



**Universidad
Europea**

**UNIVERSIDAD EUROPEA DE
MADRID**

**ESCUELA DE ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y
DISEÑO**

ÁREA INGENIERÍA INDUSTRIAL

**INGENIERÍA EN SISTEMAS
INDUSTRIALES**

**TRABAJO FIN DE GRADO
ESTUDIO Y DISEÑO DE LA PEDALERA
DE FORMULA STUDENT**

Alumno: D^a. Lorena Cota Tello

Director: D. Ángel Enríquez De Salamanca

JUNIO 2023

TÍTULO: ESTUDIO Y DISEÑO DE LA PEDALERA DE FORMULA STUDENT.

AUTOR: LORENA COTA TELLO

DIRECTOR DEL PROYECTO: ÁNGEL ENRÍQUEZ DE SALAMANCA

FECHA: 12 DE JUNIO DE 2023

RESUMEN

El club de Formula Student de la Universidad Europea de Madrid desea realizar un cambio de diseño en la pedalera, concretamente en la posición de las bombas de frenos, para así reducir el peso del conjunto y optimizar el espacio dentro del monoplaza.

Tras conocer cómo funciona la competición, un sistema de frenos y sus elementos, y las fuerzas presentes en la frenada, se realiza un diseño preliminar y unos cálculos que guían el diseño de las piezas que se necesitan para adaptar la nueva posición de las bombas.

Con los cálculos se obtiene un modelo con cuadro configuraciones diferentes, estas se simulan para lograr unos valores que después son comparados con la pedalera de la temporada anterior y así realizar la selección de la solución final. Con esto se determinan los materiales de las piezas y los procesos de fabricación que se necesitan para fabricar un prototipo. Por último, se obtiene un presupuesto orientativo del proyecto.

Palabras clave: Frenos, pedalera, Formula Student, monoplaza.

ABSTRACT

The Formula Student club of the European University of Madrid wants to make a design change in the pedal box, specifically in the position of the master cylinders, in order to reduce the weight of the assembly and optimize the space inside the car.

After knowing how the competition works, a braking system and its elements, and the forces present in braking, a preliminary design and calculations are made to guide the design of the parts needed to adapt the new position of the master cylinders.

With the calculations a model with different configurations is obtained, these are simulated to achieve values that are then compared with the pedal unit of the previous season and thus make the selection of the final solution. With this, the materials of the parts and the manufacturing processes needed to manufacture a prototype are determined. Finally, an indicative budget for the project is obtained.

Key words: Brakes, pedal box, Formula Student, monocoque.

Índice

RESUMEN	3
ABSTRACT.....	3
Capítulo 1. INTRODUCCIÓN.....	9
1.1 PLANTEAMIENTO	9
1.2 OBJETIVOS	9
1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO.....	10
Capítulo 2. HISTORIA	11
2.1 FORMULA STUDENT	11
2.1.1 Organización del equipo	11
2.1.2 Pruebas de la competición	12
2.1.3 Inspecciones de seguridad.....	13
2.2 SISTEMA DE FRENADO	14
2.2.1 Partes de un sistema de frenos en un automóvil moderno	14
2.2.2 Tipos de sistemas.....	16
2.2.3 Tipos de frenos.....	17
2.3 FUERZAS PRESENTES EN LA FRENADA	19
2.4 NORMATIVA FORMULA STUDENT	22
2.5 ANTECEDENTES	24
Capítulo 3. PEDALERA FUEM 15	26
3.1 DISEÑO PRELIMINAR	26
3.2 CÁLCULOS.....	28
3.2.1 Cálculo del ángulo de las bombas de freno.....	28
3.2.2 Diseño del conector pedal-bombas.....	32
3.2.3 Fuerzas tras el accionamiento del pedal	36
3.3 ESTUDIO FEM	40
3.3.1 Configuración 1	41
3.3.2 Configuración 2.....	42

3.3.3	Configuración 3	43
3.3.4	Configuración 4	44
3.4	SOLUCIONES ESTUDIADAS	44
3.4.1	Combinación 1:	45
3.4.2	Combinación 2:	46
3.4.3	Combinación 3:	47
3.4.4	Combinación 4:	48
Capítulo 4.	SELECCIÓN DE SOLUCIÓN	49
Capítulo 5.	PLIEGO DE CONDICIONES	50
5.1	PLANIFICACIÓN	50
5.2	MATERIALES	50
5.2.1	Aleación de aluminio 7075	51
5.2.2	Titanio grado 5	52
5.3	PROCESO DE FABRICACIÓN	52
5.3.1	Torno	53
5.3.2	Fresadora	53
5.3.3	CNC	54
5.3.4	Selección de proceso según la pieza	54
Capítulo 6.	PRESUPUESTO	56
6.1	Mano de obra	56
6.2	Licencias	56
6.3	Materiales	57
6.4	Ensayos	57
6.5	Total	58
Capítulo 7.	CONCLUSIONES	60
Capítulo 8.	BIBLIOGRAFÍA	61
ANEXO I.	PLANOS PEDALERA FINAL	65
ANEXO II.	OPTIMIZACIÓN DEL PEDAL DE FRENO DEL FUEM	72

Índice de Figuras

Figura 1. Pedalera del Formula 14.	9
Figura 2. Pegatinas de scrutineering en FUEM 14. Competición FSS 2022.	14
Figura 3. Gráfica de líquido de frenos.	15
Figura 4. Sistema de frenos de tambor.	16
Figura 5. Sistema de frenos de un vehículo.	17
Figura 6. Diagrama de un sistema de frenos de disco.	18
Figura 7. Diagrama de un sistema de frenos de tambor.	19
Figura 8. Fuerzas presentes en la frenada.	19
Figura 9. Movimiento del vehículo tras el bloqueo del eje trasero.	20
Figura 10. Movimiento de guiñada de un vehículo.	20
Figura 11. Vista lateral y frontal de la pedalera FUEM14.	24
Figura 12. Vista isométrica pedalera FUEM 14.	24
Figura 13. Pedalera final FUEM 14.	25
Figura 14. Diseño preliminar.	26
Figura 15. Pedalera con la simulación de las bombas de freno.	27
Figura 16. Pedalera sin accionar, en reposo.	28
Figura 17. Pedalera accionada al tope.	28
Figura 18. Ilustración de los ángulos de las bombas.	28
Figura 19. Fuerzas aplicadas y su transferencia por los elementos.	29
Figura 20. Relación de fuerzas entre pedal y conector pedal-bombas.	30
Figura 21. Gráfico 3D de la fuerza $F1'$	31
Figura 22. Diseño conector pedal-bombas con ángulos Alpha 25° y Beta 35°	33
Figura 23. Diseño del conector pedal-bombas con ángulos Alpha 25°	33
Figura 24. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 1.	34
Figura 25. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 2.	34
Figura 26. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 3.	35
Figura 27. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 4.	35
Figura 28. Ángulos con el pedal apretado.	36
Figura 29. Ángulos con el pedal apretado.	37
Figura 30. Ángulos con el pedal apretado.	38
Figura 31. Ángulos con el pedal apretado.	39
Figura 32. Resultado de tensiones en configuración 1.	41
Figura 33. Resultado de factor de seguridad en configuración 1.	41
Figura 34. Resultados de deformaciones unitarias en configuración 1.	41
Figura 35. Resultado de tensiones en configuración 2.	42
Figura 36. Resultado de factor de seguridad en configuración 2.	42

Figura 37. Resultados de deformaciones unitarias en configuración 2.	42
Figura 38. Resultado de tensiones en configuración 3.....	43
Figura 39. Resultado de factor de seguridad en configuración 3.....	43
Figura 40. Resultados de deformaciones unitarias en configuración 3.	43
Figura 41. Colisión entre pedal y conector pedal-bomba en configuración 4.	44
Figura 42. Posición pedalera con ángulos Alpha 25° y Beta 10°.....	45
Figura 43. Posición pedalera vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 10° .	45
Figura 44. Posición pedalera con ángulos Alpha 25° y Beta 15°.....	46
Figura 45. Posición pedalera vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 15° .	46
Figura 46. Posición pedalera con ángulos Alpha 25° y Beta 35°.....	47
Figura 47. Posición pedalera vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 35° .	47
Figura 48. Posición pedalera con ángulos Alpha 25° y Beta 40°.....	48
Figura 49. Posición pedalera vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 40° .	48
Figura 50. Cronograma del proyecto.	50
Figura 51. Numeración de las piezas a fabricar.	50
Figura 52. Nueva pedalera con sus dimensiones.	60

Índice de Tablas

Tabla 1. Ejemplo fuerzas aerodinámicas según la velocidad en un Mustang 5.0.	22
Tabla 2. Cálculo de la fuerza $F1'$ dependiendo de los ángulos Alpha y Beta.	31
Tabla 3. Fuerza $F1'$ con el pedal apretado en configuración 1.	36
Tabla 4. Fuerza $F1'$ con el pedal apretado en configuración 2.	37
Tabla 5. Fuerza $F1'$ con el pedal apretado en configuración 3.	38
Tabla 6. Fuerza $F1'$ con el pedal apretado en configuración 4.	39
Tabla 7. Comparación de datos de las cuatro configuraciones.	49
Tabla 8. Propiedades mecánicas del aluminio 7075.	51
Tabla 9. Propiedades mecánicas del titanio grado 5.	52
Tabla 10. Presupuesto categoría de mano de obra.	56
Tabla 11. Presupuesto categoría de licencias.	56
Tabla 12. Presupuesto categoría de materiales.	57
Tabla 13. Presupuesto categoría de totales.	58

Capítulo 1. INTRODUCCIÓN

En este proyecto se desarrollará un estudio describiendo los cálculos para observar la factibilidad del cambio de posición de las bombas de freno dentro del coche del Formula Student de la Universidad Europea.

1.1 PLANTEAMIENTO

Se estudiará y diseñará una pedalera para el coche del Formula Student de la Universidad Europea de Madrid (FUEM). Específicamente se estudiará la posición de las bombas de frenado.

Actualmente en el coche, las bombas de freno se encuentran posicionadas de forma horizontal. Se desea colocarlas lo más verticalmente posible. Esta nueva posición de las bombas resultará en una pedalera de menor tamaño, y, si se optimiza el diseño lo más posible, de menor peso.



Figura 1. Pedalera del Formula 14.

Fuente: Elaboración propia.

1.2 OBJETIVOS

En este proyecto se tiene el objetivo principal de rediseñar la pedalera del Formula Student (FS) cambiando la posición de las bombas de horizontal a vertical para optimizar el espacio para su posterior implementación en el coche del equipo de Formula UEM de la universidad para su decimoquinta temporada.

Otros objetivos que se encuentran en el proyecto son:

- **Garantizar la integridad del diseño.** Dando valores que cumplan con el objetivo inicial y que sean conseguibles. Como por ejemplo, reducir el peso un 10% o aumentar la rigidez un 10%.
- **Garantizar la funcionalidad.** No solo se desea hacer un estudio y un prototipo, sino que se desea que sea parte del coche del equipo en esta temporada y futuras. Para su implantación es necesario que se garantice su funcionalidad ya que es el principal componente del sistema de seguridad activa de cualquier vehículo.
- **Cumplir con reglamentación del formula.** Al ser un sistema de seguridad importante, este cuenta con unas normas impuestas por la organización de SAE Internacional.
- **Verificar la factibilidad del proyecto.** Observando los datos obtenidos, se verá si el proyecto es factible o, por el contrario, no lo es.

1.3 ESTRUCTURA DEL PROYECTO

El proyecto se divide en 8 capítulos en los cuales se desarrollará todo el temario para conseguir alcanzar los objetivos impuestos.

- **Capítulo 1.** Introducción. Se describe el planteamiento del proyecto, los objetivos de este y la estructura que seguirá el proyecto.
- **Capítulo 2.** Historia. Se describe que es la Formula Student, que es un sistema de frenado, la normativa que debe seguir el diseño y los antecedentes de la pedalera.
- **Capítulo 3.** Pedalera F1. Se realiza un diseño preliminar. Con esto se empiezan los cálculos para realizar el diseño, a estos diseños se les realizan unas simulaciones.
- **Capítulo 4.** Selección de solución. Recogiendo los datos del capítulo anterior, se realiza la selección de la solución.
- **Capítulo 5.** Pliego de condiciones. Se muestra la planificación del proyecto, los materiales utilizados y se realiza un proceso de fabricación de un prototipo.
- **Capítulo 6.** Presupuesto. Como todo proyecto, se añade un capítulo de presupuesto donde la información se ha dividido en 4 categorías : Mano de obra, licencias, materiales, ensayos y totales.
- **Capítulo 7.** Conclusiones. Se hace un repaso de las conclusiones y de futuras líneas de trabajo.
- **Capítulo 8.** Bibliografía. Se presenta la bibliografía utilizada en el proyecto.
- **Anexos.** Se añaden los anexos de interés al tema del proyecto.

Capítulo 2. HISTORIA

Como se ha descrito en el apartado **1.1 Planteamiento**, el proyecto consta del diseño y fabricación de una pedalera para el Formula Student de la universidad. En este capítulo se va a hablar de la Formula Student, el sistema de frenado de estos coches y la normativa para tener en cuenta en los estudios.

2.1 FORMULA STUDENT

La Formula Student es una competición prestigiosa y de gran tamaño conocida por toda Europa y países del continente Asiático y Americano. Actualmente el instituto de ingenieros mecánicos (IMEchE) junto con la asociación de ingenieros del automóvil (SAE) organizan esta competición cada año, llegando a unir a más de 130 universidades de todo el mundo con el mismo objetivo: diseñar, construir, gestionar y competir con un monoplaza.

La fórmula SAE nació en la universidad de Texas en Austin, Texas en 1981. Durante los siguientes años, la competición fue creciendo y se expandió por el mundo.

La primera competición llevada a cabo en Europa fue en Inglaterra en 1998. Poco después, en 2006, Alemania se introdujo en la competición. Actualmente, las competiciones de Inglaterra y Alemania son las más renombradas y codiciadas, pero están presentes en muchos más países, España, Austria, Italia, República Checa, etc.

Para poder participar en estas competiciones, los equipos deben contestar un test a contrarreloj a través de las plataformas de las organizaciones. Cada competición tiene un número de vacantes disponibles, los primeros equipos en responder las preguntas bien y rápido, entran en la competición.

El concepto de la competición es que equipos de estudiantes desarrollen un monoplaza que después competirá contra equipos de otras universidades. Cada equipo diseña y fabrica el prototipo siguiendo las normativas vigentes. También fomentan la creatividad y el significado de seguridad que este tipo de vehículo conlleva ya que en la competición, los pilotos son los propios estudiantes.

2.1.1 Organización del equipo

Los equipos están divididos en departamentos donde se clasifica a los integrantes según sus conocimientos y aptitudes. En cada equipo los departamentos pueden variar pero los más conocidos y usados son:

- En el ámbito técnico: chasis-monocasco, suspensión, motor-powertrain, electrónica, aerodinámica y manufactura. Estos departamentos están a cargo del diseño, fabricación y ensamblaje del monoplaza.
- En el ámbito no técnico: business, organización y marketing. También conocido como BOM. Estos departamentos se centran en buscar patrocinadores, organizar eventos, la equipación, publicitar el equipo, etc.

2.1.2 Pruebas de la competición

La competición esta dividida en dos grupos de pruebas, las pruebas estáticas, donde el monoplaza no se mueve, y las dinámicas, donde el monoplaza se mueve y se puntúa según el tiempo conseguido en cada evento.

Dentro de las estáticas se encuentran:

- **Evento de diseño (Design event)**. Unos jueces evalúan el diseño del monoplaza. Puntúan la creatividad y la habilidad de los estudiantes para explicar los criterios que han seguido.
- **Evento de análisis de coste y manufactura (Cost & Manufacturing Analysis event)**. En este evento se presentan varios documentos con los que se evalúan el conocimiento del equipo de los procesos de manufactura y coste asociados con la fabricación de un prototipo de coche de carreras. La toma de decisión de comprar o fabricar. Y entender las diferencias entre prototipo y producción en masa.
- **Presentación de un plan de negocio (Business Plan Presentation)**. Varios miembros del equipo crean un plan de negocio para vender su monoplaza, o una parte de este. Los jueces actuaran como inversores potenciales y evaluaran la habilidad de desarrollar y suministrar un buen plan de negocio.

Y, dentro de las dinámicas se encuentran:

- **Evento de aceleración (Acceleration event)**. Se cronometra el tiempo que tarda el monoplaza en recorrer una línea recta de 75 metros de largo y 3 metros de ancho. Dos pilotos hacen la prueba, cada uno tiene opción de hacer el recorrido dos veces. En caso de hacerlo dos veces, se coge el mejor tiempo.
- **Circuito en forma de ocho llamado Skidpad (Skidpad event)**. En este evento se cronometra el tiempo que tarda el piloto en hacer dos vueltas a derecha y dos vueltas a izquierda, a la velocidad máxima posible sin tocar los conos que delimitan el circuito. Con esta prueba se observa el paso por curva y la estabilidad en esta del monoplaza.

- **Evento de Autocross.** En un circuito de menos de 1,5 km, con múltiples curvas, slaloms, chicanas, y más. Los dos pilotos tienen dos oportunidades cada uno para hacer el mejor tiempo.
- **Evento de resistencia (Endurance)**, con este último realizan un estudio del ahorro de combustible. El circuito de endurance es de aproximadamente 1 km. Pero se hacen 11 vueltas por piloto, es decir, el monoplaza hace 22 km. Cuando se acaban las 22 vueltas, el monoplaza entra en la zona de combustible, donde se llena el depósito de nuevo y se calcula el consumo de combustible. En esta prueba hay más de un monoplaza en el circuito, con lo que existen adelantamientos.

2.1.3 Inspecciones de seguridad

Antes de realizar las pruebas dinámicas se realizan unas inspecciones y unas pruebas técnicas para comprobar que el monoplaza cumple con las medidas de seguridad obligatorias para competir. Estas son:

- **Scrutineering.** Un equipo de voluntarios expertos en el mundo del motor evalúa el monoplaza y comprueba que cumple con las normativas. Se revisa aspectos de diseño y seguridad, holguras, tornillos, distancias, los arcos de seguridad en caso de vuelco, etc.
- Se realiza una prueba a los pilotos llamada **egress**, esta consta de salir del monoplaza en menos de 5 segundos. Los pilotos parten desde dentro del vehículo, con los cinturones y el volante puesto, y las manos en el volante.
- **Tilt test (prueba de inclinación).** Con el piloto más alto dentro, el monoplaza se inclina lateralmente 60 grados. Si no hay pérdida de líquidos y las cuatro ruedas siguen en contacto con la superficie, se pasa la prueba. Esto se hace para demostrar la estabilidad del monoplaza y para ver que todo es estanco.
- **Brake test (prueba de frenos).** En un tramo determinado, el piloto acelera y después frena, bloqueando las 4 ruedas. Esta prueba se realiza para ver que el monoplaza tiene la suficiente capacidad de frenada y estabilidad suficiente cuando frena.
- Para vehículos de combustión se realiza el **Noise test (prueba de ruido).** Con un micrófono colocado en la salida del escape se toman unas medidas de ruido. Estas no deben sobrepasar los 110 dB. Una vez pasada esta prueba, se testean los botones de desconexión y el sensor de inercia.
- Para vehículos eléctricos se realiza el **Rain test (prueba de lluvia).** Sin piloto y sin las ruedas, el monoplaza se coloca debajo de una lluvia artificial. El agua irá en todas direcciones, simulando a la lluvia que se encuentra

cuando se conduce. Estos monoplazas tienen un sensor IMD (), si este sensor no es activado durante los 120 segundos que dura la lluvia, ni 120 segundos después de que no caiga más agua, se pasa la prueba.

Una vez se pasan estas inspecciones, los oficiales (scrutineers) ponen unas pegatinas (**Figura 2**) en el monoplaza que demuestran que ha pasado las inspecciones. Sin estas pegatinas no se puede hacer los eventos dinámicos. Los oficiales pueden quitar estas pegatinas si ven necesario que el monoplaza deba pasar alguna de las inspecciones otra vez.



Figura 2. Pegatinas de scrutineering en FUEM 14. Competición FSS 2022.

Fuente: Elaboración propia.

2.2 SISTEMA DE FRENADO

El principal objetivo de los frenos es parar el movimiento del vehículo. Esto lo consigue transformando la energía cinética de las ruedas en calor, usando fricción entre dos elementos. El otro objetivo es el de seguridad, ya que es el elemento que ayuda a evitar accidentes reduciendo de forma eficiente y segura la velocidad del vehículo.

El sistema de frenado de un coche de Formula Student no es muy diferente al sistema que los coches convencionales llevan. Si que es verdad que los monoplaza precinden de algunos elementos, sobre todo de elementos electrónicos como el ABS (Sistema antibloqueo de frenos) o un servofreno. También se precinde del freno de estacionamiento.

2.2.1 Partes de un sistema de frenos en un automóvil moderno

El sistema de frenos consta de varios elementos para poder realizar su objetivo, reducir la velocidad o frenar el vehículo. Estos elementos son:

- **Pedal de freno.** Es el primer elemento del circuito, donde el piloto acciona mediante una fuerza aplicada, el sistema de frenado.
- **Servofreno.** Este elemento sirve como multiplicador de la fuerza que el piloto ejerce en el pedal.
- **Líquido de frenos.** En sistemas hidráulicos se utiliza un fluido líquido. Estos líquidos tienen una densidad específica, son corrosivos y pierden propiedades si se mezclan con agua. Se les cataloga según la norma del DOT (Departamento de Transportes) y según el punto de ebullición de este líquido.



