chasis y el brazo basculante, este sistema es muy utilizado por su sencillez.

Además, permite a la hora de instalarlo tener una gran versatilidad en cuanto a su posición y además solo ocupa el espacio del propio amortiguador.

El problema de este sistema es que no puede conseguir un sistema progresivo, por eso se usa en motocicletas de calle que no requieren unas prestaciones muy elevadas. [21]



Ilustración 14: Sistema de suspensión trasera por Conexión Directa. [22]

Bieletas

Este es el sistema más utilizado en la actualidad, ya que permite conseguir una gran progresión. Existen infinitos tipos de bieletas y balancines, y con todos puedes conseguir un funcionamiento óptimo ya que la amortiguación no recae solo en el muelle, sino que el sistema de bieletas ayuda a una mejor transferencia de las cargas.

Por último la bieleta puede situarse tanto en el basculante como en el chasis.

Sin embargo, para este tipo de suspensión se ha de tener en cuenta la geometría, ya que al depender de diferentes elementos y no solo del resorte, está sujeto en gran parte del espacio que se disponga. Por último, este sistema aumenta un poco el peso total de la motocicleta. [22]



Ilustración 15: Sistema de suspensión trasera por Bieletas. [22]

Selección del Tipo de Suspensión

Una vez expuestos los tipos de suspensión anteriormente, se tiene que ver cuál es el sistema que se va a utilizar en función de las necesidades que se requieren.

Al analizar los dos tipos de suspensión, se llega a la conclusión de que el sistema ideal que se debería elegir es el de bieletas, ya que este tipo de sistemas permite jugar más con las progresividades, ya que alargando o acortando la biela únicamente se pueden conseguir grandes variaciones en la gráfica de la constante de la rueda.



Ilustración 16: Suspensión por Bieletas. [23]

METODOLOGÍA

Datos de Partida

Para dar forma desde cero a un nuevo sistema de suspensión trasera conviene tener claro cuáles son los puntos de partida que permitirán hacerlo desde una posición más ventajosa.

En el proceso de dimensionamiento del tren trasero, se considerarán varios factores que pueden contribuir a alcanzar los objetivos establecidos en este proyecto, como son:

- Reparto de masas de la motocicleta, para obtener una idea de cuál es el reparto óptimo para una moto de competición.
- Reducción del peso del basculante. Para ello se tendrá en cuenta el peso del prototipo presentado en la edición anterior de Motostudent, ya que uno de los objetivos principales es hacerlo más ligero, teniendo este diseño anterior un peso de 4.850 Kg.

Asimismo, también se tomará como referencia el reglamento proporcionado por la organización de la competición (Motostudent) y la información que se pueda conseguir de páginas de Internet o libros.

Herramientas de Diseño y Cálculo

Para poder llevar a cabo el diseño de este proyecto se va a utilizar un programa de diseño universalmente conocido, el cual es SolidWorks, ya que ofrece una gran facilidad y versatilidad a la hora de diseñar y simular.

SolidWorks es un software tipo CAD, de diseño mecánico, que utilizando un entorno gráfico basado en Microsoft Windows permite de manera intuitiva y rápida la creación de Modelos sólidos en 3D, Ensamblajes y Dibujos. [24]

Sin embargo, para el cálculo de esfuerzos por elementos finitos es mejor utilizar otro programa que sea más preciso y avanzado, por lo tanto en estas partes se ha empleado el software Ansys Workbench.

Ansys es el Software líder de simulación CAE multifísico para análisis y simulación por elementos finitos (FEA). Incluye las fases de preproceso, resolución y postproceso en una única plataforma de trabajo. [25]

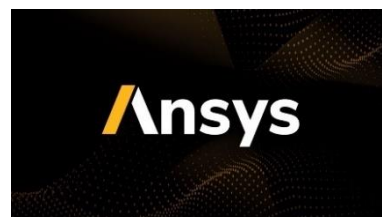


Ilustración 17: Iconos de SolidWorks y Ansys Workbench. [26] [27]

Criterios de Diseño

Criterio Para el Basculante

Los objetivos principales en el diseño de un basculante son la ligereza y la rigidez. La rigidez va a ser el factor principal, ya que con una alta rigidez se garantiza la alineación de las dos ruedas frente a diversos esfuerzos.

Sin embargo y como es común, siempre se debe encontrar un compromiso adecuado con el peso, sin que este sea demasiado elevado.

En este caso no será muy problemático el peso, ya que el peso de la fibra de carbono es mucho más bajo que el peso del aluminio, esto es debido a sus densidades, mientras que la fibra de carbono tiene una densidad de 1750 kg/m^3 , el aluminio tiene una densidad de 2700 kg/m^3 .

Esto demuestra que la fibra de carbono puede ser mejor usada y tener mejores resultados que el aluminio para nuestro diseño, pues el ahorro del peso de nuestra pieza implica un ahorro de energía, y por ende, mejor manipulación de esta. [28]

Se realizarán dos propuestas de diseño, que se compararán obteniendo un único basculante que será optimizado. Una vez realizados los diseños iniciales, los criterios que se van a llevar a cabo para la validación, selección y mejora del basculante son la rigidez y la ligereza, como ya hemos mencionado anteriormente.

En cuanto a la manera de realizar los cálculos, se realizarán dos tipos:

- **Cálculos Estáticos:** estas circunstancias surgen debido a que la competición Motostudent obliga a los diferentes equipos a que realicen una prueba estática previa, en la cual se aplica una carga horizontal de 300 Kg sobre la rueda delantera, seguida de una carga vertical de 250 Kg sobre el asiento del piloto. De esta forma se consigue simular fuerzas superiores a las supuestamente adquiridas en la competición y así poder demostrar que el prototipo es apto.

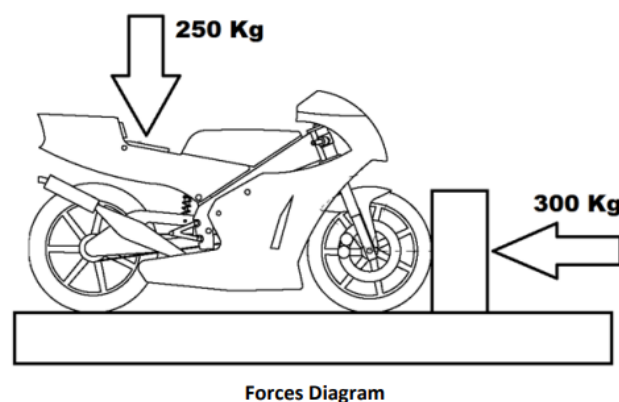


Ilustración 18: Descripción gráfica de la prueba. [7]

Cabe destacar que a la hora de realizar el cálculo se considerarán las fuerzas mencionadas como dos fuerzas independientes, es decir, primero se estudiará la carga horizontal y posteriormente la vertical.

- Cálculos Dinámicos: Al realizar los cálculos dinámicos, se considerarán las siguientes situaciones que pueden ocurrir durante la conducción, lo que se busca con estos cálculos, es comprobar las fuerzas que se generan en la rueda trasera en situaciones límite durante la conducción. [7]
 - Fuerzas generadas debido a la máxima aceleración por pérdida de tracción.
 - Paso por Curva.

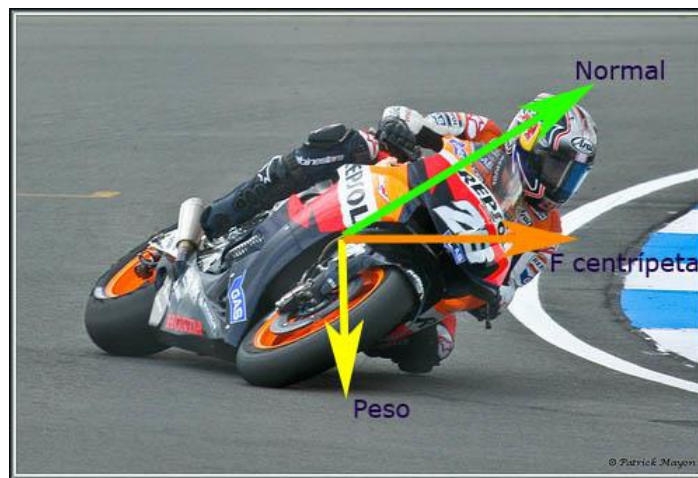


Ilustración 19: Fuerzas generadas en una curva. [29]

Criterio Para la Suspensión

Como ya se ha mencionado previamente, a la hora de seleccionar el sistema de suspensión es esencial considerar el espacio disponible, así como la capacidad de ajuste y compatibilidad con otros elementos de la motocicleta.

Además, se deben considerar como requisitos adicionales la utilización completa del recorrido del muelle y la viabilidad del propio sistema.

Para concluir y como ya se ha definido en un apartado anterior, el sistema elegido es el de bieletas.

Criterio Para los Elementos Auxiliares

Se consideran elementos auxiliares a los ejes y los cabezales de aluminio del sistema de suspensión trasera. Para su dimensionamiento y fabricación se estudiarán las cargas producidas y se diseñarán los ejes en SolidWorks.

EVOLUCIÓN DE LAS PROPUESTAS DE DISEÑO DEL BASCULANTE

Con todo lo descrito en los apartados anteriores del proyecto, se puede comenzar con el proceso de diseño. Este proceso implicará la selección de unos criterios basados en la investigación realizada hasta ahora, seguido de la presentación y análisis de varias soluciones. Finalmente, se terminará con la descripción de la solución elegida y se destacarán sus características más relevantes.

Propuestas de Diseño

Bocetados Previos

En el proceso de diseño del basculante para la motocicleta de competición Motostudent, es fundamental llevar a cabo una fase de generación de ideas creativas y diversas. Para ello van a presentar a continuación un par de ejemplos y bocetos esquemáticos rápidos, que se pensaron antes de comenzar este proyecto y que ayudaron a desarrollar las dos ideas formales de los siguientes apartados.

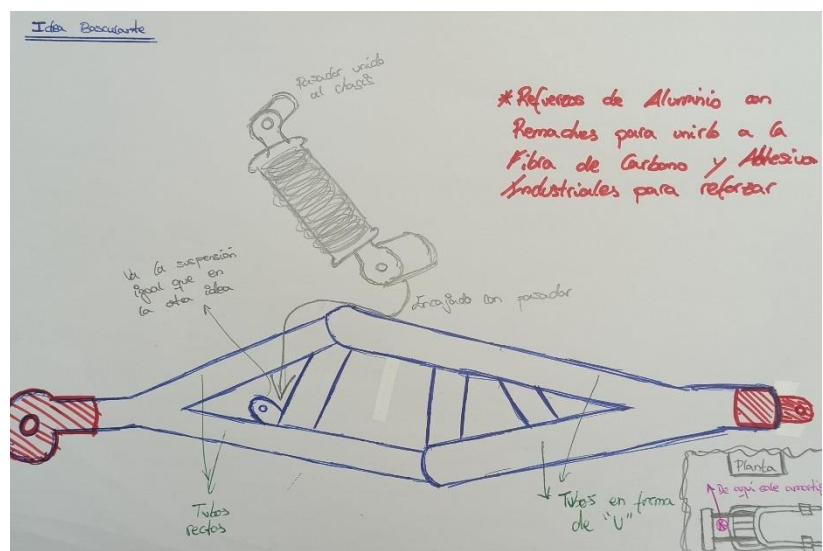
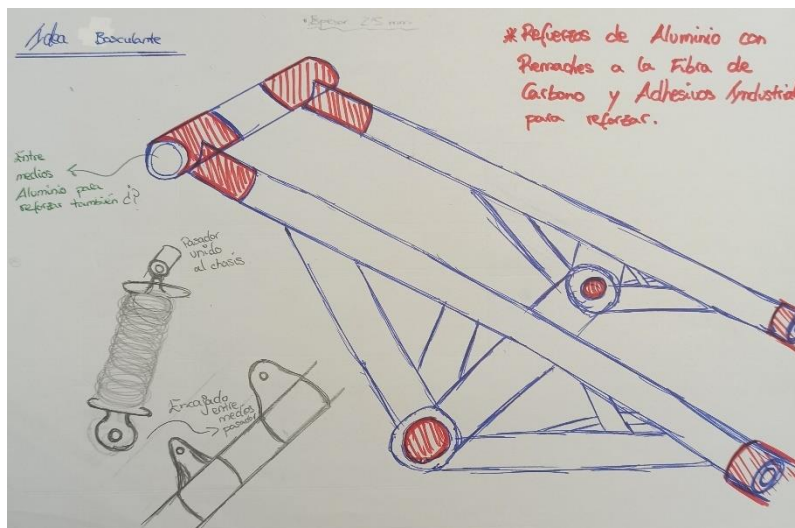


Ilustración 20: Bocetos Iniciales de basculantes. (Fuente: Propia)

Primera Propuesta de Diseño

En esta primera opción se ha optado por un basculante con una forma tubular, el cual tiene dos alturas unidas transversalmente gracias al uso de tubos también cilíndricos. En este primer diseño tanto los brazos superiores del basculante como los brazos inferiores están fabricados en fibra de carbono y son paralelos al eje horizontal, lo que permite proporcionar ciertas comodidades a la hora de su montaje en la motocicleta y facilita poder modificar su posición, para conseguir un reparto de pesos de la mejor forma posible mejor.

El tubo central es una pieza clave, ya que se encarga de unir ambos brazos superiores, y proporciona una rigidez a la estructura fundamental para que el basculante pueda soportar los esfuerzos a los que se le someta tanto en las pruebas como en la competición.

En lo que respecta al sistema de suspensión trasera, si se utiliza un anclaje directo entre el chasis y el basculante, se podría lograr una inclinación bastante neutra. Sin embargo, si se opta por un sistema de suspensión no directo, como el de bieletas, el espacio disponible para el motor de la motocicleta podría verse comprometido.

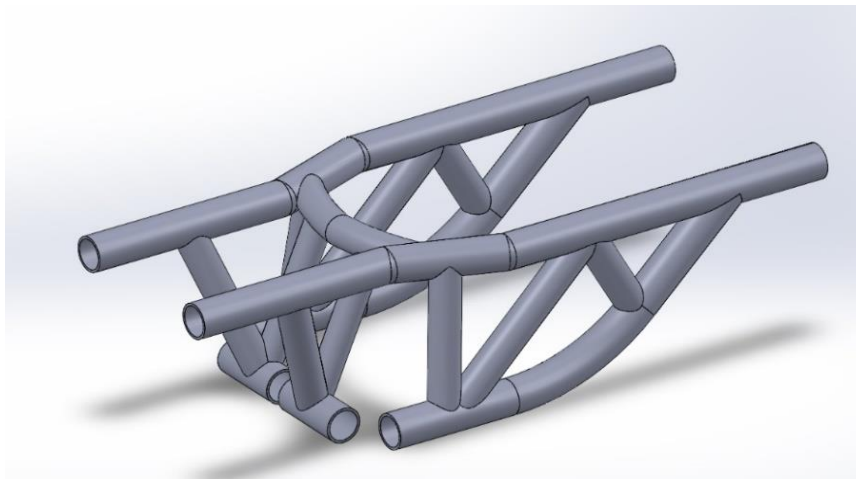


Ilustración 21: Modelado 3D del Primer Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)

En este modelo se creó primero la estructura principal o tubos superiores con unos diámetros de 28mm y 24mm, es decir, con un espesor de la fibra de carbono de 4 mm.

En segundo lugar se diseñaron los brazos inferiores, también en fibra de carbono y con los mismos diámetros que los brazos superiores que se acaban de mencionar.

Por último se establecen los tubos de las secciones transversales, los cuales se encargan de unir los brazos superiores del basculante a los brazos inferiores del basculante y dotar al diseño de más rigidez. Estos tubos transversales, también constituidos en fibra de carbono, se han modelado con unos diámetros de 24mm y 20mm, por lo que se observa que se ha logrado mantener el mismo espesor tanto en estas uniones transversales como en los brazos superiores e inferiores del basculante.

A este diseño se deben incluir las piezas mecanizadas en aluminio, como son: los soportes del sistema de suspensión, los cabezales de unión entre el basculante y el chasis, el eje de giro del basculante y las sujeciones del basculante a la rueda trasera.

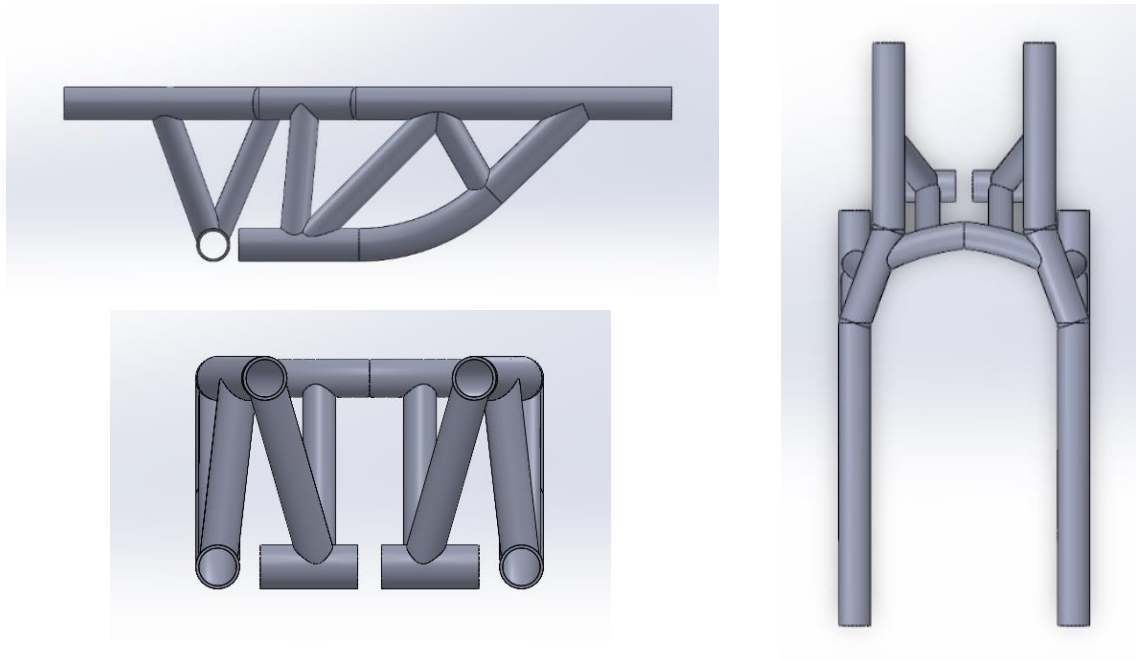


Ilustración 22: Vistas del Primer Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)

Segunda Propuesta de Diseño

En esta segunda propuesta o idea de basculante, se ha optado por un diseño cuyos brazos tanto superiores como inferiores tienen una sección rectangular, fabricada también en fibra de carbono.

La ventaja de esta propuesta con respecto a la idea anterior es que su geometría y por lo tanto su fabricación es más sencilla, por lo que a su vez se requeriría de un molde mucho más sencillo.

En este modelo se generaron primero los brazos superiores del basculante, con unas medidas exteriores de 54mm x 46.5 mm y unas medidas interiores de 50mm x 42.5mm, es decir, con un espesor de la fibra de carbono de 2 mm.

En segundo lugar se diseñaron los brazos inferiores, también en fibra de carbono y con las mismas medidas que los brazos superiores que se acaban de mencionar, estos brazos son razonablemente más pequeños que los superiores.

Además entre los brazos superiores e inferiores del basculante hay un ángulo de 16.3° , siendo los brazos superiores paralelos al eje horizontal.

Para otorgarle a esta propuesta de basculante una mayor rigidez se diseña una pieza central en aluminio, que actuará de núcleo, el cual se encargan de unir los brazos superiores del basculante a los brazos inferiores.

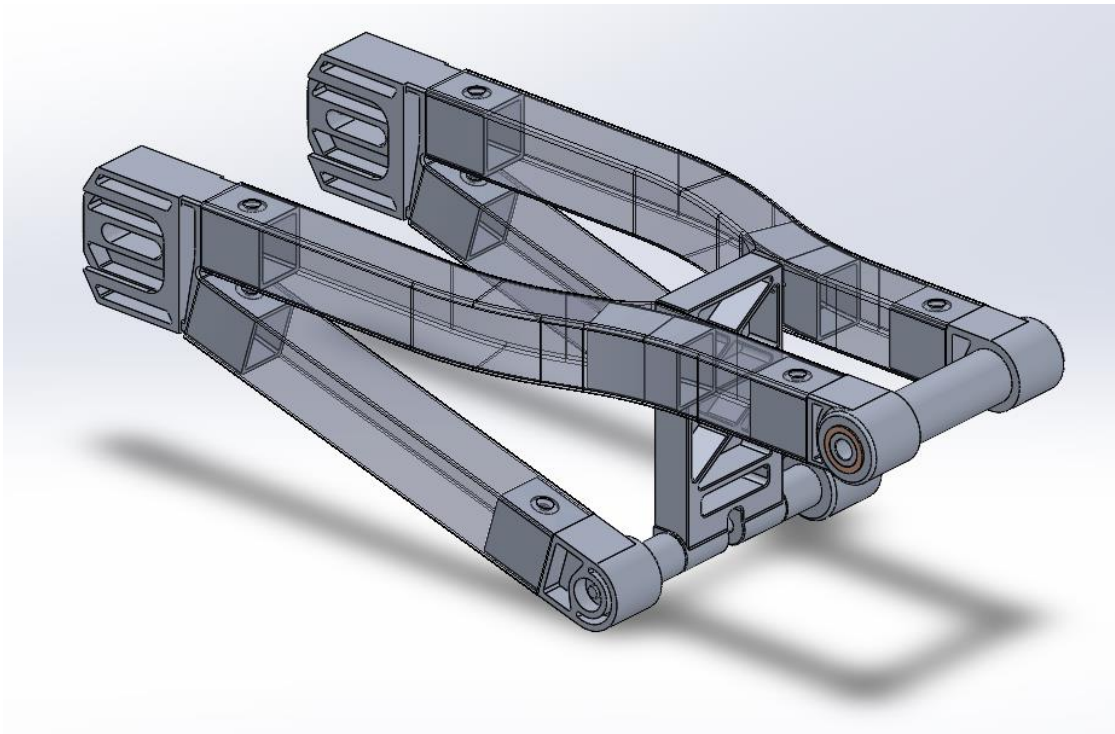


Ilustración 23: Modelado 3D del Segundo Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)

En lo respectivo al sistema de suspensión trasera, este diseño consigue generar el espacio suficiente entre el chasis y el basculante para utilizar un sistema de suspensión por bieletas, el cual sale de la parte inferior del núcleo de aluminio.

Como se opta por el sistema de suspensión de bieletas, permite tener un espacio amplio para el posicionamiento del amortiguador, pudiendo configurarlo de la forma óptima.

En este diseño se decide incluir las piezas mecanizadas en aluminio, como son: los cabezales de unión entre el basculante y el chasis, las sujeciones del basculante a la rueda trasera, los cabezales de unión de los brazos inferiores y el núcleo de aluminio.

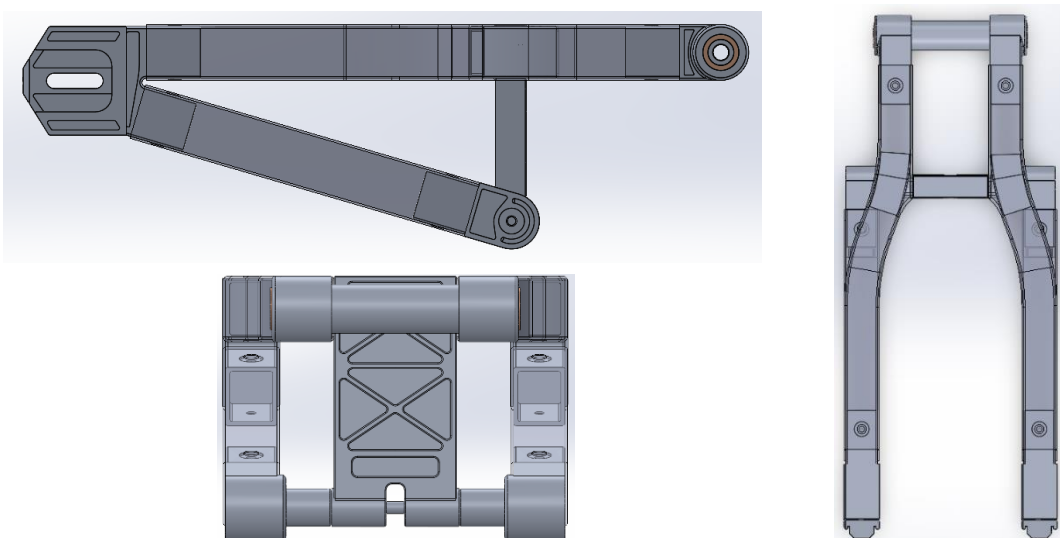


Ilustración 24: Vistas del Segundo Diseño de Basculante. (Fuente: Propia)

Valoración de las Propuestas y Selección del Diseño Final

Una vez se han expuesto las dos posibles ideas de diseño, van a ser sometidas a debate, para así poder decidir cual se selecciona como diseño final y posteriormente se desarrolla por completo.

Para empezar y como ya ha sido mencionado en un apartado anterior, el peso del basculante diseñado por el equipo de la UPNA para la última edición de Motostudent es de 4.850 kg. Mientras que los pesos de las nuevas ideas de diseño propuestas son:

- El peso del Basculante Tubular o Primera Idea de Diseño es de 4.100 kg.
- El peso del Basculante de la Segunda Idea de Diseño es de 4.730 kg.

A la hora de calcular los pesos anteriores, tanto el del basculante de la última edición como los de las dos propuestas de diseño, se han tenido en cuenta únicamente los pesos de los brazos en fibra de carbono y los cabezales de unión fabricados en aluminio.

Se han dejado de lado los pesos del núcleo de aluminio, el amortiguador, las bieletas, los casquillos y ejes. Esto es debido a que serán exactamente iguales en todos los basculantes, ya sea en las propuestas o el diseño de la edición pasada.

Se observa que en ambas propuestas de diseño se ha conseguido disminuir el peso del basculante original o anterior, esto se debe a las siguientes razones:

- Solo están fabricados en aluminio los cabezales y no el basculante completo como en la edición pasada.
- Dichos cabezales se ensamblan por dentro de los brazos de fibra de carbono, esta fibra de carbono que compone los brazos del basculante es mucho más ligera que el aluminio del basculante anterior, debido a las densidades de ambos materiales.
- Se han realizado rebajes de material en el proceso de mecanizado de los cabezales de aluminio, este material no tiene ninguna función en el diseño final de los cabezales.

En un principio, parece que de los dos diseños propuestos la opción elegida debería ser la primera, ya que es la propuesta más ligera, pero tiene varios puntos en contra, los cuales son:

- El primer punto en contra es que, al ser el espesor de los tubos bastante mayor en comparación con el espesor de los brazos de la segunda propuesta, se incrementaría el coste de su fabricación ya que se requeriría de más material.

- El segundo y principal punto en contra es que la fabricación no es tan sencilla como en el segundo diseño, ya que la fibra de carbono no se puede soldar (a diferencia de otros metales como el aluminio), por lo que el molde que habría que diseñar para llevar a cabo la fabricación de las secciones transversales junto a los brazos del basculante sería demasiado complejo.

Además, la pieza central de aluminio que actúa como núcleo en la segunda propuesta de diseño, proporciona al basculante la rigidez perfecta minimizando la deformación o flexión del conjunto, manteniéndolo estable y sin cambios significativos en su forma.

A parte de lo ya previamente mencionado, dado que el segundo diseño involucra la separación de los brazos superiores e inferiores y su ensamblaje con los diversos cabezales de aluminio, sería necesario contar con dos moldes completamente distintos e independientes para la fabricación de dichos brazos. Por consiguiente, la fabricación de la segunda propuesta de basculante será mucho más sencilla que la de la primera propuesta de basculante.

Para finalizar, se ha tomado la decisión de seleccionar la segunda propuesta como diseño definitivo y llevar a cabo su desarrollo completo.

De igual manera, en esta segunda iteración del diseño, se ha logrado reducir el peso del basculante en 120 gramos en comparación con la versión presentada por el equipo de la UPNA en la edición anterior. A pesar de esta reducción de peso, el basculante sigue siendo capaz de resistir de manera óptima todas las cargas y exigencias propias de la competición, aparte de presentar una apariencia estéticamente más refinada gracias al uso de la fibra de carbono. Esta mejora estética también es altamente valorada por la competición Motostudent.

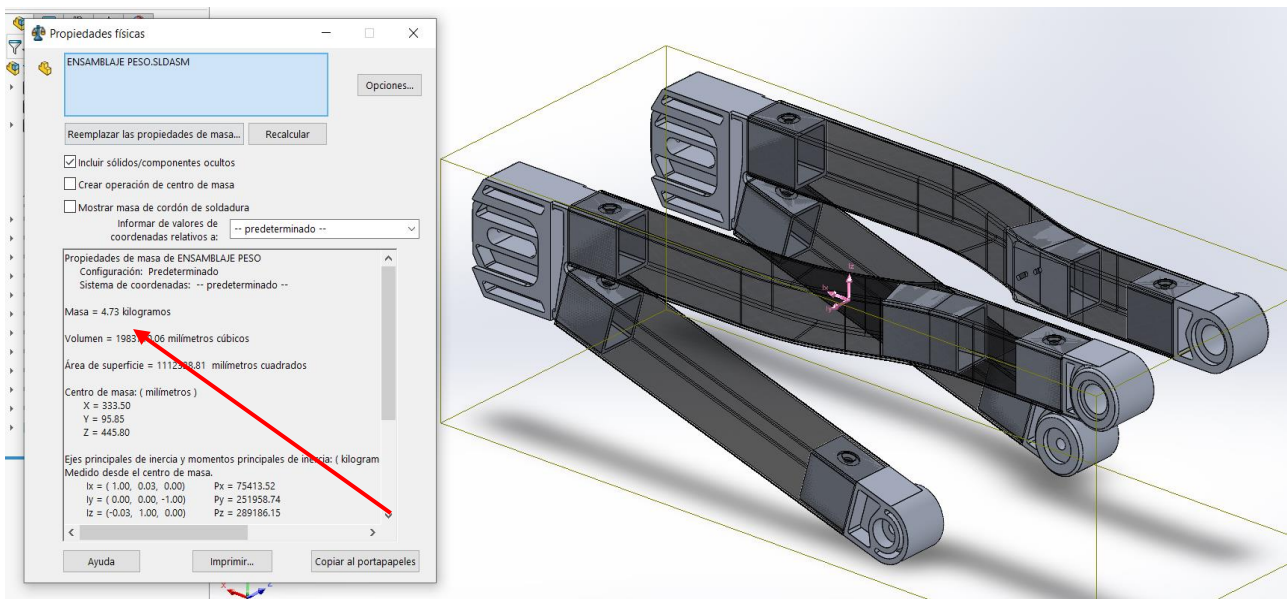


Ilustración 25: Especificación del peso de la propuesta de diseño definitivo del basculante. (Fuente: Propia)

MATERIALES: FIBRA DE CARBONO Y ALUMINIO

Introducción

La selección de material es uno de los pasos más importantes en la etapa de diseño de una pieza. Esto se debe a que las propiedades del material influirán en diversos aspectos del diseño, como la cantidad de material requerida y el proceso de fabricación.