Figura 3. Gráfica de líquido de frenos.

Fuente: Frenosol (El líquido de frenos un elemento importante para la seguridad vial., 2012)

- **Bombas de freno.** Son unos cilindros con un pistón que se comprime con la fuerza del pedal, al comprimirse el pistón también se comprime el fluido.
- **Distribuidor de frenada.** Es un sistema que regula el porcentaje de frenada en cada eje. Lo normal es una distribución del 60-40%, es decir, más presión en el eje delantero.
- **Latiguillos.** También se le llaman líneas de freno, son unas tuberías que transportan el fluido comprimido desde las bombas hasta las pinzas o los bombines. Deben soportar grandes presiones y ser resistentes a la corrosión.
- **Pinza de freno.** En la pinza están situados los pistones, que con la presión del fluido se expanden y cierran las pastillas sobre el disco de freno. Esta fricción es la que reduce o frena totalmente el vehículo.
- **Pastillas de freno.** Situadas en el interior de la pinza, hacen contacto con el disco de freno y frenan el vehículo. Debido a la fricción creada en la frenada, se crea calor. Las temperaturas pueden alcanzar hasta los 550°C, condicionando los materiales que se usan. Estos varían desde los composites hasta cerámicas y aleaciones.
- **Rotores.** También conocidos como los discos de freno. Estos van montados en los bujes de las ruedas y gira de forma solidaria con este. Las pastillas

cierran sobre estos y frenan el vehículo. El material más común es la fundición gris, pero también se utiliza el acero inoxidable, aluminio, titanio y carbono. El material más usado en competición es la cerámica.

- **Tambores de freno.** Es el conjunto del tambor de rueda, el bombín de freno y el porta zapatas.
- **Bombines de freno.** Para la apertura de las zapatas en los frenos de tambor se utilizan estos bombines que transmiten la presión de las bombas de freno.

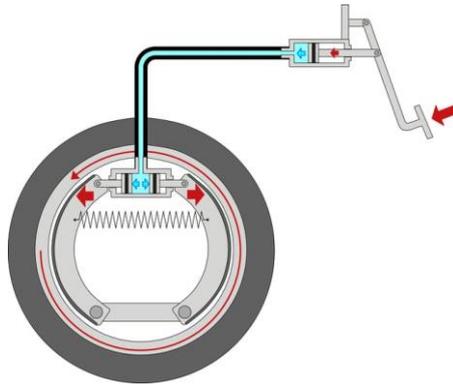


Figura 4. Sistema de frenos de tambor.

Fuente: Autodoc Club. (Sistema de frenos: dispositivo, explicación, componentes.)

- **Zapatas de freno.** Son como las pastillas de freno, pero en vez de tener el tamaño para entrar en la pinza, tiene una forma curvada para ajustarse a las paredes del tambor, donde hacen fricción y frenan el vehículo.
- **Freno de estacionamiento o de mano.** Consta de una palanca situada en el compartimento, al lado del conductor. Cuando se acciona esta palanca, los cables del freno de estacionamiento se tensan accionando los frenos traseros y dejándolos fijos. En los vehículos actuales, este tipo de freno es electrónico. En competiciones, este freno tiene distintos usos. Pero en el caso de los monoplaza de Formula Student, no tienen ningún uso.

2.2.2 Tipos de sistemas.

Los vehículos actuales cuentan con frenos en las cuatro ruedas, normalmente operado por un sistema hidráulico, aunque también puede ser un sistema neumático o un sistema hidroneumático.

- **Los sistemas hidráulicos.** Es el más común y el más utilizado en turismos y coches de competición. Funciona mediante la compresión de un fluido dentro de un circuito cerrado. Al pisar el pedal, este fluido se comprime

actuando en los cilindros y las pastillas de la pinza en el sistema de frenado por disco o en las zapatas en el sistema de frenado por tambor.

- **Los sistemas neumáticos.** Este sistema es común en camiones, autobuses y maquinaria pesada. La diferencia con el sistema hidráulico es que en vez de comprimir un fluido, se comprime un aire. Para ayudar en la compresión del aire, estos vehículos están equipados con un compresor.
- **Los sistemas hidroneumáticos.** Como su nombre indica, es una combinación de los dos sistemas anteriormente descritos. El sistema principal es el hidráulico, pero el neumático proporciona una ayuda auxiliar en la frenada. Comúnmente instalado en vehículos ligeros industriales.

2.2.3 Tipos de frenos.

Al frenar se crea una fuerza de desaceleración la cual hace que la gran parte del peso del vehículo se concentre en las ruedas delanteras. Es por ello que se instalan sistemas de frenado más seguros y eficientes en el eje delantero. Lo más común es encontrar frenos de disco en los ejes delanteros, y frenos de tambor en los traseros. Pero actualmente, la gran mayoría de coches de media y alta gama, y coches de competición, cuentan con frenos de disco en las cuatro ruedas.

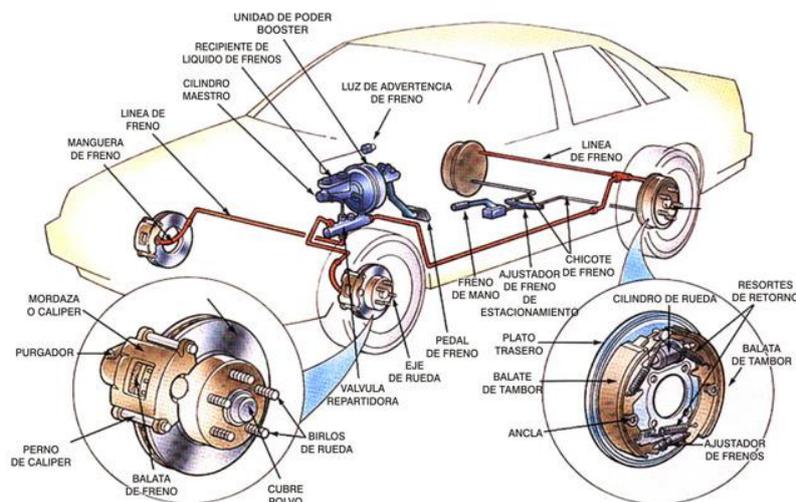


Figura 5. Sistema de frenos de un vehículo.

Fuente: Rodas (Sistema electrónico de frenado, qué es y cómo funciona., s.f.)

2.2.3.1 Frenos de disco.

Sus partes constan de un rotor o disco que gira de forma solidaria con la rueda. En el disco se encuentra la pinza de freno. Existen pinzas con varios pistones que se expanden con la presión del fluido creada por las bombas de freno. Los turismos tienen entre 2 y 6 pistones por pinza. En el FUEM se utilizan pinzas con 4 pistones delante y 2 pistones atrás. Dentro de la pinza, y casi en contacto con el disco, se encuentran las pastillas. Cuando se pisa el pedal de freno, la compresión del líquido hace que las pastillas “pincen” el disco, creando esa fricción que reducirá la velocidad o parará el vehículo.

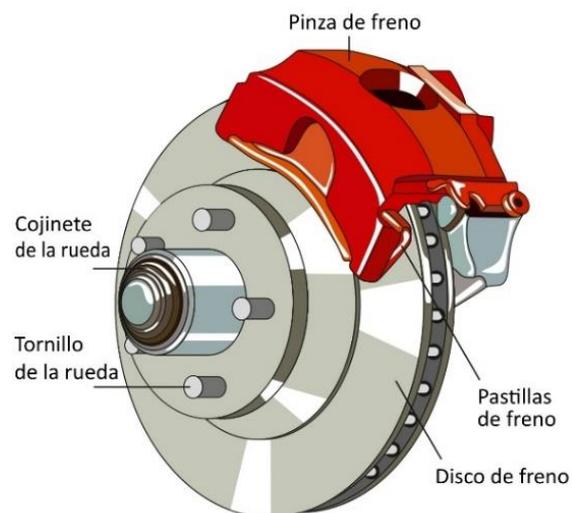


Figura 6. Diagrama de un sistema de frenos de disco.

Fuente: Experto Autorecambios (Tema candente: Conversión de frenos de tambor a frenos de disco, s. f.)

2.2.3.2 Frenos de tambor.

En este sistema se encuentra un tambor que gira de forma solidaria a la rueda donde las zapatas realizan la fricción contra las paredes de este tambor. Dentro del tambor está un bombín que transmite la presión de las bombas y empuja las zapatas contra la pared. Este sistema cuenta con muelles para que las zapatas, una vez se deje de pisar el freno, vuelvan a su lugar. Una desventaja de este sistema es la pobre ventilación que tienen, dificultando el enfriamiento de los elementos. Esto reduce la fricción entre la zapata y la pared, y, por ende, su eficacia también se reduce.

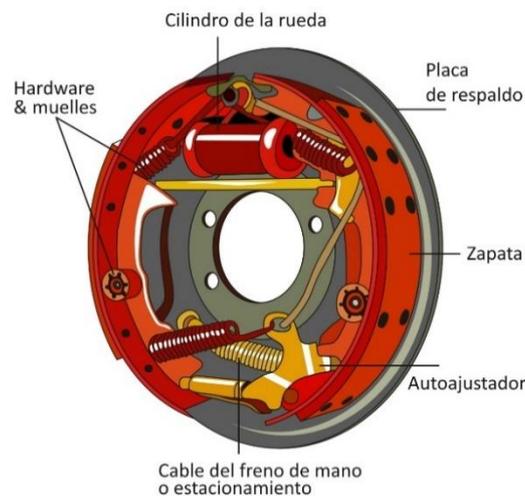


Figura 7. Diagrama de un sistema de frenos de tambor.

Fuente: Experto Autorecambios (Tema candente: Conversión de frenos de tambor a frenos de disco, s. f.)

2.3 FUERZAS PRESENTES EN LA FRENADA

Existen fuerzas que se crean a la hora de realizar una frenada. Estas son las representadas en la **Figura 8**.

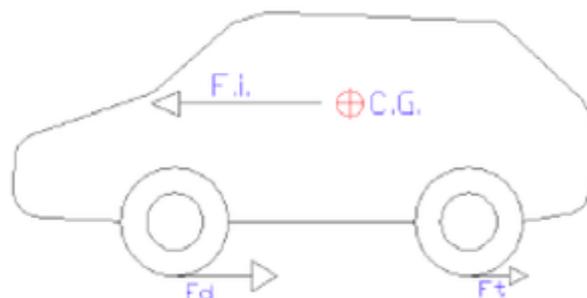


Figura 8. Fuerzas presentes en la frenada.

Fuente: Guerra Morilla, J. A. (s. f.). ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DESARROLLADAS EN EL FRENADO.

- Fuerza de frenado.

Se desarrollan en la superficie de la rueda causadas por el contacto de esta con la calzada. Debido a esto se están aplicando pares que se oponen al movimiento del vehículo, conocidas con las fuerzas de frenado.

Esta fuerza de frenado máxima cuenta con dos límites, uno de ellos esta impuesto por el neumático y la calzada, y el otro límite esta impuesto por el sistema de frenos y la resistencia que pone el motor.

Al límite impuesto por el neumático y la calzada se le conoce como límite crítico. Se debe a la adherencia que hay entre neumático y calzada, si este límite se sobrepasa se produce el bloqueo de las ruedas haciendo que el vehículo se deslice por el suelo.

El bloqueo de las ruedas tiene un alto nivel de riesgo ya que disminuye la fuerza de frenado respecto a la máxima fuerza potencial que se tenía antes del bloqueo de las ruedas. Al existir una superación en la adherencia del neumático con el suelo en dirección longitudinal, no existe ninguna resistencia con las posibles fuerzas laterales (viento, reparto de cargas, presión en las ruedas, etc.). Estas fuerzas laterales tienen efectos diferentes en el vehículo dependiendo de que eje se bloquee.

Si se bloquean las ruedas traseras se pierde la estabilidad direccional, esto hará que el vehículo gire sobre su propio eje. Es decir, la tendencia del vehículo será derrapar del eje trasero hasta hacer un giro de 180 °.

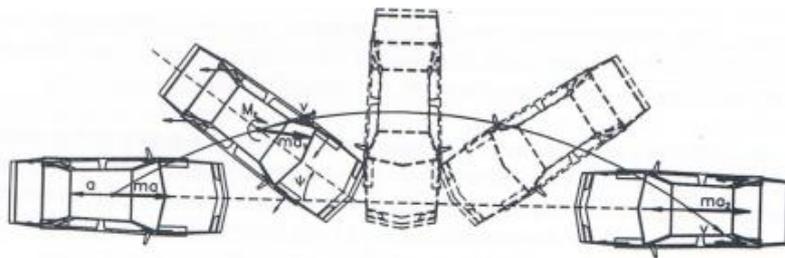


Figura 9. Movimiento del vehículo tras el bloqueo del eje trasero.

Fuente: *Dinámica Vehicular I*, Carlos Talayero 2021-2022.

En cambio, si se bloquean las ruedas delanteras se pierde el control direccional. Sigue una trayectoria recta sin importar lo que se haga con la dirección del vehículo. A causa de esto se crea un momento de guiñada el cual disminuye con el ángulo de guiñada. Esta puede llegar a provocar una estabilidad donde el vehículo recuperará su posición longitudinal.



Figura 10. Movimiento de guiñada de un vehículo.

Fuente: *Sapiensman (Electrónica del Automóvil. El sensor de guiñada, s. f.)*

- **Resistencia a la rodadura.**

La resistencia a la rodadura actúa como una fuerza retardadora en el proceso de frenado. Su influencia en el proceso es menor que la fuerza de frenado, pero es una ayuda en el momento de desaceleración.

Principalmente está compuesta por la fricción entre neumático y calzada, y por pérdidas en el sistema de transmisiones. El crecimiento del valor de esta fuerza es casi proporcional a la velocidad.

Para calcular esta resistencia se utiliza la siguiente ecuación:

$$Fr = Cr * P$$

$$Cr = \frac{d}{r}$$

Donde:

- Fr es la fuerza de resistencia a la rodadura
- Cr es el coeficiente de rodadura. Este se calcula haciendo la relación entre la superficie de la huella del neumático (d) y el radio de este (r).
- P es el peso que aguanta la rueda.

- **Fuerzas aerodinámicas.**

Las fuerzas aerodinámicas actúan como fuerzas retardadoras a velocidades altas, a velocidades bajas se desprecian ya que su influencia en el proceso es menor que la fuerza de frenado y el posible error que haya en los cálculos se puede tomar como un coeficiente de seguridad.

Pero a altas velocidades si son importantes ya que su valor es el cuadrado de la velocidad. Es decir, si se duplica la velocidad, se necesita cuatro veces más fuerza para continuar con el movimiento y vencer la fuerza aerodinámica.

V (km/h)	Resistencia aerodinámica (N)
0	0
30	36
60	144
80	256
120	576
160	1024
200	1601

Tabla 1. Ejemplo fuerzas aerodinámicas según la velocidad en un Mustang 5.0.

Fuente: Elaboración propia.

- **Resistencia del motor.**

Las resistencias que los motores y las transmisiones son de suma importancia, en muchos casos, en el proceso de frenado. Esto se debe a que la potencia y el par resistente que el motor tiene cuando se frena ayuda a reducir la velocidad sin tener que accionar los frenos.

En vehículos de gran peso y en grandes bajadas, utilizar el motor y la transmisión como freno ayuda a evitar un sobrecalentamiento en los frenos y un desgaste de estos. Este proceso es más factible si el vehículo está embragado (una marcha puesta). En caso de no estarlo, se necesitará más resistencia para poder frenar.

Debido a las diferentes relaciones de compresión entre un vehículo gasolina (relación 9:1) y uno diésel (relación 20:1). En el vehículo de diésel, esta fuerza tiene más efecto que en un gasolina.

2.4 NORMATIVA FORMULA STUDENT

Para el diseño del pedal de freno y la pedalera en general, se deben seguir unas normas impuestas por las organizaciones de la Formula Student. Las dos más usadas son la de Alemania (FSG) y la de Inglaterra (FSUK), habiendo diferencias entre ellas. Pero al hacer una comparación de normativas se observa que no existe ninguna diferencia en el sistema de frenado.

Cada competición utiliza una u otra normativa. Las competiciones de la gran mayoría de los países de Europa utilizan la FSG, pero los equipos deciden que normativa utilizar. Aunque no es lo normal, pueden ocurrir problemas a la hora de pasar el scrutineering debido a esas diferencias entre la FSG y FSUK, debido a esto

los equipos deciden usar la normativa que sigue la organización de la competición a la que se va a asistir.

El club de Formula Student de la universidad europea de Madrid (FUEM) utiliza en esta decimoquinta temporada la normativa procedente de Alemania (FSG) debido a que desean participar en la competición de Italia (FSI) y la de España (FSS) y estas organizaciones se guían por la FSG.

Esta normativa tiene un capítulo específico al sistema de frenado en el cual se encuentran las especificaciones que el sistema de frenado que el monoplaza debe cumplir. También se explica el botón de sobre carrera del pedal y la luz de frenos que se debe incorporar.

Según cita la norma:

- ❖ T6.1.1 “El vehículo debe estar equipado con un sistema de frenado hidráulico que actúe sobre las cuatro ruedas y se accione mediante un único control.”
- ❖ T6.1.2 “El sistema de frenado deberá disponer de dos circuitos hidráulicos independientes, de manera que en caso de fuga o fallo en cualquier punto del sistema, se mantenga una potencia de frenado efectiva en al menos dos ruedas. Cada circuito hidráulico debe tener su propia reserva de líquido, ya sea mediante el uso de depósitos separados o mediante el uso de un depósito de contención.”
- ❖ T6.1.3 “El sistema de frenos debe estar sellado para evitar fugas.”
- ❖ T6.1.4 “Se acepta el uso de un solo freno que actúe sobre un diferencial de desplazamiento limitado.”
- ❖ T6.1.5 “Los sistemas de *freno por cable* están prohibidos en modo manual.”
- ❖ T6.1.6 “Se prohíben los latiguillos de freno de plástico no blindados.”
- ❖ T6.1.7 “El sistema de frenado debe estar protegido contra el fallo de la cadena cinemática, ..., contra el contacto con cualquier pieza móvil y contra colisiones menores.”
- ❖ T6.1.8 “En la vista lateral, cualquier parte del sistema de freno que esté montado en la parte amortiguada del vehículo no debe estar por debajo de la superficie inferior del chasis.”
- ❖ T6.1.9 “El pedal de freno y su fijación deben estar diseñados para soportar una fuerza de 2 kN sin que se produzca ningún fallo del sistema de frenado o de la caja del pedal. Esto puede comprobarse presionando el pedal con la fuerza máxima que pueda ejercer cualquier oficial sentado normal.”
- ❖ T6.1.10 “El pedal de freno debe estar fabricado en acero o aluminio o mecanizado en acero, aluminio o titanio.”

Conociendo estas normas, se puede proceder al rediseño de la pedalera.

2.5 ANTECEDENTES

Durante las quince temporadas que el club ha fabricado coches para los eventos de Formula Student, la pedalera ha llevado todos los elementos situados de la misma forma, solo optimizando diseños y materiales utilizados.

En los coches de carreras(Formula 1, rally, etc.) es común ver las pedaleras con las bombas de freno de forma casi horizontal, esto permite un mejor acceso a los elementos y un ajuste mejorado en la frenada.

Observando la pedalera de la temporada más reciente(**Figura 11 y 12**), la posición de las bombas es casi horizontal. Tiene un ángulo de elevación mínimo para poder realizar el movimiento de compresión de las bombas de frenos.

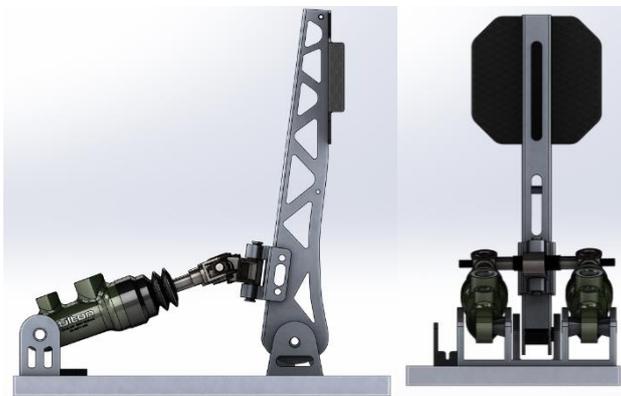


Figura 11. Vista lateral y frontal de la pedalera FUEM14.

Fuente: Elaboración propia.

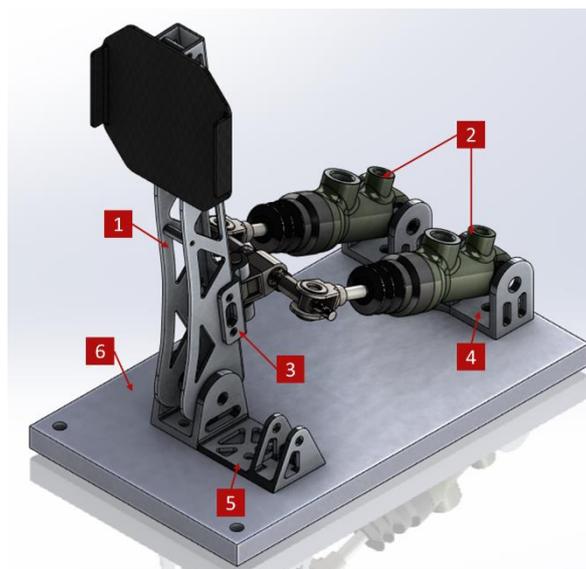


Figura 12. Vista isométrica pedalera FUEM 14.

Fuente: Elaboración propia.

Durante la temporada 14, el equipo se encontró con problemas de diseño. El primero fue el pedal de freno (1). Este pedal tenía unas paredes de un espesor muy bajo, haciendo que con poco uso tuviera grandes deformaciones y no cumpliera con la norma T6.1.9 nombrada en el apartado **2.3 Normativa Formula Student** la cual dicta que el pedal y sujeción deben soportar 2kN. Este problema se arregló cambiando en el diseño los espesores de las paredes del pedal.

Después de este cambio no se volvió a realizar un estudio para observar si el pedal y la fijación de este aguantaba los 2kN. Debido a esto, en la competición de Silverstone en junio del 2022, durante una de las pruebas de scrutineering, la pieza que une el pedal con las bombas (3) se partió en consecuencia a no hacer un redimensionamiento.

Esta rotura terminó con las posibilidades del equipo de participar en algún evento de la competición de Silverstone.

No obstante, en septiembre del 2022, el equipo tenía la competición de Barcelona (FSS). Para esta competición se volvieron a realizar cambios en la pedalera. El primer cambio fue redimensionar la pieza que se rompió en Silverstone (3).

El segundo cambio fue una optimización de la base (6). Esta se cambió de fibra de carbono a aluminio, dando más robustez a la pedalera. A pesar del aumento de peso que esto produjo, se aligeró lo máximo posible creando diseños huecos.

Y por último, se separaron el pedal del freno y del acelerador. Antes de Barcelona estos dos pedales compartían una base (5), pero después se decidieron separarlos ya que el pedal del acelerador también recibió cambios.

La **Figura 13** es el prototipo final que se llevó a la competición de Barcelona (FSS). Sus dimensiones son de 280x165x15 mm.



Figura 13. Pedalera final FUEM 14.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 3. PEDALERA FUEM 15

En este capítulo se va a mostrar un diseño preliminar del cambio de posición de las bombas de freno, los cálculos para diseñar las nuevas piezas, unas simulaciones en el programa de SolidWorks y, por último, un resumen de las posibles soluciones.

3.1 DISEÑO PRELIMINAR

Como diseño preliminar se han realizado cambios a algunos elementos en comparación con la pedatera de la temporada anterior encontrada en el apartado **2.5 Antecedentes**.

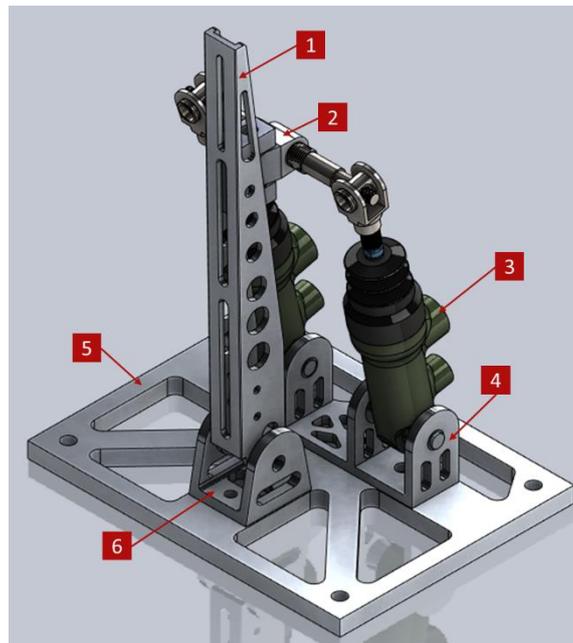


Figura 14. Diseño preliminar.

Fuente: Elaboración propia.

El primer cambio es el pedal de freno (1), este tiene un diseño más ergonómico y ligero, y aguanta los 2kN impuestos por la normativa. Los estudios realizados a este pedal se pueden encontrar en el **Anexo II**.

La distancia entre la base del pedal (6) y la base de las bombas (4) se ha reducido. De esta forma las bombas de freno (3) han tomado una posición más vertical. Esto también eleva el punto donde se conectan el pedal de freno y las bombas (2).

Debido al cambio de pedal y la posición de las bombas, la forma de conectar estos dos elementos en diferente y se debe adaptar. En el siguiente apartado se realizarán unos cálculos para el diseño de este elemento.

Por último, el cambio final es el de la base (5). Esta base está diseñada para mantener fijado el pedal y las bombas, aguantar los esfuerzos creados por las fuerzas de frenado y para ser más ergonómica en cuanto a tamaño y peso.

Para poder realizar los próximos cálculos y estudios, se han reemplazado las bombas de freno por unos mecanismos (7 y 8) que simulan el recorrido real de las bombas. Esto permite, aparte de hacer los estudios, ver el recorrido del pedal y la posición de este cuando las bombas no están accionadas, es decir, cuando el sistema está en reposo (**Figura 16 y Figura 17**).

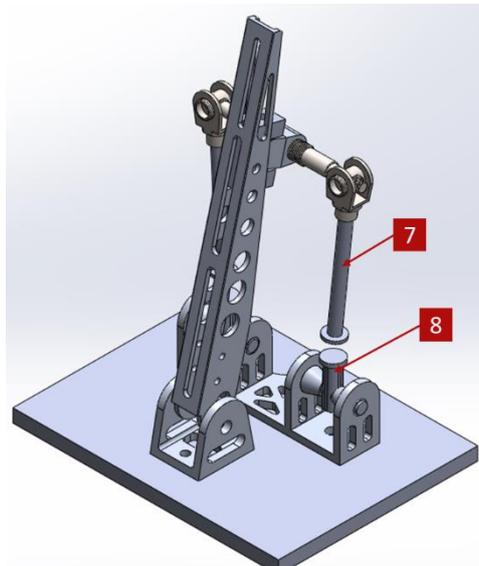


Figura 15. Pedalera con la simulación de las bombas de freno.

Fuente: Elaboración propia.

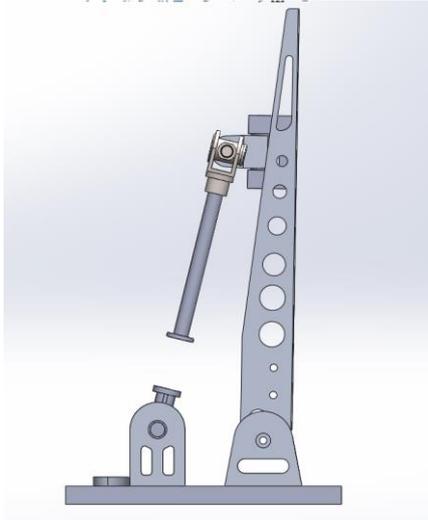


Figura 16. Pedalera sin accionar, en reposo.

Fuente: Elaboración propia.

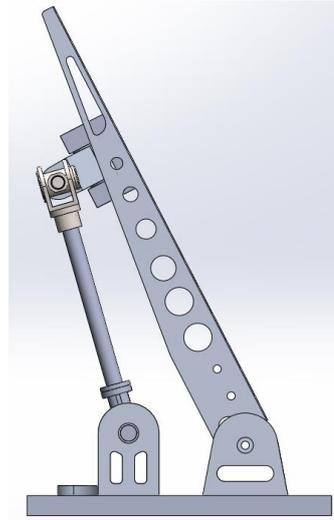


Figura 17. Pedalera accionada al tope.

Fuente: Elaboración propia.

3.2 CÁLCULOS

Para el diseño de los elementos de la pedalera es necesario hacer unos cálculos que servirán como base para dimensiones y posiciones de elementos.

3.2.1 Cálculo del ángulo de las bombas de freno.

Para empezar con los cálculos para el diseño de esta nueva pedalera, se calculará los ángulos con los cuales se deben colocar las bombas de freno respecto al pedal para tener el diseño más óptimo y la mejor transmisión de fuerzas.

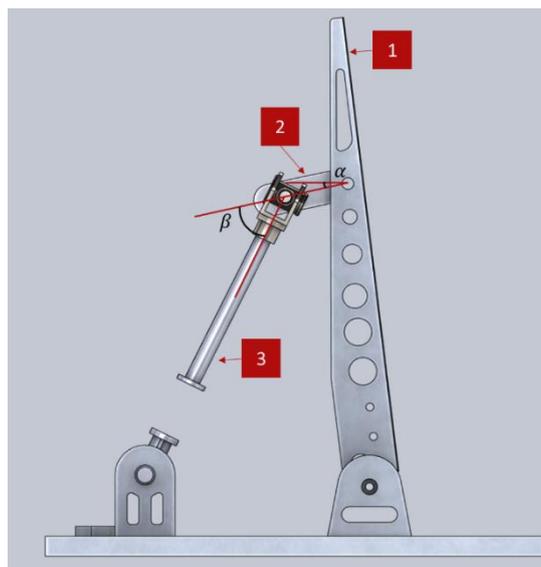


Figura 18. Ilustración de los ángulos de las bombas.

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la **Figura 18**, existen tres elementos que transfieren la fuerza ejercida por el piloto a las bombas. Estos elementos son el pedal (1), el conector pedal-bombas (2) y las bombas de freno (3).

Entre estos tres elementos existen dos ángulos que, tras su estudio, permitirán colocar los elementos de la forma más óptima en cuanto a la transferencia de fuerzas.

El primer ángulo es Alpha (α) el cual delimita la posición entre el pedal (1) y el conector pedal-bombas (2). El segundo ángulo es Beta (β), este delimita la posición inicial entre el conector pedal-bombas (2) y las misma bombas (3).

3.2.1.1 Fuerzas

Ahora se añaden las fuerzas, tanto la aplicada por el piloto (F) como la transferencia de esta fuerza por los otros elementos (F_1 y F'_1).

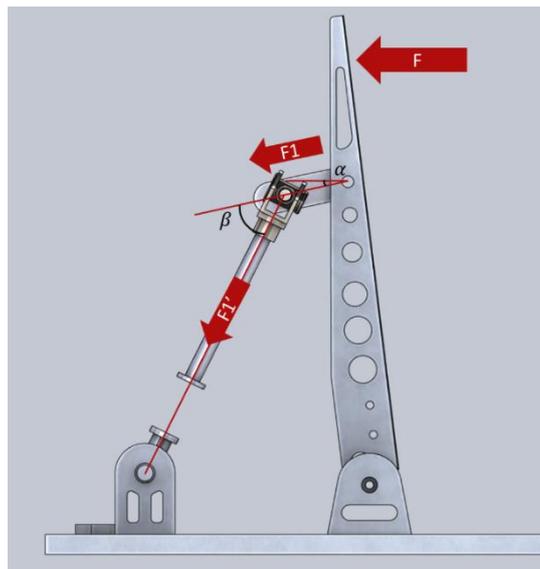


Figura 19. Fuerzas aplicadas y su transferencia por los elementos.

Fuente: Elaboración propia.

- La fuerza F es la aplicada por el piloto a la hora de la frenada.
- La fuerza F_1 es la obtenida en las relaciones de fuerzas y distancias. Esta fuerza se obtiene siguiendo la **Figura 20**.

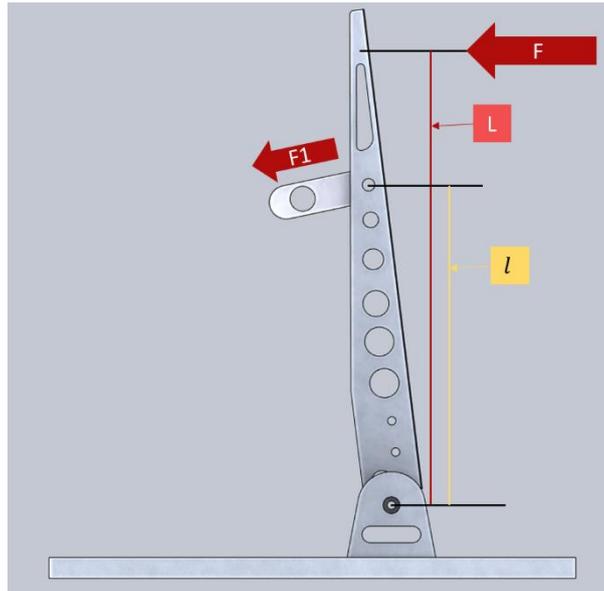


Figura 20. Relación de fuerzas entre pedal y conector pedal-bombas.

Fuente: Elaboración propia.

Con estas fuerzas y distancias se obtiene la siguiente fórmula:

$$F * L = F_1 * l$$

Donde:

- F Fuerza aplicada por el piloto.
 - L Distancia entre el eje del pedal y la aplicación de la fuerza F .
 - F_1 Fuerza que sale del pedal y entra en el conector pedal-bombas.
 - l Distancia entre el eje del pedal y el conector pedal-bombas.
- La fuerza F'_1 es la fuerza que entra a las bombas y se obtiene por la descomposición de la fuerza F_1 en direcciones perpendiculares. Esto se consigue conociendo el ángulo Beta (β).

3.2.1.2 Ángulos

Una vez conocidos los parámetros, se relacionan utilizando la trigonometría y así obtener fórmulas con los ángulos Alpha y Beta.

$$F = F_1 * \text{sen } \alpha$$

$$F'_1 = F_1 * \text{cos } \beta$$

Sustituyendo la fuerza F_1 en la fórmula anterior se obtiene:

$$F'_1 = \frac{F}{\text{sen } \alpha} * \text{cos } \beta$$

De esta manera se relacionan los dos ángulos y se obtiene la fuerza F'_1 . Esta fuerza es la que interesa ya que es la que realmente realizará la frenada.

3.2.1.3 Cálculos

Ya obtenidas las fórmulas necesarias, se procede al cálculo de la fuerza F'_1 con un rango de ángulos desde 10° hasta 45° .

$$F'_1 = \frac{F}{\text{sen } \alpha} * \cos \beta$$

La fuerza F aplicada es la fuerza exigida por la normativa y que el sistema de la pedalera debe aguantar. Esta tiene un valor de 2 kN (2.000 N).

F		Alpha									
2000		0	10	15	20	25	30	35	40	45	
Beta	10	3084,70209	-2580,6158	-1838,164	12679,4172	1698,471	3919,22228	-2252,1989	-1972,1896		
	15	2792,86189	-2336,4666	-1664,2573	11479,8318	1537,78056	3548,42906	-2039,1209	-1785,6029		
	20	-1500,2435	1255,08132	893,990218	-6166,6289	-826,05061	-1906,112	1095,35594	959,173514		
	25	-3643,9866	3048,50483	2171,43977	-14978,311	-2006,4192	-4629,8128	2660,54303	2329,76544		
	30	-567,07891	474,409762	337,920483	-2330,9318	-312,2399	-720,49366	414,034963	362,559198		
	35	3322,26889	-2779,3606	-1979,7292	13655,9162	1829,2779	4221,05923	-2425,6509	-2124,0768		
	40	2451,88302	-2051,2088	-1461,0691	10078,2659	1350,03384	3115,20344	-1790,1658	-1567,5997		
	45	-1931,2559	1615,65989	1150,82912	-7938,2704	-1063,3708	-2453,7284	1410,0462	1234,73925		

Tabla 2. Cálculo de la fuerza F'_1 dependiendo de los ángulos Alpha y Beta.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla anterior se observa el valor que F'_1 recibe según las combinaciones de los ángulos Alpha y Beta. Si se crea una gráfica en 3D esta queda así:

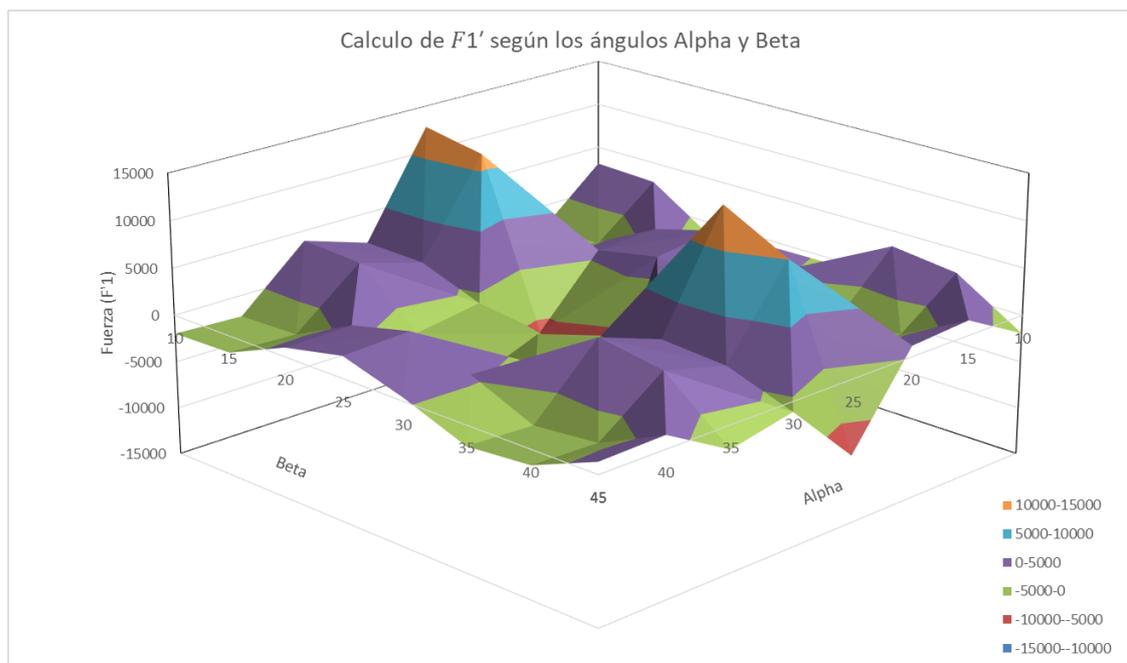


Figura 21. Gráfico 3D de la fuerza F'_1 .

Fuente: Elaboración propia.

En este gráfico destacan dos zonas con valores comprendidos entre 10000 y 15000 newton. Valores que pueden ser de interés y que se estudiarán más adelante una vez estén los diseños.

Analizando estos dos grupos se logran cuatro configuraciones diferentes, estas son:

- $F'_1 = 12679,42 \text{ N}$ Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 10^\circ$
- $F'_1 = 11479,83 \text{ N}$ Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 15^\circ$
- $F'_1 = 13655,92 \text{ N}$ Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 35^\circ$
- $F'_1 = 10078,26 \text{ N}$ Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 40^\circ$

3.2.2 Diseño del conector pedal-bombas.

Los ángulos anteriormente seleccionados, crean unas restricciones que limitan la posición y el movimiento de los demás componentes debido a que las dimensiones del pedal y las bombas no son variables.

Uno de los componentes afectados por esta restricción es el conector pedal-bombas. Este conector tiene una forma diferente según los ángulos, pero si tiene tres elementos, una restricción de posición y un espesor en común.

Los elementos en común son los tres taladros que servirán para conectar el pedal y las bombas a través de unos tornillos de métrica M6 y M12. La restricción es el ángulo de 25° que existe entre los dos taladros que conectan con el pedal y el otro taladro que conecta con las bombas. El espesor en todas las configuraciones es de 12mm.

El lado donde se conecta con el pedal cuenta con dos taladros para dos tornillos de M6. Estos dos taladros eliminan el momento de giro que se crearía si solo se tuviera un taladro. También crean un tope para que la fuerza F_1 se transmita a las bombas.

En el otro lado, donde se conecta con las bombas, se encuentra un taladro con métrica M12 y una rosca de M12x1,25. Este taladro cumple con la función de transmitir la fuerza a las bombas y de regular el reparto de frenada.

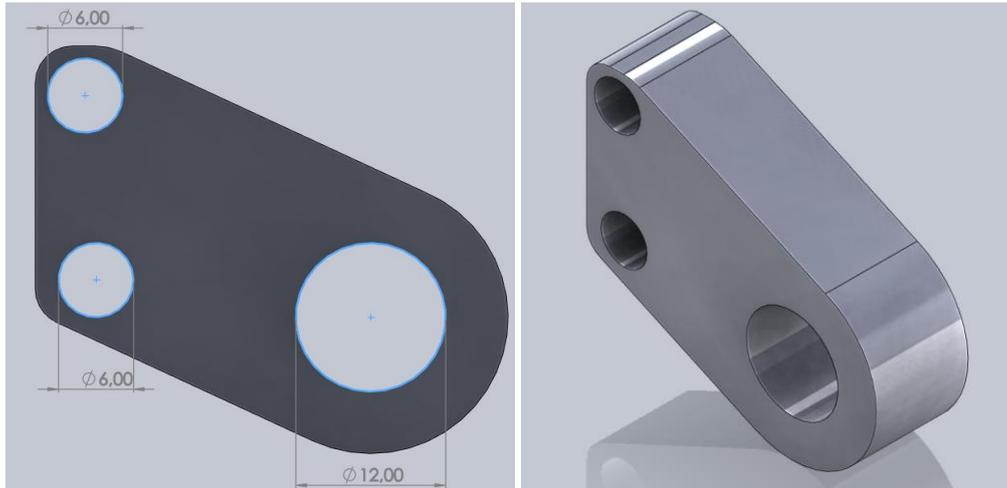


Figura 22. Diseño conector pedal-bombas con ángulos Alpha 25° y Beta 35°.