Para la construcción de los basculantes de competición los materiales más utilizados son, en primer lugar, el aluminio, seguido por el acero y los materiales compuestos.

Parámetros Generales de Selección

A la hora de seleccionar los materiales para las piezas del basculante de una motocicleta de competición, es esencial considerar las siguientes características:

- **Densidad:** Es el parámetro físico que define relación entre la masa de una sustancia y el volumen que ocupa. Entre las unidades de masa más comúnmente utilizadas están kg/m^3 o g/cm^3 para los sólidos, y kg/L o g/mL para los líquidos y los gases. Si se comparan dos materiales que tengan un mismo volumen, aquel con una menor densidad tendrá una menor masa. [30]
- **Módulo de Young:** El módulo de Young es un parámetro utilizado para describir la respuesta elástica de un material en diferentes direcciones bajo la acción de una fuerza. Es esencial considerar el valor del módulo de Young, ya que las deformaciones experimentadas por el material no deben ser demasiado altas, para evitar alteraciones en la geometría del prototipo, pero tampoco demasiado bajas, pues no es interesante el uso de materiales frágiles en piezas de automoción. Su unidad es el Pa. [31]
- **Límite Elástico:** El límite elástico representa la máxima tensión que un material puede soportar sin perder sus propiedades elásticas y experimentar deformaciones plásticas. Es por esto por lo que se define este punto como el máximo tolerable en el diseño de un material, pues las deformaciones plásticas son permanentes y perjudiciales para las estructuras. [32]
- **Resistencia a Tracción:** La resistencia a la tracción es la máxima tensión que puede soportar un material antes de romperse. Esta característica es fundamental, ya que nos permite determinar la viabilidad de un diseño. [33]

Selección de Materiales

Después de exponer las propuestas de diseño y estudiar su adecuación a los parámetros planteados, así como su viabilidad económica y técnica, se decidió utilizar fibra de carbono HEXCEL AS4C (3000 Filamentos) para los brazos del basculante y la aleación de aluminio 6061 para los cabezales de unión a los componentes de la motocicleta y el núcleo del basculante.

Además, el resto de las piezas del conjunto también estarán fabricadas en la aleación de aluminio 6061, como: el tirante y las bieletas del amortiguador, los casquillos, los ejes que conectan los brazos y las piezas de aluminio que se encuentran dentro de los brazos superiores del basculante (la función de estas piezas es ayudar en el ensamblado del núcleo con dichos brazos).

Fibra de Carbono: Hexcel AS4C (3000 filamentos)

Introducción

La fibra de carbono es un conjunto de filamentos o hilos extremadamente delgados, con un diámetro de aproximadamente 0,005 mm a 0,010 mm. Estos filamentos están compuestos por átomos de carbono dispuestos de manera aleatoria, lo que le confiere una notable resistencia. Si estos átomos estuvieran dispuestos de forma ordenada, la fibra de carbono sería muy blanda y deformable, similar a la mina de un lápiz.

Sin embargo, debido a su disposición aleatoria, la fibra de carbono posee propiedades mecánicas excepcionales, comparables a las del acero pero con apenas una cuarta parte de su peso. [34]

Asimismo, el acabado en fibra de carbono es ampliamente valorado en diversas industrias como la automotriz, la aeroespacial y la deportiva. Su apreciación se debe a que presenta una apariencia brillante y texturizada, con una combinación de tonos oscuros y destellos luminosos, lo que le confiere un aspecto moderno y futurista.

Asimismo, el acabado de la fibra de carbono puede variar desde un acabado mate a un acabado brillante, dependiendo de la aplicación y las preferencias estéticas. [35]



Ilustración 26: Malla de Carbono Tubular. [36]

Hexcel como Proveedor

Hexcel es una empresa líder en la fabricación de fibra de carbono, con más de medio siglo de experiencia y una destacada presencia en programas aeroespaciales. Cuenta con una amplia variedad de fibras de carbono de alto rendimiento, diseñadas tanto para aplicaciones en la industria aeroespacial como en la industria en general.

Hexcel es reconocido como el principal proveedor de fibra de carbono para aplicaciones militares en Estados Unidos.

Su compromiso se centra en brindar un servicio excepcional al cliente, ofrecer soporte técnico de calidad y liderar el suministro global de soluciones innovadoras en materiales de fibra de carbono. [37]

Propiedades de la Fibra de Carbono: Hexcel AS4C (3000 filamentos)

A continuación, se proporciona una descripción de algunas de las cualidades inherentes a la fibra de carbono.

- Elevada resistencia mecánica.
- Baja densidad en comparación con otros materiales de construcción.
- Gran resistencia térmica, una de las ventajas de utilizar compuestos de fibra de carbono es su capacidad para resistir altas temperaturas y su baja expansión térmica. Los compuestos de fibra de carbono pueden soportar temperaturas de hasta 815 °C (1500 °F) sin deformarse, y también son resistentes a cambios de temperatura, manteniendo su forma y propiedades.

Esto convierte a la fibra de carbono en un material perfecto para el diseño de nuestro basculante, ya que tiene un comportamiento ideal en aplicaciones donde las altas temperaturas son un factor crítico, como en la industria aeroespacial o automovilística.

- Los materiales compuestos de fibra de carbono tienen una baja conductividad térmica, lo que los hace ideales como aislante térmico.
- Resistente a agresiones químicas y a la corrosión.
- Buena resistencia frente a los impactos.
- No sufre gran desgaste debido a fatiga.
- Gran rigidez, ya que tiene un elevado Módulo de Young. [37]

Además de lo mencionado, las características mecánicas de una fibra de carbono bidireccional con matriz de resina son las siguientes:

- Peso/longitud = $0,200 \text{ g/m}$.
- Densidad: 1780 kg/m^3 .
- Módulo de Young: 35.9 GPa.
- Resistencia a la tracción máxima: 4150 MPa.
- Módulo de Elasticidad: 231 GPa. [37]

Tipo de fibra	Número de filamentos	Resistencia a tracción específica ($\times 10^4$)	Módulo de tracción ($\times 10^6$)	Número de fibra ECCN
AS4	3000	26.3	13.2	1C210
	6000	25.1	13.2	1C210
	12000	25.1	13.2	1C210
AS4C	3000	26.7	13.2	1C210
	6000	25.5	13.2	1C210
	12000	25.7	13.2	1C210

Tabla 1: Clasificación de exportación ECCN de fibra de carbono HexTow. [37]

Aleación de Aluminio 6061

Introducción

El aluminio es un metal no ferromagnético, el cual se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre y por lo tanto, es uno de los elementos más abundantes.

Es un metal muy utilizado en la industria automovilística, ya que combina dos de las características más importantes que se buscan en dicho sector: baja densidad y elevada resistencia.

Esto hace del aluminio un material muy versátil, que además presenta gran resistencia a la corrosión, lo que lo hace ideal para aplicaciones tanto de exterior como de interior.

La fatiga ejerce una gran influencia en las propiedades mecánicas del aluminio, lo cual constituye su principal desafío, ya que esto puede provocar que una carga menor a la tensión de rotura rompa dicho material. [38]

Aleación 6061

Para la solicitud que deseamos elegimos un aluminio de la denominación 6XXX y 7XXX. La serie 6XXX de aluminio se refiere a una aleación de Magnesio y Silicio, la cual tienen buena soldabilidad, maquinabilidad y resistencia a la corrosión.

La elegida es la aleación 6061, su composición incluye un porcentaje de aluminio que oscila entre el 95.8% y el 98.6%, junto con aproximadamente un 0.8% a 1.2% de magnesio y un 0.4% a 0.8% de silicio. Además, contiene trazas de otros elementos como cobre y cromo. [39]



Ilustración 27: Tubos fabricados en Aluminio 6061. [40]

Propiedades de la Aleación 6061

A continuación, se proporciona una descripción de algunas de las cualidades inherentes a la aleación de aluminio 6061. [39]

- El aluminio 6061 no es nada débil, pero posee un límite elástico ligeramente inferior en comparación con otras aleaciones de aluminio.
- En este caso, el aluminio 6061 posee una conductividad térmica muy buena, esa es una de las razones por las que se elige este material cuando se requiere principalmente disipación de calor.
- Resistente a agresiones químicas y a la corrosión.
- La aleación es lo suficientemente dura para resistir la deformidad sin agrietarse bajo presión.
- Elevada resistencia mecánica.

- Si bien se dice que el aluminio 6061 es soldable, se debe tener el cuidado adecuado en la selección del metal de aporte de soldadura perfecto. [39]

Además de lo mencionado, las características mecánicas de la aleación de aluminio 6061 son las siguientes:

Propiedad	Valor	Unidades
Módulo elástico	6.9e+10	N/m ²
Coefficiente de Poisson	0.33	N/D
Módulo cortante	2.6e+10	N/m ²
Densidad de masa	2700	kg/m ³
Límite de tracción	124084000	N/m ²
Límite de compresión		N/m ²
Límite elástico	55148500	N/m ²
Coefficiente de expansión térmica	2.4e-05	/K
Conductividad térmica	170	W/(m·K)
Calor específico	1300	J/(kg·K)
Cociente de amortiguamiento del material		N/D

Tabla 2: Propiedades del Aluminio 6061. (Fuente: Propia)

Coeficientes de Dilatación de la Fibra de Carbono y el Aluminio 6061

Introducción

La dilatación térmica es un fenómeno común en los materiales industriales que experimentan cambios dimensionales debido a las variaciones de temperatura. Estos cambios pueden tener un impacto significativo en el rendimiento y la integridad de los componentes y estructuras.

El coeficiente de dilatación térmica es una propiedad importante que hay que considerar al unir materiales con diferentes coeficientes de dilatación, como la fibra de carbono y la aleación de aluminio 6061.

La fibra de carbono tiene un coeficiente de dilatación térmica extremadamente bajo ($0.8 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), lo que significa que experimenta muy poca expansión o contracción cuando se somete a cambios de temperatura.

Por otro lado, la aleación de aluminio 6061 tiene un coeficiente de dilatación térmica moderado ($24 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$), lo que significa que se expande y se contrae más significativamente con los cambios de temperatura.

Cuando se unen estos dos materiales, es importante tener en cuenta las diferencias en sus coeficientes de dilatación térmica para evitar problemas como el agrietamiento o la delaminación de la unión debido a tensiones generadas por las diferencias en la expansión térmica. [41]

En una motocicleta de competición, las suspensiones no llegan a calentarse tanto en comparación con otros elementos de la motocicleta, como pueden ser las pinzas y pastillas de freno o las ruedas. Por lo general, se observa que la temperatura de la suspensión delantera se encuentra ligeramente por encima de la temperatura ambiente, mientras que la suspensión trasera tiende a calentarse aún más. En condiciones extremas y dependiendo de la temperatura ambiente, la suspensión trasera puede alcanzar temperaturas de hasta 70°C. [42]

A continuación se van a estudiar las dos ideas de diseño que se sometieron a debate, para poder compararlas se supondrá el estudio con una probeta de 1 metro de longitud y la variación de T° más desfavorable, la fórmula que se va a usar es:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T^\circ$$

Ecuación 1: Fórmula para calcular la variación de longitud de un material debido a cambios de temperatura.

Donde:

- ΔL es la variación de longitud.
- α es el coeficiente de dilatación térmica lineal del material.
- L es la longitud original del material.
- ΔT° es el cambio de temperatura.

Primera Idea de Diseño

Como primera idea se planteó hacer el basculante entero de aluminio y recubrirlo con fibra de carbono, pero al calcular cuánto se deformaba el material se observó lo siguiente:

$$\Delta L_{Fc} = \alpha \cdot L \cdot \Delta T^\circ = 0.8 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 70 = 0.000056 \text{ m} = 0.056 \text{ mm}$$

$$\Delta L_{Al} = \alpha \cdot L \cdot \Delta T^\circ = 24 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 70 = 0.00168 \text{ m} = 1.68 \text{ mm}$$

Segunda Idea de Diseño

En esta segunda idea se planteó hacer solo una parte en aluminio, que posteriormente se desarrollarían como los cabezales, y el cuerpo entero del basculante en fibra de carbono únicamente, es decir, lo que se consideraría como los brazos de este.

Se va a considerar que de la probeta ensamblada lo correspondiente a los cabezales de aluminio serán dos quintos del total, o lo que es lo mismo, 0.4 metros.

De esta manera se observó la siguiente deformación:

$$\Delta L_{Fc} = \alpha \cdot L \cdot \Delta T^{\circ} = 0.8 e^{-6} \cdot 1 \cdot 70 = 0.000056 m = 0.056 mm$$

$$\Delta L_{Al} = \alpha \cdot L \cdot \Delta T^{\circ} = 24 e^{-6} \cdot 0.4 \cdot 70 = 0.000672 m = 0.672 mm$$

Selección de la Idea Definitiva

Como se puede observar, en la segunda propuesta de diseño y al tener mucha menos cantidad de material de la aleación de aluminio 6061, se consigue disminuir significativamente la deformación que experimentaría la probeta de 1 metro de longitud.

Por esta razón, se tomó como decisión desarrollar en aluminio únicamente los cabezales de unión del basculante a los demás elementos de la motocicleta, mientras que los brazos del basculante se fabricarán en fibra de carbono.

Uniones de la Fibra de Carbono y la Aleación de Aluminio 6061

Introducción

La unión de fibra de carbono y aluminio es un proceso común en diversas aplicaciones, especialmente en la industria aeroespacial, automotriz y deportiva. Ambos materiales tienen propiedades únicas y complementarias que los hacen adecuados para ciertas partes y componentes. Existen diferentes métodos para conseguir unir la fibra de carbono y el aluminio, siendo los más utilizados:

- Los adhesivos estructurales, se utilizan adhesivos especiales de alta resistencia diseñados para unir materiales compuestos de fibra de carbono y aluminio. Estos adhesivos forman una unión fuerte y duradera entre las superficies de ambos materiales.
- Mecanizado y fijación. En algunos casos, se pueden utilizar métodos de mecanizado para crear formas específicas en los materiales y luego fijarlos mediante tornillos, remaches u otros elementos de sujeción. Esta técnica es común en aplicaciones donde se requiere un rápido desarme o un ajuste preciso.

Es importante considerar las propiedades y características de ambos materiales al unirlos, la diferencia en las propiedades de expansión térmica y rigidez entre la fibra de carbono y el aluminio puede generar problemas de compatibilidad. Por lo tanto, es crucial elegir los métodos de unión adecuados y tener en cuenta factores como la resistencia, la deformación y la durabilidad. [43]

Unión Fibra de Carbono - Aluminio: ¿Dónde Se Usa?

La unión entre la fibra de carbono y el aluminio está presente en muchos aspectos de la ingeniería, desde la fabricación de bicicletas hasta palos de golf, y fundamentalmente en la aeronáutica. Algunos ejemplos son los siguientes:

- En el ámbito del ciclismo, se encuentra presente la conexión entre el componente que sostiene el buje de las ruedas y los tubos de fibra de carbono que forman parte del armazón de la bicicleta.



Ilustración 28: Horquilla de Fibra de Carbono con pieza de Aluminio. [44]

- Por último, también se quiere destacar la presencia de estos dos materiales en el mundo automovilístico. Por ejemplo, los capós se laminan en fibra de carbono y la unión con el resto del coche se hace mediante bisagras de aluminio.



Ilustración 29: Capó en Fibra de Carbono. [45]

Unión Fibra de Carbono - Aluminio con Remaches Autoperforantes por Fricción

En el actual proyecto, se ha optado por combinar los elementos de fibra de carbono HEXCEL AS4C (3000 Filamentos) y la aleación de aluminio 6061 del basculante utilizando remaches autoperforantes por fricción.

Los remaches autoperforantes por fricción son una opción popular para unir materiales compuestos de fibra de carbono con piezas de aluminio. Este tipo de unión es común en aplicaciones donde se busca combinar la ligereza y resistencia de la fibra de carbono con la versatilidad y durabilidad del aluminio.

Los remaches autoperforantes por fricción se caracterizan por su capacidad de unir materiales sin necesidad de perforar previamente agujeros en ellos. Esto es especialmente beneficioso en el caso de la fibra de carbono, ya que perforar agujeros en este material puede debilitarlo y comprometer su integridad estructural.

Es importante tener en cuenta que los remaches autoperforantes por fricción deben seleccionarse cuidadosamente en función de los materiales a unir, ya que deben ser compatibles con la fibra de carbono y el aluminio. También se deben seguir las recomendaciones del fabricante para garantizar una unión adecuada y duradera. [46]

El proceso de unión con remaches autoperforantes por fricción para fibra de carbono y aluminio consta de varios pasos detallados a continuación:

- Preparación de los materiales. Antes de comenzar el proceso de unión, es necesario preparar adecuadamente las superficies de los materiales a unir, esto implica limpiar y desengrasar tanto la fibra de carbono como el aluminio para asegurar una buena adhesión.
- Selección del remache. Es importante elegir el remache adecuado que sea compatible con la fibra de carbono y el aluminio.
- Posicionamiento del remache. Se coloca el remache en la posición deseada de la unión, asegurándose de que esté alineado correctamente con los agujeros de fijación.
- Aplicación de una fuerza axial. Se aplica una fuerza axial al remache, ya sea manualmente o utilizando una herramienta específica de instalación, esta fuerza genera fricción entre el remache y los materiales a unir.

Es recomendable seguir los consejos del fabricante del remache y utilizar herramientas adecuadas para garantizar una fuerza axial adecuada durante el proceso de unión. La remachadora TAUREX Axial es especialmente adecuada para aplicaciones con acceso reducido gracias a su multiplicador de presión separado. [46]



Ilustración 30: Remachadora con presión de multiplicador externo. (Fuente: Propia)

- Generación de calor. La fricción generada durante la aplicación de la fuerza axial produce calor, este calor es necesario para fundir parcialmente el material de fibra de carbono en el área alrededor del remache, al mismo tiempo, el remache crea roscas en el aluminio a medida que se desplaza.
- Penetración y formación de la unión. El remache autoperforante por fricción penetra en la fibra de carbono fundida y crea una conexión sólida. Al mismo tiempo, las roscas del remache se enganchan en el aluminio, asegurando una unión firme y resistente.
- Enfriamiento y solidificación. Una vez que se completa el proceso de unión, el material de fibra de carbono se enfría y solidifica alrededor del remache. Esto proporciona una conexión rígida y estable. [46]

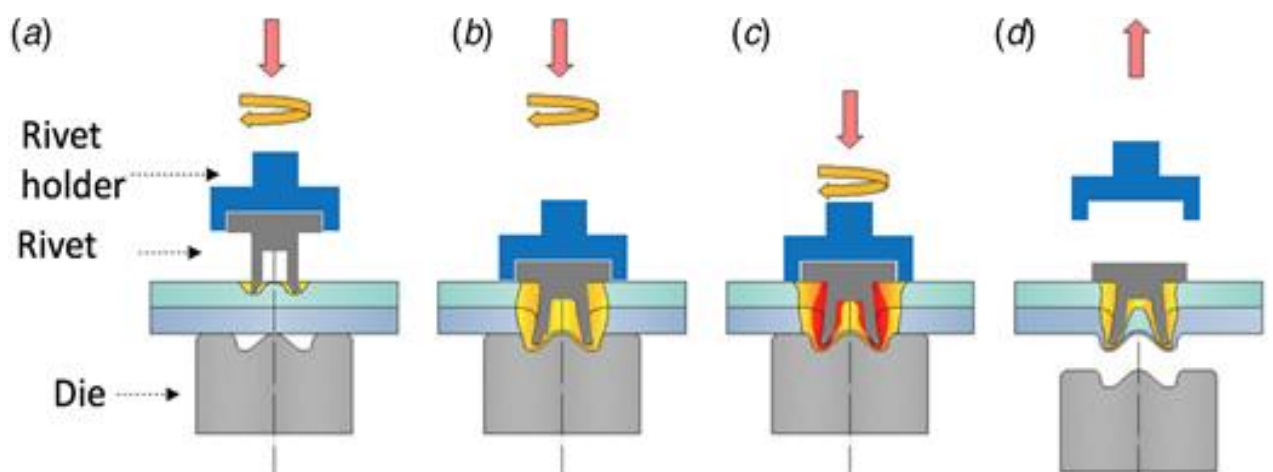


Ilustración 31: Esquema de Unión con remache autoperforante por fricción entre HEXCEL AS4C (3000 Filamentos) en verde con la Aleación de Aluminio 6061 en Azul. [47]

En la imagen anterior, el apartado (a) representa la inmersión del remache en el material superior, el (b) la inmersión en el material inferior, el (c) refleja en color rojo el calor de fricción localizado que se genera durante el proceso de unión, el último apartado (d) muestra el remache después del enfriamiento y el fin del proceso. [47]

En resumen, el proceso de unión con remaches autoperforantes por fricción para fibra de carbono y aluminio implica la generación de calor a través de la fricción para fundir parcialmente la fibra de carbono y formar una conexión sólida, mientras que el remache crea roscas en el aluminio para una unión resistente.

Los remaches autoperforantes por fricción ofrecen una solución efectiva y confiable para unir fibra de carbono y aluminio, permitiendo la creación de ensamblajes fuertes y livianos.

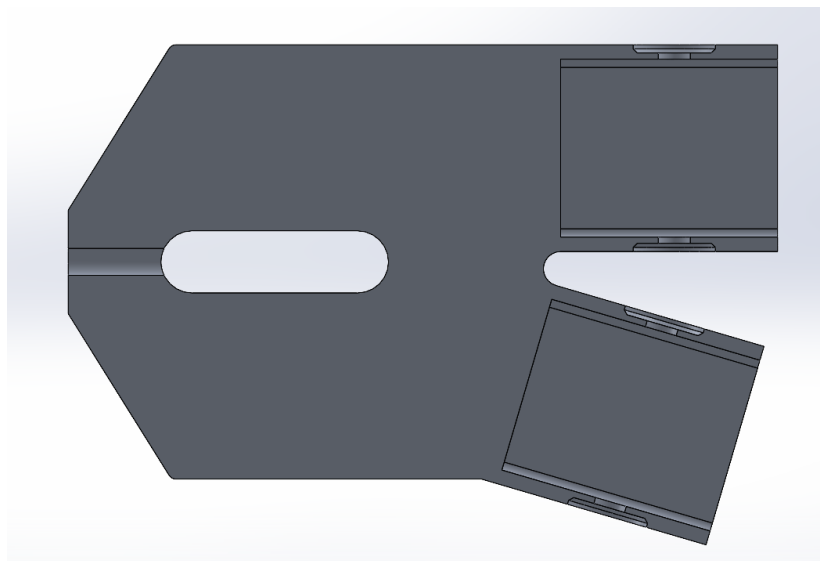


Ilustración 32: Trayectoria del remache en el cabezal de Aluminio. (Fuente: Propia).

El remache autoperforante por fricción que se ha decidido usar en el presente proyecto es de la empresa “Atlas Copco” de Madrid, se ha decidido utilizar este remache ya que es específico para aleaciones de aluminio más finas. Su ficha técnica se adjunta en los anexos.



✓ Remache A

Aplicaciones industriales:

industria automovilística

Materiales de aplicación:

aleaciones de aluminio más finas

Diámetro: 3 mm / 5 mm

Longitudes: 3 mm: 3,25 mm a 4,5 mm / 5 mm: 4,5 mm a 7 mm

Ilustración 33: Remache Autoperforante Por Fricción elegido para el Proyecto. [48]

Adhesivos Industriales

Los adhesivos industriales ofrecen ventajas significativas en la unión de fibra de carbono y aluminio, ya que proporcionan una unión continua, distribuyen las cargas de manera uniforme y minimizan la formación de puntos de concentración de estrés.

Además, los adhesivos permiten unir áreas más grandes y complejas, lo que resulta en una mayor resistencia y durabilidad de la unión. [43]

El proceso de unión por adhesivos industriales implica varias etapas para asegurar una unión fuerte y duradera, las cuales son: [49]

- Limpiar las superficies para eliminar cualquier suciedad, grasa u óxido que puedan afectar la adhesión. También se recomienda lijar ligeramente las superficies para crear una textura que mejore la adherencia del adhesivo.
- Aplicación del adhesivo. Este se implementa de manera uniforme sobre una de las superficies siguiendo las recomendaciones del fabricante en todo momento.
- Se aplican presión para asegurar un contacto completo entre las superficies. Esto se puede lograr mediante abrazaderas, prensas o cualquier otro método que ejerza la presión necesaria para una buena adhesión.
- El adhesivo industrial requiere un tiempo de curado para alcanzar su máxima resistencia. Durante el proceso de curado, es importante mantener las piezas en su lugar y evitar cualquier movimiento o estrés que pueda afectar la calidad de la unión.
- Una vez que el adhesivo ha curado por completo, se realizan pruebas y controles de calidad para verificar la integridad de la unión. [49]

El adhesivo industrial que se ha decidido usar para reforzar la unión, ya remachada, entre los elementos del conjunto fabricados en fibra de carbono HEXCEL AS4C (3000 Filamentos) y la aleación de aluminio 6061 es ARALDITE® STANDARD G HARDENER, el cual es un adhesivo epoxi de 2 componentes y el proveedor sería una empresa conocida y de renombre como es "ClipCarbono".

El precio de este adhesivo industrial sería de 14.70 € impuestos incluidos. [50]

Sus propiedades básicas son las siguientes:

- Multiusos.
- Tiempo de manipulación o de trabajo largo.
- Sin Merma.
- Buena Resistencia a Cargas dinámicas.
- Adherencia sobre un amplio sustrato de materiales de uso común. [50]

Su ficha técnica se adjunta en los Anexos del presente proyecto.



Ilustración 34: Adhesivo Industrial elegido para el proyecto. [50]

Combinación de Remaches Autoperforantes por Fricción con Adhesivo Industrial

En conclusión, la elección de utilizar una combinación de remaches autoperforantes por fricción y el adhesivo industrial para unir fibra de carbono con la aleación de aluminio 6061 en el diseño final del basculante, se basa en varias razones fundamentales.

En primer lugar, los remaches autoperforantes por fricción proporcionan una unión mecánica inicial sólida y resistente, gracias al efecto de fricción y deformación plástica que se produce durante su instalación. Estos remaches permiten una fijación rápida y eficiente, especialmente en aplicaciones donde se requiere una alta resistencia a la tracción como es el caso del basculante.

Por otro lado, el uso de adhesivos industriales ofrece beneficios complementarios a la unión, ya que tienen la capacidad de llenar espacios microscópicos y adherirse a las superficies de manera uniforme, creando una unión continua y libre de discontinuidades. Además, distribuyen la carga de manera más uniforme, lo que resulta en una distribución de tensiones más equilibrada y reduce los puntos de concentración de esfuerzos.

La combinación de remaches autoperforantes por fricción y adhesivos industriales aprovecha las ventajas de ambos métodos de unión. Los remaches proporcionan una fijación inicial fuerte y resistente, mientras que el adhesivo mejora la integridad estructural al proporcionar una unión continua y mejorar la distribución de cargas.

Así mismo, esta combinación permite aprovechar las propiedades únicas de los materiales utilizados. La fibra de carbono ofrece una alta resistencia y rigidez, mientras que el aluminio proporciona una buena conductividad térmica y una alta relación resistencia-peso. La combinación de estos materiales permite obtener una estructura ligera y resistente, adecuada para aplicaciones que requieren un rendimiento mecánico óptimo.

CÁLCULOS

Cálculos Estáticos

Inicialmente, se realizará un análisis del equilibrio de la motocicleta para determinar las fuerzas de reacción presentes en las ruedas, esto proporcionará información crucial para calcular los esfuerzos que actúan en el sistema. Con el fin de lograr este objetivo, se empleará el principio del equilibrio de momentos, el cual establece que la suma total de los momentos alrededor del centro de gravedad de un objeto en estado estático es igual a cero.

Para realizar este cálculo, dado que todavía no se dispone de los pesos exactos de los componentes de la nueva motocicleta, se tomará como suposición un peso de 172,5 kg, basado en el peso del prototipo de la edición anterior y con un coeficiente de seguridad de 1,15. Además, se considerará que el centro de masa se encuentra en el 50% de la motocicleta, ya que esta posición representa el escenario más desfavorable para el basculante y la suspensión.

Para aplicar la fuerza vertical de 250 kg, se analizarán dos posiciones respecto al eje de la rueda delantera: una a una distancia de 1050 mm y otra a una distancia de 1150 mm, correspondientes a la ubicación del asiento del piloto, con el fin de evaluar el caso más desfavorable.

Es importante destacar que, al realizar la conversión de kilogramos a newtons para las cargas de 200 kg, 300 kg y 172,5 kg, se supondrá una gravedad de 10 m/s² para contar con un cierto margen de seguridad al momento de realizar las pruebas reales. Sin embargo, los demás cálculos se llevarán a cabo utilizando una gravedad de 9,81 m/s².