Fuente: Elaboración propia.

Para la restricción de los 25°, se ha cogido el punto medio entre los dos taladros de M6. Una arista está de forma horizontal y la otra une el punto medio con el centro de la circunferencia del taladro de M12. De esta forma el ángulo de Alpha siempre va a ser 25° (pedalera sin accionar), tal y como se muestra en la **Figura 23**.

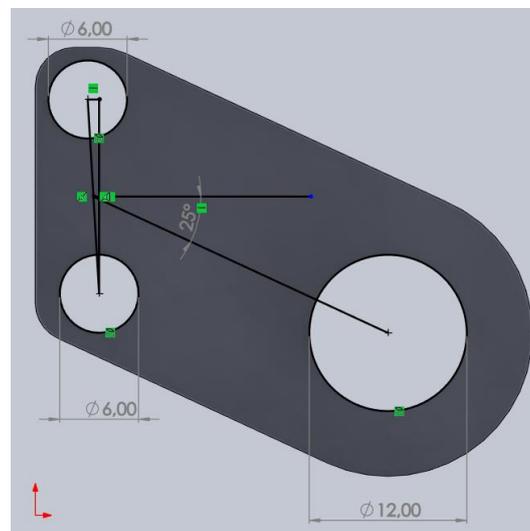


Figura 23. Diseño del conector pedal-bombas con ángulos Alpha 25°.

Fuente: Elaboración propia.

Dependiendo de la configuración, las dimensiones de este conector son diferentes. Es decir, la distancia entre esos dos taladros de M6 con el otro de M12 variará para poder cumplir con el ángulo de Beta.

Estas dimensiones se han conseguido tanteando la distancia entre el M12 y el M6 inferior hasta conseguir el ángulo deseado en el ensamblaje.

- En la configuración 1:
Beta tiene un valor de **10°**, para cumplir con este ángulo el conector tiene unas dimensiones de 125x75,91mm.

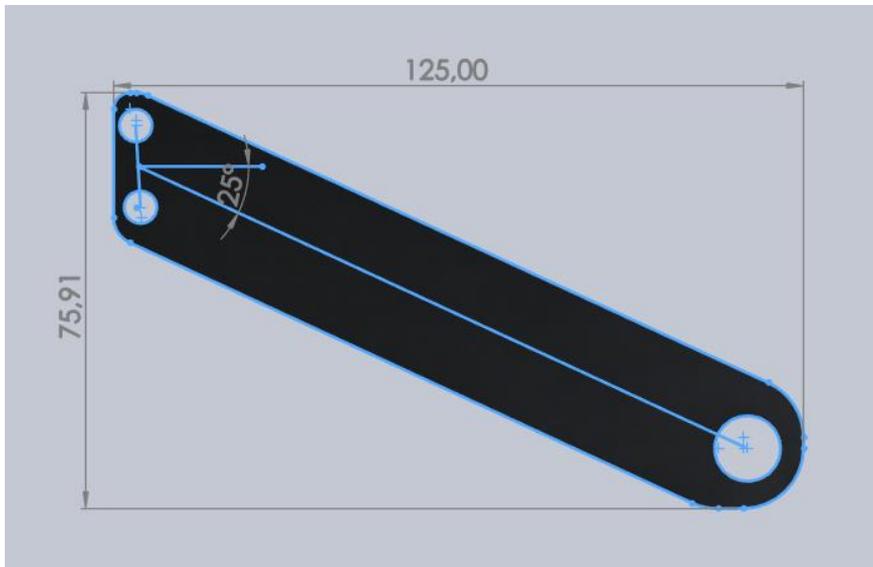


Figura 24. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 1.

Fuente: Elaboración propia.

- En la configuración 2:
Beta tiene un valor de **15°**, para cumplir con este ángulo el conector tiene unas dimensiones de 107,87x66,62mm

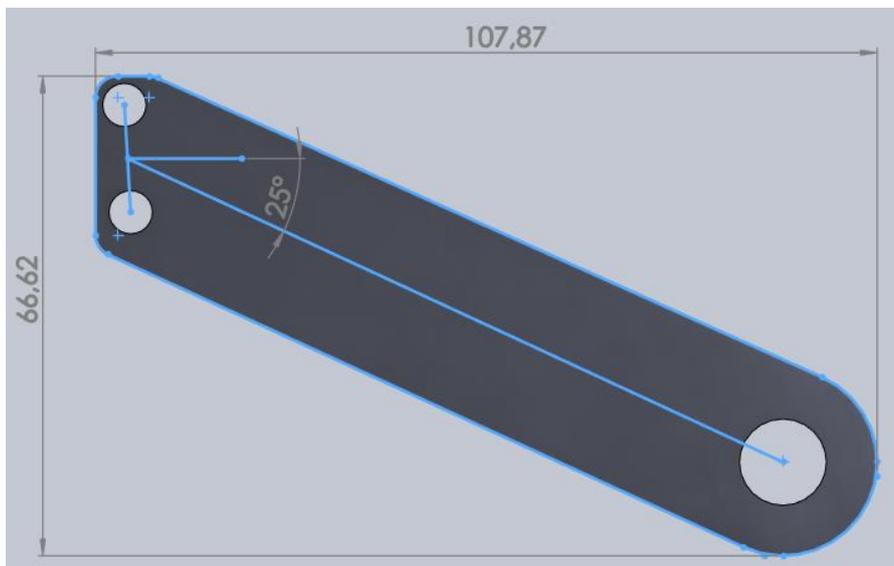


Figura 25. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 2.

Fuente: Elaboración propia.

- En la configuración 3:
Beta tiene un valor de **35°**, para cumplir con este ángulo el conector tiene unas dimensiones de 37,87x32,91mm

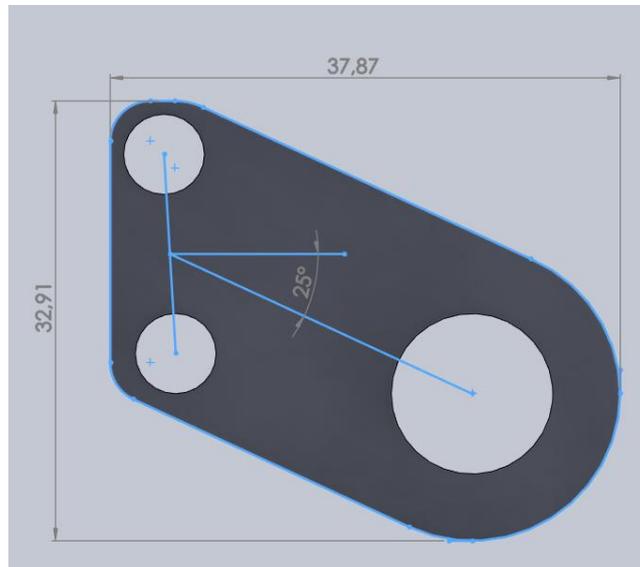


Figura 26. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 3.

Fuente: Elaboración propia.

- En la configuración 4:
Beta tiene un valor de **40°**, para cumplir con este ángulo el conector tiene unas dimensiones de 27,71x29mm

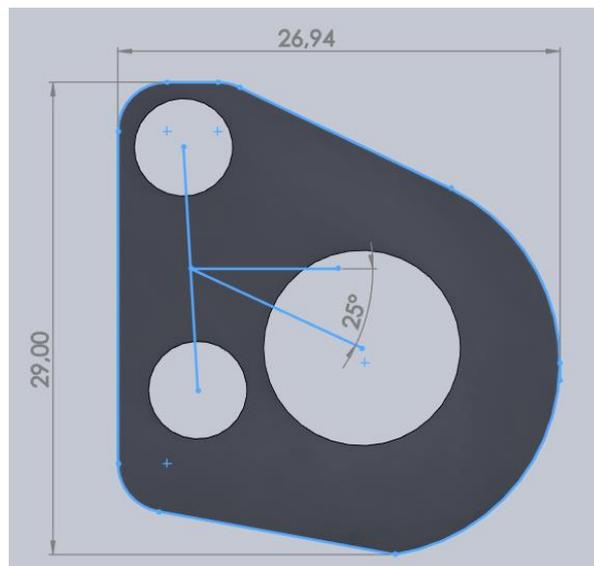


Figura 27. Dimensiones del conector pedal-bombas en configuración 4.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3 Fuerzas tras el accionamiento del pedal

En el apartado **3.2.1.3. Cálculos**, se obtienen unas fuerzas cuando el pedal está en reposo según unos ángulos. Las configuraciones obtenidas que son de interés reducen las combinaciones a cuatro casos. A continuación, se estudian esos cuatro casos con el pedal accionado.

Gracias a la sustitución de las bombas por los mecanismos mostrados en la **Figura 15**, se puede simular el recorrido del pedal. Con esta simulación se obtienen unos nuevos ángulos, que resultarán en unas nuevas fuerzas.

- **Configuración 1**

Los ángulos que se obtienen son $\alpha = 24,99^\circ$ y $\beta = 174,33^\circ$

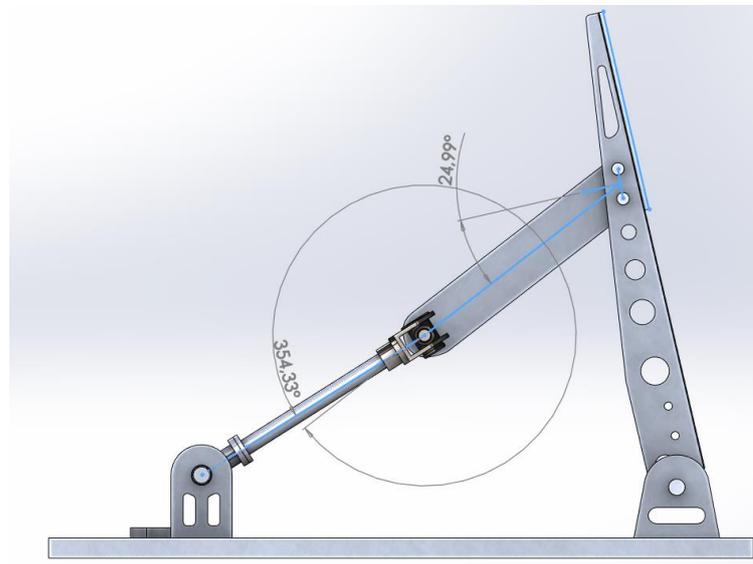


Figura 28. Ángulos con el pedal apretado.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza F'_1 resultante con estos ángulos es:

F		
2000	Alpha	
Beta	0	24,99
	174,33	399,12

Tabla 3. Fuerza F'_1 con el pedal apretado en configuración 1.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando este valor se llega a la conclusión de que es necesario hacer más fuerza de la que el recorrido del pedal y las bombas puede conseguir. Es decir, se necesita hacer más fuerza para alcanzar la fuerza calculada anteriormente, pero no es posible por la geometría del sistema.

- **Configuración 2**

Los ángulos que se obtienen son $\alpha = 24,99^\circ$ y $\beta = 1,71^\circ$

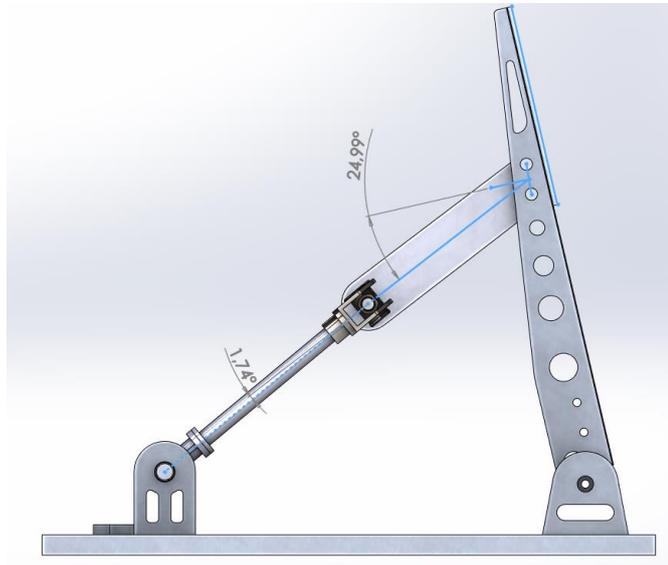


Figura 29. Ángulos con el pedal apretado.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza F'_1 resultante con estos ángulos es:

F		
2000	Alpha	
Beta	0	24,99
	1,71	1950,76

Tabla 4. Fuerza F'_1 con el pedal apretado en configuración 2.

Fuente: Elaboración propia.

Como pasa en la configuración 1, se necesita hacer más fuerza de la que el recorrido del pedal y las bombas puede conseguir. Es decir, se necesita hacer más fuerza para alcanzar la fuerza calculada anteriormente, pero no es posible por la geometría del sistema.

- **Configuración 3**

Los ángulos que se obtienen son $\alpha = 24,99^\circ$ y $\beta = 30,85^\circ$

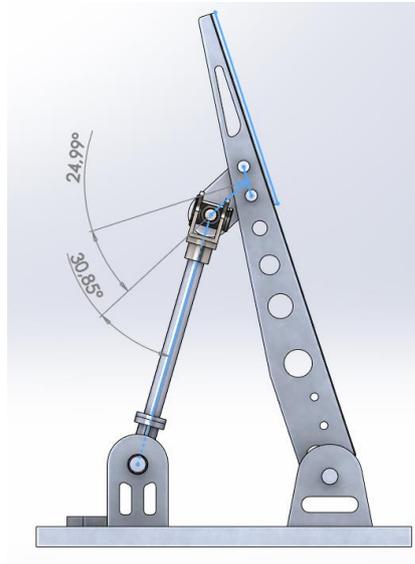


Figura 30. Ángulos con el pedal apretado.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza F'_1 resultante con estos ángulos es:

F		
2000	Alpha	
Beta	0	24,99
	30,85	-11867,14

Tabla 5. Fuerza F'_1 con el pedal apretado en configuración 3.

Fuente: Elaboración propia.

Analizando este valor se puede observar cómo existe una fuerza negativa, esta fuerza es la que se ejerce de forma contraria a F, es decir, es la fuerza que viene de las bombas como resistencia a la fuerza que se aplica.

Este número también da información del recorrido del pedal. Al ser negativo, el recorrido del pedal nunca llegará al tope de las bombas.

- **Configuración 4**

Los ángulos que se obtienen son $\alpha = 24,99^\circ$ y $\beta = 38,67^\circ$

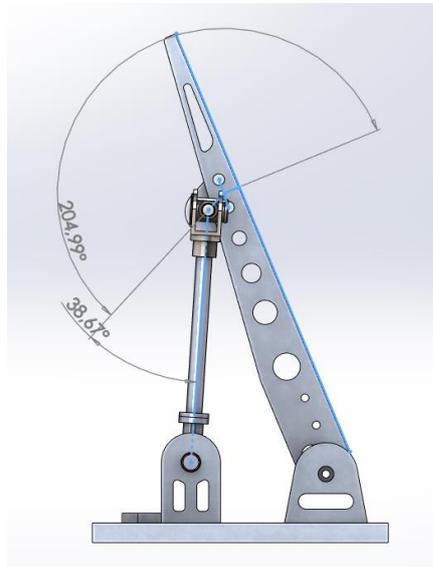


Figura 31. Ángulos con el pedal apretado.

Fuente: Elaboración propia.

La fuerza F'_1 resultante con estos ángulos es:

F		
2000	Alpha	
Beta	0	24,99
	38,67	-7937,28

Tabla 6. Fuerza F'_1 con el pedal apretado en configuración 4.

Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en la configuración 3, este valor de fuerza es negativa, siendo la resistencia que hacen las bombas con esa geometría.

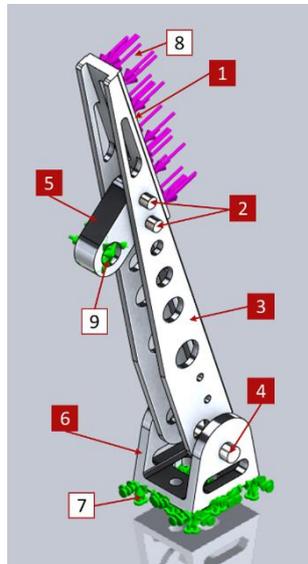
Este número también da información del recorrido del pedal, que es algo mayor al obtenido en la configuración 3. Al ser negativo, el recorrido del pedal nunca llegará al tope de las bombas.

3.3 ESTUDIO FEM

Se hace un estudio por elementos finitos para comprobar que todos los elementos tienen un diseño que aguanta los 2kN exigidos por la normativa de la Formula Student de Alemania (FSG).

El programa utilizado es SolidWorks CAD (Computer Aided Design) donde se ha simulado las configuraciones anteriormente calculadas y diseñadas.

Esta simulación se ha realizado sobre cuatro elementos, pero se han tenido que añadir dos elementos más para evitar errores en los contactos. Se parte de la base del pedal (6), el pedal (3), el conector pedal-bombas (5) y una placa que actúa como el apoyo del pie en el pedal y donde se colocará la fuerza (1). Los dos elementos añadidos son cilindros que actúan como pasadores (2 y 4).



Con los elementos seleccionados, se añaden las condiciones de la simulación.

- En la base del pedal (6) se pone una sujeción fija (7).
- En la placa de apoyo del pie (1) se aplica la fuerza de 2kN de forma distribuida (8).
- En el conector pedal-bomba (5) se coloca una sujeción variable sobre la cara cilíndrica (9). Funciona igual que una sujeción fija, pero solo se utiliza cuando las caras son cilíndricas.
- La posición del pedal (3) es la más baja, es decir, cuando el pedal está accionado hasta el tope.
- La malla utilizada tiene unos parámetros de:
 - o Tamaño global de 2,5 mm.
 - o Tolerancia de 0,125 mm.
- Se estudia la **tensión de Von Mises**, el **factor de seguridad** y la **deformación unitaria**.

A continuación se ejecutan las simulaciones, obteniendo los siguientes resultados en cada configuración.

3.3.1 Configuración 1

Tensión Von Misses

$Max = 363,3 \text{ MPa}$

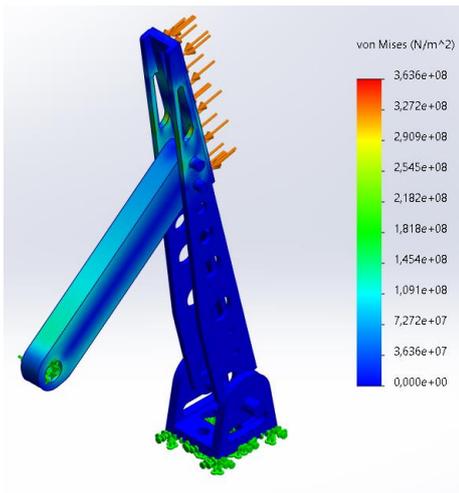


Figura 32. Resultado de tensiones en configuración 1.

Fuente: Elaboración propia.

Factor de seguridad

$Min = 1,66$

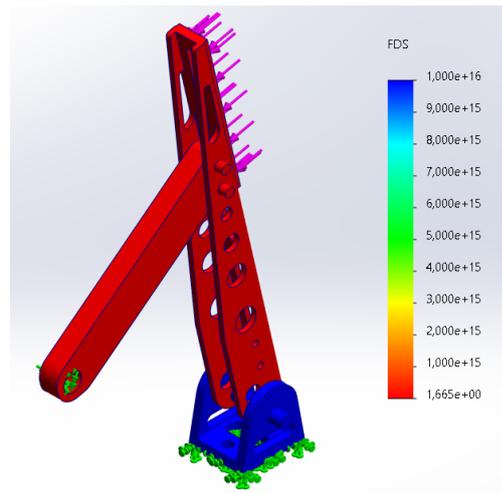


Figura 33. Resultado de factor de seguridad en configuración 1.

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones unitarias

$Max = 0,0032$

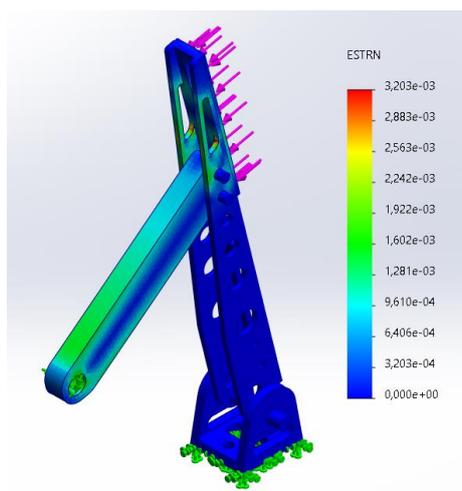


Figura 34. Resultados de deformaciones unitarias en configuración 1.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2 Configuración 2.

Tensión Von Misses

$Max = 349,2 MPa$

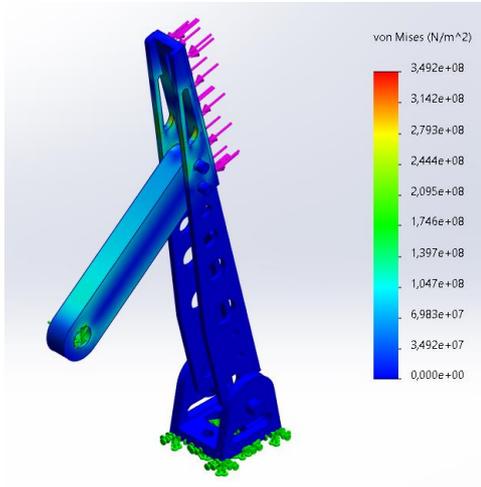


Figura 35. Resultado de tensiones en configuración 2.

Fuente: Elaboración propia.

Factor de seguridad

$Min = 1,66$

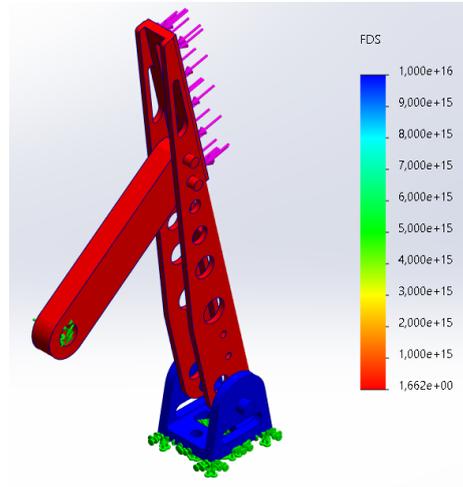


Figura 36. Resultado de factor de seguridad en configuración 2.

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones unitarias

$Max = 0,003255$

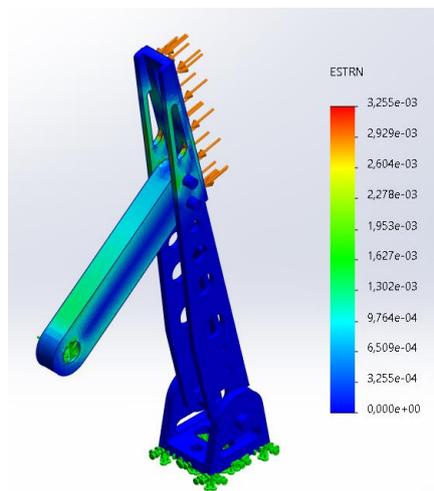


Figura 37. Resultados de deformaciones unitarias en configuración 2.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3 Configuración 3

Tensión Von Misses

$Max = 342,3 MPa$

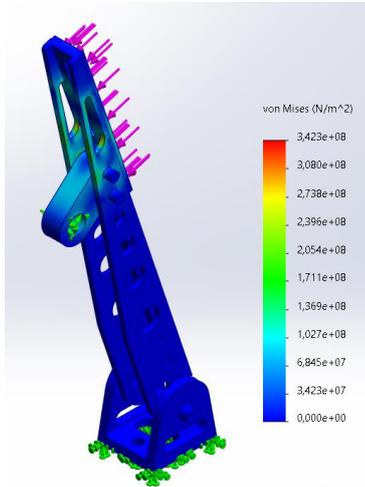


Figura 38. Resultado de tensiones en configuración 3.

Fuente: Elaboración propia.

Factor de seguridad

$Min = 1,66$

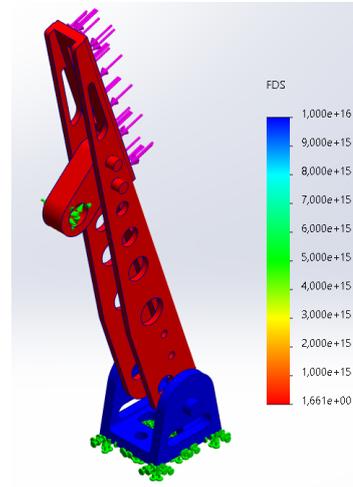


Figura 39. Resultado de factor de seguridad en configuración 3.

Fuente: Elaboración propia.

Deformaciones unitarias

$Max = 0,00325$

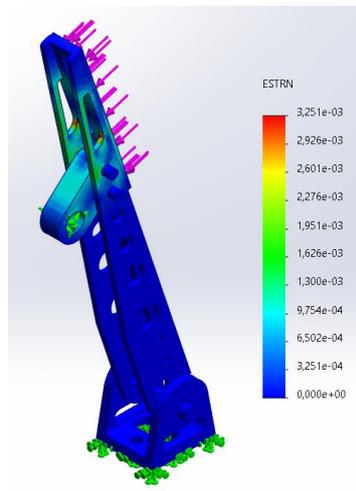


Figura 40. Resultados de deformaciones unitarias en configuración 3.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.4 Configuración 4

Debido al diseño de la pieza y los ángulos, en la configuración 4 se parte una colisión (**Figura 41**) . Esto significa que no es un diseño válido por lo que no se realizarán las simulaciones.

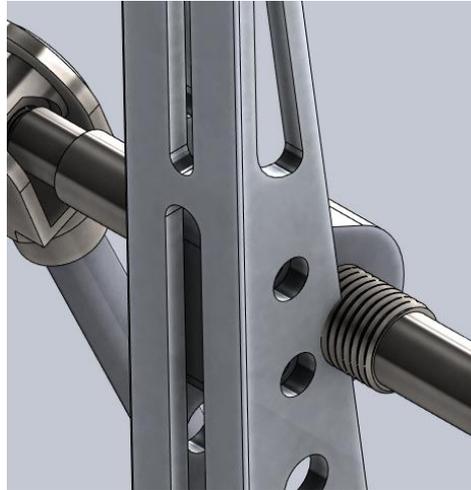


Figura 41. Colisión entre pedal y conector pedal-bomba en configuración 4.

Fuente: Elaboración propia.

3.4 SOLUCIONES ESTUDIADAS

Según los valores de la fuerza F_1' obtenidos en el apartado **3.2.1. Cálculo del ángulo de las bombas de freno.**, se estudian las cuatro combinaciones posibles. Se parte del pedal y de las bombas de freno. Estos dos elementos junto con los ángulos crean unas restricciones que dan como resultado la distancia entre pedal y bombas, y el tamaño del conector pedal-bombas.

A la hora de hacer el ensamblaje de la pedatera, se han encontrado unas pequeñas variaciones en los ángulos de Alpha y Beta. Pero se ha intentado acatarse a los datos originales de los ángulos.

3.4.1 Combinación 1:

Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 10^\circ$, la fuerza F'_1 obtiene un valor de 12.679,42 N.

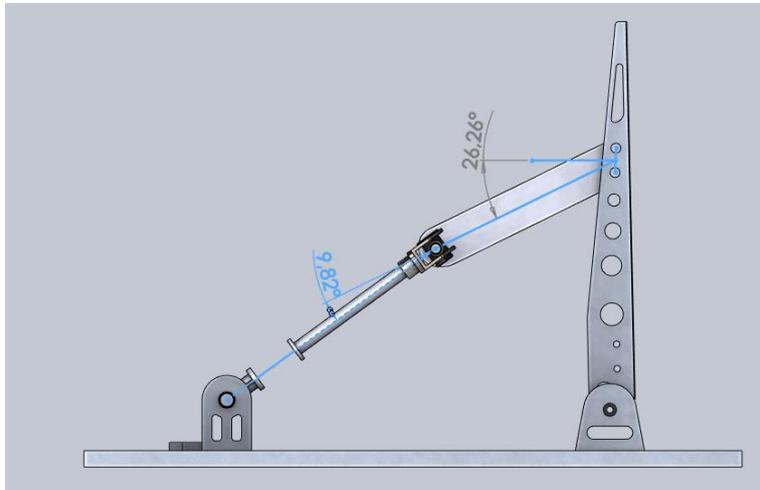


Figura 42. Posición pedaleira con ángulos Alpha 25° y Beta 10°.

Fuente: Elaboración propia

Esta configuración tiene unas dimensiones de 345x200x272mm. Y un peso cercano a los 1.700 g.

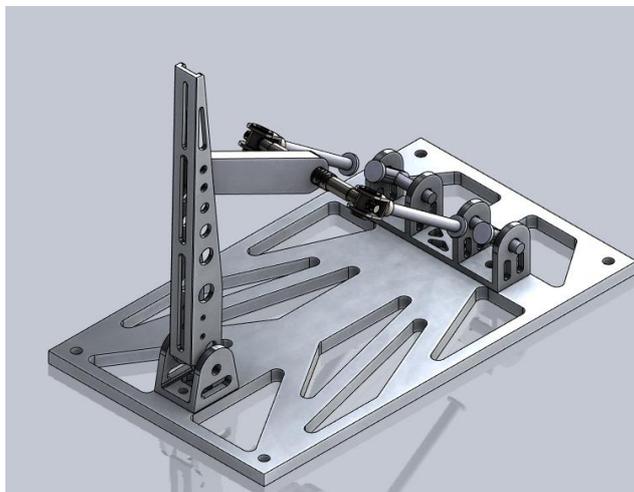


Figura 43. Posición pedaleira vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 10°.

Fuente: Elaboración propia

Los valores de tensiones, deformaciones unitarias y factor de seguridad son:

Tension Von Mises	Factor de seguridad	Deformación unitaria
363,3 Mpa	1,66	3,20E-03

3.4.2 Combinación 2:

Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 15^\circ$, la fuerza F'_1 obtiene un valor de 11.479,83 N.

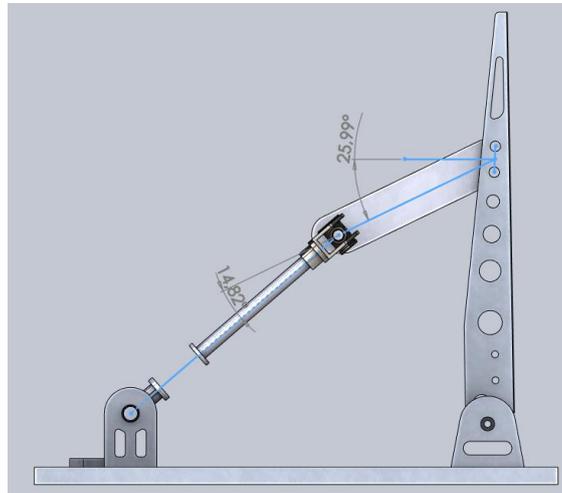


Figura 44. Posición pedaleta con ángulos Alpha 25° y Beta 15°.

Fuente: Elaboración propia

Esta configuración tiene unas dimensiones de 300x200x272mm. Y un peso cercano a los 1.500 g

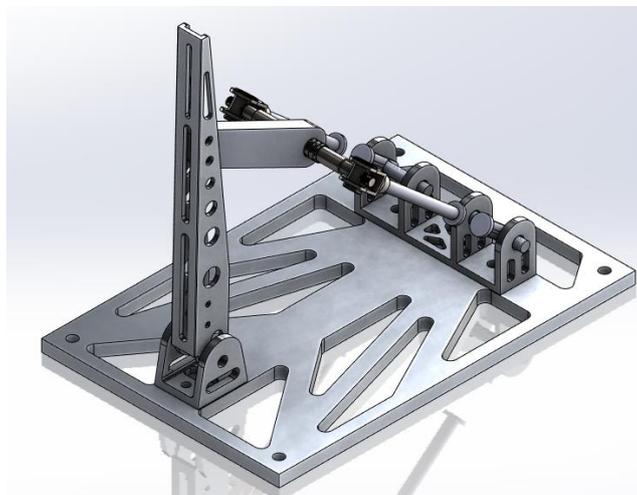


Figura 45. Posición pedaleta vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 15°.

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de tensiones, deformaciones unitarias y factor de seguridad son:

Tension Von Mises	Factor de seguridad	Deformación unitaria
349,2 Mpa	1,66	3,26E-03

3.4.3 Combinación 3:

Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 35^\circ$, la fuerza F'_1 obtiene un valor de 13.655,93 N.

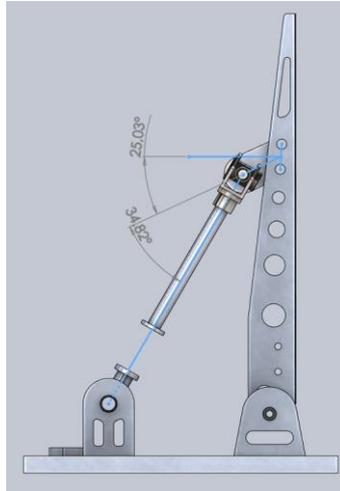


Figura 46. Posición pedalera con ángulos Alpha 25° y Beta 35° .

Fuente: Elaboración propia.

Esta configuración tiene unas dimensiones de 185x200x272mm. Y un peso cercano a los 1.000 g

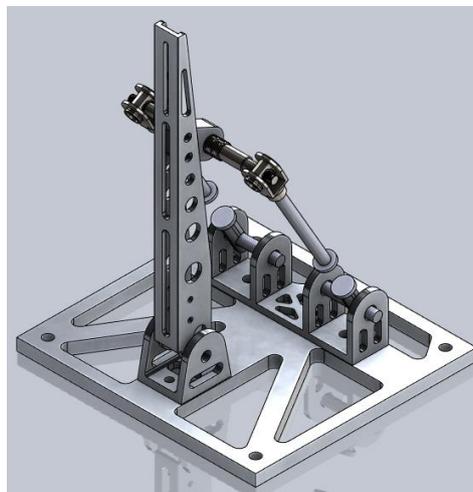


Figura 47. Posición pedalera vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 35° .

Fuente: Elaboración propia.

Los valores de tensiones, deformaciones unitarias y factor de seguridad son:

Tension Von Mises	Factor de seguridad	Deformación unitaria
342,3 Mpa	1,66	3,25E-03

3.4.4 Combinación 4:

Cuando $\alpha = 25^\circ$ y $\beta = 40^\circ$, la fuerza F'_1 obtiene un valor de 10.078,26 N.

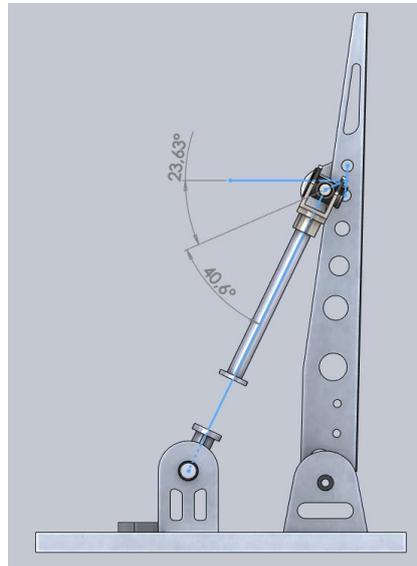


Figura 48. Posición pedaleta con ángulos Alpha 25° y Beta 40°.

Fuente: Elaboración propia.

Como se ha comentado con anterioridad, existe una colisión entre el pedal de freno y el repartidor de frenada.

Esta configuración tiene unas dimensiones de 150x200x272mm. Y un peso cercano a los 900 g

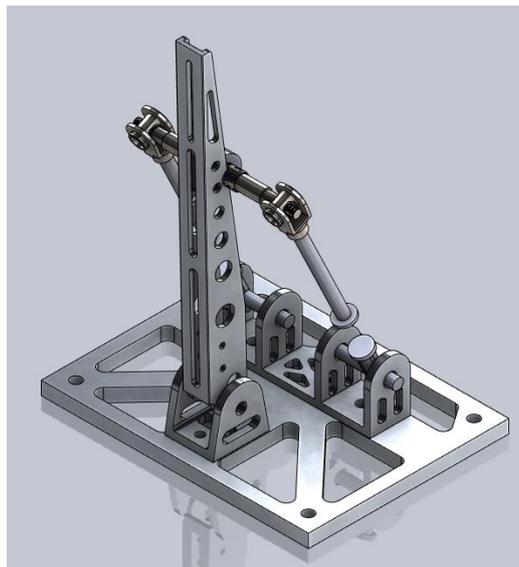


Figura 49. Posición pedaleta vista isométrica con ángulos Alpha 25° y Beta 40°.

Fuente: Elaboración propia.

Capítulo 4. SELECCIÓN DE SOLUCIÓN

Con todos los datos expuestos en el apartado **3.2 Cálculos** se procede a la selección de la solución.

En la siguiente tabla se recogen los datos de las cuatro configuraciones y así comparar los datos.

Configuración	Dimensiones	Peso	Fuerzas en bombas	Tensiones	Factor de seguridad	Pasa normativa
1	345x200x272 mm	1700 g	12678,42 N	363,3 Mpa	1,66	Si
2	300x200x272mm	1500 g	11479,83 N	349,2 Mpa	1,66	Si
3	185x200x272mm	1000 g	13655,93 N	342,3 Mpa	1,66	Si
4	150x200x272mm	900 g	10078,26 N	-	-	No

Tabla 7. Comparación de datos de las cuatro configuraciones.

Fuente: Elaboración propia.

La configuración 1 tiene las mayores dimensiones, peso y tensiones comparadas con el resto. A pesar de cumplir con la normativa y tener un factor de seguridad igual, no es el diseño más óptimo y, por ende, no es una solución válida para lo que el equipo FUEM busca.

La configuración 2 sigue teniendo unas dimensiones muy grandes, su peso es elevado, la fuerza que transmite es elevada pero inferior a la de las otras configuraciones, y sus tensiones están en unos niveles intermedios.

La configuración 4 es descartada ya que en el diseño se encuentra una colisión entre elementos y por ello no es factible. Sus dimensiones y peso eran las menores, pero también la fuerza que trasmite a las bombas.

En resumen, **la configuración 3 es la ideal**. Sus dimensiones son las más pequeñas en comparación con las otras dos configuraciones funcionales (1 y 2, la 4 no es válida), su peso también es menor. A pesar de tener un factor de seguridad igual que las otras, sus tensiones son menores. Esto permitirá un uso más prolongado antes de la aparición de fisuras o grietas. También es la configuración que mayor fuerza transmite a las bombas de freno, traduciéndose en una mayor fuerza de frenado.

Capítulo 5. PLIEGO DE CONDICIONES

Este capítulo consta de las características de los materiales a utilizar para la fabricación del prototipo, como también el proceso de fabricación de este y la planificación general del proyecto.

5.1 PLANIFICACIÓN

La planificación que siguió el proyecto se muestra a continuación.

	27/02/2023	06/03/2023	13/03/2023	20/03/2023	27/03/2023	03/04/2023	10/04/2023	17/04/2023	24/04/2023	01/05/2023	08/05/2023	15/05/2023	22/05/2023	29/05/2023	05/06/2023	12/06/2023
	W 9	W 10	W 11	W 12	W 13	W 14	W 15	W 16	W 17	W 18	W 19	W 20	W 21	W 22	W 23	W 24
Especificación + Plan de control																
Diseño conceptual																
Predimensionamiento																
Estudios FEM																
Diseño final																
Revisión final																
Entrega																

Figura 50. Cronograma del proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

5.2 MATERIALES

Los materiales utilizados para la pedalera son la aleación de aluminio 7075 y el titanio de grado 5. Los tornillos utilizados para la sujeción de las piezas son de acero cincado con una calidad 8.8. En la **Figura 51** se numeran las piezas para, a continuación, seleccionar su material.

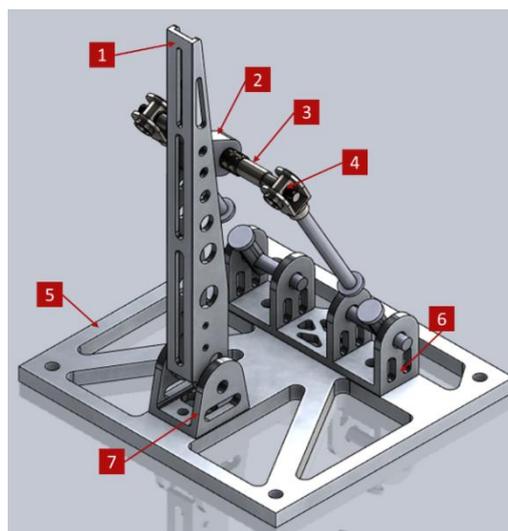


Figura 51. Numeración de las piezas a fabricar.

Fuente: Elaboración propia.

Piezas fabricadas en aluminio:

- Pedal (1).
- Conector pedal-bombas (2).
- Bulón de las bombas (4).
- Base de la pedatera (5).
- Base de las bombas (6).
- Base del pedal (7).

Pieza fabricada en titanio:

- Bias bar o regulador de frenada (3).

5.2.1 Aleación de aluminio 7075

El aluminio utilizado es el 7075. Es una aleación de aluminio con un 6% de zinc.

Sus propiedades físicas son:

- Densidad de $2,81 \text{ g/cm}^2$. Es un metal muy ligero, pero es una de las aleaciones más fuertes, lo que la hace valiosa en situaciones de gran tensión.
- Debido al contenido del 1,6% de cobre que contiene, es más susceptible a la corrosión. Pero esto es un sacrificio para poder obtener este material tan resistente y manejable.
- Las propiedades mecánicas del aluminio 7075 se resumen en la **Tabla 8**.

Propiedades mecánicas	Resistencia Max a traccion	Límite elástico	Resistencia fatiga	Módulo elasticidad	Módulo cizallamiento
Valor	572,0 MPa	503,0 MPa	159,0 MPa	71,7 GPa	26,9 GPa

Tabla 8. Propiedades mecánicas del aluminio 7075.