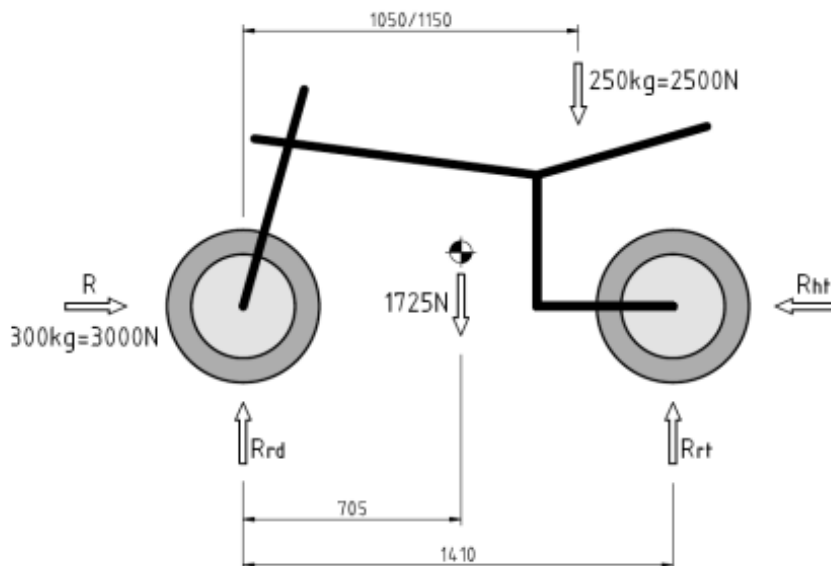


Ilustración 35: Fuerzas sobre la motocicleta que aparecen en la prueba de prensa. (Fuente: Propia)

- Reacción con la carga horizontal.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow -3000 + R_{ht} = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -1725 + R_{vt} + R_{vd} = 0$$

$$\sum M_1 = 0 \rightarrow -1725 * 0,705 + R_{vt} * 1,41 = 0$$

Ecuación 2: Sistema de reacciones al aplicar la carga horizontal

Si se resuelve el sistema de ecuaciones, se obtienen los siguientes resultados:

$$R_{vt} = 862,50 \text{ N}$$

$$R_{vd} = 862,50 \text{ N}$$

$$R_{ht} = 3000 \text{ N}$$

- Reacción con la carga vertical a 1050 mm del eje de la rueda delantera

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -2500 - 1725 + R_{vt} + R_{vd} = 0$$

$$\sum M_1 = 0 \rightarrow 2500 * 1,05 + 1725 * 0,705 - R_{vt} * 1,41 = 0$$

Ecuación 3: Reacciones al aplicar la carga vertical a 1050 mm de la rueda delantera

Si se resuelve el sistema de ecuaciones, se obtienen los siguientes resultados:

$$R_{vt} = 2724.20 \text{ N}$$

$$R_{vd} = 1500.80 \text{ N}$$

- Reacción con la carga vertical a 1150 mm de la rueda delantera.

$$\sum F_y = 0 \rightarrow -2500 - 1725 + R_{vt} + R_{vd} = 0$$

$$\sum M_1 = 0 \rightarrow 2500 * 1,15 + 1725 * 0,705 - R_{vt} * 1,41 = 0$$

Ecuación 4: Reacciones al aplicar la carga vertical a 1050 mm de la rueda delantera

Si se resuelve el sistema de ecuaciones, se obtienen los siguientes resultados:

$$R_{vt} = 2901.51 \text{ N}$$

$$R_{vd} = 1323.49 \text{ N}$$

Comparando los resultados anteriores se llega a la conclusión de que el caso más desfavorable para el tren trasero de la motocicleta es cuando se aplica la carga a una distancia de 1150 mm sobre el eje de la rueda delantera, por lo tanto para hacer el resto de los cálculos se tendrá en cuenta dicho caso.

Cálculos Dinámicos

Fuerzas Debidas a un Movimiento Rectilíneo Uniforme

Si la motocicleta se mueve en línea recta a una velocidad constante, se puede afirmar que está en equilibrio, esto permite tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Fuerza de resistencia a la rodadura es cero.
- Fuerza aerodinámica de levantamiento igual a cero.
- Con la pendiente nula, la única fuerza resistente al movimiento será la fuerza de empuje del viento, que coincidirá con el centro de gravedad. [51]

A continuación se expone un esquema de las fuerzas que actúan sobre la moto.

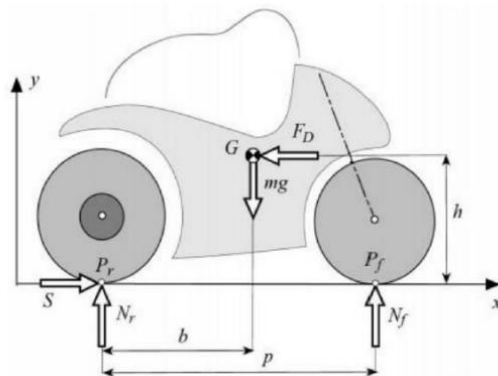


Ilustración 36: Fuerzas que actúan en un movimiento rectilíneo uniforme. [51]

De la imagen anterior se especifica que:

- N_f y N_r son las fuerzas verticales que se generan en el punto de contacto entre la rueda y el asfalto.
- S es la fuerza de tracción que el suelo aplica sobre la motocicleta en el punto de contacto con la rueda trasera, resultante de la fuerza generada por el motor.
- El peso del conjunto es $m \cdot g$.
- F_D es la resistencia producida por el aire.

Si se plantean las ecuaciones de equilibrio, se pueden obtener los valores de N_f y N_r una vez se hayan calculado previamente los valores S , la F_D y la $m \cdot g$.

$$\sum F_x = 0 \rightarrow S - F_D = 0$$

$$\sum F_y = 0 \rightarrow mg - N_r + N_f = 0$$

$$\sum M_1 = 0 \rightarrow S \cdot h - N_r \cdot b + N_f \cdot (p - b) = 0$$

Ecuación 5: Sistema de ecuaciones para el cálculo de las reacciones producidas por movimiento rectilíneo uniforme

De este sistema de ecuaciones se puede deducir que:

- Carga dinámica de la rueda trasera es $N_r = m \cdot g \cdot \frac{(p-b)}{p} + S \cdot \frac{h}{p}$
- Carga dinámica de la rueda delantera es $N_f = m \cdot g \cdot \frac{b}{p} - S \cdot \frac{h}{p}$

Ecuación 6: Ecuación de fuerza resultante vertical de las ruedas delantera y trasera

Una vez conocidas las fuerzas principales, se tienen que establecer los diferentes parámetros que actúan sobre estas y que se van a utilizar para el cálculo de las diferentes situaciones:

- Coeficiente de fricción (μ_p): 1,2
- Aceleración de la gravedad (g): $9,81 \text{ m/s}^2$
- Distancia entre ejes (p): 1410 mm
- Distancia Centro de Gravedad hasta rueda trasera (*Eje de las X*)(b): 705 mm
- Altura Centro de Gravedad (h): 600mm
- Aceleración (a)
- Masa del conjunto (*Piloto + Prototipo*)(m): 235kg
- Se desprecia la fuerza aerodinámica (F_D): 0 N

Fuerzas Debidas a Aceleraciones

- **Fuerzas debidas a la aceleración máxima por pérdida de tracción**

En este caso se van a estudiar las fuerzas que se generan en el momento previo a que la rueda trasera empiece a patinar. Cabe destacar, que al aparecer una aceleración, las fuerzas verticales y los momentos derivados de un estado de equilibrio dinámico, no son válidos y en este caso la fuerza de tracción (S) sería:

$$S = m \cdot a + F_D$$

Ecuación 7: Cálculo de la fuerza de tracción

Donde:

- m es la masa de la motocicleta más el piloto
- a es la aceleración de la motocicleta
- F_D es la carga aerodinámica.

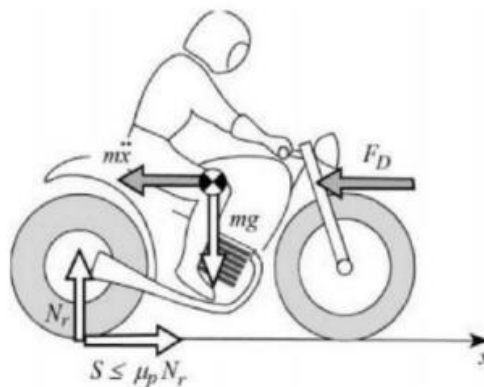


Ilustración 37: Fuerzas que actúan en la pérdida de tracción. [51]

Para considerar el momento antes de que la rueda patine, hay que tener en cuenta que la fuerza de tracción no puede ser superior a la fuerza de rozamiento, de tal forma que:

$$S \leq \mu_p \cdot N_r$$

Ecuación 8: Límite para la pérdida de tracción

Finalmente, mediante la expresión obtenida anteriormente de la fuerza normal en la rueda trasera (N_r), se puede deducir la expresión de la aceleración de la motocicleta:

$$N_r = m \cdot g \cdot \frac{(p - b)}{p} + S \cdot \frac{h}{p}$$

$$a \leq \frac{\mu p \cdot g \cdot \frac{(p - b)}{p}}{\left(1 - \mu p \cdot \frac{h}{p}\right)} - \frac{F_d}{m}$$

Ecuación 9: Cálculo de la aceleración de la motocicleta

Hay que recalcar, que la aceleración máxima se obtiene cuando F_D es cero.

Se procede a calcular la aceleración máxima que tendrá la motocicleta en dicho momento:

$$a \leq \frac{\mu p \cdot g \cdot \frac{(p - b)}{p}}{\left(1 - \mu p \cdot \frac{h}{p}\right)} - \frac{F_d}{m} = \frac{1.2 \cdot 9.81 \cdot \frac{(1410 - 705)}{1410}}{\left(1 - 1.2 \cdot \frac{635}{1410}\right)} - \frac{0}{235} = 12.03 \text{ m/s}^2$$

A continuación se calcula la fuerza de tracción máxima que ha de producir la motocicleta:

$$S = m \cdot a + F_D = 235 \cdot 12.03 + 0 = 2827.05 \text{ N}$$

Finalmente, se obtiene la fuerza normal que va a actuar sobre la rueda trasera (N_r):

$$S \leq \mu p \cdot N_r \rightarrow N_r = \frac{S}{\mu p} = \frac{2827.05}{1.2} = \mathbf{2355.87 \text{ N}}$$

- **Fuerzas debidas a la aceleración máxima por Wheeling**

El Wheeling o también conocido como “caballito”, se produce cuando la rueda delantera se levanta, quedando totalmente separada del asfalto. Por lo tanto, para el cálculo de las fuerzas, se considerará que la fuerza normal de la rueda delantera es cero.

$$N_f = m \cdot g \cdot \frac{b}{p} - S \cdot \frac{h}{p} = 0$$

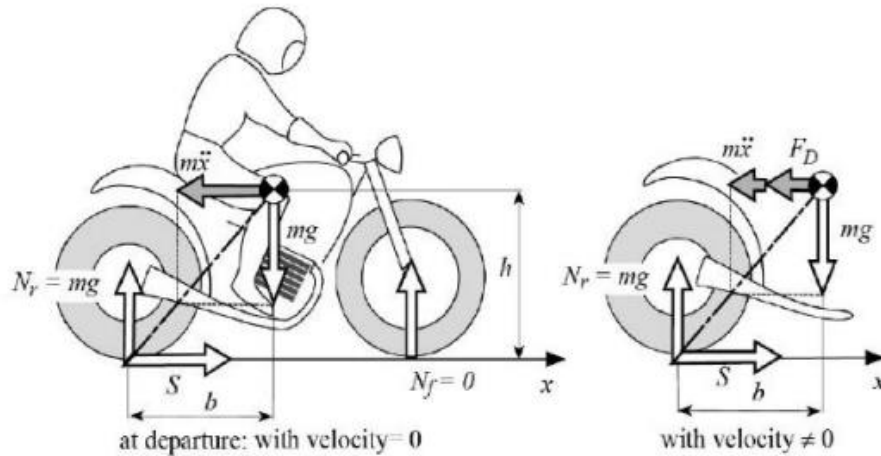


Ilustración 38: Fuerzas a causa de la aceleración máxima por Wheeling. [51]

Al ser $N_f = 0$, sustituyendo los valores de la expresión anterior, se puede calcular la fuerza de tracción S y por tanto N_r :

$$N_f = m \cdot g \cdot \frac{b}{p} - S \cdot \frac{h}{p} = 0 \rightarrow 235 \cdot 9.81 \cdot \frac{705}{1410} - S \cdot \frac{600}{1410} = 0$$

$$S = 2708.79 \text{ N}$$

Por tanto:

$$N_r = m \cdot g \cdot \frac{(p-b)}{p} + S \cdot \frac{h}{p} = 235 \cdot 9.81 \cdot \frac{(1410-705)}{1410} + 2708.79 \cdot \frac{600}{1410}$$

$$N_r = 2305.35 \text{ N}$$

• **Paso por Curva**

En esta situación es donde el basculante sufre los esfuerzos de torsión más elevados. A continuación se muestra un esquema de los esfuerzos que actúan cuando se está realizando una curva.

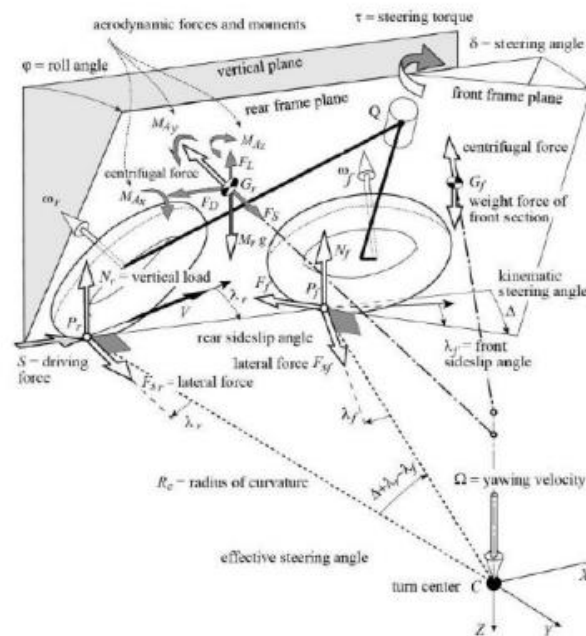


Ilustración 39: Fuerzas que actúan en el paso por curva. [51]

Donde:

- Masa del prototipo (m): Al igual que en los apartados anteriores se considera la masa de la motocicleta junto al piloto, siendo esta de 235 Kg.
- Gravedad (g): $9,81 \text{ m/s}^2$
- Carga aerodinámica (F_D): es la resistencia producida por el aire. Se calcula mediante la siguiente expresión:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot A \cdot V^2$$

Ecuación 10: Cálculo de la resistencia producida por el aire

Donde:

- ρ es la densidad del aire. Depende de la temperatura y de la presión. Suponemos un valor aproximado de 1.225 kg/m^3 .
- C_D es el coeficiente aerodinámico.
- A es el área frontal del prototipo. Este valor es desconocido hoy en día, pues solo quedará definido una vez esté diseñada la moto. Supondremos un valor orientativo.
- V es la velocidad del objeto.

El producto $C_D \cdot A$ está tabulado para una gran variedad de objetos, en este caso se encuentra un valor aproximado de 0.3.

- Radio de la curva (R_C): se trata de la distancia desde el centro de la curva hasta el centro de gravedad de la motocicleta. En este caso se utilizará la curva más cerrada de Motorland, cuyo radio es 18 m, para así maximizar las fuerzas.
- Ángulo de lanzamiento (ϵ): es el ángulo que forma la horquilla con la vertical, en este caso es 20° .
- Ángulo de giro del manillar (δ): es el ángulo que gira el piloto el manillar a la hora de tomar la curva. En este caso se puede considerar despreciable, ya que al inclinar tanto las motos en competición, este ángulo es mínimo.
- Ángulo de inclinación (ϕ): se trata del ángulo que tumba la moto respecto a la vertical a la hora de hacer la curva. Los pilotos en carreras pueden llegar a tumbar la moto entre 45 y 55 grados. En este caso se supondrá un ángulo máximo de 50 grados que es el máximo estimado con las ruedas que proporciona la competición

Cabe destacar que con este ángulo se puede calcular la velocidad máxima a la que se puede realizar la curva con dicho ángulo. Para ello se utiliza la siguiente expresión:

$$\phi = \arctan \frac{R_C \cdot \Omega^2}{g} = \arctan \frac{V^2}{g \cdot R_C}$$

Ecuación 11: Cálculo del ángulo de inclinación

$$V = 14,51 \text{ m/s} = 52,23 \text{ Km/h}$$

- Ángulos de deslizamiento de la rueda delantera (λ_f) y de la rueda trasera (λ_r).

- Kinematic steering angle (Δ): se trata del ángulo de giro del manillar llevado al plano que forma el asfalto. Cabe destacar, que como el ángulo δ se considera nulo, este ángulo tiene como resultado cero. Se calcula de la siguiente manera:

$$\Delta = \frac{\cos \varepsilon}{\cos \varphi} \cdot \delta$$

Ecuación 12: Cálculo del "Kinematic steering angle"

Una vez se han expuesto todos los parámetros necesarios se pueden realizar los cálculos. En primer lugar se calcularán las reacciones en las ruedas mediante las siguientes expresiones:

$$N_f = m \cdot g \cdot \frac{b}{p} - F_D \cdot \frac{h}{p} \cdot \cos \varphi = 235 \cdot 9,81 \cdot \frac{705}{1410} - 38,69 \cdot \frac{600}{1410} \cdot \cos 50 \cong 1142N$$

$$N_r = m \cdot g \cdot \frac{(p-b)}{p} + F_D \cdot \frac{h}{p} \cdot \cos \varphi$$

$$= 235 \cdot 9,81 \cdot \frac{(1410-705)}{1410} + 38,69 \cdot \frac{600}{1410} \cdot \cos 50 \cong 1163,26N$$

Cabe destacar que el valor de las fuerzas es muy parecido, debido a que se está suponiendo un reparto del peso del 50% en cada rueda.

Una vez se han obtenido las fuerzas en las ruedas se procede a calcular la fuerza centrípeta en cada rueda. Para ello se pueden calcular mediante las siguientes fórmulas:

$$F_{s_f} = \frac{b}{p \cdot \cos \Delta} \cdot m \cdot \frac{V^2}{R_c} = \frac{705}{1410 \cdot \cos 0} \cdot 235 \cdot \frac{14,51^2}{18} = 1374,35N$$

$$F_{s_r} = \frac{p-b}{p} \cdot m \cdot \frac{V^2}{R_c} = \frac{1410-705}{1410} \cdot 235 \cdot \frac{14,51^2}{18} = 1374,35N$$

Ecuación 13: Cálculo de la fuerza centrípeta de la rueda delantera y trasera

Finalmente, se van a calcular las fuerzas normales a la rueda para poderlas comparar más fácilmente con el resto de las situaciones.

Para ello, en primer lugar, se plantea un sistema equivalente al obtenido anteriormente, pero cuyo centro se encontrará en el eje de la rueda, quedando de esta manera:

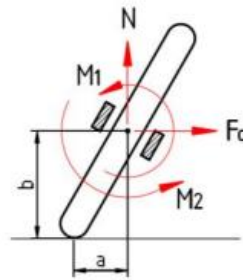


Ilustración 40: Fuerzas que actúan en la rueda trasera al inclinarse durante una curva. [51]

Siendo:

$$M_1 = F_{s_r} \cdot b = 1374,02 \cdot 0,246 = 338,01 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$M_2 = N \cdot a = 1163,26 \cdot 0,172 = 200,08 \cdot \text{m}$$

$$M_R = -M_2 + M_1 = -200,08 + 338,01 = 138,01 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Ecuación 14: Momentos que actúan en la rueda trasera durante el paso por curva

Finalmente, se descomponen N y F_c obteniendo las fuerzas resultantes que actúan en el mismo plano que el basculante.

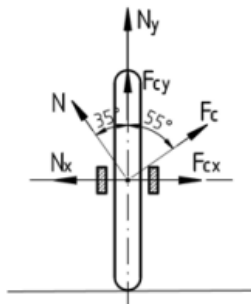


Ilustración 41: Fuerzas que actúan durante el paso por curva en una rueda vertical. (Fuente: Propia)

$$F_{s_y} = F_s \cdot \cos(50) = 1374,35 \cdot \cos(50) = 883,41 \text{ N}$$

$$F_{s_x} = F_s \cdot \sin(50) = 1374,35 \cdot \sin(50) = 1052,81 \text{ N}$$

$$N_{r_y} = N_r \cdot \cos(40) = 1163,26 \cdot \cos(40) = 891,11 \text{ N}$$

$$N_{r_x} = N_r \cdot \sin(40) = 1163,26 \cdot \sin(40) = 747,73 \text{ N}$$

$$R_y = F_{s_y} + N_{r_y} = 883,41 + 891,11 = 1774,52 \text{ N}$$

$$R_x = F_{s_x} - N_{r_x} = 1052,81 - 747,73 = 305,08 \text{ N}$$

Ecuación 15: fuerzas horizontales y verticales que actúan durante el paso por curva

Conclusiones de los Cálculos Realizados

Después de analizar los casos más desfavorables y examinar los resultados obtenidos, se concluye que la prueba estática, conocida como la prueba de la prensa, representa el escenario más desafiante al que se someterá la motocicleta. Por lo tanto, se llevará a cabo un estudio de las fuerzas resultantes en el basculante final.

Esfuerzos Producidos por el Caso Desfavorable en el Basculante Definitivo

El cálculo del basculante se realizará utilizando la misma metodología anterior, que consiste en aplicar la ley de equilibrio para los momentos. Se considerará una viga que conecta el anclaje al chasis (R_1) con el anclaje del amortiguador (S) y el anclaje del eje de la rueda (R_2), considerando el primero como una articulación y el último como un carrito.

Al igual que en el caso previo, se realizará un análisis separado de las fuerzas aplicadas en dirección horizontal y vertical.

	Aplicación carga horizontal	Aplicación carga vertical
Sentido de la fuerza	Valor de la fuerza (N)	Valor de la fuerza (N)
R1y	957,78	302,85
R1x	2795,67	6871,76
R2y	862,5	2901,51
R2x	3000	0
Sy	95,28	3204,36
Sx	204,33	6871,76

Ilustración 42: Fuerzas obtenidas en el diseño de basculante definitivo. (Fuente: Propia)

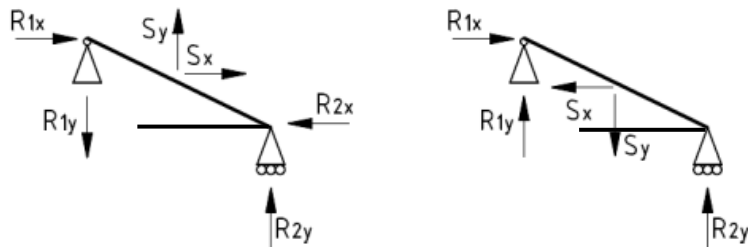


Ilustración 43: Dirección de las fuerzas obtenidas, a la izquierda la aplicación de la carga horizontal y a la derecha la carga vertical. (Fuente: Propia)

DISEÑO FINAL Y ENSAMBLADO DEL CONJUNTO

En este apartado se va a definir la geometría final del basculante, así como su sistema de suspensión trasera por bieletas.

Partes Principales

Se entienden como partes principales del basculante a los brazos superiores e inferiores de fibra de carbono, el núcleo que une estos brazos, los cabezales de aluminio, las piezas de aluminio que van en el interior de los brazos del basculante, el balancín, las bieletas y el amortiguador.

Brazos Superiores

Se modelan en SolidWorks y están fabricados en fibra de carbono Hexcel AS4C (3000 filamentos), con unas medidas exteriores de 54mm x 46.5 mm y unas medidas interiores de 50mm x 42.5mm, es decir, con un espesor de la fibra de carbono de 2 mm. La longitud de estos brazos es de 517 mm.

A estos brazos superiores se les aplicará un redondeo de 2 mm en sus aristas, tanto internas como externas, ya que dejar aristas vivas en el diseño final de piezas construidas en fibra de carbono podría ser un punto crítico cuando dicha pieza este sometida a esfuerzos, además tiene una mejor estética.

También se realizan en los extremos de los brazos unos cortes de 12.5 mm de diámetro y una profundidad de 1 mm, aquí es donde se insertarán los remaches autoperforantes por fricción. Así mismo, se le realizan unas perforaciones que atraviesa por completo la cara interna de los brazos, ya que es donde se realizará el ensamblado con las piezas de aluminio que van en el interior y el núcleo del basculante.

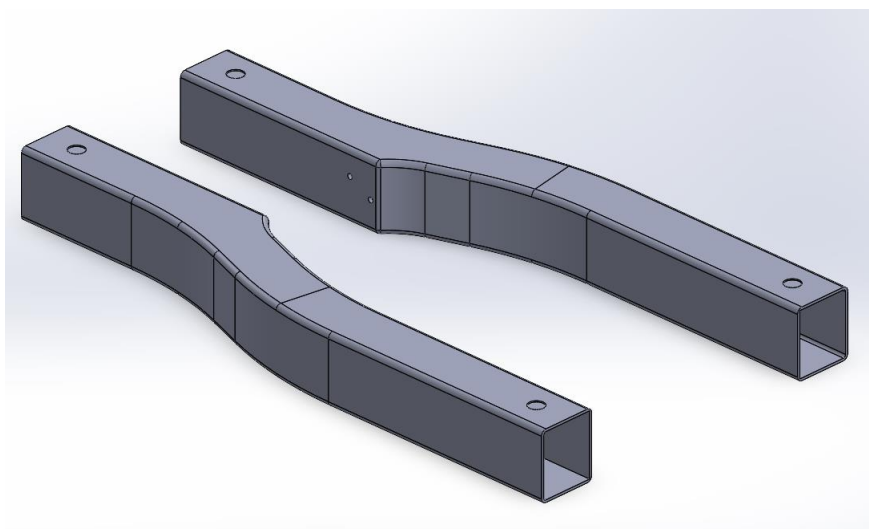


Ilustración 44: Brazos Superiores del Basculante. (Fuente: Propia)

Brazos Inferiores

Los brazos inferiores van a ser exactamente iguales, tanto para el brazo derecho como para el brazo izquierdo del basculante y se van a diseñar una vez ya desarrollados los brazos superiores, también va a estar fabricado en fibra de carbono Hexcel AS4C (3000 filamentos) y con las mismas medidas exteriores e interiores que los brazos superiores que se acaban de mencionar, estos brazos son razonablemente más pequeños que los superiores.

Además como los brazos superiores son paralelos al eje horizontal, entre los brazos superiores e inferiores del basculante hay un ángulo de 16.3° .

En las aristas internas y externas se aplican los mismos redondeos que en los brazos superiores. También se le realizan los mismos orificios para los remaches autoperforantes por fricción que se le han realizado a los brazos superiores anteriormente.

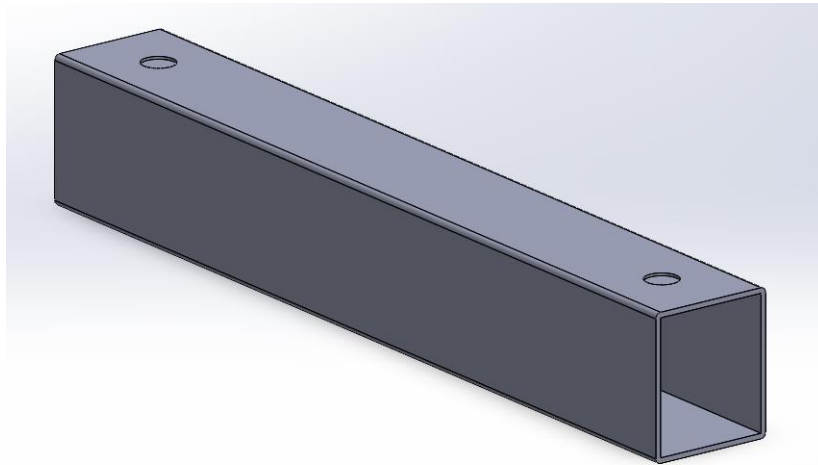


Ilustración 45: Brazo Inferior Derecho e Izquierdo del Basculante. (Fuente: Propia)

Núcleo de Aluminio

Esta pieza central de aluminio es fundamental, ya que cumple con varios propósitos y sin ella probablemente no se podría llevar a cabo el diseño y fabricación del basculante.

Este elemento está fabricado en la aleación de aluminio 6061 y su fabricación se lleva a cabo mediante la mecanización en una fresadora.

Esta máquina que gira a alta velocidad y se desplaza a lo largo de la superficie de la pieza de aluminio nos permite realizar cortes precisos y definidos en el aluminio, creando formas complejas y detalladas con alta calidad de acabado.

Por lo tanto, gracias a la fresadora se consigue eliminar el material sobrante de la pieza, haciendo más ligero dicho núcleo.

Esta pieza cumple varias funciones, las cuales son:

- Lleva a cabo la unión de los brazos superiores con los brazos inferiores del basculante, gracias a las aperturas que se le han realizado en el perfil y que se ensamblaran con los agujeros que se han realizado en la parte interior de los brazos superiores. Con los brazos inferiores la unión se realiza mediante ejes.
- Brinda al basculante la rigidez óptima, reduciendo al mínimo la deformación o flexión de la estructura.
- Mantiene el conjunto estable, evitando así que este pueda experimentar cambios significativos en su forma.
- En su parte de abajo y por donde pasa el eje que proporciona su unión con los brazos inferiores, es donde se ensamblará bieleta del balancín.

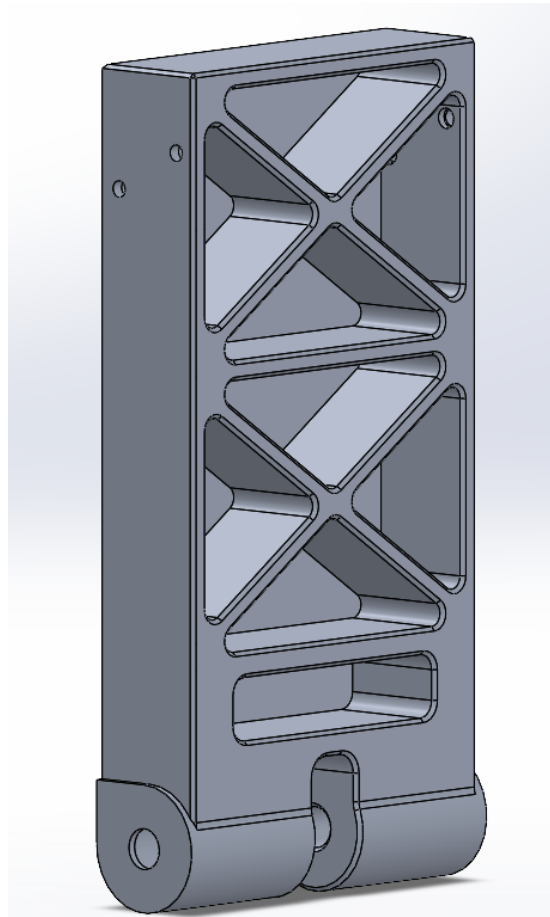


Ilustración 46: Núcleo del Basculante en la Aleación de Aluminio 6061. (Fuente: Propia)

Cabezal de Aluminio Basculante - Rueda Trasera

Esta pieza, al igual que el núcleo del basculante, está fabricada en la aleación de aluminio 6061 y mecanizada en una fresadora. La función principal de este componente es unir el basculante a la rueda trasera y mantener fija la estructura.