Fuente: Thomasnet. (All About 7075 Aluminum (Properties, Strength and Uses), s. f.)

Al ser una de las aleaciones más fuertes que tiene el aluminio, con un límite elástico $>500 \text{ MPa}$ y una densidad baja, es un material apto para fabricar piezas del sector aeronáutico y automovilístico, o piezas sometidas a grandes desgastes.

Algunos ejemplos de piezas fabricadas con este material son:

- Accesorios de aviones.
- Engranajes y ejes.
- Piezas de misiles.
- Engranajes helicoidales.

5.2.2 Titanio grado 5.

El titanio utilizado es el titanio de grado 5, también conocido como Ti-6Al-4V. Consta de un 90% de titanio con un 6% de aluminio y un 4% de vanadio.

Sus propiedades físicas son:

- Densidad de $4,43 \text{ g/cm}^3$. Es un metal ligero comparado con los aceros, pero algo más pesado que los aluminios.
- Tiene una buena resistencia a la corrosión ya que crea una capa protectora alrededor de la pieza cuando entra en contacto con el oxígeno en el aire o en el agua, y la protege del óxido.
- Las propiedades mecánicas del titanio grado 5 se resumen en la **Tabla 9**.

Propiedades mecánicas	Resistencia Max a traccion	Límite elástico	Resistencia fatiga	Módulo elasticidad	Módulo cizallamiento
Valor	1185,0 MPa	1140,0 MPa	725,0 MPa	115,0 GPa	43,2 GPa

Tabla 9. Propiedades mecánicas del titanio grado 5.

Fuente: Carpenter tec. («Titanium Alloy Ti 6Al-4V. Datasheet», s. f.)

El titanio es un material que se utiliza en aplicaciones donde se requieren una combinación de alta resistencias a temperaturas (tanto bajas como altas), peso ligero y una buena resistencia a la corrosión. Algunas de las aplicaciones son:

- Componentes de motores de turbina.
- Componentes estructurales de aviones.
- Tornillería aeroespacial.
- Piezas de alto rendimiento en automoción.
- Aplicaciones marinas
- Instrumentación médica.

5.3 PROCESO DE FABRICACIÓN

Para la fabricación de este prototipo se debe observar cómo se quiere fabricar cada pieza. Dependiendo de la pieza, se puede utilizar un torno convencional, una fresadora, o una máquina CNC (Computerized Numerical Control) siendo la maquinaria a disposición del equipo FUEM.

5.3.1 Torno

El torno es un equipo que por arranque de viruta, elimina material del bruto con una cuchilla para dar forma a la pieza. En el torno se introducen piezas de revolución y con forma simétrica, de materiales como los metales o maderas.

El movimiento que realiza la eliminación de material es de rotación y lo hace el bruto/pieza. La herramienta se mueve solo en dos ejes y lo hace de forma lineal. Es decir, se mueve en el eje de avance y en el eje de penetración.

El torno tiene múltiples operaciones:

- Refrentado. Es la primera operación que se le hace a la pieza, consta en mecanizar la cara frontal y así obtener una cara sin irregularidades.
- Cilindrado. Esta operación consiste en mecanizar la cara exterior reduciendo el diámetro del bruto según las dimensiones descritas en los planos. También existe el cilindrado interior, el cual aumenta el diámetro interior y no cambia el exterior.
- Moleteado. Cuando se desea tener una zona con agarre en la superficie, se hace unas muescas con la operación de moleteado.
- Ranurado. Con esta operación se obtienen canales en la pieza. La herramienta penetra de forma perpendicular a la pieza. Según su profundidad se necesitan unas herramientas más o menos largas.
- Taladrado. Para realizar agujeros en la pieza se utiliza una broca. La diferencia entre el taladrado en torno y el taladro con máquina, es que es la pieza la que gira y no la broca.
- Tronzado. Una vez la pieza está terminada, se necesita separarla del resto del bruto. Para esto se realiza la operación de tronzado que corta el material.

5.3.2 Fresadora

La fresadora es una máquina que tiene la posibilidad de movimiento en varios ejes y funciona por arranque de viruta. El movimiento rotatorio a altas velocidades de la herramienta, llamada fresa, realiza el corte dando forma al material. La herramienta tiene un movimiento rotatorio, pero es la mesa (accionada manual o automáticamente) la que mueve la pieza. Principalmente se utiliza para cortar ranuras y vaciar áreas.

Las operaciones que se realizan en una fresadora son:

- Fresado. Esta operación es el proceso de corte del material.
- Planeado. Con esta operación se consigue obtener una superficie completamente plana.
- Ranurado. Esta operación consigue crear ranuras, abiertas y cerradas, y cavidades en la pieza.
- Taladrado. Para realizar agujeros en la pieza se utiliza una broca. No se puede utilizar una fresa para realizar taladros ya que las fresas no están diseñadas para hacer un agujero vertical sin sufrir daños.
- Mandrinado. Se utiliza para dar un mejor acabado o ampliar los agujeros ya existentes.
- Escariado. Esta operación de acabado permite tener una gran precisión en agujeros gracias al uso de una herramienta multifilo.
- Roscado. Gracias al desplazamiento en rampa circular, la herramienta consigue crear el paso de las roscas dentro del material.

5.3.3 CNC

El control numérico computarizado es una forma de automatizar las fresadoras y los tornos. Mediante un código la máquina puede hacer la fabricación en masa de forma automatizada, con precisión milimétrica, sin necesitar a un operario, reduciendo tiempos y costes y asegurando un acabado perfecto.

5.3.4 Selección de proceso según la pieza

Conociendo los tres procesos posibles de fabricación al alcance del equipo FUEM, se decide como se fabricará cada pieza. Siguiendo la numeración de la **Figura 51** las piezas son fabricadas como se expone a continuación:

1. Pedal de freno: CNC. Explicado en el Anexo II.
2. Conector pedal-bombas: Fresadora.
3. Repartidor de frenada: Torno. Es una pieza de revolución con un roscado.
4. Bulón de bombas de freno: Fresadora y torno.
5. Base de la pedalera: Fresadora.
6. Base de las bombas: CNC. Complejidad para fabricarlo en fresadora.
7. Base del pedal: Fresadora.

Antes de su fabricación se necesitan sus planos con todas las cotas ([Anexo I](#)). Al igual que se necesita conocer la hoja de procesos, las herramientas que se necesitaran y calcular los parámetros de la máquina, de la herramienta y el código G en el caso de la Haas CNC.

Capítulo 6. PRESUPUESTO

Para el diseño y fabricación de un prototipo de la pedalera del FUEM se necesitará un presupuesto. Se divide en mano de obra, licencias, materiales y el total.

6.1 Mano de obra

La mano de obra es la categoría donde se incluye las horas de diseño hechas por el ingeniero, las horas de revisión hechas por el supervisor y las horas de fabricación del prototipo. Todas con su costo por hora.

Categoría: Mano de obra

Descripción	Ud.	Precio ud.	Precio total
Ingeniero	250 h	85 €/h	21.250,00 €
Supervisor	15 h	105 €/h	1.575,00 €
Fabricación	150 h	16 €/h	2.400,00 €
Total			25.225,00 €

Tabla 10. Presupuesto categoría de mano de obra.

Fuente: Elaboración propia.

6.2 Licencias

Para poder realizar el diseño de la pedalera se necesita una licencia del CAD de SolidWorks. Y para realizar la fabricación de las piezas se necesita una licencia de Catia V5.

Categoría: Licencias

Descripción	Ud.	Precio ud.	Precio total
Licencia SolidWorks (anual)	1	3.158,00 €	3.158,00 €
Licencia Catia	1	12.000,00 €	12.000,00 €
Total			15.158,00 €

Tabla 11. Presupuesto categoría de licencias.

Fuente: Elaboración propia.

6.3 Materiales

En esta categoría se encuentran todos los materiales que se necesitan para la fabricación de un prototipo.

Categoría: Materiales

Descripción	Ud.	Precio ud.	Precio total
Aluminio 7075 Barra Dia. 60 mm	3,384 Kg	15,73 €/kg	53,23 €
Titanio Ti-5Al- 2,5Sn cilindro	1,000 Kg	52,02 €/kg	52,02 €
Tornillo M6x50 Clase 8.8	4	2,24 €	8,96 €
Tornillo M8x80 Clase 8.8	8	2,24 €	17,92 €
Tornillo M10x80 Clase 8.8	2	2,24 €	4,48 €
Tuerca M6	4	2,24 €	8,96 €
Tuerca M8	8	2,24 €	17,92 €
Tuerca M10	2	2,24 €	4,48 €
Bombas Tilton Serie78	2	255,45 €	510,90 €
Total			678,87 €

Tabla 12. Presupuesto categoría de materiales.

Fuente: Elaboración propia.

Los materiales como el aluminio y el titanio no se compran por unidad sino por peso. A pesar de solo necesitar una barra de diámetro 60 mm y 400 mm de largo de aluminio, el proveedor factura según el peso de esta barra. Para el titanio existe un pedido mínimo, en este caso es de 1kg cuando se solo se necesitan 100g.

El mercado de estos materiales está en un constante cambio, por lo que los precios pueden variar en unas semanas, meses o años.

6.4 Ensayos

Debido a solo fabricar un prototipo, no se le realizarán ensayos destructivos. En caso de fabricar en masa si sería ideal realizar estos ensayos.

6.5 Total

Juntando todas las categorías se obtiene un presupuesto total que incluye el diseño, la compra de los materiales y licencias, y la fabricación del prototipo.

Categoría: Totales

Descripción	Ud.	Precio ud.	Precio total
Ingeniero	250 h	85 €/h	21.250,00 €
Supervisor	15 h	105 €/h	1.575,00 €
Fabricación	150 h	16 €/h	2.400,00 €
Licencia SolidWorks (anual)	1	3.158,00 €	3.158,00 €
Licencia Catia	1	12.000,00 €	12.000,00 €
Aluminio 7075 Barra Dia. 60 mm	3,384 Kg	15,73 €/kg	53,23 €
Titanio Ti-5Al-2,5Sn cilindro	1,000 Kg	52,02 €/kg	52,02 €
Tornillo M6x50 Clase 8.8	4	2,24 €	8,96 €
Tornillo M8x80 Clase 8.8	8	2,24 €	17,92 €
Tornillo M10x80 Clase 8.8	2	2,24 €	4,48 €
Tuerca M6	4	2,24 €	8,96 €
Tuerca M8	8	2,24 €	17,92 €
Tuerca M10	2	2,24 €	4,48 €
Bombas Tilton Serie78	2	255,45 €	510,90 €
Total			41.061,87 €

Tabla 13. Presupuesto categoría de totales.

Fuente: Elaboración propia.

Al ser un prototipo, el presupuesto es bastante elevado. La compra de los materiales tiene un precio más reducido si se hace al por mayor, en este caso solo se compra lo necesario para 1 unidad de la pedalera.

Las licencias son elementos que solo se compran una vez, al igual que el ingeniero y el supervisor, solo se les paga una vez. A fabricación sí que hay que pagarle cada vez que fabrica el prototipo. Si los materiales se compran al por mayor, aparte de salir más baratos, sobra material que se puede utilizar para futuras fabricaciones.

Capítulo 7. CONCLUSIONES

Tras los diseños y estudios realizados para crear una pedalera teniendo en cuenta los objetivos del proyecto, se han llegado a las siguientes conclusiones.

La nueva pedalera (configuración 3) está más optimizada para tener el menor tamaño y seguir siendo funcional. Cumple los requisitos de la normativa de las competiciones y es un cambio factible ya que no se pierde la efectividad de la frenada.

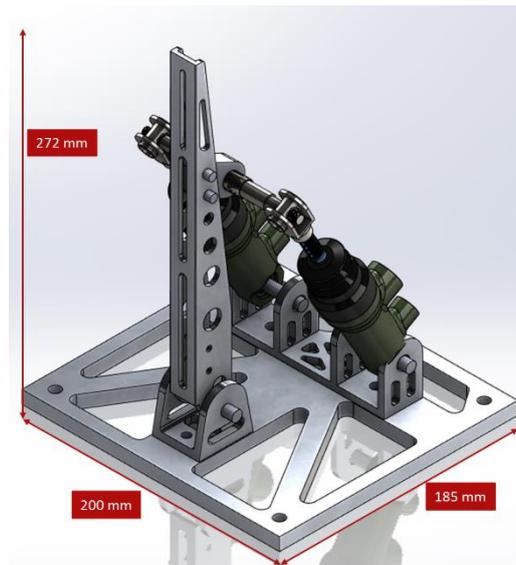


Figura 52. Nueva pedalera con sus dimensiones.

Fuente: Elaboración propia.

La nueva pedalera tiene unas dimensiones de 185x200x272 mm que comparadas con la anterior, 280x165x289 mm, son menores. Su peso también se ha reducido, suponiendo una diferencia de 500 g.

Capítulo 8. BIBLIOGRAFÍA

3.5.2.- Operaciones en el torno. | DPMCM01.- Procesos de mecanizado por arranque de viruta. (s. f.).

https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es_PPFM_DPMC M01_Contenidos/website_352_operaciones_en_el_torno.html

Albornoz Salazar, J. L. (s. f.). Fuerzas desarrolladas en el frenado de vehículos. En *Creando Conciencia*. <https://creandoconciencia.org.ar/enciclopedia/accidentologia/la-fisica-de-la-colision/FUERZAS-DE-FRENADO.pdf>

All About 7075 Aluminum (Properties, Strength and Uses). (s. f.). <https://www.thomasnet.com/articles/metals-metal-products/all-about-7075-aluminum-properties-strength-and-uses/>

BARRA ALUMINIO 7075 T6 REDONDA - Randrade. (s. f.). <https://www.randrade.com/barras/209-barra-aluminio-7075-t6-redonda.html>

Barra De Titanio Ti-5al-2.5sn, El Mejor Precio - Buy Best Price Titanium Rod, Ti-5al-2.5sn, Titanium Rod Ti-5al-2.5sn Product on Alibaba.com. (s. f.). [Vídeo]. https://spanish.alibaba.com/p-detail/best-1600699966962.html?spm=a2700.galleryofferlist.normal_offer.d_title.32e02ff4jZZHBh

Criado Ocaña, E. (2012). *Diseño y cálculo del sistema de frenado para un prototipo formula student* [Trabajo Fin de Grado]. Universidad Carlos III de Madrid.

<https://e-archivo.uc3m.es/handle/10016/14460>

Cro. (2021). Frenos: todos los sistemas y materiales. *QUADIS Recambios*. <https://www.quadisrecambios.es/blog/recambios-originales/frenos-sistemas-materiales/#:~:text=Los%20discos%20de%20freno%20suelen,de%20los%20veh%C3%ADculos%20de%20competici%C3%B3n>

Dany. (2011, 20 abril). Los pedales de un coche de carreras. *MotorAdictos*. <https://www.motoradictos.com/los-pedales-de-un-coche-de-carreras/>

De Expertos, E. M. (2021, 1 mayo). DOT: elige el mejor líquido de frenos para tu coche | Euromaster. *¿Qué significa DOT?* <https://www.euromaster-neumaticos.es/blog/frenos-significado-dot>

Decoletaje, K. (2022, 9 noviembre). *¿Qué es el mecanizado por arranque de viruta? :: Kuzu Decoletaje* [Vídeo]. Kuzu Decoletaje - Mecanizados por decoletaje de precisión. <https://kuzudecoletaje.es/mechanizado-arranque-viruta/>

Den. (2022). Sistema de frenos: dispositivo, explicación, componentes. *Blog del AUTODOC CLUB - consejos e ideas para su coche*. <https://club.autodoc.es/magazin/sistema-de-frenos-dispositivo-explicacion-componentes>

Dobuss. (2022, 1 marzo). Fresadora CNC: Qué es, para qué sirve y características | Cortec. *Mecanizados Cortec*. <https://cortec.es/fresadora-cnc-sirve-caracteristicas/#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20es%20una%20fresadora%20CNC,una%20garant%C3%ADa%20total%20de%20perfecci%C3%B3n>

El líquido de frenos un elemento importante para la seguridad vial. (2012, 27 octubre). Frenosol. <https://frenosol.wordpress.com/2012/10/27/el-liquido-de-frenos-un-elemento-importante-para-la-seguridad-vial/>

El proceso de fresado para la elaboración y fabricación de piezas. (s. f.). Teminsa. <https://www.teminsa.com/blog/274-que-es-el-fresado>

Electrónica del Automóvil. El sensor de guiñada. (s. f.). http://www.sapiensman.com/tecnoficio/electricidad/electricidad_del_automotor19.php

For World Lovers. (2020, 2 noviembre). *¿Qué es la Formula Student?* Pistonudos: Las Mejores Noticias sobre coches, motos y motor. <https://www.pistonudos.com/es/que-es-la-formula-student>

Fresado de ranuras. (s. f.). Sandvik Coroman. <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/groove-or-slot-milling>

FSAE History. (s. f.). <https://www.fsaeonline.com/page.aspx?pageid=c4c5195a-60c0-46aa-acbf-2958ef545b72>

Fuerzas. (s. f.). *Fuerzas En las llantas*. <http://fuerzatransporte.weebly.com/fuerzas.html>

Guerra Morilla, J. A. (s. f.). ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DESARROLLADAS EN EL FRENADO. En *MANUAL TÉCNICO DEL SISTEMA DE FRENADO RH*. https://www.guadalin.es/images/stories/WEB_Mecanica/documentos/STF/Manual_tribologia_Road_House.pdf

History of Formula Student. (s. f.). <https://www.imeche.org/events/formula-student/about-formula-student/history-of-formula-student#:~:text=From%20its%20inception%20in%201981,running%20its%20Formula%20SAE%20programme>

How Brakes Work  *A Guide to Disc and Drum Brakes*. (s. f.). Kwik Fit. <https://www.kwik-fit.com/brakes/information/how-brakes->

¿Qué es el fresado de roscas? (s. f.). Sandvik Coromant.
<https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/threading/thread-milling>

Rueda, M. (2023). ¿Qué es y para qué sirve una máquina fresadora? Suteva.
<https://suteva.com/maquina-fresadora/>

Seguridadpublica. (2010, 16 diciembre). ANÁLISIS DE LAS FUERZAS DESARROLLADAS EN EL FRENADO. - Seguridadpublica. *Seguridadpublica - Seguridad pública española*.
<https://seguridadpublica.es/2010/12/16/analisis-de-las-fuerzas-desarrolladas-en-el-frenado/>

Sistema electrónico de frenado, qué es y cómo funciona. (s. f.). RO-DES. <https://www.ro-des.com/mecanica/sistema-electronico-de-frenado-que-es/>

Tema candente: Conversión de frenos de tambor a frenos de disco. (s. f.). Experto Autorecambios. <https://www.expertoautorecambios.es/magazine/conversion-de-frenos-de-tambor-a-frenos-de-disco-2433>

Tilton 78 Series Master Cylinders - Tilton Brake Master Cylinders - Competition Supplies. (s. f.). <https://www.competitionssupplies.com/tilton-78-series-master-cylinders>

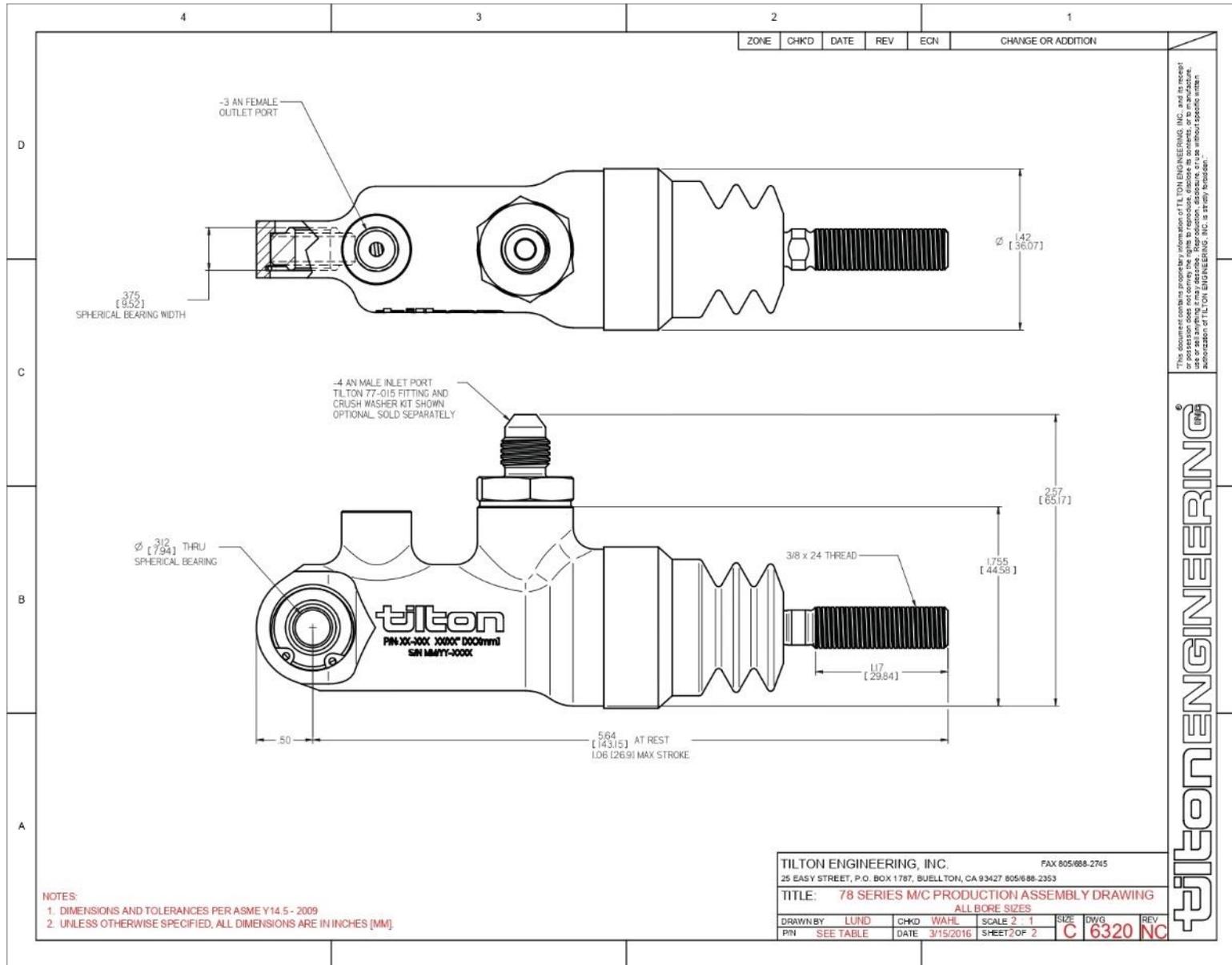
Titanium Alloy Ti 6Al-4V. Datasheet. (s. f.). En *Carpenter technology*.
<https://www.carpentertechnology.com/hubfs/7407324/Material%20Saftey%20Data%20Sheets/Ti%206Al-4V.pdf>

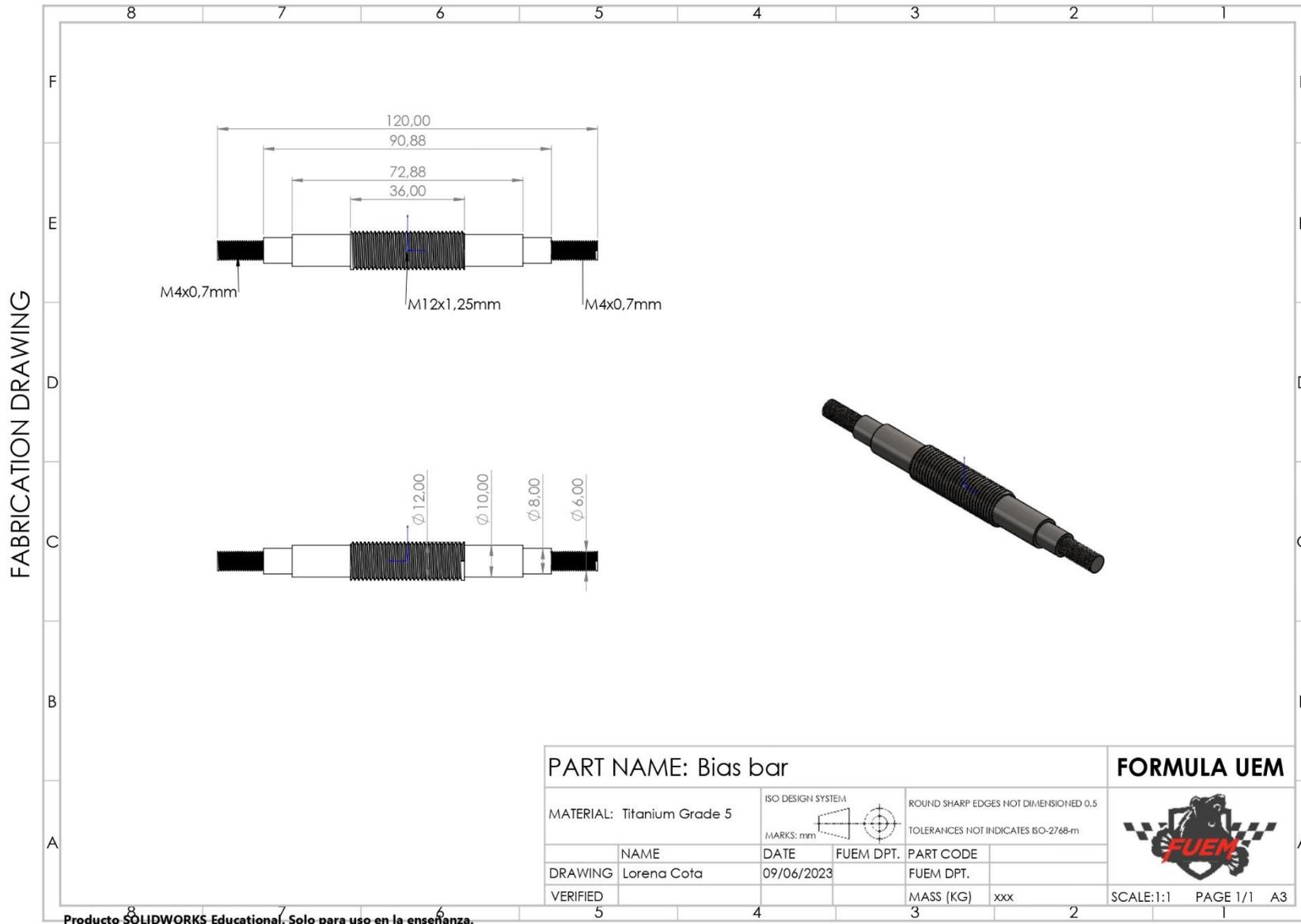
Tornillos Express. (s. f.-a). *Tornillo metales cabeza hexagonal M6X50 Clase 8.8 Acero cincado blanco.* <https://www.tornillos-express.es/tornillo-metales-cabeza-hexagonal-th-clase-88-iso-4017/43567-178075-tornillo-metales-cabeza-hexagonal-m6x50-clase-88-acero-cincado-blanco-3663072071773.html#/79-conditionnement-unitario>

Tornillos Express. (s. f.-b). *Tornillo metales cabeza hexagonal M8X80 Clase 8.8 Acero cincado blanco.* <https://www.tornillos-express.es/tornillo-metales-cabeza-hexagonal-th-clase-88-iso-4017/43656-178433-tornillo-metales-cabeza-hexagonal-m8x80-clase-88-acero-cincado-blanco-3663072072336.html#/79-conditionnement-unitario>

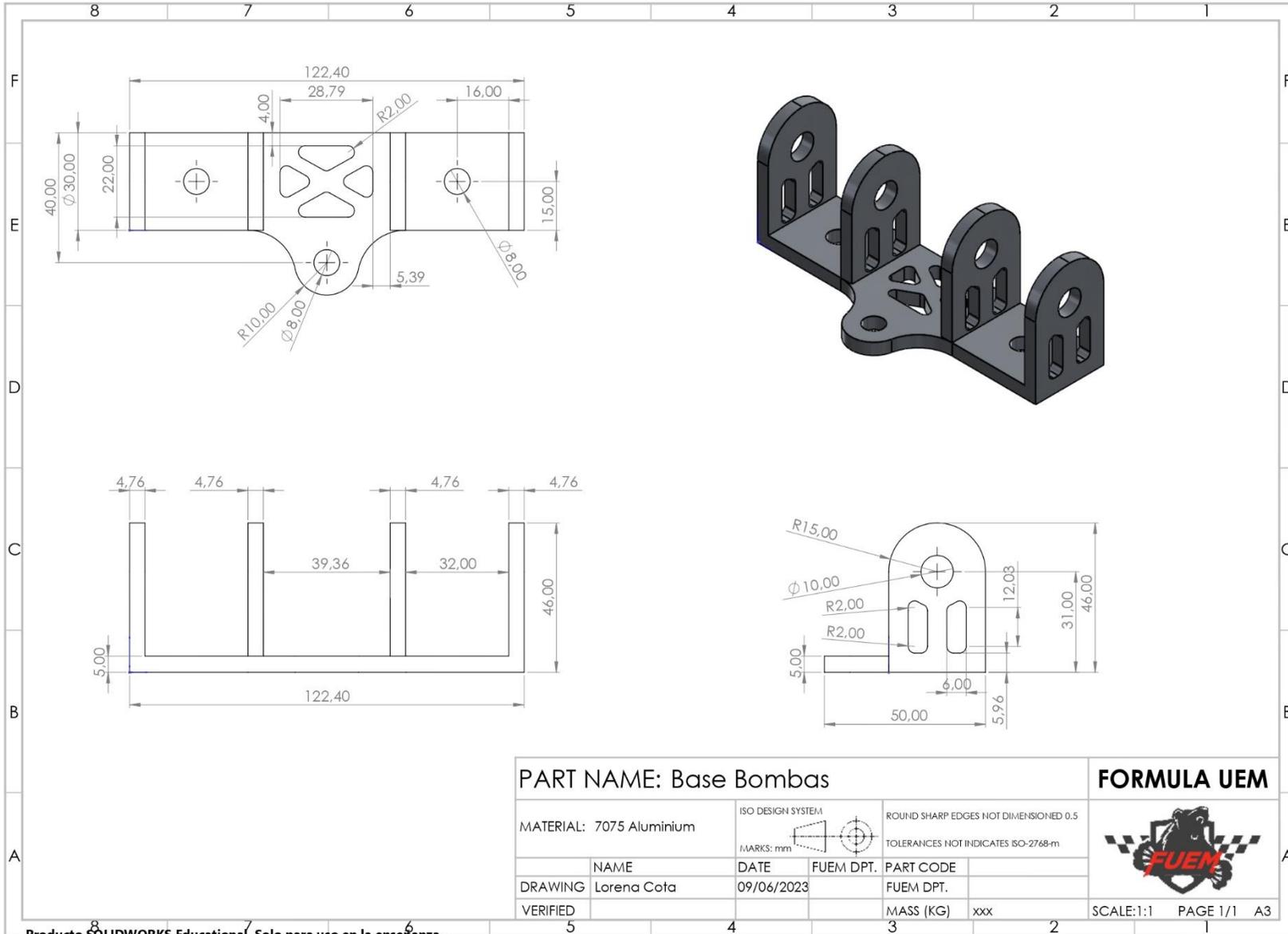
Tornillos Express. (s. f.-c). *Tornillo metales cabeza hexagonal M10X80 Clase 8.8 Acero cincado blanco.* <https://www.tornillos-express.es/tornillo-metales-cabeza-hexagonal-th-clase-88-iso-4017/43094-176223-tornillo-metales-cabeza-hexagonal-m10x80-clase-88-acero-cincado-blanco-3663072069268.html#/79-conditionnement-unitario>

ANEXO I. PLANOS PEDALERA FINAL.





FABRICATION DRAWING



PART NAME: Base Bombas

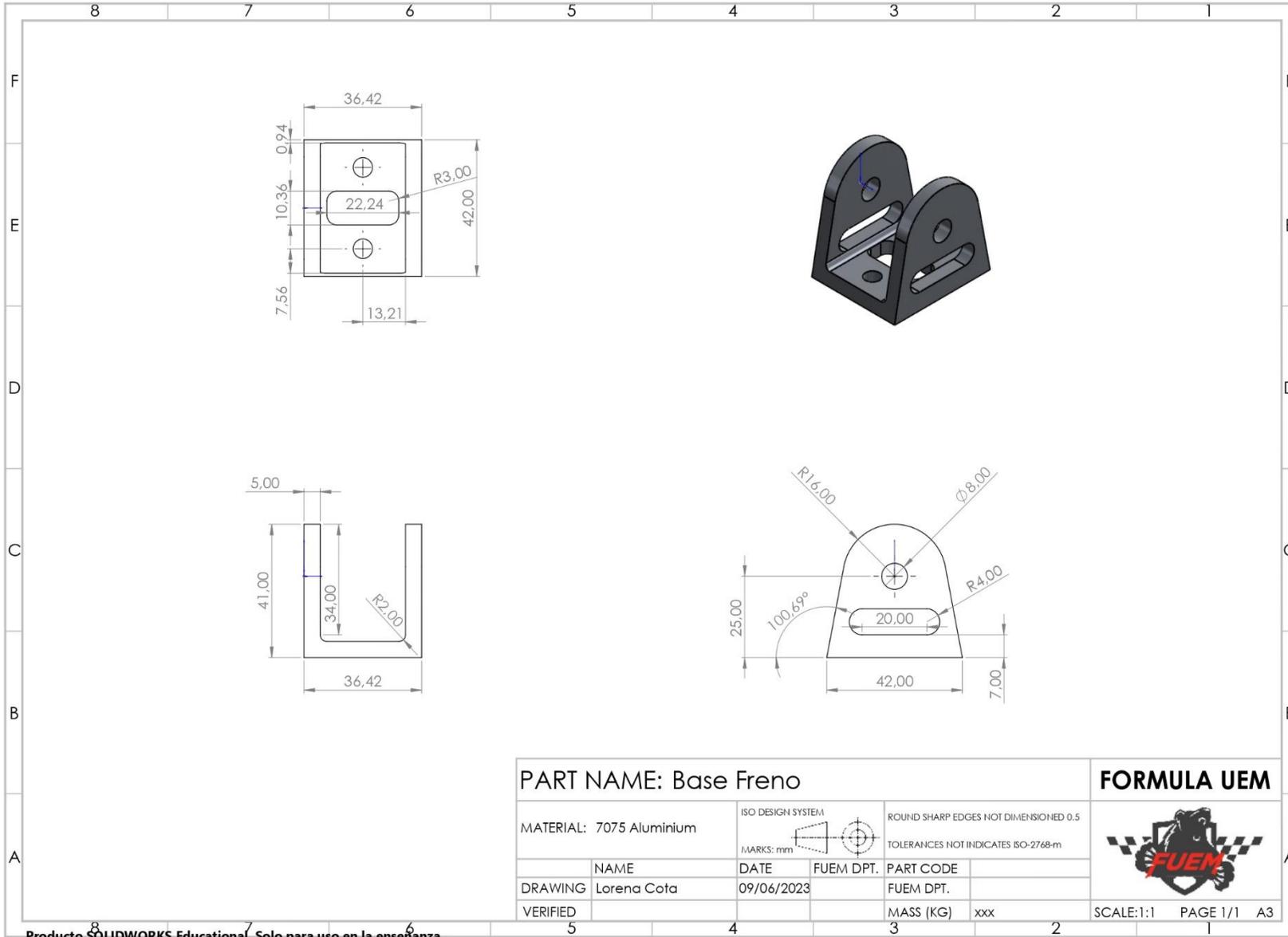
FORMULA UEM

MATERIAL: 7075 Aluminium	ISO DESIGN SYSTEM	ROUND SHARP EDGES NOT DIMENSIONED 0.5	
	MARKS: mm	TOLERANCES NOT INDICATES ISO-2768-m	
NAME	DATE	FUEM DPT.	PART CODE
DRAWING Lorena Cota	09/06/2023		FUEM DPT.
VERIFIED			MASS (KG) xxx



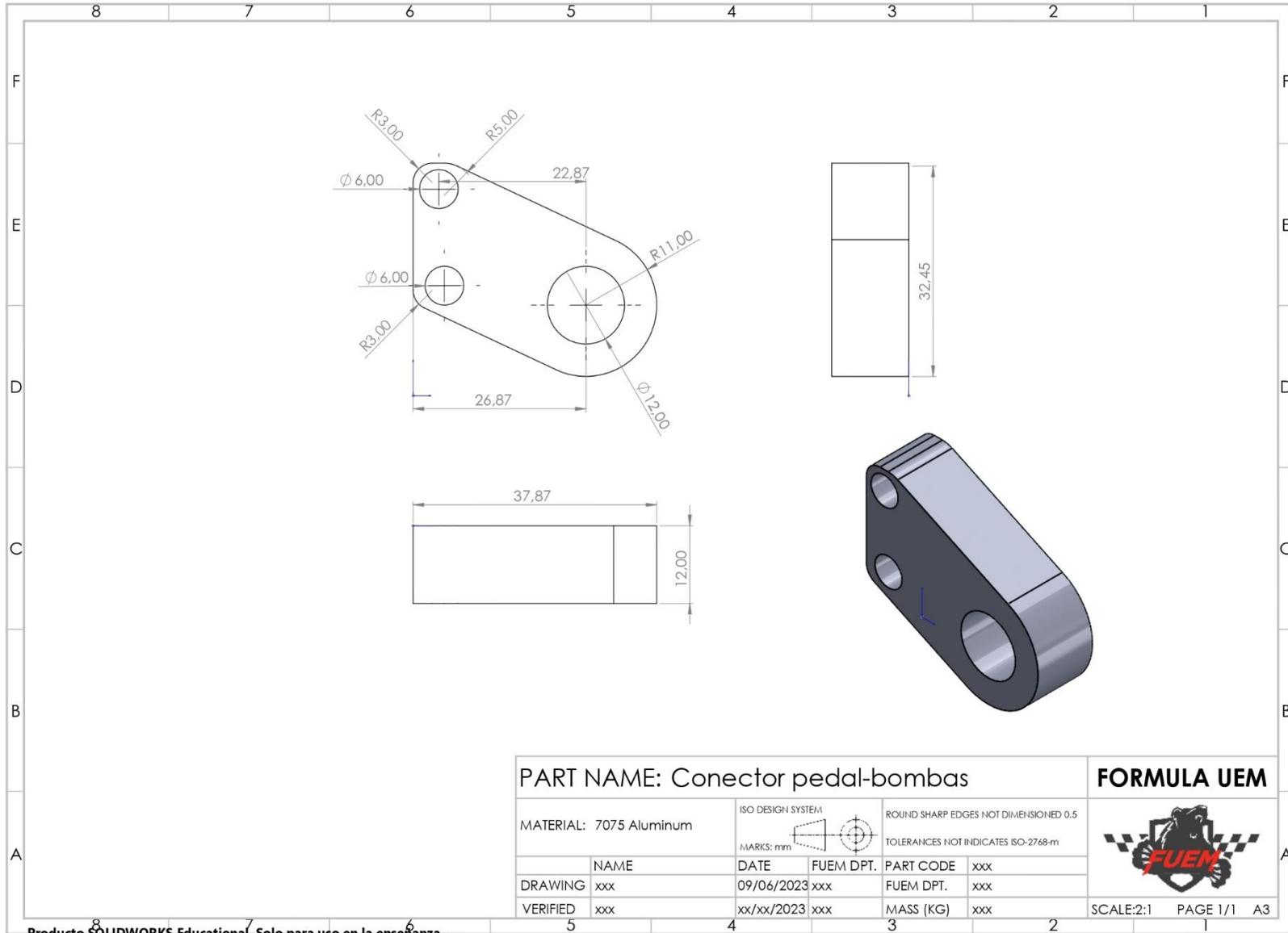
SCALE:1:1 PAGE 1/1 A3

FABRICATION DRAWING

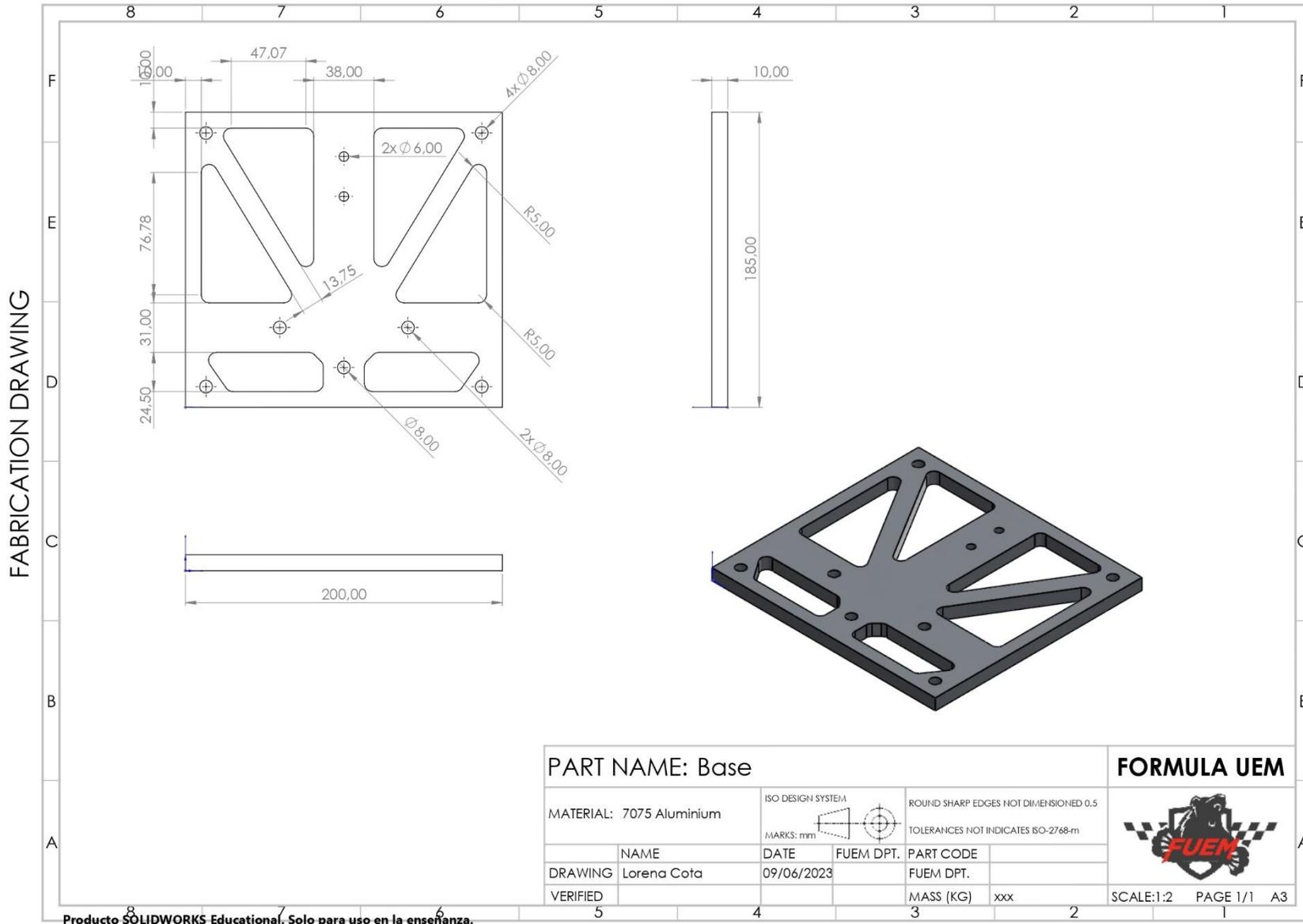


Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.