También se le han realizado los orificios donde irían los remaches autoperforantes por fricción, y que realizaran el ensamble entre los brazos superiores, los brazos inferiores y esta pieza.

Esta componente también dispone de un agujero pasante en la parte trasera, en el que se atornilla el tensor y el soporte de la pinza de freno.

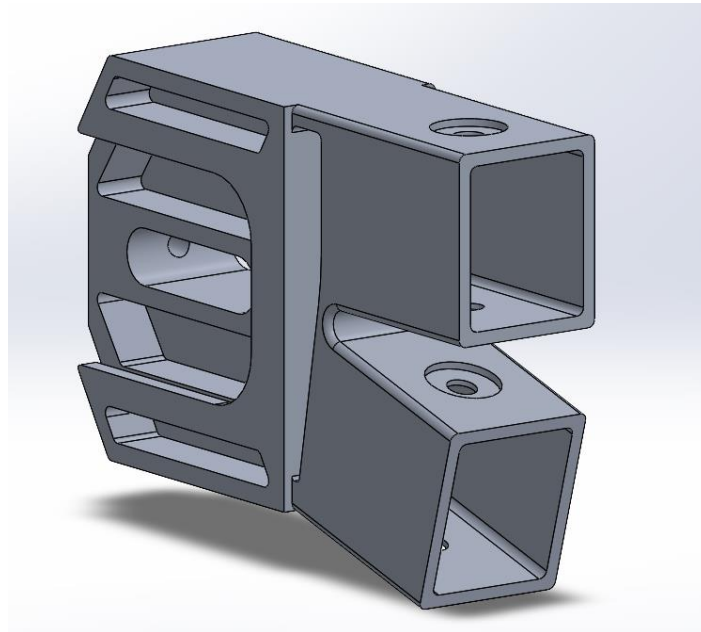


Ilustración 47: Cabezal de Aluminio Basculante - Rueda Trasera. (Fuente: Propia)

Cabezal de Aluminio Basculante - Chasis

Esta pieza también está fabricada en la aleación de aluminio 6061 y mecanizada mediante el uso de una fresadora. La función principal de este componente es unir (con la ayuda de un eje basculante) el chasis de la motocicleta al basculante, permitiendo la oscilación de la rueda trasera.

Se ha fabricado mediante torneado y teniendo en cuenta que debe encajar en el anclaje del motor y en las chapas laterales del chasis.

Además, se han practicado las perforaciones correspondientes para los remaches autoperforantes por fricción, los cuales se utilizarán para ensamblar los brazos superiores con esta pieza.

En esta pieza también habrá que contar con algunos elementos secundarios que nos ayudarán a la hora de realizar el ensamblaje del conjunto y su correcto funcionamiento, como son casquillos arandelas y anillos antifricción.

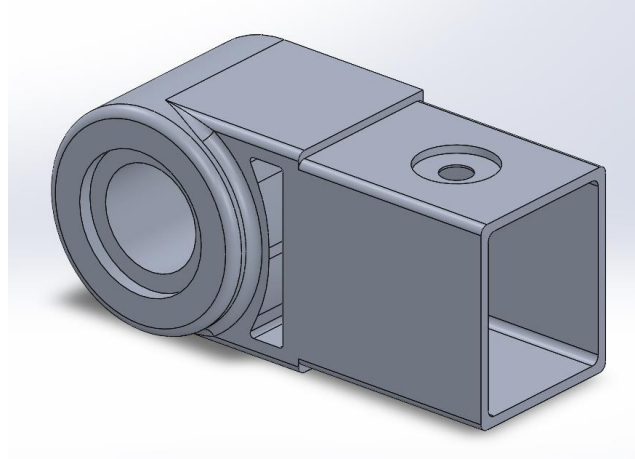


Ilustración 48: Cabezal de Aluminio Basculante - Chasis. (Fuente: Propia)

Cabezal de Aluminio Basculante - Balancín

Esta pieza también está fabricada en la aleación de aluminio 6061 y mecanizada mediante el uso de una fresadora. La función principal de este componente es unir (con la ayuda de dos ejes) el basculante con la parte inferior del núcleo de aluminio, donde a su vez se ensambla el balancín del amortiguador trasero de la motocicleta.

Además, se han practicado las perforaciones correspondientes para los remaches autoperforantes por fricción, los cuales se utilizarán para ensamblar los brazos inferiores con esta pieza.

En este componente, también se deben considerar algunos elementos secundarios que serán de ayuda durante el ensamblaje del conjunto y garantizar su funcionamiento adecuado. Estos elementos incluyen casquillos, arandelas y anillos antifricción.

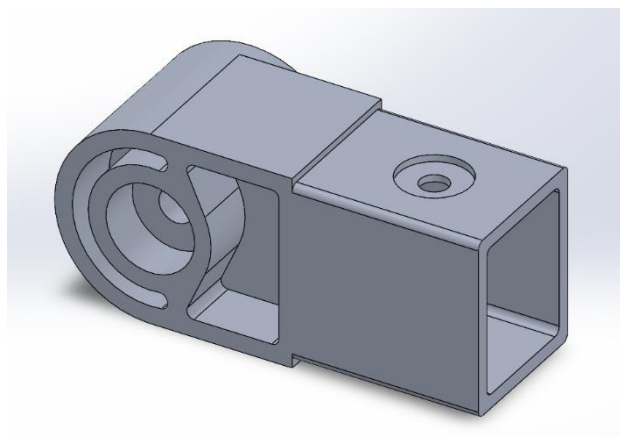


Ilustración 49: Cabezal de Aluminio Basculante - Balancín. (Fuente: Propia)

Refuerzo Interior de los Brazos Superiores

Esta pieza también está fabricada en la aleación de aluminio 6061. La función principal de este componente es facilitar la unión de los brazos superiores del basculante (fabricados en Fibra de Carbono) con el núcleo de aluminio, además de proporcionar una rigidez extra a dicha unión.

Este componente será exactamente igual tanto en el brazo superior derecho como en el brazo superior izquierdo. A estas piezas se les aplicará un redondeo de 2 mm en sus aristas, tanto internas como externas.

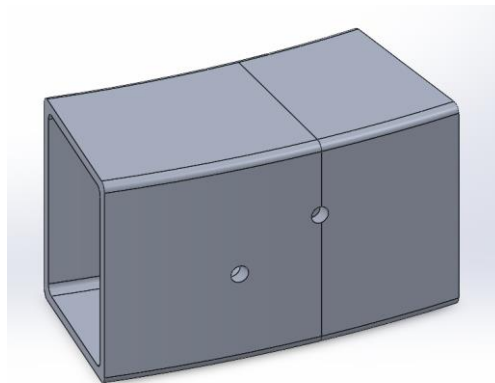


Ilustración 50: Refuerzo Interior de los Brazos Superiores. (Fuente: Propia)

Balancín

Como ya se mencionó en apartados anteriores a lo largo del proyecto, finalmente se decidió por la incorporación de dos balancines con el propósito de repartir esfuerzos y para evitar modificar la geometría de anclaje del amortiguador.

Se han fabricado en la aleación de aluminio 6061 y mecanizado mediante el uso de una fresadora, prestando especial atención a los tres agujeros, ya que están destinados a albergar rodamientos y casquillos.

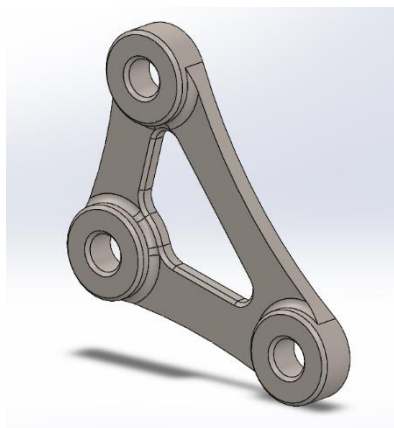


Ilustración 51: Balancín. (Fuente: Propia)

Bieleta

Como solución a la unión del balancín con el chasis se han elegido dos bieletas como la que aparece en la figura inferior.

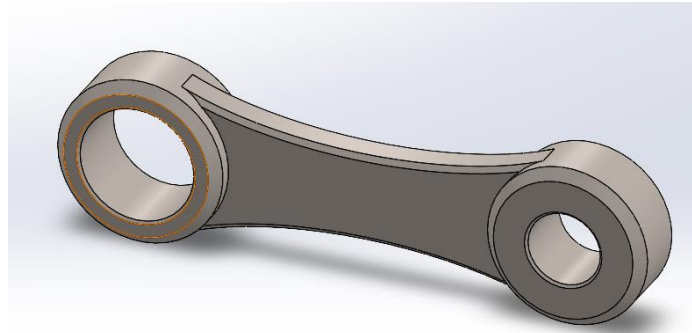


Ilustración 52: Bieleta. (Fuente: Propia)

Como se puede observar en la imagen una de las dos cabezas de articulación tiene un diámetro más pequeño, esta será la cabeza que ira conectada al núcleo de aluminio, mientras que la cabeza grande será que vaya ensamblada con los balancines. Ambas cabezas están unidas entre sí mediante una varilla fija, la cual proporciona la rigidez y el peso perfecto.

Se han fabricado en la aleación de aluminio 6061 y mecanizado mediante el uso de una fresadora, prestando especial atención a los dos agujeros de las cabezas.

Amortiguador

Este es proporcionado por la competición Motostudent, dicho amortiguador dotado por la organización para todos los equipos inscritos en la Competición MotoStudent, esta desprovisto de regulación de compresión ni extensión, pero si tiene regulador de precarga. Es un amortiguador básico, limitando el funcionamiento de la suspensión.

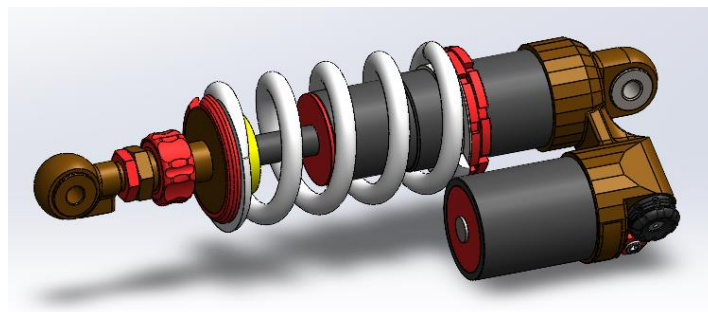


Ilustración 53: Amortiguador. (Fuente: Propia)

Casquillos, Arandelas y Anillos

A la hora de llevar a cabo el diseño del basculante, se ha realizado un cuidadoso enfoque en la incorporación de elementos secundarios para lograr un montaje robusto y eficiente. Al utilizar casquillos, arandelas, rodamientos y ejes, se asegura una conexión sólida entre las diferentes partes principales e importantes del basculante.

Los casquillos desempeñan un papel fundamental al proporcionar una superficie de apoyo y reducir la fricción entre los componentes móviles del basculante. Estos casquillos se han seleccionado para adaptarse a las dimensiones y requerimientos específicos del proyecto, garantizando un ajuste preciso y un funcionamiento suave.

Además, las arandelas han sido estratégicamente colocadas para distribuir de manera uniforme las cargas y minimizar el desgaste de las superficies de contacto. Estas arandelas actúan como elementos de refuerzo, mejorando la estabilidad y la durabilidad del conjunto.

Para lograr un movimiento suave y libre de fricción, se ha incorporado rodamientos de alta calidad en puntos críticos del basculante. Estos rodamientos permiten un giro fluido y reducen la resistencia al movimiento, mejorando la eficiencia y el rendimiento general del diseño.

Por último, los ejes desempeñan un papel crucial al proporcionar una conexión segura y estable entre las diferentes principales partes del basculante. Dichos ejes se han diseñado, dimensionado y fabricado adecuadamente para soportar las cargas y resistir las fuerzas generadas durante los casos más desfavorables.

En resumen, al utilizar elementos secundarios como casquillos, arandelas, rodamientos y ejes, se logra un montaje sólido y confiable. Estos componentes adicionales garantizan un funcionamiento suave, reducen la fricción y mejoran la resistencia general del diseño.

Algunos ejemplos de ejes, casquillos y arandelas del ensamblaje son las siguientes:

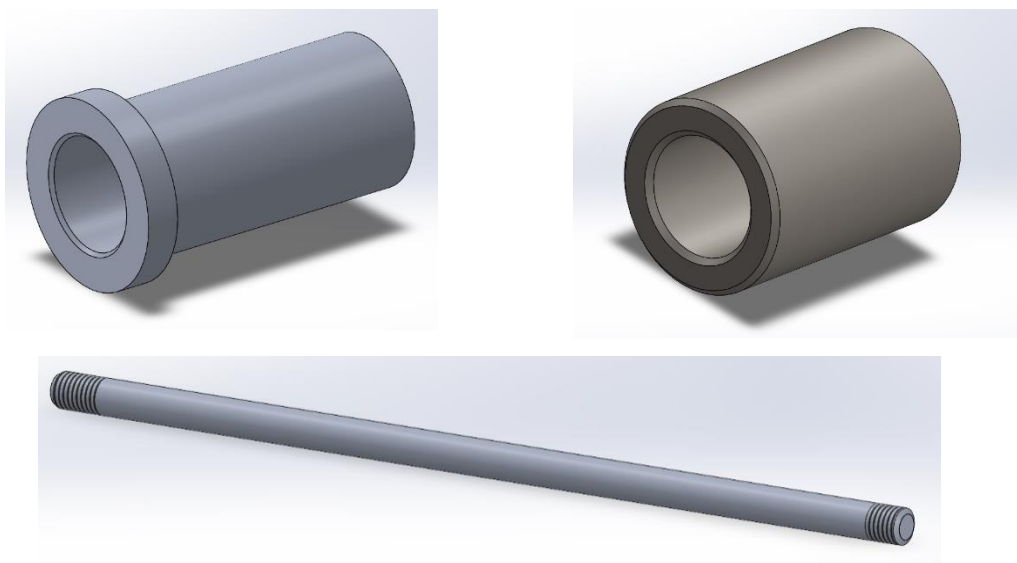


Ilustración 54: Casquillo, arandela y eje del ensamblaje. (Fuente: Propia)

Ensamblaje Final Completo

Por último, el conjunto final de la suspensión se ensambla con el resto de la motocicleta según se muestra en la imagen inferior, tal y como hemos ido explicando a lo largo del proyecto.

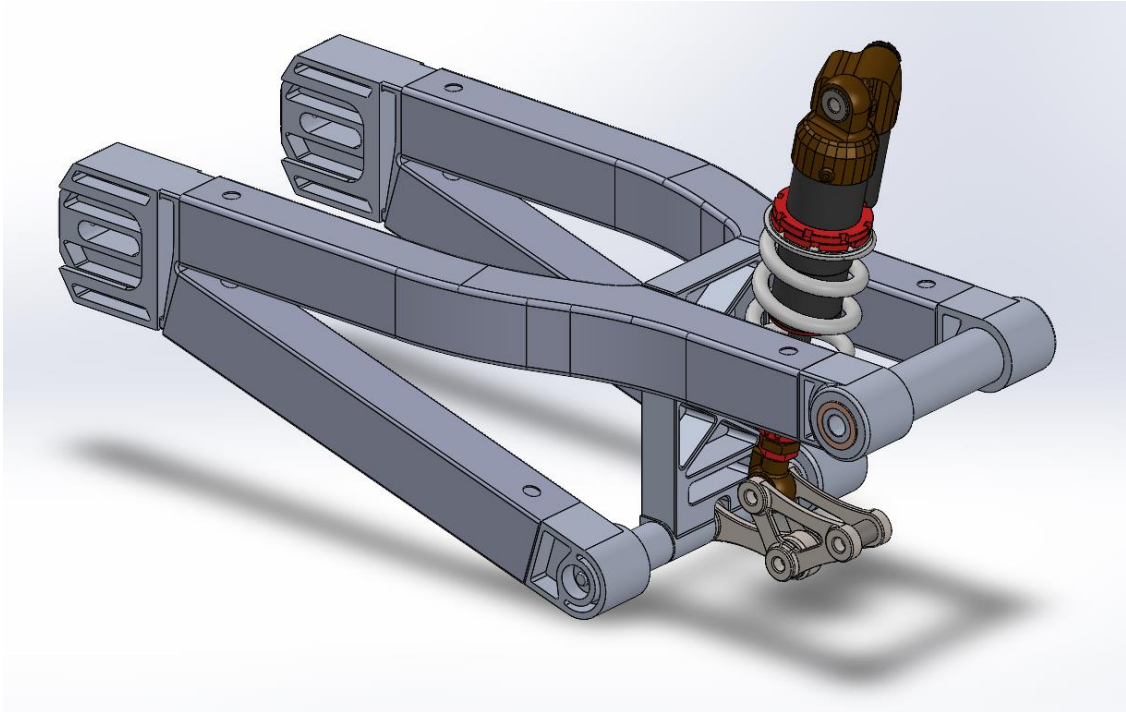


Ilustración 55: Conjunto Basculante - Sistema de Suspensión Trasera. (Fuente: Propia)

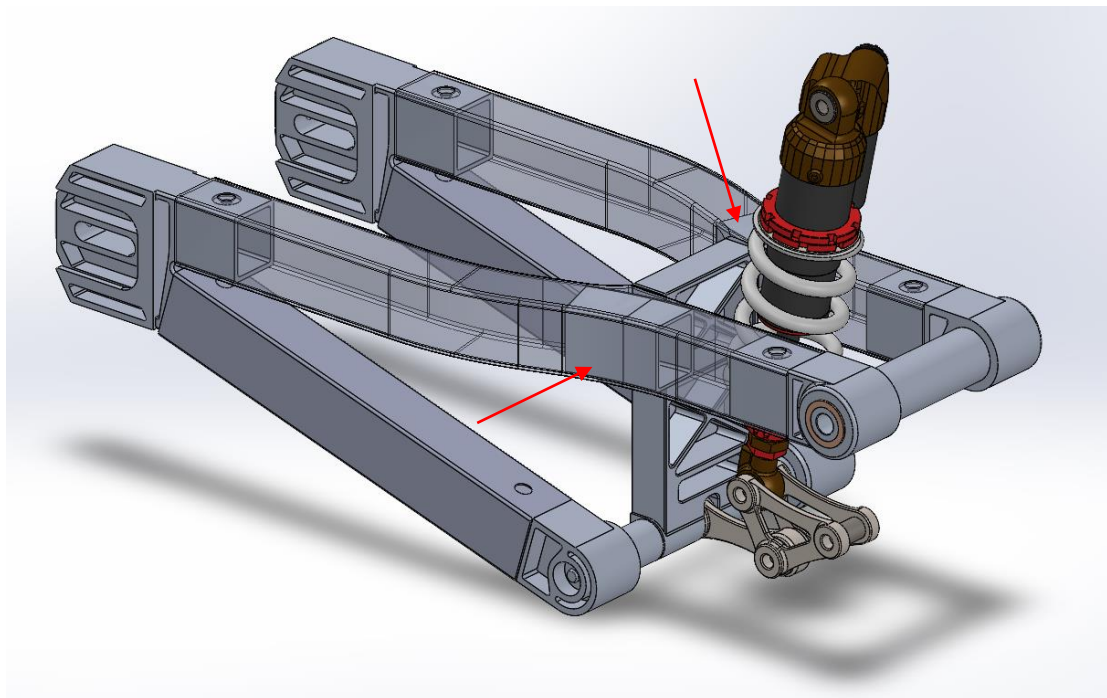


Ilustración 56: Transparencia para ver las piezas de aluminio interiores. (Fuente: Propia)

SIMULACIÓN DEL DISEÑO FINAL EN ANSYS WORKBENCH

Las simulaciones estructurales del basculante se han realizado con el programa Ansys Workbench, ya que permite obtener conclusiones de antemano bastante acertadas y aproximadas sobre cómo se comportará el diseño final.

En primer lugar, se llevará a cabo la simulación de las tensiones calculadas en la sección de cálculos estáticos, ya que son las más restrictivas. Se realizará la simulación tanto para el caso de aplicación de la carga horizontal como para el caso de aplicación de la carga vertical.

En segundo lugar, se llevará a cabo la simulación del escenario de paso por curva. Aunque las tensiones generadas sean inferiores en comparación con los casos estáticos, la presencia de fuerzas laterales hace necesario analizar el comportamiento del basculante. Este estudio permitirá prevenir posibles problemas y garantizar un rendimiento óptimo en situaciones de curvas.

Los resultados que se van a tener en cuenta son las tensiones de Von Mises producidas (MP_a) y las deformaciones totales (mm).

Mallado del Basculante

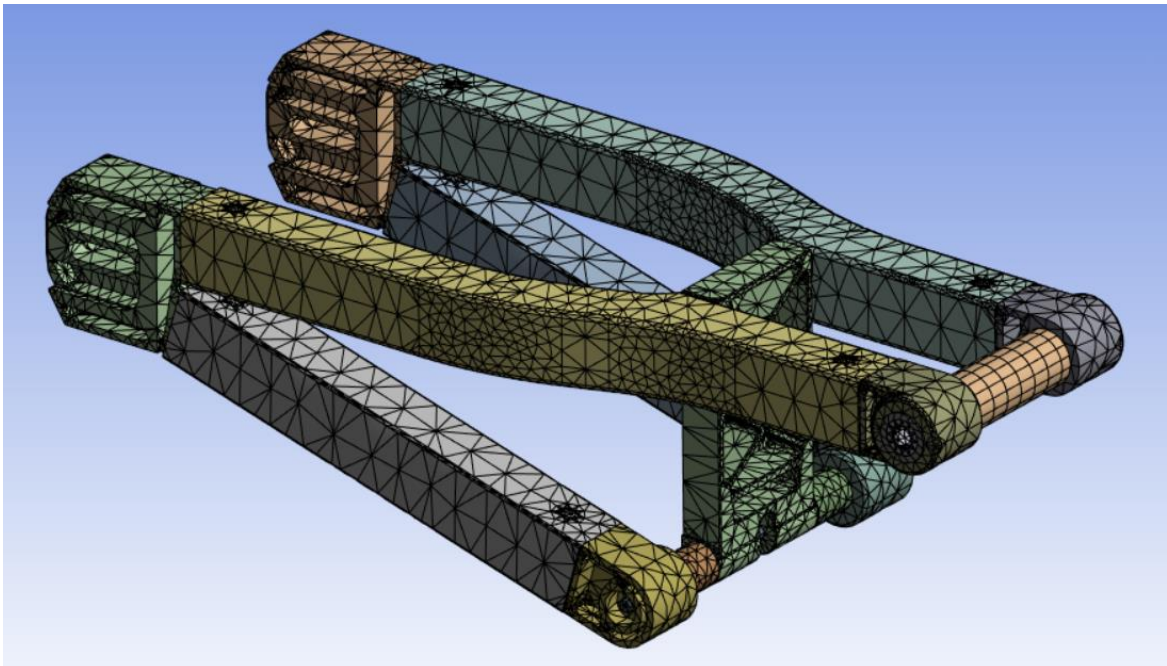


Ilustración 57: Mallado del Ensamblaje Final. (Fuente: Propia)

En la imagen anterior se representa el mallado del conjunto final, que se va a someter a diferentes estudios estructurales, dichos estudios se van a realizar poniendo a este diseño en los casos más desfavorables en los que se podría encontrar.

Carga Vertical

- Tensión de Von Mises (MP_a)

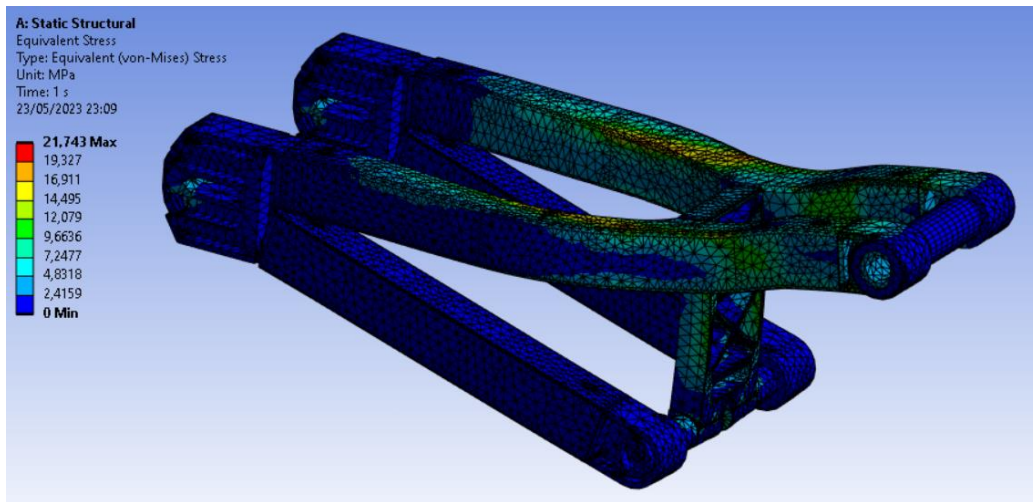


Ilustración 58: Tensiones producidas en el prototipo final provocadas por la aplicación de la carga vertical. (Fuente: Propia)

Tensión máxima de 21.743 MP_a

- Deformación total (mm)

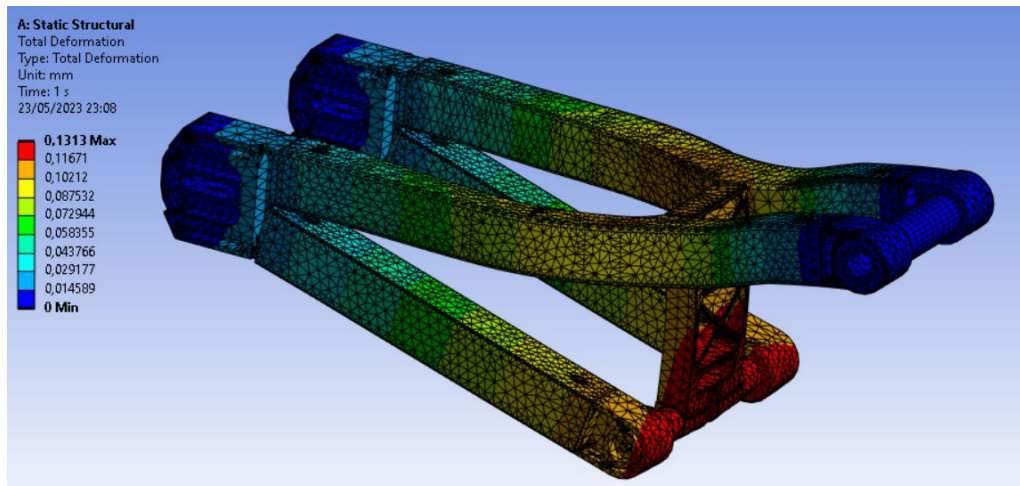


Ilustración 59: Deformaciones producidas en el prototipo por la aplicación de la carga vertical. (Fuente: Propia)

Deformación máxima de 0.1313 mm

Carga Horizontal

- Tensión de Von Mises (MP_a)

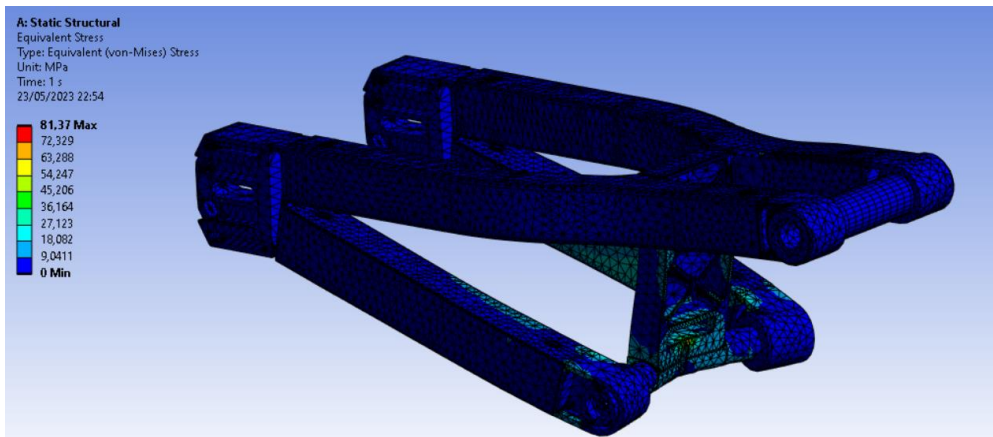


Ilustración 60: Tensiones producidas en el prototipo por la aplicación de la carga horizontal. (Fuente: Propia)

Tensión máxima de 81.37 MP_a

- Deformación total (mm)

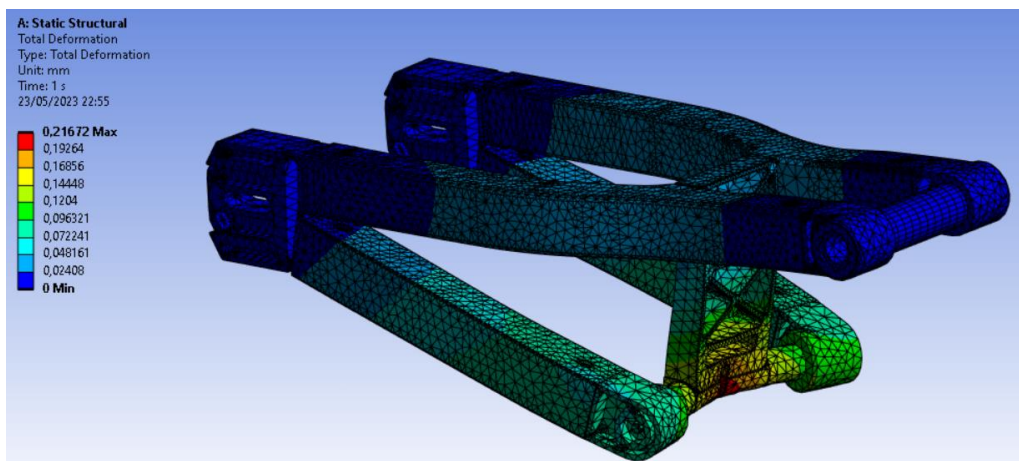


Ilustración 61: Deformaciones producidas en el prototipo por la aplicación de la carga horizontal. (Fuente: Propia)

Deformación máxima de 0.21672 mm

Paso por Curva

- Tensión de Von Mises (MP_a)

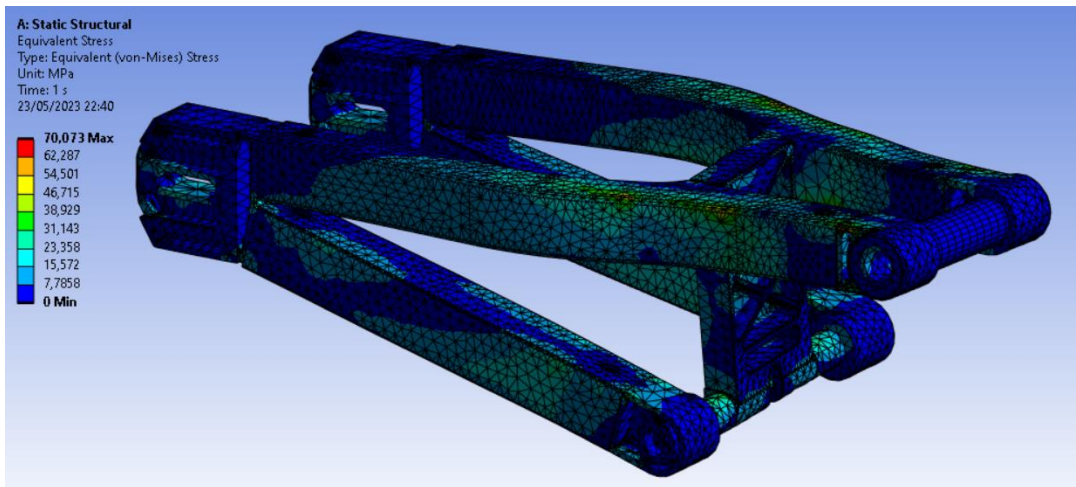


Ilustración 62: Tensiones producidas en el prototipo provocadas por el paso por curva. (Fuente: Propia)

Tensión máxima de $70.073 MP_a$

- Deformación total (mm)

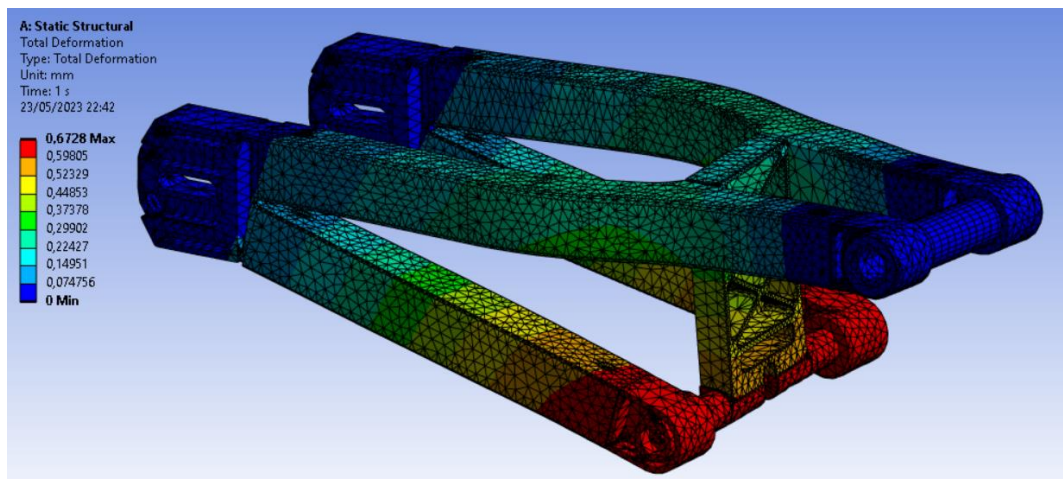


Ilustración 63: Deformaciones producidas en el prototipo provocadas por el paso por curva. (Fuente: Propia)

Deformación máxima de $0.6728 mm$

Análisis de las Simulaciones

Observando los resultados obtenidos, el caso de paso por curva (cizalladura) es mucho más exigente que el de prensa vertical y prensa horizontal, teniendo unas tensiones considerablemente elevadas, las cuales producen deformaciones máximas inferiores al milímetro.

Por tanto, a la hora de realizar mejoras y optimizaciones del diseño se va a tener en cuenta dicha situación y simulación.

Si se analizan más de cerca los esquemas obtenidos, se puede destacar que los puntos donde se tienen las tensiones más altas son en los cantos inferiores del núcleo de aluminio, justo donde va a ensamblarse el amortiguado trasero y por lo tanto va a ser donde se producirán las deformaciones más altas.

De esta manera, se puede deducir que esta zona es la que principalmente se ha de modificar para conseguir una reducción de las tensiones y deformaciones y mejorar así el rendimiento global del basculante.

CONCLUSIONES

En la elaboración de este proyecto, se han aplicado los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera de Ingeniería en Diseño Mecánico, empleando diversas metodologías de diseño, programas de software, consulta de catálogos técnicos y métodos de cálculo, entre otros recursos. Estos conocimientos han sido explicados y adquiridos gracias a distintas asignaturas del plan de estudios.

En el proyecto se profundiza en el mundo de las motos desde un punto de vista técnico, desarrollando cuales son las cualidades prácticas y reales que se buscan en un basculante y en un sistema de suspensión y lo difícil que puede ser optimizar cualquier componente como se refleja en las pequeñas diferencias entre ciertos parámetros.

Entrando de lleno en el estudio del basculante y el sistema de suspensión, se han generado diversas propuestas para ambos elementos y se han analizado y comparado en diferentes situaciones a las que se enfrentarán. Se ha seleccionado aquella opción que mejor se adapta a las especificaciones requeridas en términos de cargas y exigencias. Este proceso de evaluación ha permitido identificar las soluciones más adecuadas y óptimas para garantizar el rendimiento deseado en las condiciones de uso previstas.

Una vez seleccionado el diseño final del basculante y el sistema de suspensión, se inicia el proceso de diseño estructural de dichos componentes. Para esta etapa se emplea el software CAD en 3D SolidWorks, que permite realizar un modelado detallado de la geometría y configuración de las piezas. Asimismo, se utiliza el programa Ansys Workbench para llevar a cabo el análisis estructural mediante el método de elementos finitos (FEM). La utilización de este software requirió adquirir los conocimientos necesarios para su manejo y aprovechar al máximo sus capacidades de simulación y análisis.

Por todo esto se puede finalizar diciendo que en el presente proyecto se ha conseguido completar de manera satisfactoria los principales objetivos del proyecto, ya que:

- Se ha sido capaz de encontrar un método completamente satisfactorio y funcional para unir la fibra de carbono con el aluminio.
- Se ha conseguido diseñar y desarrollar un basculante que es completamente funcional y que se adapta a las exigencias y necesidades de una motocicleta de competición, la cual podría participar en la siguiente edición de MotoStudent.
- Se ha logrado disminuir el peso del basculante diseñado en 120 gramos en comparación con el de la edición pasada, consiguiendo así que la moto pueda ser más ligera y alcanzar velocidades más elevadas.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. E. Foundation, «MotoStudent,» Moto Engineering Foundation, 2019-2021. [En línea]. Available: <https://www.motostudent.com/EditionVI.php>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [2] UPNA, «Noticias Upna,» UPNA, 16 julio 2021. [En línea]. Available: <http://www.unavarra.es/sites/actualidad/contents/noticias/2021/07/16/noticia.html>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [3] M. E. Foundation, «MotoStudent,» Moto Engineering Foundation, 2008-2009. [En línea]. Available: <https://www.motostudent.com/about.php>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [4] M. Aragón, «MotorLand Aragón,» MotorLand Aragón, 6 septiembre 2009. [En línea]. Available: <https://www.motorlandaragon.com/en/motorland-today.html>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [5] MotoStudent, «MotoStudent,» MotoStudent, 2009-2010. [En línea]. Available: <https://www.motostudent.com/EditionI.php>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [6] UPNA, «Noticias UPNA,» UPNA, 6 octubre 2021. [En línea]. Available: <https://www.unavarra.es/en/sites/actualidad/contents/noticias/2021/10/06/noticia-2.html>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [7] M. E. Foundation, «MotoStudent,» mayo 2022. [En línea]. Available: https://www.motostudent.com/pluginfile.php/289/mod_resource/content/7/MS2223%20Regulations%20V2%20ENG.pdf. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [8] C. Angeletti, «Safe Riders,» 21 enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.saferiders.it/full-floater-suspension-systems/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [9] C. d. E. y. S. V. MAPFRE, «Revista CESVIMAP,» MAPFRE, 21 abril 2021. [En línea]. Available: <https://www.revistacesvimap.com/significativas-diferencias/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [10] Wikipedia, «Suspensión de Motocicleta,» Wikipedia, 24 febrero 2023. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_de_motocicleta#. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [11] Wikipedia, «Brazo Basculante,» Wikipedia, 25 enero 2022. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Brazo_basculante. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [12] C. R. Vidal, «Análisis de Máquinas,» 18 noviembre 2016. [En línea]. Available: <https://analismaquinas.blogspot.com/2016/11/evolucion-de-las-suspensiones-de-moto.html>. [Último acceso: 23 mayo 2023].

- [13] J. Chávez, «PasionBiker,» MagnetGo, agosto 2022. [En línea]. Available: <https://www.pasionbiker.com/cual-mejor-tipo-bsculante-para-moto/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [14] P. Puchol, «Moto 1Pro,» MotoSpirit, 18 mayo 2017. [En línea]. Available: <https://www.moto1pro.com/reportajes-motos/tipos-de-basculante-de-moto-monobrazo-o-doble>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [15] canalMOTOR, «Motor Blogs Mapfre,» Mapfre, 19 junio 2022. [En línea]. Available: <https://www.motor.mapfre.es/motos/noticias-motos/basculante-moto/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [16] Wikipedia, «Rigidez,» Wikipedia, 17 febrero 2023. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Rigidez>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [17] Verti, «VERTI Blog,» Verti Seguros, 6 enero 2021. [En línea]. Available: <https://blog.verti.es/tipos-suspension-motos/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [18] Grupo Eje, «MOTORES Y MÁS,» Grupo Eje Corporativo, S.A. , 24 octubre 2014. [En línea]. Available: <https://motoresymas.com/cont-tecnico/suspension-trasera-de-motocicletas/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [19] DirtBike, «DIRTBIKE Garage,» 20 noviembre 2020. [En línea]. Available: <https://dirtbike.es/bieletas-o-pds/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [20] «Re-Cambios,» vShop Web, 2015. [En línea]. Available: <https://www.re-cambios.com/categoria/bieletas>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [21] D. F. Freire, «adrformación,» 17 enero 2023. [En línea]. Available: https://www.adrformacion.com/knowledge/ingenieria-y-proyectos/_que_es_solidworks_.html#:~:text=SolidWorks%20es%20un%20software%20t ipo,en%203D%2C%20Ensamblajes%20y%20Dibujos . [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [22] nysplm, «Navarro y Soler CAD-PLM Software,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.nysplm.com/ansys/#:~:text=Ansys%20es%20el%20Software%20I%C3%ADder,una%20%C3%BAnica%20plataforma%20de%20trabajo>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [23] TOPCARBONO, «TOPCARBONO,» 2022-2023. [En línea]. Available: <https://topcarbono.com/fibra-de-carbono-vs-aluminio/#:~:text=Como%20podemos%20observar%20en%20nuestra,densidad%20de%2002700%20kg%2Fm3>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [24] Cienciasfera, «Cienciasfera,» abril 2012. [En línea]. Available: https://www.cienciasfera.com/materiales/fisicayquimica/fisicayquimica/tema20/25_mot o_gp.html. [Último acceso: 23 mayo 2023].

- [25] GreenFacts, «GreenFacts,» Morris y Charpman, 5 abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/def/densidad.htm#:~:text=Definici%C3%B3n%3A,los%20%C3%ADquidos%20y%20los%20gases.> [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [26] Servosis, «Servosis S.L.,» 29 junio 2020. [En línea]. Available: <https://www.servosis.com/el-modulo-de-young-o-modulo-de-elasticidad-longitudinal/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [27] Tenso, «Tenso,» 14 julio 2011. [En línea]. Available: <http://www.tenso.es/utilidades/glosario.asp?termino=L%EDmite%20el%E1stico.> [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [28] Zwick/Roell, «Zwick/Roell,» 19 agosto 2015. [En línea]. Available: [https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/resistencia-a-la-traccion/#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20tracci%C3%B3n%20Rm%20\(tb.,someter%20a%20carga%20una%20probeta.](https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/resistencia-a-la-traccion/#:~:text=La%20resistencia%20a%20la%20tracci%C3%B3n%20Rm%20(tb.,someter%20a%20carga%20una%20probeta.) [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [29] C. Composites, «Castro Composites,» julio-noviembre 2022. [En línea]. Available: <https://castrocomposites.com/informacion-tecnica/propiedades-principales-de-la-fibra-de-carbono/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [30] A. Á. C. O. S. M. e. a. Antonio Champion Coria, «ACABADO SUPERFICIAL EN FIBRAS DE CARBÓN MEDIANTE por Revista Iberoamericana de Polímeros,» febrero-junio 2012. [En línea]. Available: https://cicy.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1003/1463/1/id25806_Antonio_Champion.pdf. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [31] C. Castro, «Composites Castro,» 4 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.castrocompositesshop.com/es/fibras-de-refuerzo/1225-malla-de-carbono-tubular-de-19-mm-y-362-gm2.html.> [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [32] HEXCEL, «HEXCEL,» 2022-2023. [En línea]. Available: <https://www.hexcel.com/Products/Carbon-Fiber/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [33] H. Rodríguez, «National Geographic España,» 24 agosto 2022. [En línea]. Available: https://www.nationalgeographic.com.es/ciencia/propiedades-aluminio-al_18221. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [34] Austin, «DEK,» 27 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.dekmake.com/es/6061-contra-7075-aluminio/#:~:text=El%20aluminio%206061%20se%20jacta,formabilidad%20que%20el%20aluminio%207075.> [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [35] Gabrian, «Gabrian,» 2016-2020. [En línea]. Available: <https://www.gabrian.com/es/aluminio-6061-conozca-sus-propiedades-y-usos/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].

- [36] L. Tasuns Compuesto Technology Co., «TASUNS,» 12 agosto 2019. [En línea]. Available: <http://www.t-composites.net/info/what-is-the-thermal-expansion-coefficient-of-c-38051686.html#:~:text=Cuando%20la%20temperatura%20es%2020C,1.23x10%20%5E%206%20%2F%20K>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [37] B. Repsol, «Box Repsol,» 26 abril 2022. [En línea]. Available: <https://www.boxrepsol.com/es/motogp/temperatura-alcanzan-los-componentes-una-motogp/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [38] Antala, «Antala Speciality Chemicals,» 21 febrero 2018. [En línea]. Available: <https://www.antala.es/como-pegar-aluminio-fibra-carbono/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [39] 1incf, «Amazon,» 27 junio 2019. [En línea]. Available: <https://www.amazon.com/-/es/Horquilla-carbono-aleaci%C3%B3n-aluminio-cortar/dp/B00NHX5YDU>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [40] MotorVinilo, «MotorVinilo,» [En línea]. Available: <https://www.motorvinilo.com/content/10-galeria-fibra-de-carbono>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [41] Y. C. L. Yuan Li, «Science Direct,» Oak Ridge National Laboratory, 15 septiembre 2022. [En línea]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213956722002274?via%3Dihub>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [42] J. C. ,, J.-h. J. ,, D. N. L. ,, M. P. B. ,, C. D. W. ,, Z. F. Yong Chae Lim, «ASME Digital Collection,» Oak ridge National Laboratory, 23 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://asmedigitalcollection.asme.org/manufacturingscience/article/143/3/031006/1086776/Mechanical-and-Corrosion-Assessment-of-Friction>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [43] J. R. Alfaro, «Diseño de Piezas de Plástico - MiAulario,» 10 septiembre 2018. [En línea]. Available: https://miaulario.unavarra.es/access/content/group/2022_0_251704_1/APUNTES/APUNTES_PLASTICO3.pdf. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [44] ClipCarbono, «ClipCarbono,» 2022-2023. [En línea]. Available: <https://www.clipcarbono.com/es/adhesivos/776-adhesivo-generico-bicomponente-epoxi-araldite-standard-12-12-ml.html>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [45] V. Cossalter, Motorcycle Dynamics, Internacional: LULU.COM, 2006.
- [46] G. Casaccio, «Clic Motor Ricambi e Accessori,» Ebay, 7 abril 2023. [En línea]. Available: https://www.ebay.es/itm/374351798402?mkevt=1&mkcid=1&mkrid=1185-53479-19255-0&campid=5338391699&toolid=11000&_ul=ES&_trkparms=ispr%3D1&amdata=enc%3A

- 1OCxFQ7-
SREye2sOffA4Ngg84&customid=CjwKCAjwx_eiBhBGEiwA15gLN2UDgqx4PJK8eZ8I2H-
BwnDivRHwHeh-hyCjEKcfBnyF54cw. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [47] G. Casaccio, «Clic Motor Ricambi e Accessori,» Ebay, diciembre 1991-1992. [En línea]. Available: https://www.ebay.es/itm/275572980010?mkevt=1&mkcid=1&mkrid=1185-53479-19255-0&campid=5338391699&toolid=11000&_ul=ES&_trkparms=ispr%3D1&amdata=enc%3A16E7-hxR6RqKY_x5IHzKVDw2&customid=CjwKCAjwx_eiBhBGEiwA15gLN5_VXFEzNi15R1be_QKRNAsm-0rUacg4paofg-7A2vV6-MUK2. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [48] M. D. VFerrer, «Moto Desguace VFerrer S.L.,» 2011. [En línea]. Available: <https://www.motodesguacevferrer.es/es/basculante-kawasaki-er-6f-2011>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [49] D. S. S. Corporation, «Solidworks,» 2022-2023. [En línea]. Available: <https://www.solidworks.com/es>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [50] Ansys, «Ansys,» 2023. [En línea]. Available: <https://www.ansys.com/>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [51] C. Composites, «Castro Composites,» 4 diciembre 2017. [En línea]. Available: <https://www.castrocompositesshop.com/es/fibras-de-refuerzo/1225-malla-de-carbono-tubular-de-19-mm-y-362-gm2.html>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [52] A. Copco, «Atlas Copco,» [En línea]. Available: <https://www.atlascopco.com/es-es/itba/products/joining-solutions/self-pierce-riveting/henrob-self-piercing-rivet-range>. [Último acceso: 23 mayo 2023].
- [53] GESIPA, «GESIPA,» marzo 2022-2023. [En línea]. Available: https://www.gesipa.es/productos/tecnologia_de_remachado/remachadoras/informacion_detallada/taurex_3_axial_control_presion/. [Último acceso: 23 mayo 2023].



ANEXO I: CATÁLOGOS Y ELEMENTOS COMERCIALES

Henrob A-Rivet

Self-piercing rivet capable of making strong, robust joints in thinner sheets

Atlas Copco



Industrial Assembly Solutions

We are pleased to introduce the new A-Rivet range into the Henrob self-piercing rivet business line. This rivet, available in both 3mm and 5mm diameters, has been specifically developed to allow SPR joints in thinner gauges of aluminum sheet.

Target application

The A-Rivet is targeted at MVI applications – specifically, but not exclusively, to be used in hoods, doors and other closures where the panels tend to be lightweight and non-structural. This rivet is intended for joining thin-gauge aluminum sheets; it may be used to join aluminum sheets, castings, extrusions or even lower-strength steels to thin aluminum bottom sheets.

The rivet is designed to be supplied into setting systems alongside other Henrob rivets such as C, J, K and T-rivets.

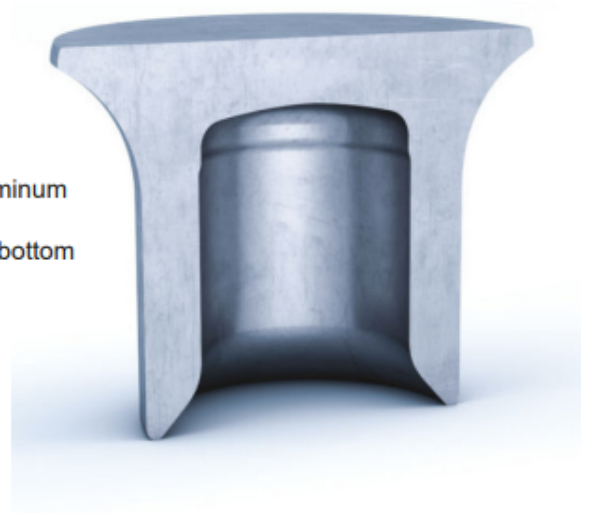
Key features



Can be used with existing equipment



Ability to achieve a sound joint with aluminum sheets down to 0.75mm

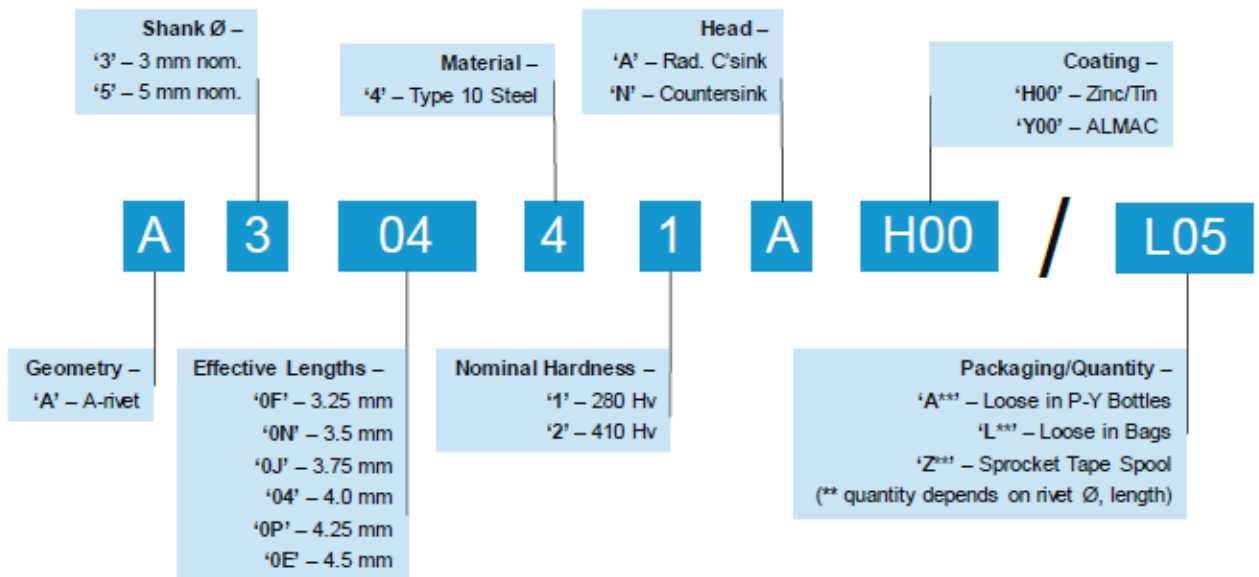


Availability

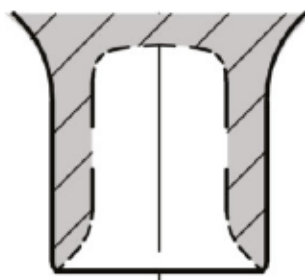
- Ø 5mm rivets available Q4 2018
- Ø 3mm rivets available now

Henrob A-Rivet

Part number build up



Derivations



Applications	Automotive; Thinner Al. alloys and mild steel sheets
Diameters	3mm and 5mm
Lengths	Ø 3mm: 3.25 mm up to 4.25 mm in 0.25 mm increments Ø 5mm: 4mm up to 7mm in 0.5mm increments
Materials	Steel type "4" only
Hardnesses	Hardness Levels "1" and "2"
Head Styles	"A" and "N" head
Coatings	"H00" – Zinc Tin "Y00" – ALMAC
Packaging	Tape Feed / Loose Feed available – compatible with standard Henrob loose and tape feed systems
Please note – not all hardness/head styles/coatings available in every length/diameter combination – contact Atlas Copco for more detail	



Araldite® Standard Adhesivo epoxi de 2 componentes



Presentación Código SAP

- 2 x 5ml; 2 x 15ml; 2x75ml; Jeringa 24ml
- 510106; 510107; 510104; 510105

Propiedades básicas

- **Multiusos**
- **Tiempo de manipulación o de trabajo largo**
- **Sin merma**
- **Buena resistencia a cargas dinámicas**
- **Adherencia sobre un amplio sustrato de materiales de uso común**

Descripción

Araldite® Standard es un adhesivo multiusos de 2 componentes, de curado a temperatura ambiente y de alta resistencia mecánica y dureza. Está indicado para la unión de un amplio sustrato de materiales incluyendo metales, cerámica, cristal, gomas, plásticos rígidos y muchos otros materiales de uso común. Es un adhesivo versátil para el artesano y para muchas aplicaciones industriales.

Características técnicas

Característica	Araldite® Standard Resina	Araldite® Standard Endurecedor	Araldite® Standard Mezcla
Color (visual)	neutro	amarillo pálido	amarillo pálido
Densidad (kg/l)	1,17	0,97	1,07
Viscosidad a 25°C (Pa.s)	30 – 50	20 – 40	30 – 45
Tiempo Manipulado (100 g, 25°C)	-	-	100 – 150 minutos

Modo de empleo

Pre-tratamiento

La resistencia de la unión dependerá de un tratamiento correcto de las superficies a unir. Las superficies a unir deberían limpiarse previamente con un buen agente desengrasante como la acetona o el isopropanol (para plásticos) con la finalidad de eliminar cualquier traza de aceite, de grasa o de suciedad. Nunca deben usarse alcoholes de baja graduación, gasolinas o disolventes para pinturas como agentes desengrasantes. Las uniones más resistentes se obtienen después de someter las superficies ya desengrasadas a tratamientos de abrasión mecánica o de decapado químico. Un tratamiento de abrasión mecánica implicaría un nuevo proceso de desengrasado con posterioridad a dicho tratamiento.

Relación de mezcla	Partes en peso	Partes en volumen
Araldite® Standard Resina	100	100
Araldite® Standard Endurecedor	80	100



Araldite



Aplicación del adhesivo

La mezcla de resina y endurecedor debe aplicarse directamente o con una espátula sobre las superficies secas y pre-tratadas.

Una capa de adhesivo con un grosor entre 0,05 y 0,10 mm proporcionará la máxima resistencia mecánica de la unión. Las superficies a unir deben posicionarse en una posición fija y definitiva una vez se haya aplicado el adhesivo.

Mantenimiento de herramientas

Todas las herramientas pueden limpiarse con agua caliente y jabón antes de que los residuos del adhesivo hayan curado. La eliminación de residuos de adhesivo ya curados es difícil y conlleva tiempo.

Si se usan disolventes como la acetona para la limpieza, deben tomarse las medidas de protección necesarias y evitar el contacto con los ojos y con la piel.

Tiempos de resistencia mínima a esfuerzos mecánicos de cizalla

Temperatura	°C	23
Tiempo de curado	horas	6
LSS > 1MPa	minutos	
Tiempo de curado	horas	10
LSS > 10MPa	minutos	

LSS = Esfuerzo mecánico de cizalla

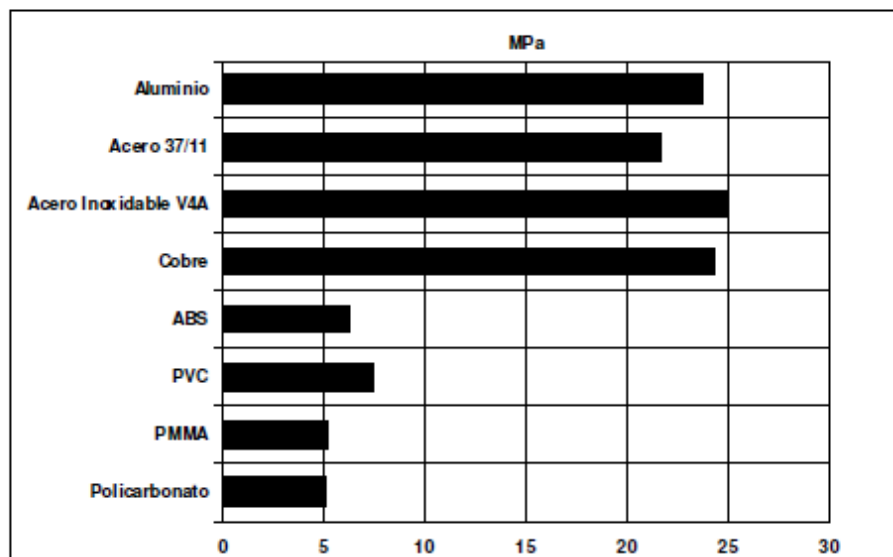
Propiedades típicas de la mezcla

Resistencia media a esfuerzos mecánicos de cizalla de uniones típicas (ISO 4587)

Curado: 16 horas; 40°C

Ensayo: 23°C

Pre-tratamiento: plásticos sometidos a abrasión y desengrasado, metales sometidos a gravillonado y desengrasados.



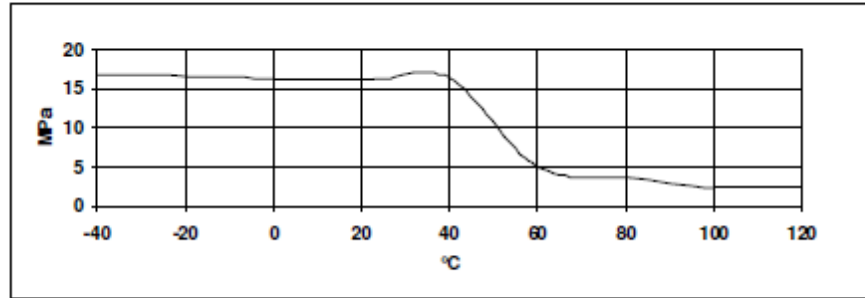


Araldite



Resistencia a esfuerzos mecánicos de cizalla versus temperatura (ISO 4587) (valores medios típicos)

Aluminio gravillonado y desengrasado. Curado: 16 horas; 40°C



Almacenaje

Araldite® Standard puede ser almacenado hasta 3 años a temperatura ambiente, ya que sus componentes están envasados en tubos estancos.

Manipulación y seguridad

Precaución

Nuestros productos son por lo general bastante inofensivos siempre que se tengan en cuenta las precauciones más habituales para la manipulación de sustancias químicas. Los materiales no endurecidos no deben entrar en contacto con alimentos o utensilios de que vayan a estar en contacto con alimentos. Deben tomarse medidas para evitar que los materiales no curados entren en contacto con la piel, ya que las personas con pieles especialmente sensibles pueden verse afectadas. El uso de guantes de goma o de plástico impermeables será normalmente necesario. Asimismo, el uso de protección para los ojos. La piel se debe limpiar con agua tibia y jabón al final de cada periodo de trabajo. Evitar el uso de disolventes sobre la piel. Debe utilizarse papel desechable y no toallas de ropa para el secado de la piel. Se recomienda una ventilación adecuada del lugar de trabajo. Estas precauciones se describen con mayor detalle en las fichas de seguridad de los productos individuales.

Garantizamos las propiedades uniformes de nuestros productos en todos los suministros. Las recomendaciones y los datos publicados en esta hoja técnica se basan en nuestro conocimiento actual y en rigurosos ensayos de laboratorio. Debido a las múltiples variaciones en los materiales y en las condiciones de cada proyecto, rogamos a nuestros clientes que efectúen sus propios ensayos de utilidad bajo las condiciones de trabajo previstas y siguiendo nuestras instrucciones generales. Con esto se evitan posteriores perjuicios cuyas consecuencias serían ajenas a la empresa.

Los datos indicados en esta Hoja Técnica no deben ser considerados nunca como una especificación de las propiedades del producto.



ANEXO II: PRESUPUESTO

Previamente a realizar el presupuesto, se ha tenido en cuenta el salario anual de un ingeniero mecánico, y se ha pasado a salario por horas, en este caso, 15,51 Euros.

Tras esto, se definen las distintas fases que conforman esta etapa del proyecto. Para obtener el coste, se multiplicarán las horas empleadas en cada etapa por el salario por horas del trabajador.

En la siguiente tabla se muestra el precio descompuesto de la etapa de investigación y desarrollo:

PROCESOS	TIEMPO (HORAS)	PRECIO (EUROS/HORA)	COSTE (EUROS)
Planteamiento	80	15,51	1240,8
Modelado 3D	70	15,51	1085,7
Despiece (Planos)	45	15,51	697,95
Cálculos	20	15,51	310,2
Documentación	110	15,51	1706,1
TOTAL			5040,75

A este habría que sumarle el precio de los diferentes componentes del basculante, en dicho precio está incluido tanto la materia prima como el coste de su producción.

- Núcleo, cabezales y demás piezas de aluminio, hacen un total de 840 €. Cada una de ellas tendrá un precio aproximado de 120 €.
- Los componentes de Fibra de Carbono, tanto el brazo superior como los brazos inferiores van a tener un precio de 200 € cada uno, por lo que harán un total de 600 €.

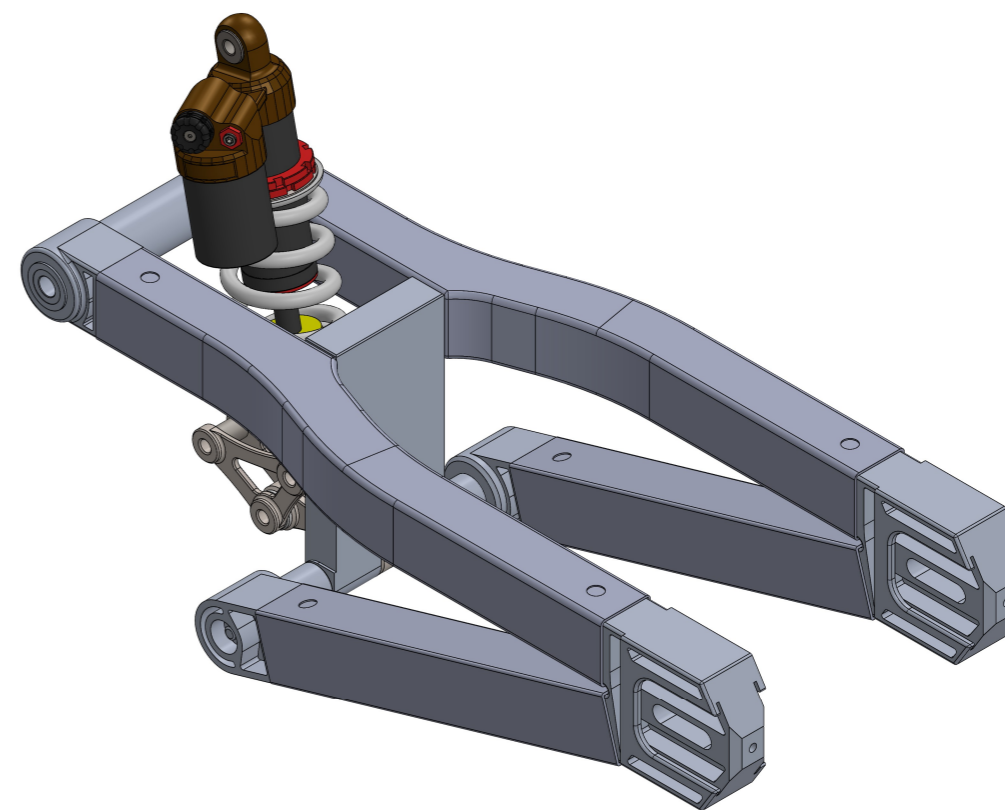
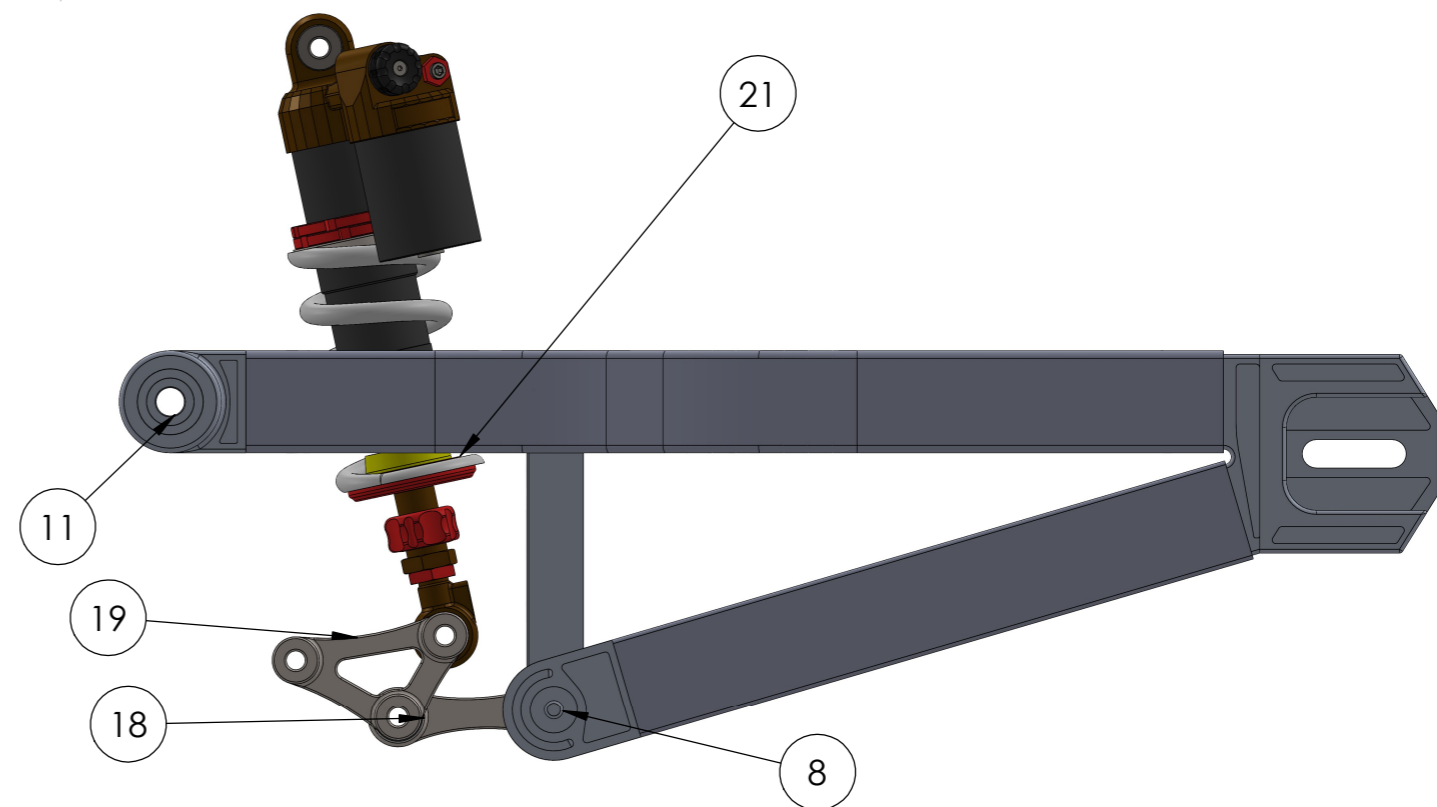
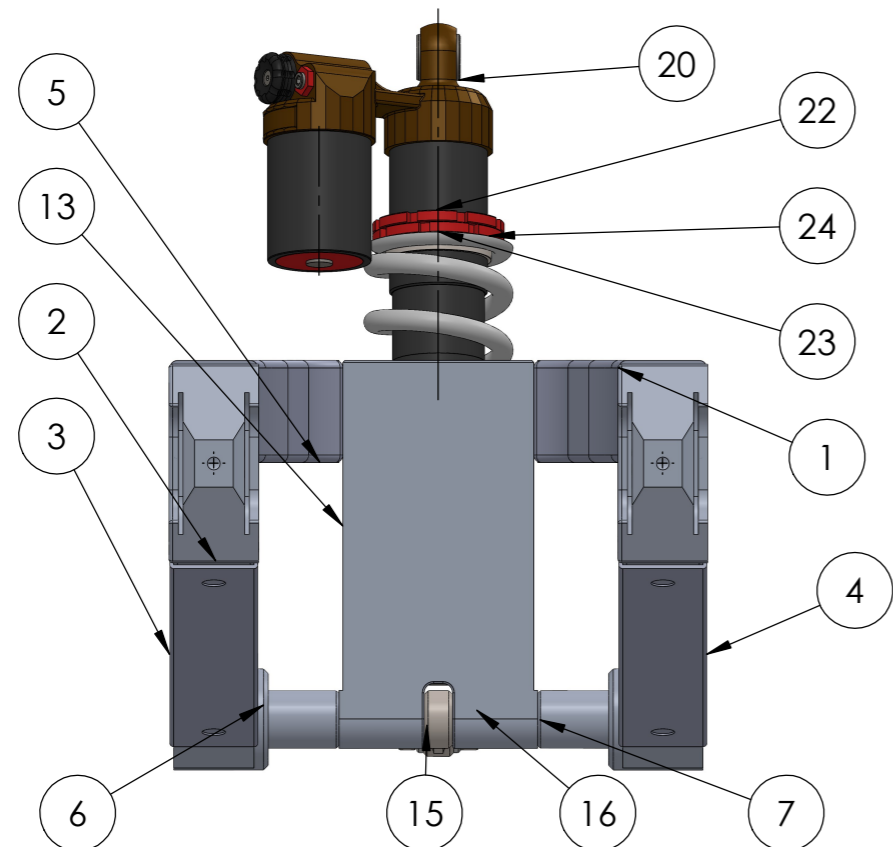
Los precios de los remaches van a ser mínimos, ya que los ven al por mayor y el precio de un paquete de 100 unidades es de 2.51 €.

El precio del adhesivo industrial ya se mencionó que era de 14.70 € impuestos incluidos.

Teniendo en cuenta todos estos precios se tiene como resultado un presupuesto estimado final del proyecto de 6297.21 €.



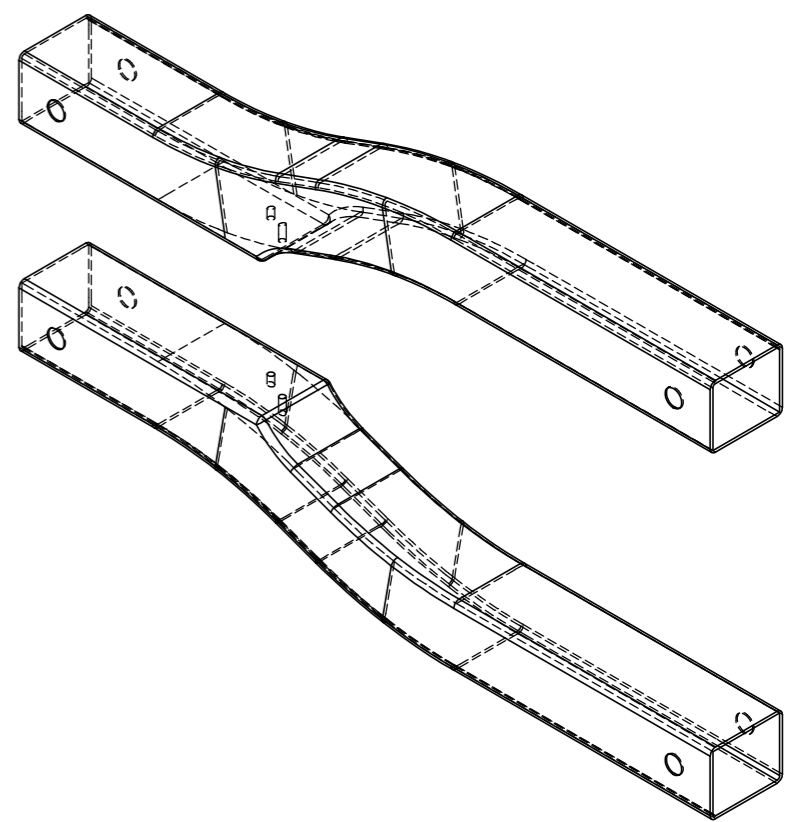
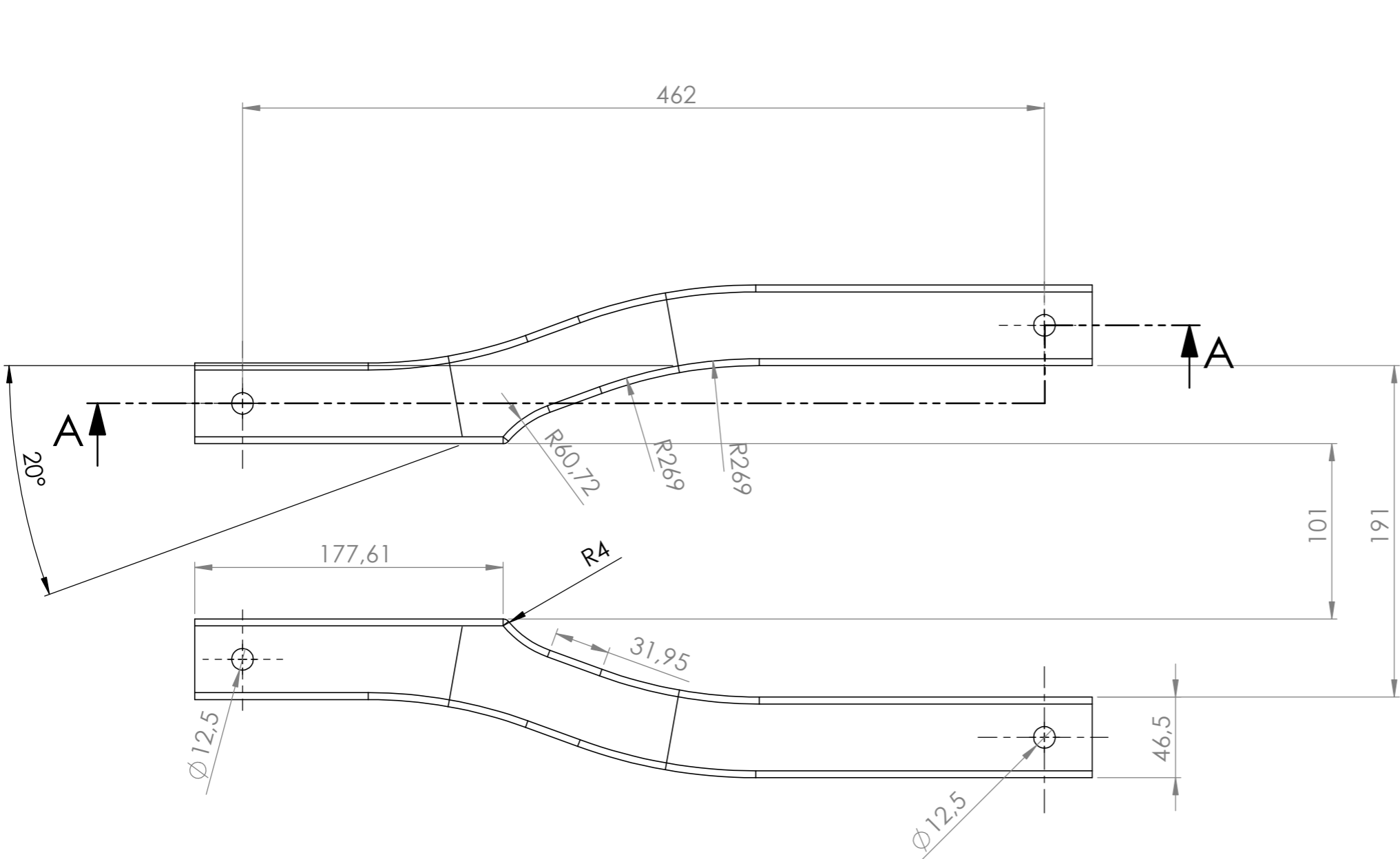
ANEXO III: PLANOS



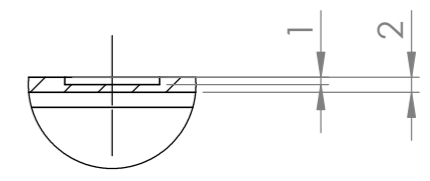
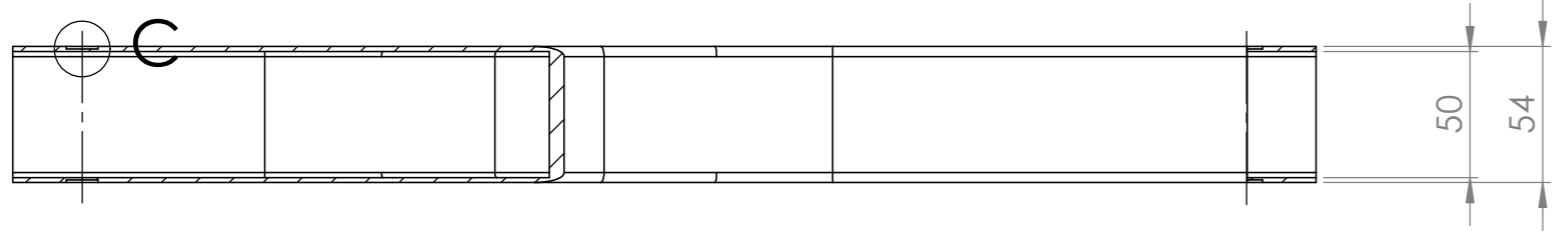
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	CANTIDAD
1	CUERPO SUPERIOR FC	1
2	CABEZA ALUMINIO RUEDA	2
3	CUERPO INFERIOR IZQUIERDA FC	1
4	CUERPO INFERIOR DERECHA FC	1
5	CABEZA ALUMINIO CHASIS	2
6	CABEZA ALUMINIO BIELA	2
7	Pieza unión núcleo basculante	2
8	Eje tirante basculante	1
9	Anillo antifriccion eje basculante	2
10	Casquillo exterior basculante	2
11	Casquillo interior basculante	1
12	Refuerzo eje basculante	1
13	Núcleo basculante	1
14	Casquillo autolubricante tirante	1
15	TIRANTE RIGIDO 82.5	1
16	Rocket_Der	1
17	Casquillos rodamientos bieletas	2
18	Arandela Nylon bieletas	2
19	Rocket_lzq	1
20	Cuerpo	1
21	Vástago	1
22	Tuerca	2
23	Apoyo muelle	1
24	Muelle	1
25	INTERIOR ALUMINIO BRAZO IZQUIERDO	1
26	INTERIOR ALUMINIO BRAZO DERECHO	1

DIBUJADO DRAWN BY	RUBÉN PARDO	PROYECTO PROJECT DENOMINACIÓN DESCRIPTION	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
	GONZALEZ		CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	TOLERANCIAS TOLERANCES
FECHA DATE	24/05/2023	MATERIAL MATERIAL	ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	
			COMPUESTO	N9
TRABAJO FIN DE GRADO		TRATAMIENTO TREATMENT	MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	
E.T.S.I.I.I.T		PESO (Kg) WEIGHT	UNIDADES UNITS	
upna		PLANO Nº DRAWING Nº	ESCALA SCALE	
		CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE PARA MOTOCICLETA DE COMPETICIÓN EN ALUMINIO Y FIBRA DE CARBONO		A3
				1:4

8 7 6 5 4 3 2 1



SECCIÓN A-A

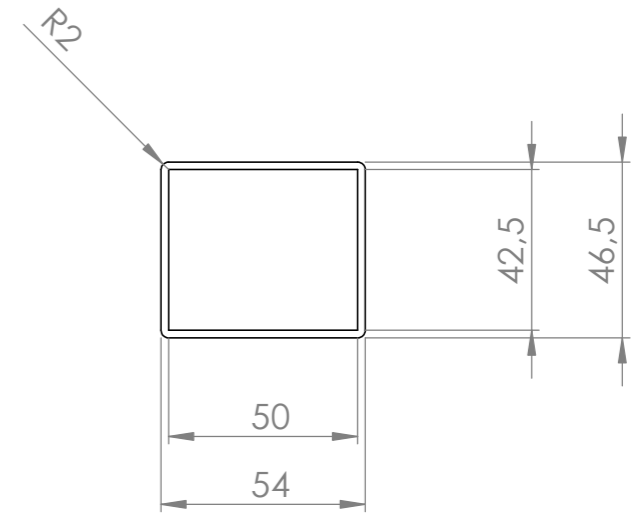
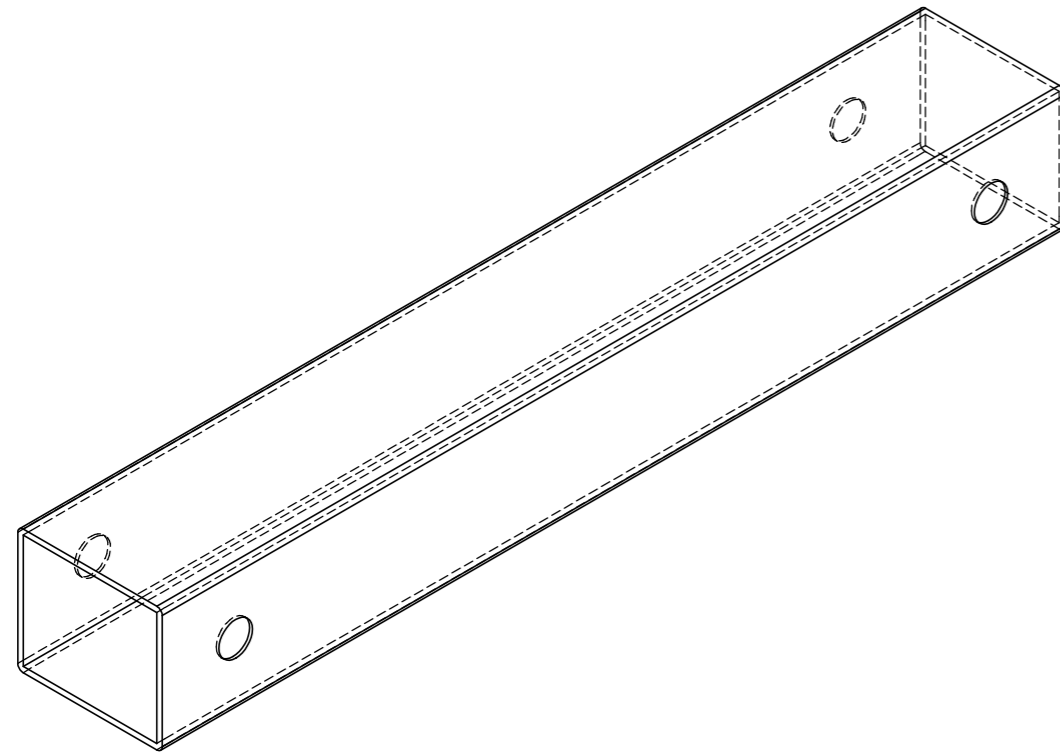


DETALLE C

ESCALA 1 : 1

Los redondeos no indicados son de 4 mm

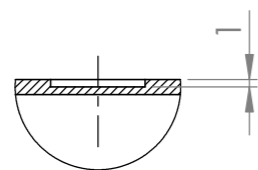
DIBUJADO DRAWN BY	RUBÉN PARDO GONZÁLEZ	PROYECTO	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	
		DENOMINACIÓN DESCRIPTION		
FECHA DATE	24/05/2023	MATERIAL	HEXCEL AS4C (3000 FILAMENTOS)	
TRABAJO FIN DE GRADO		TRATAMIENTO TREATMENT		
E.T.S.I.I.I.T		PESO (Kg) WEIGHT		
upna		PLANO Nº DRAWING Nº	BRAZOS SUPERIORES	
		ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS		
		TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK	
		ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9	
		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°	
		UNIDADES UNITS	mm	
		ESCALA SCALE		1:3



Todos los redondeos son de 2 mm

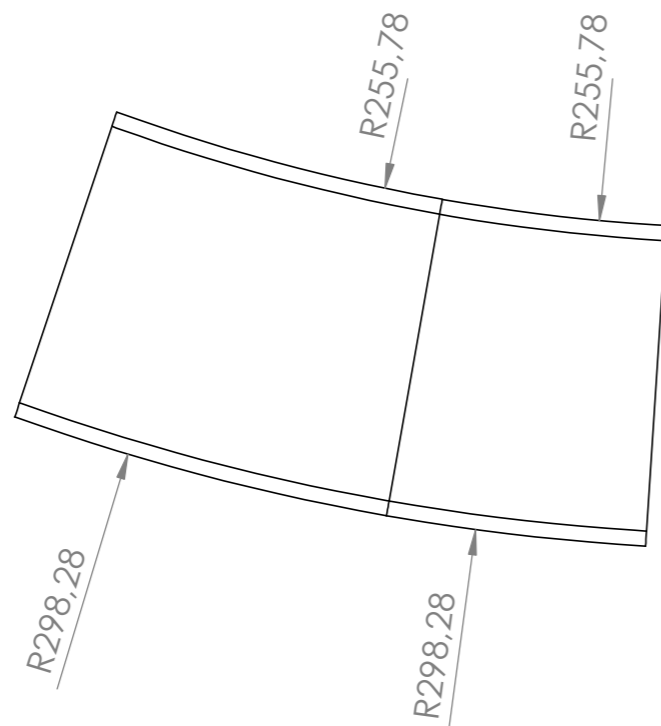
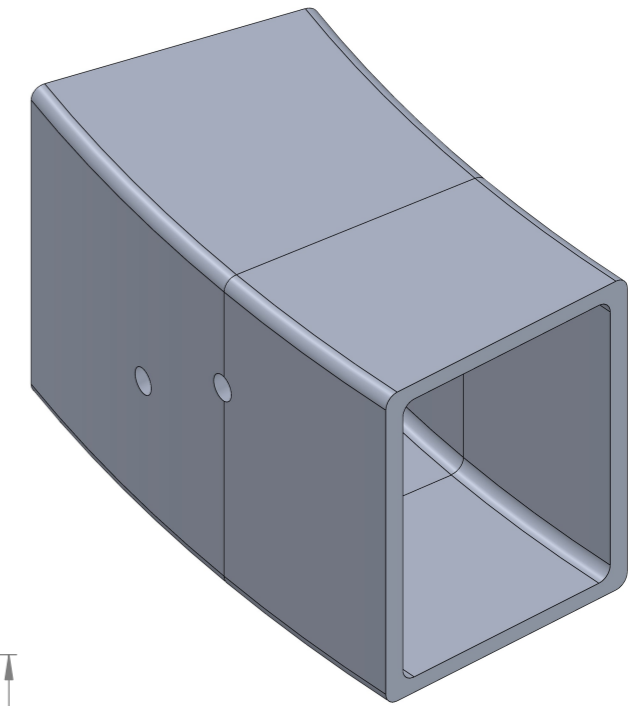
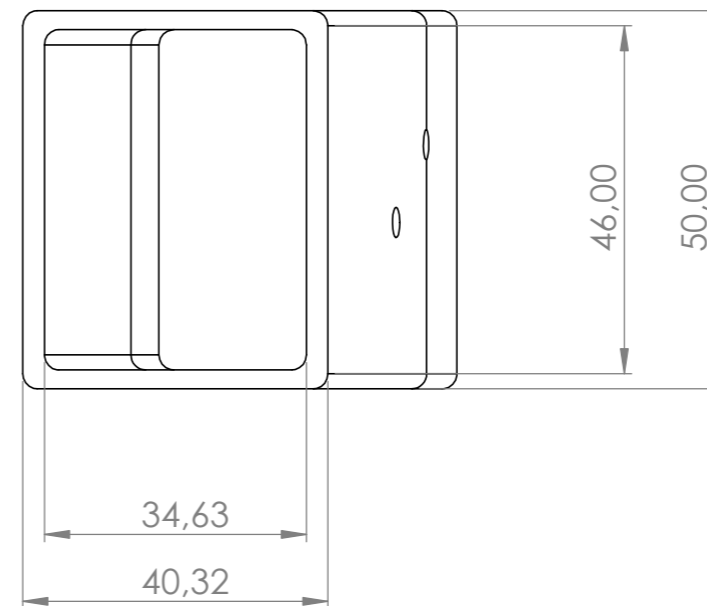
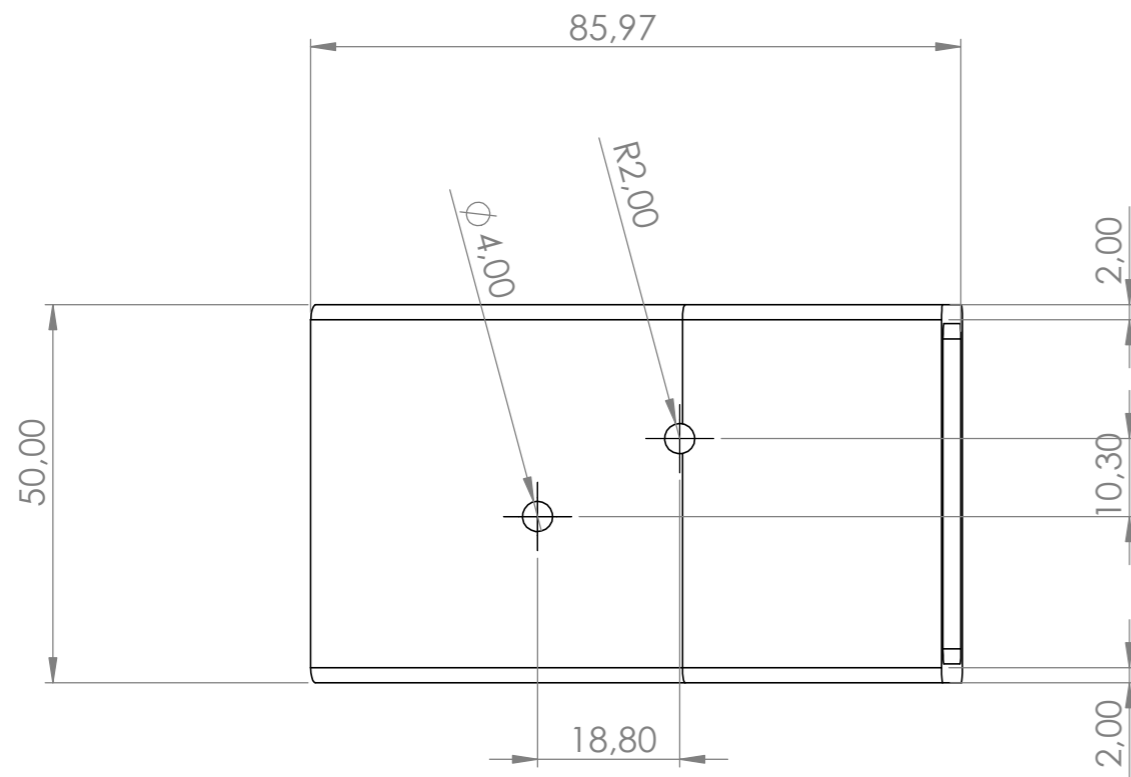


SECCIÓN A-A



DETALLE B
ESCALA 1:1

DIBUJADO DRAWN BY	RUBÉN PARDO GONZÁLEZ	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION		TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
		MATERIAL MATERIAL	HEXCEL AS4C (3000 FILAMENTOS)	ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
		TRATAMIENTO TREATMENT		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
		PESO (Kg) WEIGHT		UNIDADES UNITS	mm
		PLANO Nº DRAWING Nº	BRAZOS INFERIORES	ESCALA SCALE	1:2
	upna			A3	



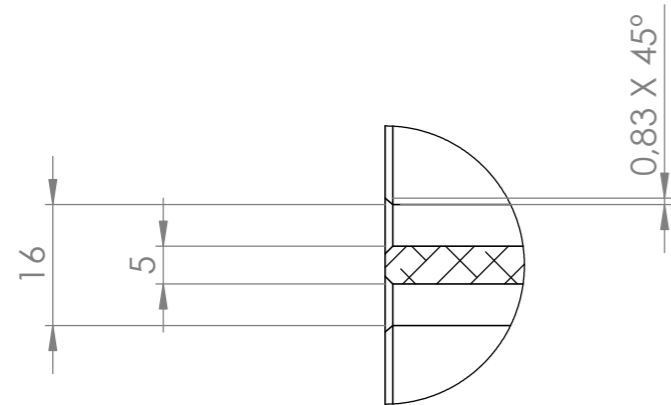
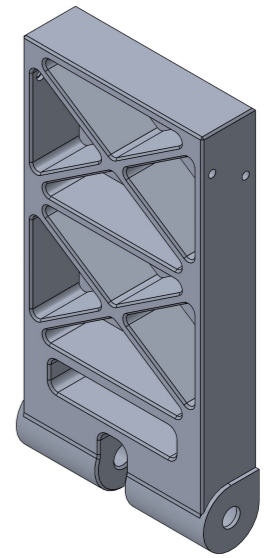
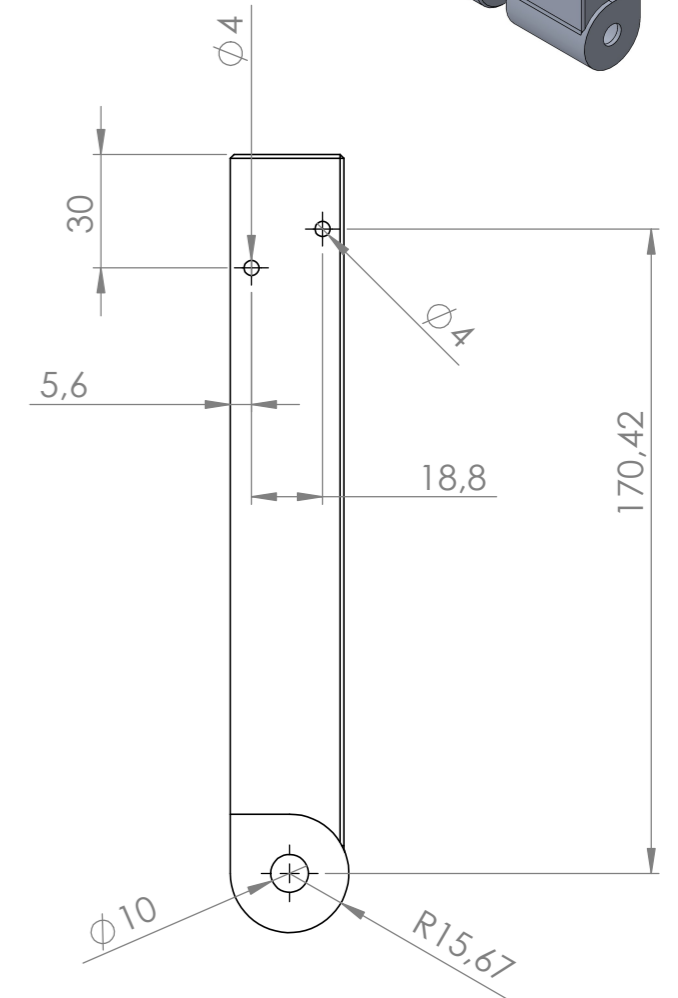
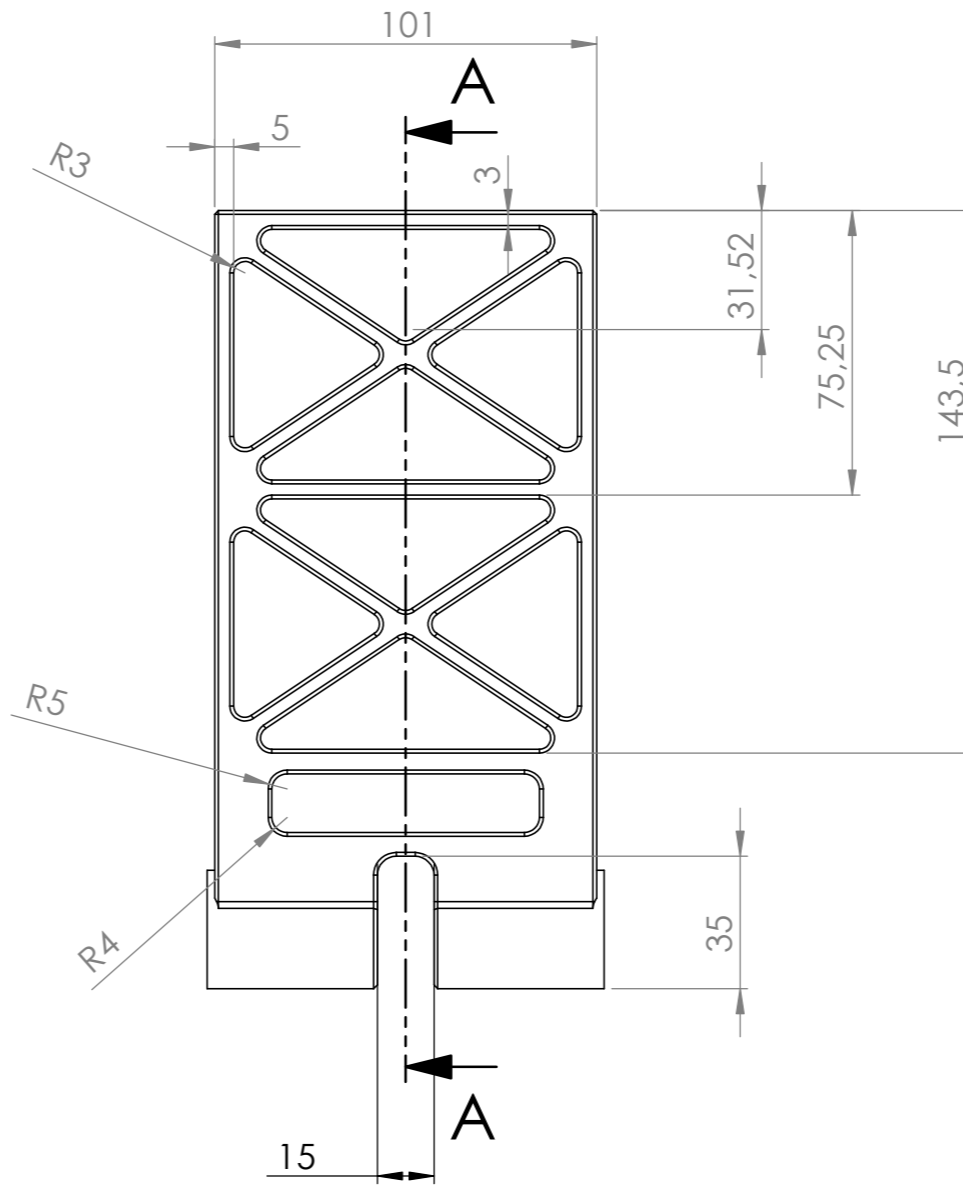
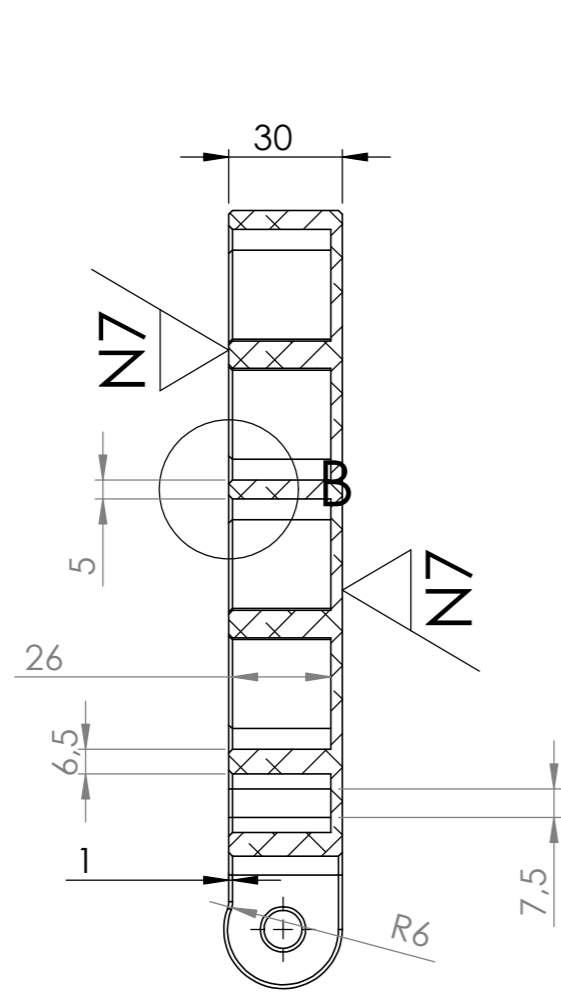
Todos los redondeos son de 2 mm

La calidad superficial sera de



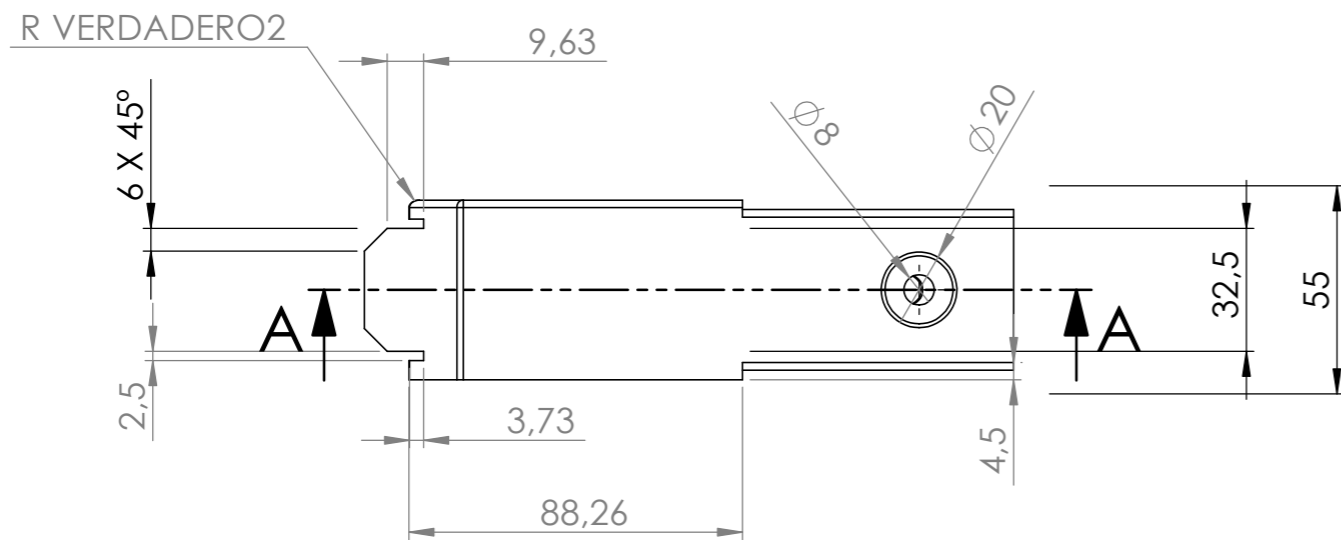
DIBUJADO DRAWN BY	Rubén Pardo González	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION		TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
		MATERIAL	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061	ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
		TRATAMIENTO TREATMENT		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
		PESO (Kg) WEIGHT		UNIDADES UNITS	mm
		PLANO Nº DRAWING Nº	INTERIORES DE LOS BRAZOS SUPERIORES	ESCALA SCALE	1:1
	upna				

SECCIÓN A-A

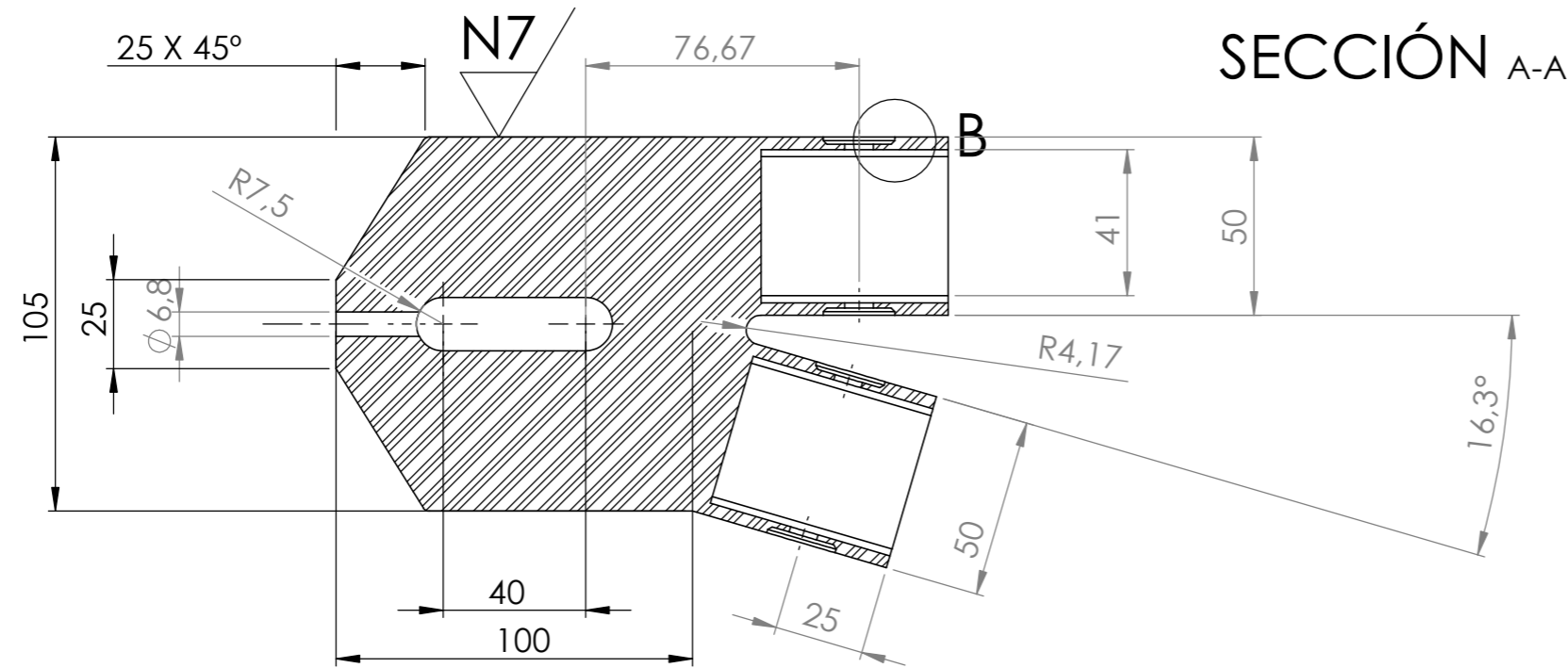
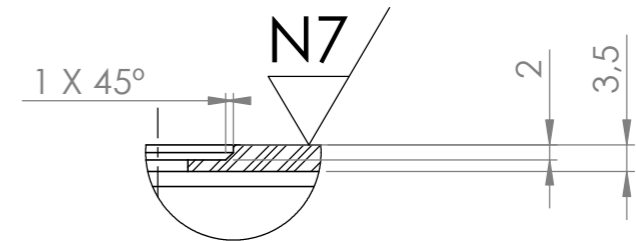


DETALLE B
ESCALA 1 : 1

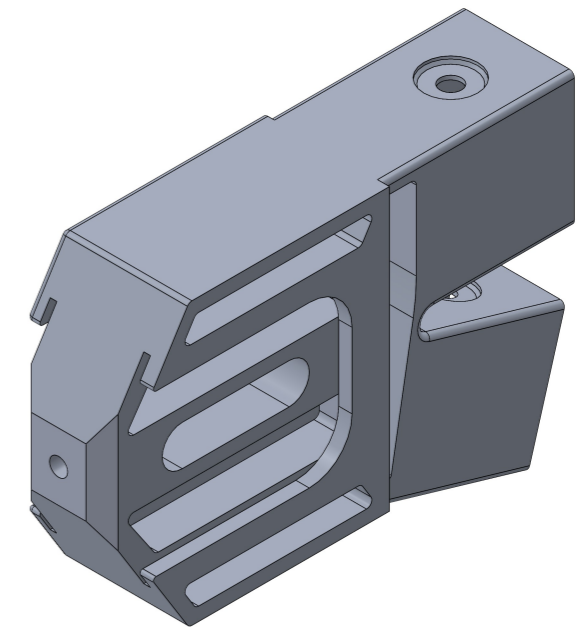
DIBUJADO DRAWN BY		PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION		TOLERANCIAS TOLERANCES
		MATERIAL MATERIAL	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061	ISO 2768mK
		TRATAMIENTO TREATMENT		ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH
		PESO (Kg) WEIGHT		N9
		PLANO Nº DRAWING Nº	NUCLEO ALUMINIO	MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES
				0.5X45°
				UNIDADES UNITS
				mm
				ESCALA SCALE
				1:2



DETALLE B
ESCALA 1:1



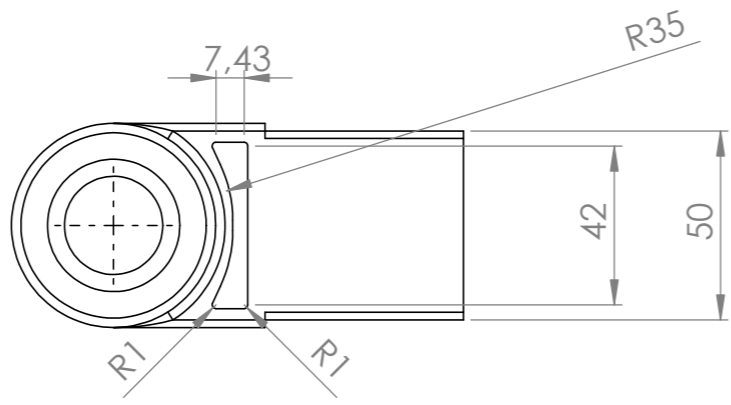
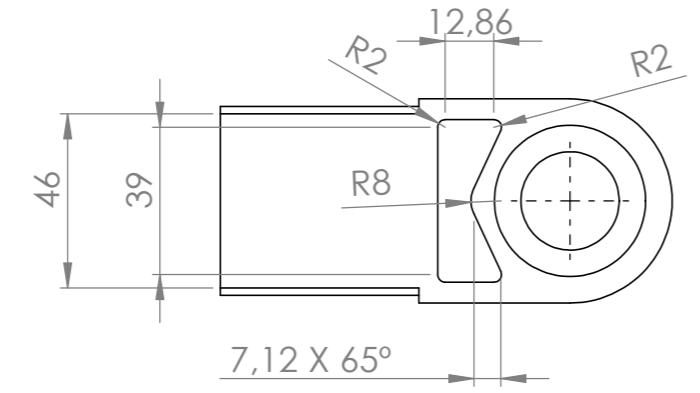
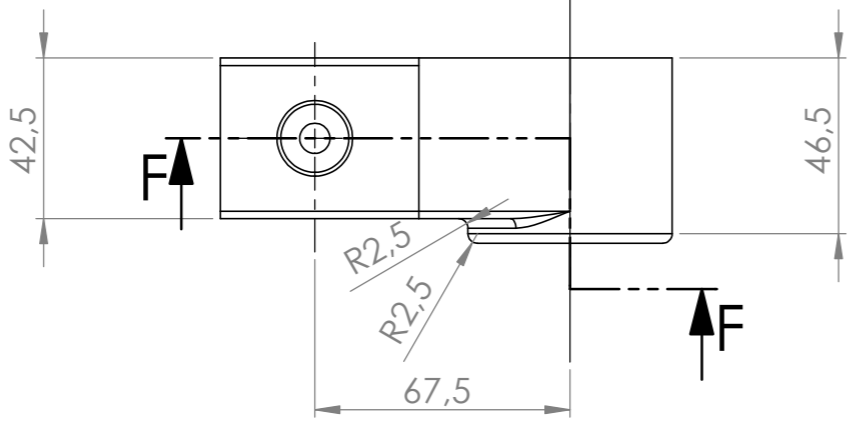
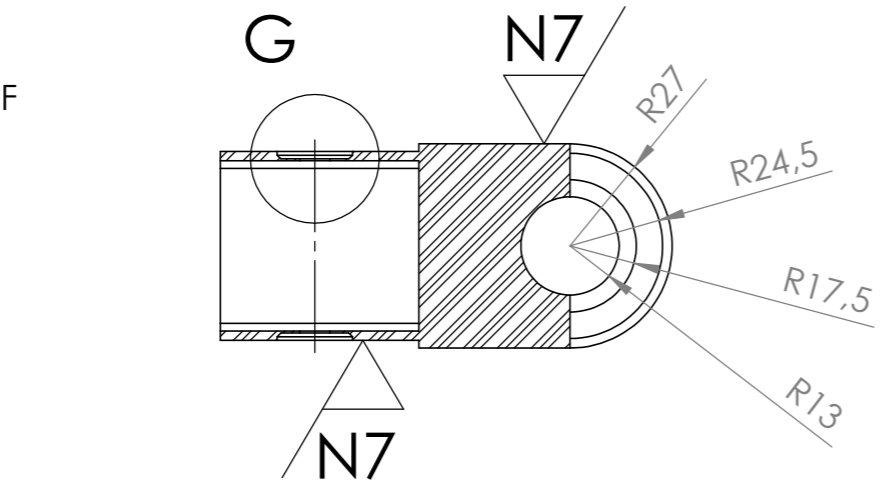
SECCIÓN A-A



DIBUJADO DRAWN BY	RUBÉN PARDO GONZÁLEZ	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	
		DENOMINACIÓN DESCRIPTION		
FECHA DATE	24/05/2023	MATERIAL MATERIAL	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061	
TRABAJO FINAL DE GRADO		TRATAMIENTO TREATMENT		
E.T.S.I.I.I.T		PESO (Kg) WEIGHT		
upna		PLANO Nº DRAWING Nº	CABEZAL DE UNIÓN ENTRE LA RUEDA TRASERA Y EL BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS
			TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
			ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
			MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
			UNIDADES UNITS	mm
			ESCALA SCALE	1:2

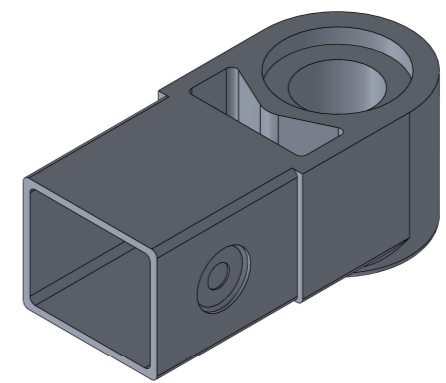
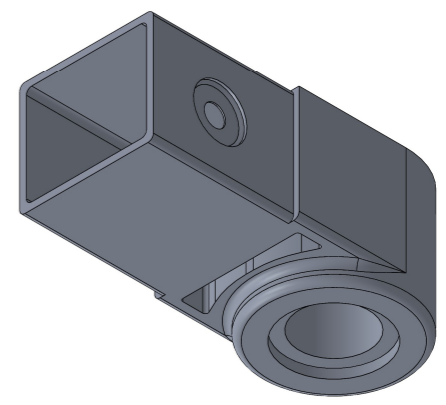
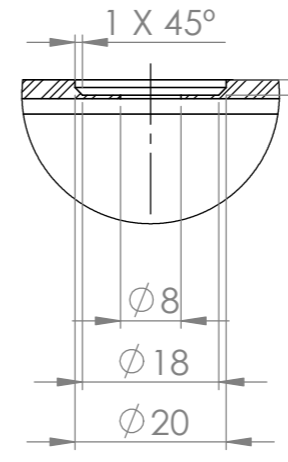
8 7 6 5 4 3 2 1

SECCIÓN F-F



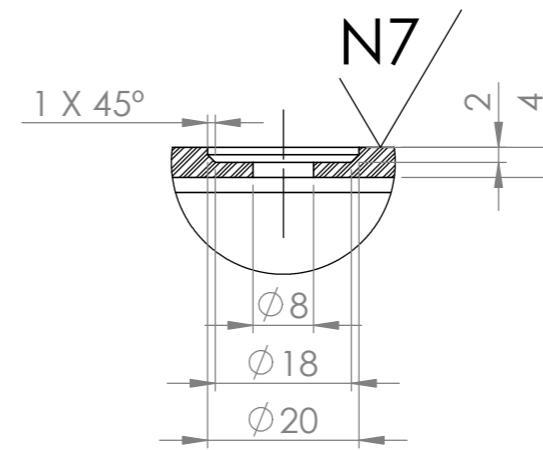
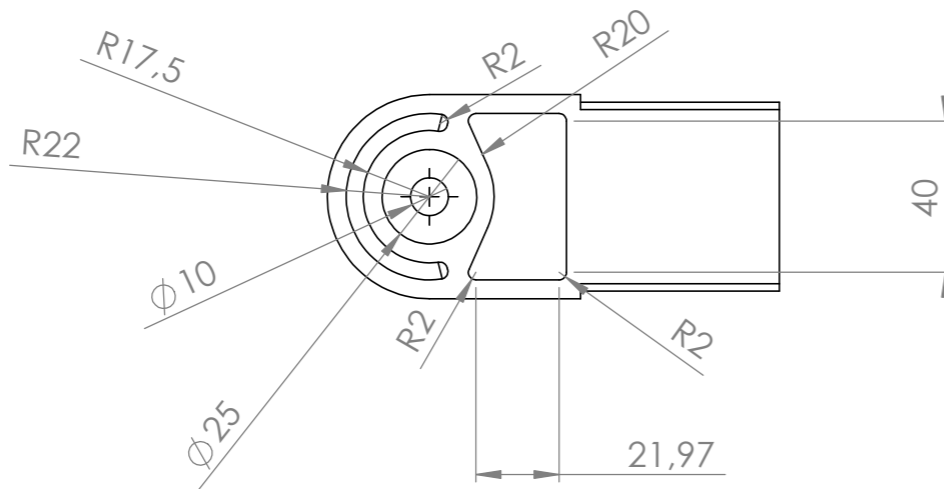
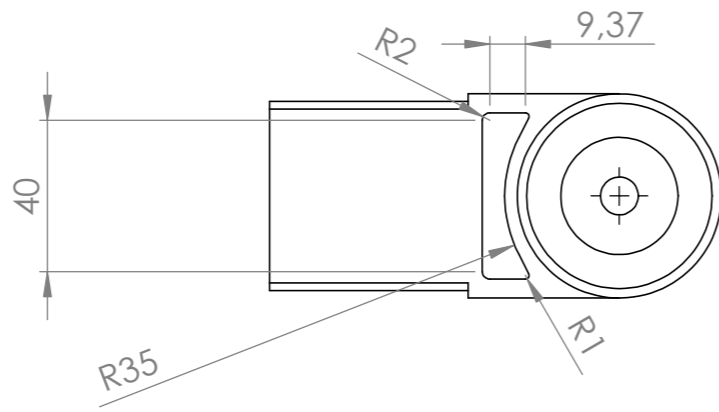
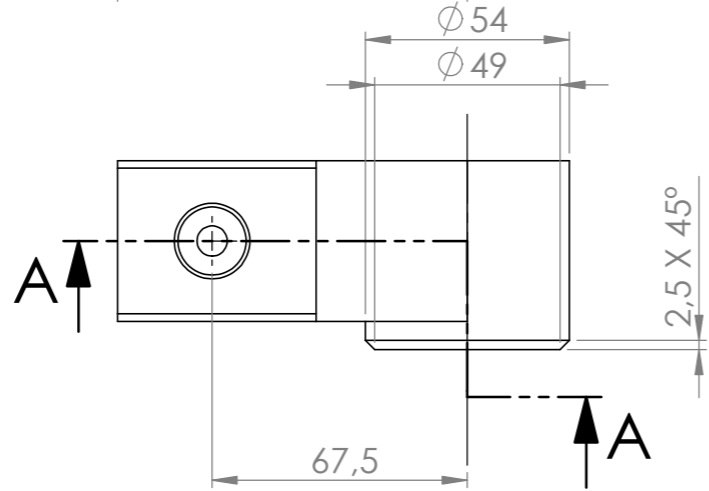
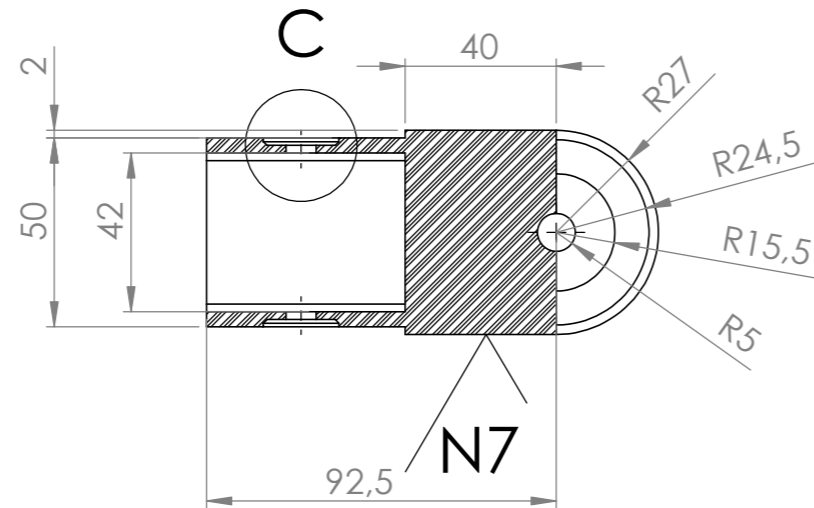
DETALLE G

ESCALA 1:1



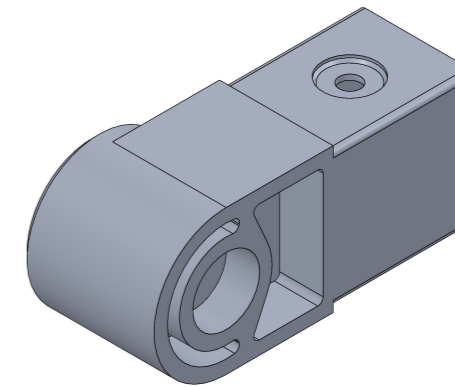
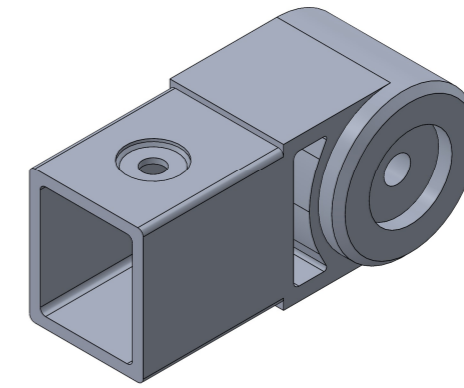
DIBUJADO DRAWN BY	RUBÉN PARDO GONZÁLEZ	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION		TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
		MATERIAL MATERIAL	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061	ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
		TRATAMIENTO TREATMENT		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
		PESO (Kg) WEIGHT		UNIDADES UNITS	mm
		PLANO Nº DRAWING Nº	CABEZAL DE UNIÓN ENTRE EL BASCULANTE Y EL CHASIS	ESCALA SCALE	1:2
				A3	

SECCIÓN A-A



DETALLE C

ESCALA 1:1

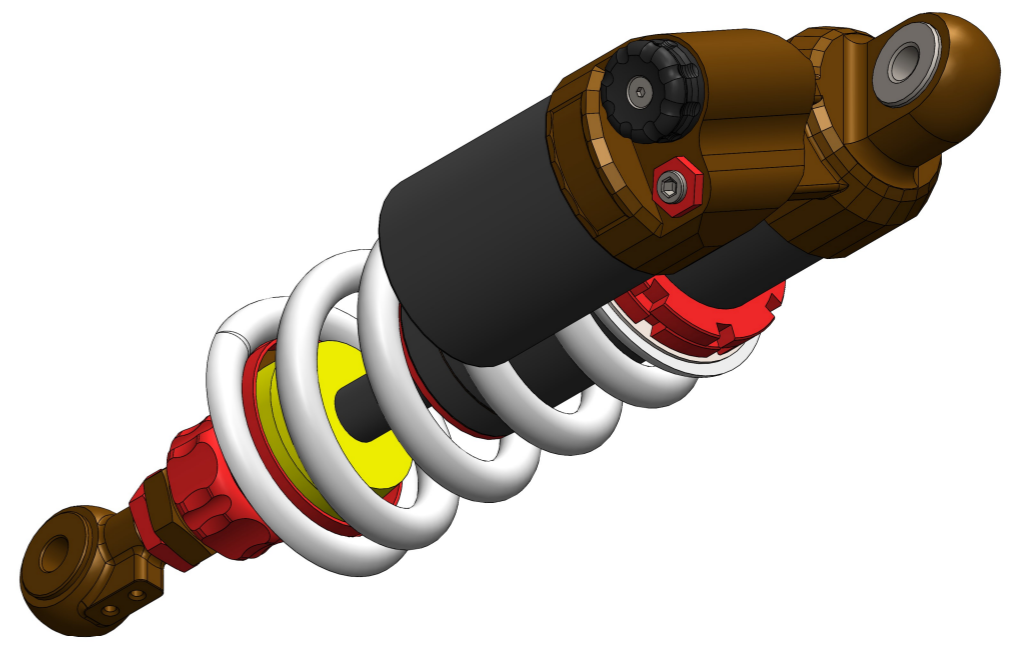
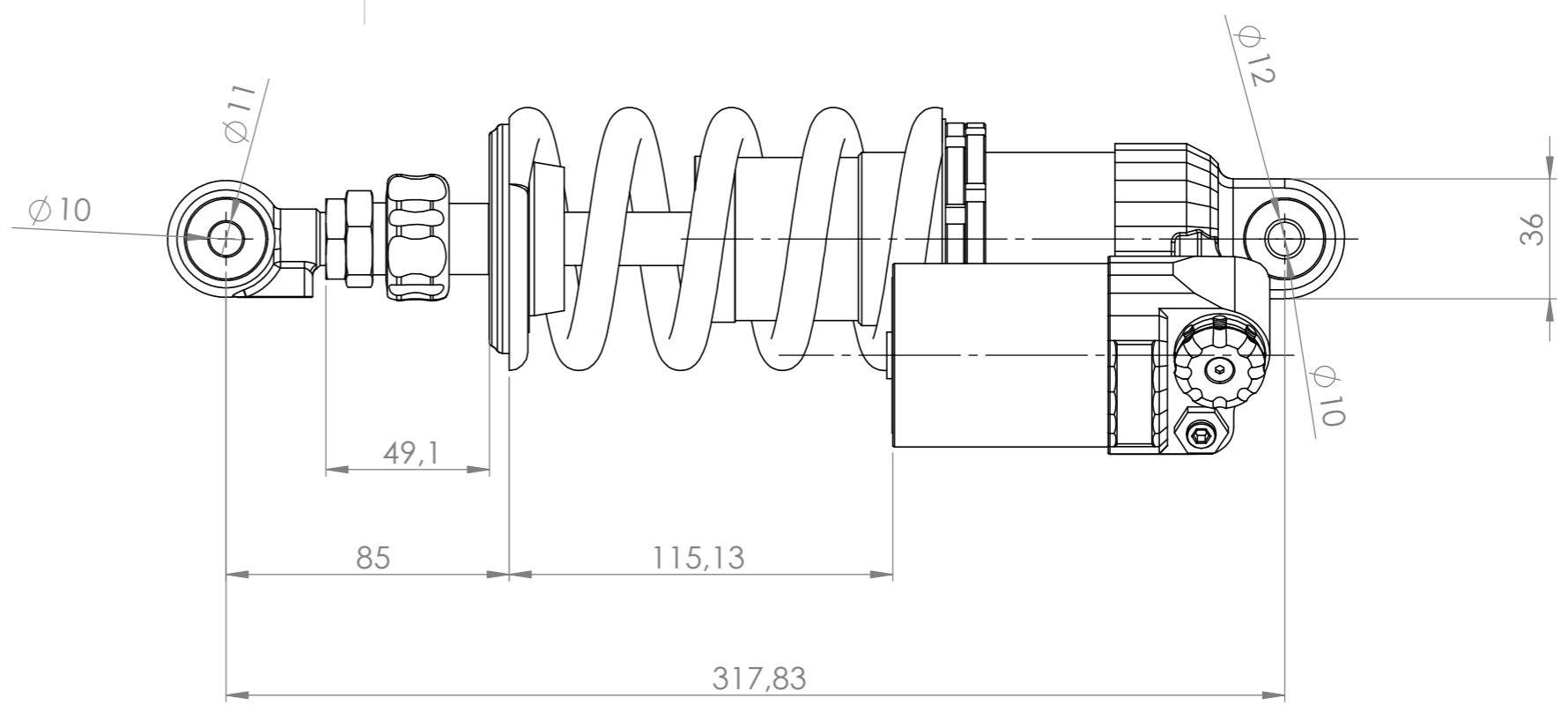
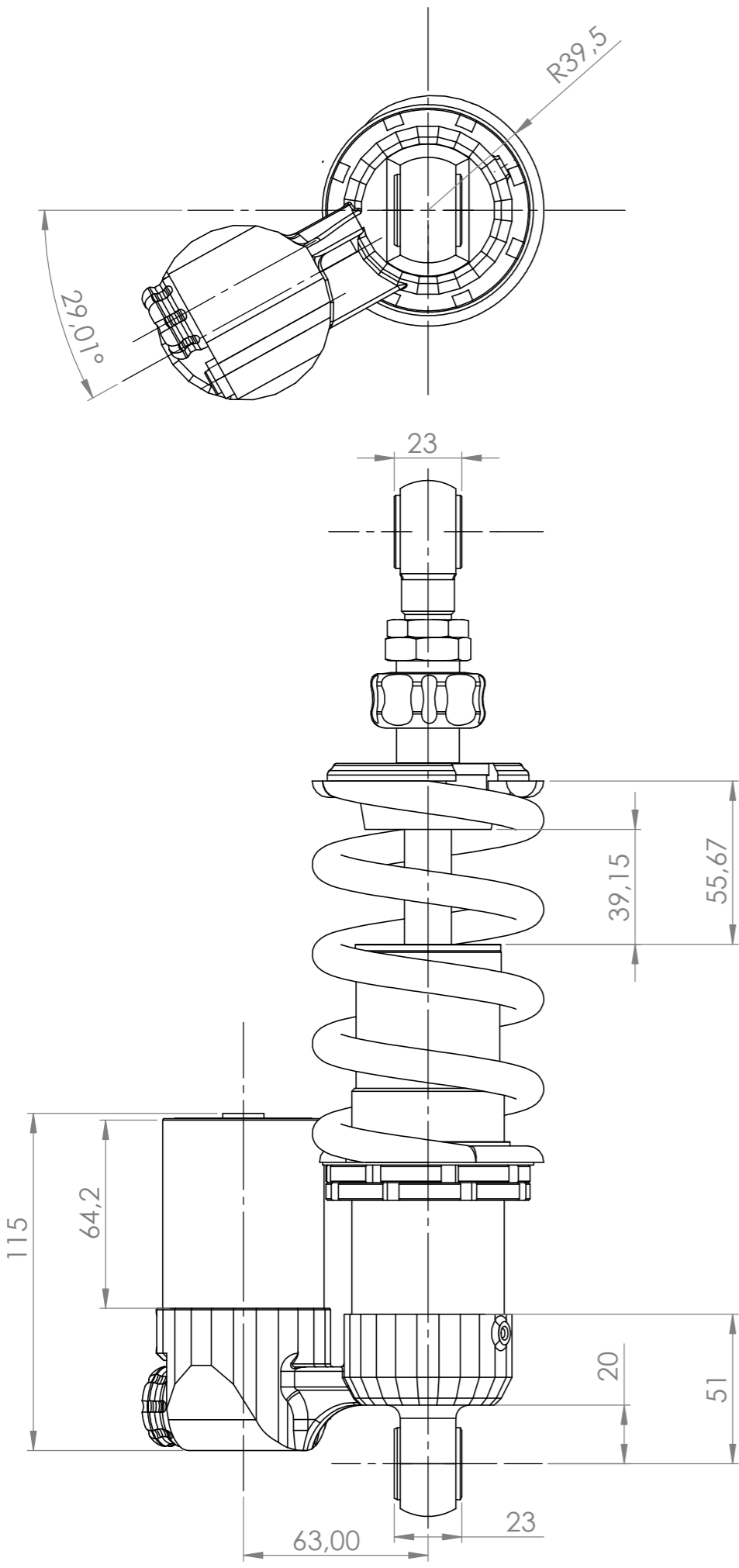


DIBUJADO DRAWN BY	Rubén Pardo González	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061	
TRABAJO FIN DE GRADO E.T.S.I.I.I.T		MATERIAL	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
upna		TRATAMIENTO TREATMENT	TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
		PESO (Kg) WEIGHT	ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
		PLANO Nº DRAWING Nº	MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
			UNIDADES UNITS	mm
			ESCALA SCALE	1:2

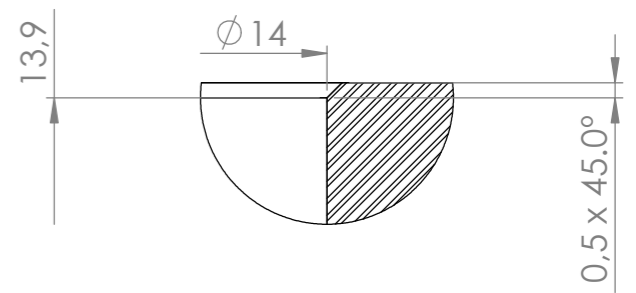
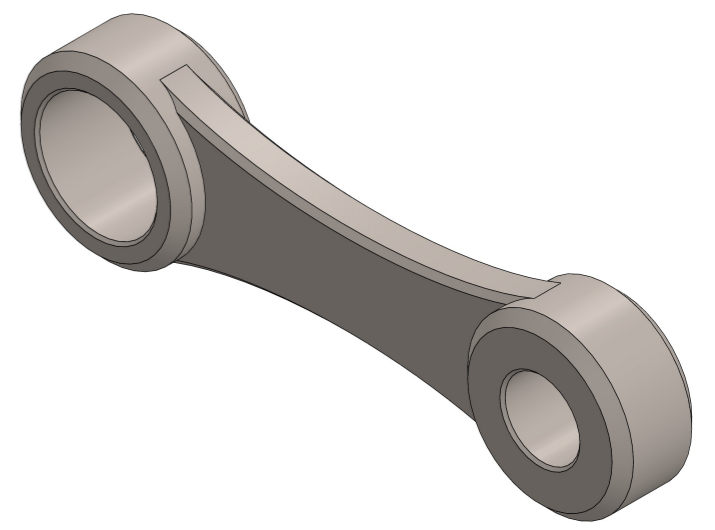
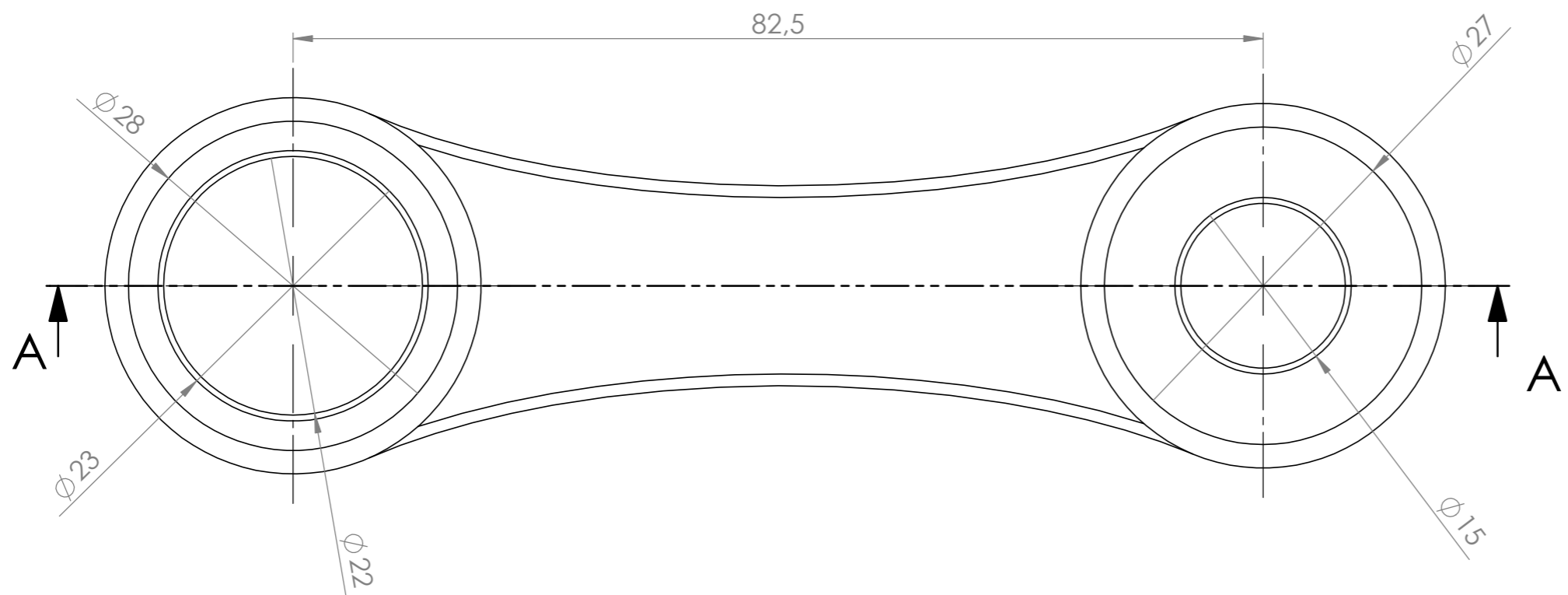
8 7 6 5 4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

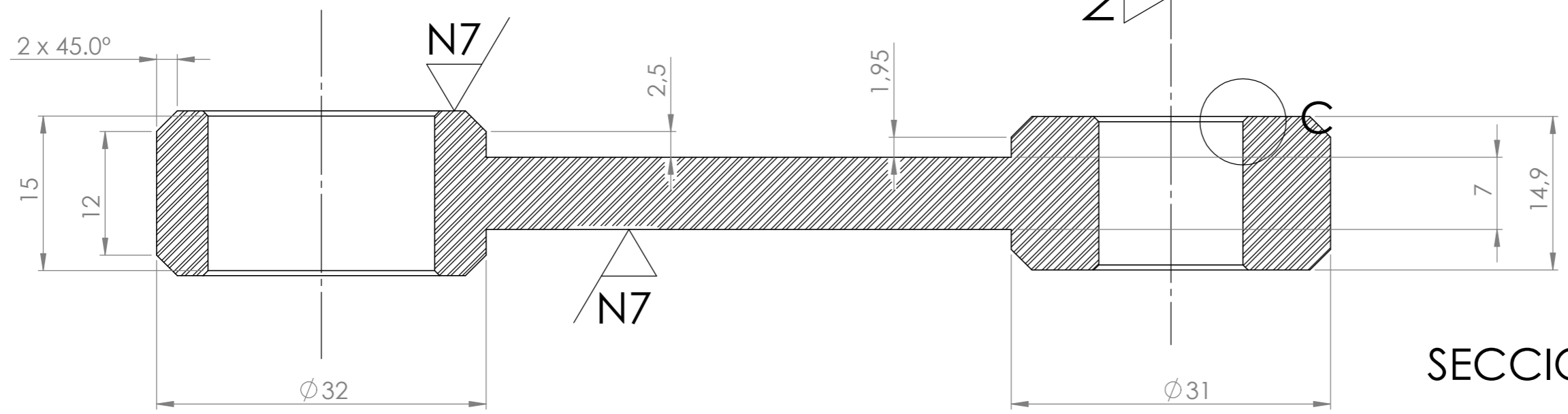
F
E
D
C
B
A



DIBUJADO DRAWN BY	Rubén Pardo González	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION	COMPUESTO	TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
	TRABAJO FIN DE GRADO	MATERIAL MATERIAL		ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
	E.T.S.I.I.I.T	TRATAMIENTO TREATMENT		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
	upna	PESO (Kg) WEIGHT		UNIDADES UNITS	mm
		PLANO Nº DRAWING Nº	AMORTIGUADOR SUSPENSIÓN TRASERA	ESCALA SCALE	1:2

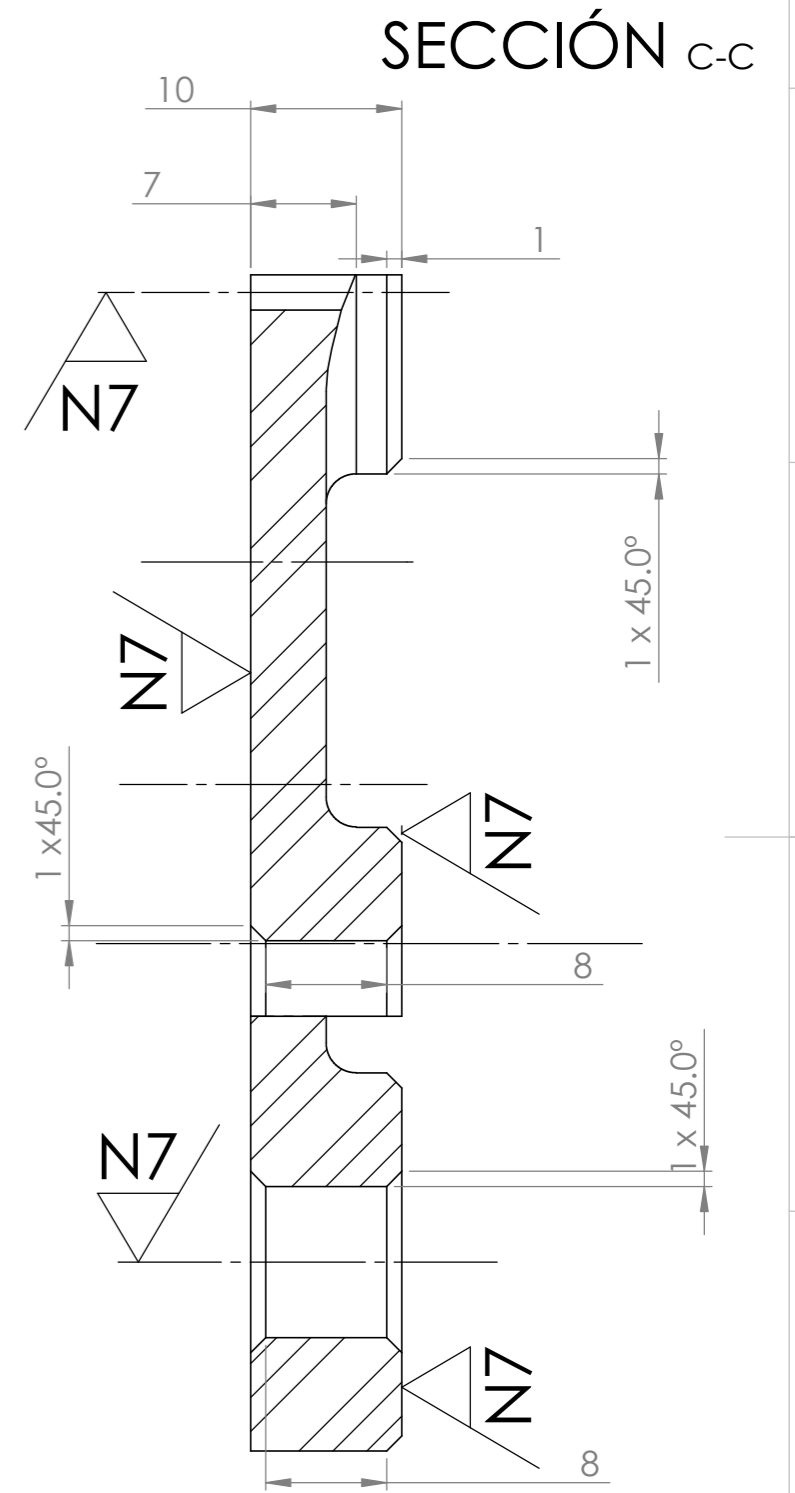
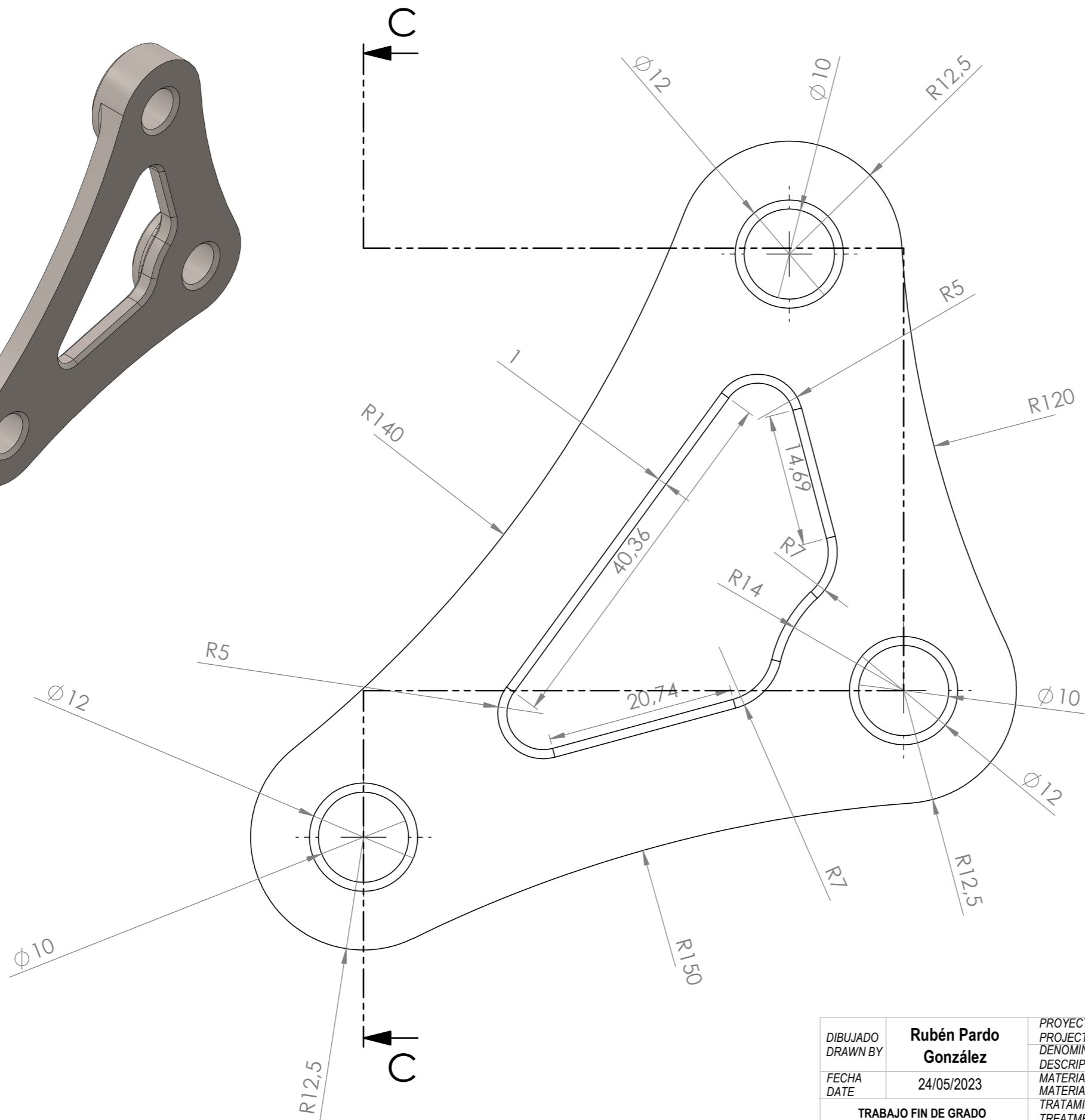
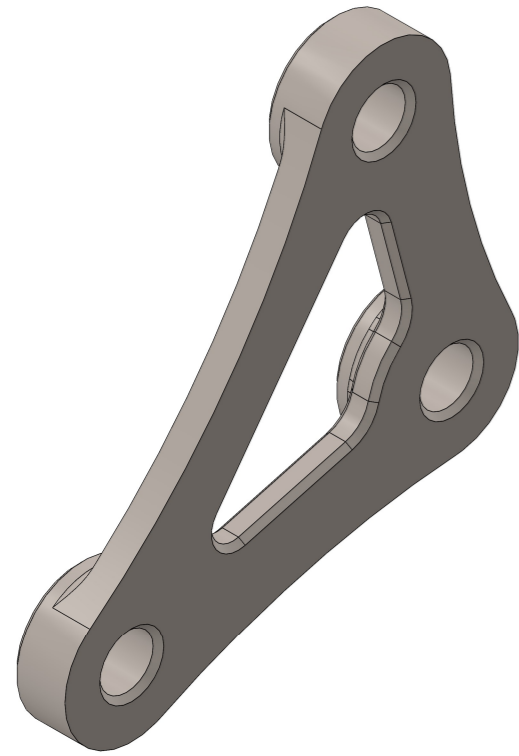


DETALLE C
ESCALA 4:1



SECCIÓN A-A

DIBUJADO DRAWN BY	Rubén Pardo González	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION	Aleación de Aluminio 6061	TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
TRABAJO FIN DE GRADO		MATERIAL MATERIAL		ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
E.T.S.I.I.I.T		TRATAMIENTO TREATMENT		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
upna		PESO (Kg) WEIGHT		UNIDADES UNITS	mm
		PLANO Nº DRAWING Nº	BIELETA SUSPENSIÓN TRASERA	ESCALA SCALE	2:1



DIBUJADO DRAWN BY	Rubén Pardo González	PROYECTO PROJECT	CALCULO Y DISEÑO DE BASCULANTE	ESPECIFICACIONES GENERALES GENERAL SPECIFICATIONS	
FECHA DATE	24/05/2023	DENOMINACIÓN DESCRIPTION		TOLERANCIAS TOLERANCES	ISO 2768mK
		MATERIAL MATERIAL	ALEACIÓN DE ALUMINIO 6061	ACABADOS SUPERFICIALES SURFACE FINISH	N9
		TRATAMIENTO TREATMENT		MATAR ARISTAS BREAK SHARP EDGES	0.5X45°
		PESO (Kg) WEIGHT		UNIDADES UNITS	mm
		PLANO N° DRAWING N°	BALANCÍN SUSPENSIÓN TRASERA	ESCALA SCALE	2:1
				A3	