FABRICATION DRAWING



Producto SOLIDWORKS Educational. Solo para uso en la enseñanza.



ANEXO II. OPTIMIZACIÓN DEL PEDAL DE FRENO DEL FUEM.



UNIVERSIDAD EUROPEA DE MADRID

SCHOOL OF ARCHITECTURE, ENGINEERING AND DESIGN

DEGREE ON INDUSTRIAL ENGINEERING



REPORTE DEL TRABAJO FINAL

OPTIMIZACIÓN DEL PEDALDE

FRENO DEL FUEM

**DAVID HERNANDEZ, CARLOS RODRIGUEZ,
ROGER ANGLADE, ADOLFO SANCHEZ,
VICENTE PLAZA, ANGEL SALDAÑA,
JAVIER PORRES, JAIME UZQUIANO,
GUILLERMO ARENAL**

AÑO 2020 - 2021



TÍTULO: Optimización del Pedal de Freno del FUEM

GRADO: Ingeniería en Sistemas Industriales

CLASE: Prototipado

FECHA: 14/05/2022

Pedal de Freno - Prototipado

2

Índice

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objeto	8
1.2. Planificación	9
2. DISEÑO	12
2.1. Objeto	12
2.2. Alcance	12
2.3. Pedalera original	13
2.4. Diseños preliminares.....	14
2.5. Proceso de Diseño	16
2.6. Diseño CAD Inicial	17
2.7. Diseño CAD Final.....	18
2.8. Planos.....	22
3. SIMULACIÓN.....	24
4. COSTES DE DISEÑO.....	31
5. COSTES DE MATERIAL.....	32
6. RESULTADOS DISEÑO	33
7. CONCLUSIÓN DISEÑO	35
8. FABRICACIÓN.....	37

8.1. Introducción	37
8.2. Prototipo.....	38
8.3. Planificación de fabricación con la CNC	39
8.4. Hoja de procesos.....	40
8.5. Imágenes del proceso.....	42
8.6. Costes de fabricación.....	43
9. Ensayos	46
9.1. Preparación.....	46
9.2. Ensayo.....	48
9.3. Resultados.....	49
9.4. Conclusiones.....	50
10. Anexo.....	50
10.1. Bibliografía	50
10.2. Código G.....	51
10.3. Planos.....	77
10.4. AMFE.....	77

Índice de Figuras

Ilustración 1: grupos de trabajo.....	9
Ilustración 2: Cronogramas.....	11
Ilustración 3: Assembly de Pedalera original	13
Ilustración 4: Pedal de freno original.....	13
Ilustración 5: Primer Croquis.....	14
Ilustración 6: Segundo Croquis.....	15
Ilustración 7: Tercer Croquis.....	15
Ilustración 8: Croquis final.....	16
Ilustración 9: CAD del pedal inicial	18
Ilustración 10: CAD del pedal final.....	19
Ilustración 11: CAD de la Conexión con la bomba de freno	19
Ilustración 12: CAD assembly de piezas modificadas	21
Ilustración 13: Plano del pedal final	22
Ilustración 14: Plano de la Conexión con la Bomba de Freno	23
Ilustración 15: Simulación del pedal original.....	25
Ilustración 16: Simulación del Primer Diseño del Pedal.....	26
Ilustración 17: Von Mises de Simulación frontal del pedal final	28
Ilustración 18: Factor de seguridad frontal del pedal final.....	28
Ilustración 19: Von Mises de Simulación Offset 40/60 del pedal final.....	29
Ilustración 20: Factor de Seguridad de Simulación Offset 40/60 del pedal final	29
Ilustración 21: Máquina HAAS	37
Ilustración 22: Impresión 3D del prototipo	38

Ilustración 23: Prueba prototipo en FUEM.....	39
Ilustración 24: Procesos de mecanizado	40
Ilustración 25: Hoja de procesos.....	41
Ilustración 26: Palpador HAAS	42
Ilustración 27: Proceso Mecanizado I	42
Ilustración 28: Proceso Mecanizado II	43
Ilustración 30: Boceto ensayo.....	47
Ilustración 29: Preparación pedalera	47
Ilustración 31: Prueba presión I	48
Ilustración 32: Prueba presión II	49

Índice de Tablas

Table 1 - Costes de Diseño	27
Table 2 - Costes de Material	29
Table 3 - Comparativa costes Sistema Original vs Sistema Modificado	30

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Objeto

En este informe se busca describir tanto el proceso de diseño, simulación, fabricación y diversos ensayos de un prototipo para el pedal de freno del coche de competición del equipo de la universidad. Se quiere optimizar un pedal, consiguiendo que sea más ligero sin disminuir las prestaciones y cumplir con la normativa reglamentada para la competición FSAE.

Posteriormente, se va a mecanizar el CAD realizado por el equipo de diseño. Para ello, se generará un código NC a partir del CAM del diseño para posteriormente mecanizar mediante fresadora CNC Haas. Por último, se realizará un estudio sobre alternativas a este proceso y se elaborará una estimación de los costes de la fabricación de la pieza en las distintas alternativas.

Una vez realizadas estas dos primeras partes, hay que comprobar que la pieza fabricada cumple con la normativa para poder competir. Para comprobar que la pieza cumple con los parámetros establecidos por el reglamento (soportar 200 N), se realiza un ensayo de compresión que simula una fuerza aplicada por el pie en este caso de uno de los jueces, para comprobar que soporta dicha fuerza.

1.2. Planificación

Este proyecto se ha realizado dividiendo a los participantes del grupo en 3 equipos diferentes.

COORDINADOR: ANGEL SALDAÑA

EQUIPO DISEÑO:

- ROGER ALEXANDRE
- CARLOS RODRIGUEZ
- DAVID HERNANDEZ

EQUIPO SIMULACIÓN:

- JAIME UZQUIANO
- INES GOMEZ
- GUILLERMO ARENAL

EQUIPO FABRICACIÓN:

- ADOLFO SANCHEZ
- VICENTE PLAZA
- JAVIER PORRES

Ilustración 1: grupos de trabajo

AMFE

Función	Modo de fallo	Efecto	S	Causa	O	Detección	D	NPR	Acciones
Capaz de soportar X kN	No soporta los X kN	Fallo en la prueba	3	Diseño no ok	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Materia no ok	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Proceso fabricación no ok	1,5	Medidas	1,5	6,75	Ensayo en máquina de tracción-compresión
			3	Proceso montaje no ok	1,5	Medidas	1,5	6,75	Analizar causa y registrar
Permite fijar cable de actuación	Que no se pueda fijar	No sostiene	3	Mal diseño	1	Pruebas	1	3	Rediseño de plano
			3	Mal diseño	1	Pruebas	2	4	Rediseño de plano
Frenillo regular cable	Que no se pueda regular	Faca precisión	3	Mal diseño	1	Pruebas	2	4	Rediseño de plano
Tope mecánico para acelerador	Excesivo canto Insuficiente canto	Limitación en rango de actuación	2,5	Mal diseño	1		2,5	6,25	Rediseño de plano
			3	Mal diseño	1		3	Rediseño de plano	
Fijación de placa de acelerador a la estructura	Que no se fije al chasis	no se puede instalar freno	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Mal montaje	1,5	Medidas	1	4,5	Analizar causa y registrar
			3	Mal fabricación	1,5	Medidas	1	4,5	Reevaluación proceso
Tamaño de pedal razonable (Ancho)	Pedal sobredimensionado Pedal pequeño	Piloto no agrieta toda la superficie Tiempo que buscar el pedal	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Mal montaje	1,5	Medidas	1,5	6,75	Analizar causa y registrar
			3	Mal fabricación	1,5	Medidas	1,5	6,75	Reevaluación proceso
Accesibilidad para reparación	No es accesible para reparar	Mayor tiempo de reparación Mayor trabajo	3	Mal diseño	1	Medidas	2,5	7,5	Rediseño de plano
			3	Mal diseño	1	Medidas	2,5	7,5	Rediseño de plano

Una vez realizado el Análisis Modal de Fallos y Efectos, se toma una decisión sobre las acciones que se van a tomar. Estas decisiones se toman en base al Risk Priority Number más alto.



Para el seguimiento continuo del proyecto, se ha realizado un cronograma, el cual se ha ido actualizando a medida que los objetivos del proyecto se iban cumpliendo o bien retrasando.

Cronograma			SEMANAS						
Nombre de la actividad	RESP	FECHA DE ENTREGA	18	19	20	21	22	23	
DISEÑO 3D	DISEÑO	06/05/2022	█						
CÁLCULO FEM	DISEÑO	06/05/2022	█						
DISEÑO DEFINITIVO 3D/2D	DISEÑO	06/05/2022	█						
FABRICACIÓN	FABRICACIÓN	20/05/2022		█	█	█			
PROTOTIPO PLA	FABRICACIÓN	20/05/2022		█	█	█			
COSTES	FABRICACIÓN	02/06/2022					█	█	
PLAN DE VERIFICACIÓN	SIMULACIÓN	05/05/2022	█						
ÚTILES DE ENSAYO	SIMULACIÓN	05/05/2022	█						
ENSAYOS	SIMULACIÓN	26/05/2022					█	█	
CONFIGURACIÓN	GRUPO	26/05/2022					█	█	
REDACCIÓN	GRUPO	02/06/2022						█	
REVISIÓN	GRUPO	09/06/2022						█	
ENTREGA	GRUPO	09/06/2022						█	

Ilustración 2: Cronogramas

Cronograma			SEMANAS						
Nombre de la actividad	RESP	FECHA DE ENTREGA	18	19	20	21	22	23	
DISEÑO 3D	DISEÑO	06/05/2022	█						
CÁLCULO FEM	DISEÑO	06/05/2022	█						
DISEÑO DEFINITIVO 3D/2D	DISEÑO	06/05/2022							
FABRICACIÓN	FABRICACIÓN	26/05/2022		█	█	█			
PROTOTIPO PLA	FABRICACIÓN	20/05/2022		█	█	█			
COSTES	FABRICACIÓN	02/06/2022					█	█	
COSTES DISEÑO	DISEÑO	02/06/2022					█	█	
COSTES MATERIALES	DISEÑO	02/06/2022					█	█	
COSTES FABRICACIÓN	FABRICACIÓN	02/06/2022					█	█	
PLAN DE VERIFICACIÓN	SIMULACIÓN	05/05/2022	█						
ÚTILES DE ENSAYO	SIMULACIÓN	05/05/2022	█						
ENSAYOS	SIMULACIÓN	02/06/2022					█	█	
CONFIGURACIÓN	GRUPO	26/05/2022					█	█	
REDACCIÓN	GRUPO	02/06/2022						█	
REVISIÓN	GRUPO	09/06/2022						█	
ENTREGA	GRUPO	09/06/2022						█	

Pedal de Freno - Prototipado

2. DISEÑO

2.1. Objeto

En este informe se busca describir tanto el proceso de diseño, simulación, fabricación y diversos ensayos de un prototipo para el pedal de freno del coche de competición del equipo de la universidad. Se quiere obtener un pedal más ligero sin disminuir las prestaciones y cumplir con la normativa reglamentada para la competición FSAE.

2.2. Alcance

Incluiremos:

- Desarrollo de ideas iniciales. En estas discutimos varias opciones y configuraciones hasta decidir una idea final para el primer prototipo.
- Diseño detallado del pedal. Definiremos dimensiones y geometría del pedal en SolidWorks para su futura producción.
- Diseño de piezas directamente afectadas por el rediseño del pedal.
- Simulaciones para asegurar cumplimiento. Adjuntaremos los distintos estudios que demuestran que el diseño final cumple con los requisitos.

No incluiremos:

- El diseño del resto de piezas que no se ven afectadas por el rediseño del pedal

2.3. Pedalera original

El pedal de partida es el siguiente diseño:



Ilustración 4: Pedal de freno original

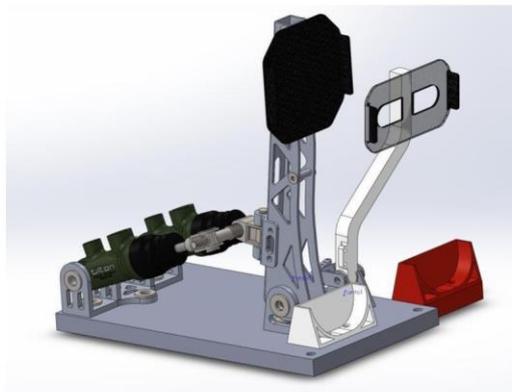


Ilustración 3: Assembly de Pedalera original

El diseño está bastante optimizado pesando el pedal unos 88g y el ensamblaje de las piezas que vamos a modificar son unos 197,52g. Este ensamblaje está compuesto por el pedal, la junta principal, las juntas para rigidizar, la pieza de conexión a la bomba y la sujeción a la base de la pedalera. El problema con este diseño es que

Pedal de Freno - Prototipado

13



haciendo la simulación vemos que no cumple. Por eso el modelo fabricado esta doblado sin tener demasiado uso.

2.4. Diseños preliminares

Para empezar el diseño del pedal hemos hecho varios croquis con diseños inspirados en pedaleras de simulación existentes. Los croquis que fueron saliendo de distintas ideas son los siguientes:

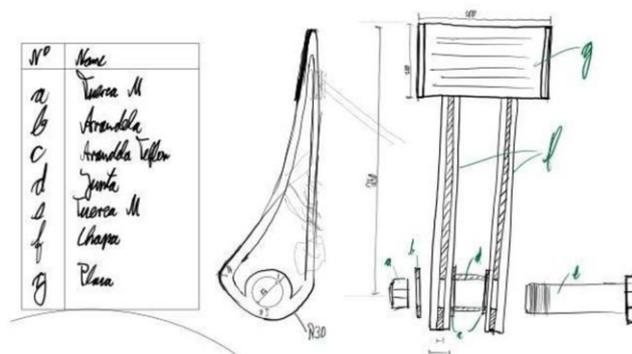


Ilustración 5: Primer Croquis

Del primer diseño nos dimos cuenta de que había muchas zonas sobredimensionadas. Por eso repetimos un poco la geometría del pedal, pero con modificaciones especialmente en el la parte inferior.

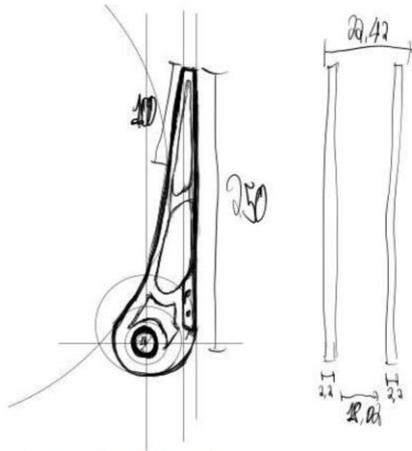


Ilustración 6: Segundo Croquis

Vimos que también podíamos disminuir la métrica del tornillo principal y discutimos diferentes formas de reforzarlo.

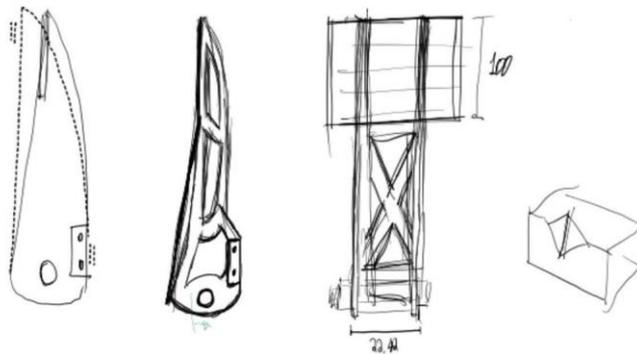


Ilustración 7: Tercer Croquis

Pedal de Freno - Prototipado

15

Después de esto llegamos a la idea de colocar la pieza que une la bomba en la parte posterior del pedal (la misma que donde pisa el piloto). Teniendo un diseño de idea final como el siguiente.



Ilustración 8: Croquis final

Combinando partes de los croquis llegamos a un diseño que llevamos al CAD.

2.5. Proceso de Diseño

Tras tener claras las ideas después de discutir y hacer cambios en los croquis, hemos iniciado con el diseño del CAD (Computer Assited Design). El procedimiento que hemos llevado ha sido empezar con un diseño inicial parecido al croquis y realizar



simulaciones para saber que se debe ir modificando en el diseño. Hemos realizado múltiples diseños y estudios para modificar y cumplir los objetivos sin añadir demasiado peso. Además de esto, en algunas clases hemos revisado el progreso y nos han dado más ideas para hacer modificaciones y mejoras. Por ejemplo, hemos modificado la zona de la junta principal donde se pone el tornillo que engancha el pedal a la base de la pedalera, por dificultad de fabricación y para cambiar resultados en la rigidez.

En el informe hemos decidido solo colocar el diseño con el que hemos empezado y el diseño final, ya que colocar y explicar todos los cambios que hemos realizado generaría un informe demasiado extenso con datos que realmente no son demasiado importantes.

2.6. Diseño CAD Inicial

El primer diseño que hicimos fue un pedal realmente sencillo. Lo que queríamos era conseguir reducir el peso de forma exagerada, para ver con la simulación donde teníamos que reforzar.

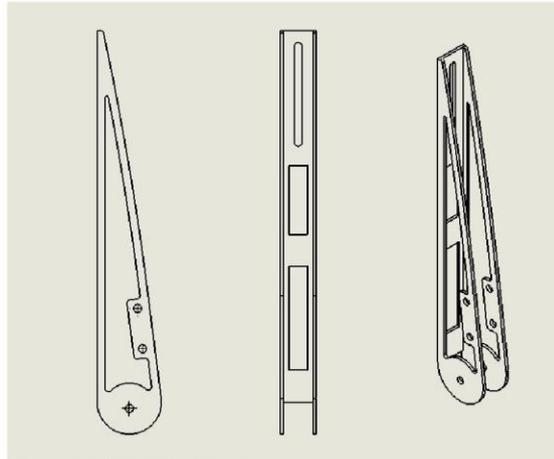


Ilustración 9: CAD del pedal inicial

Como se puede observar el pedal es ultraligero y se observa sin hacer ningún cálculo que no va a cumplir. Partiendo de esta forma inicial hemos realizado cambios y cálculos con la simulación para ver cómo afectan estos cambios.

2.7. Diseño CAD Final

Hemos ido realizando cambios significativos pasando de versión hasta la quinta y en cada versión hemos realizado varias pruebas con cambios menos drásticos como posicionamientos de agujeros para aligerar o grosores. En total hemos realizado más de 30 estudios probando y cambiando dimensionamiento, posiciones y geometrías. Consiguiendo finalmente un pedal que cumple las especificaciones. El diseño es el siguiente:



Ilustración 10: CAD del pedal final

El rediseño del pedal además genera cambios a la pieza que conecta el pedal a la bomba. El diseño de esta es el siguiente:

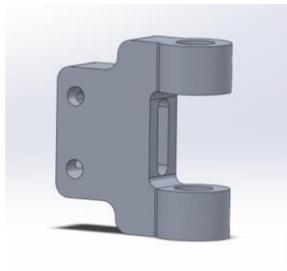


Ilustración 11: CAD de la Conexión con la bomba de freno

Pedal de Freno - Prototipado

19



La pieza donde se une el pedal a la base de la pedalera también tiene cambios ya que el pedal nuevo es mucho más delgado que el original.

El enganche a la base de la pedalera también sufre un cambio y es la anchura de la ranura donde entra el pedal de freno ya que el nuevo diseño es 4mm más delgado.

Teniendo el diseño final del pedal, enviamos el CAD al grupo de fabricación para que buscaran el bruto disponible en el taller y empezaran su proceso. Nos notificaron que el bruto disponible requiere que el pedal sea 2mm más delgado. Por esto realizamos los cambios necesarios para que siga cumpliendo y pueda ser fabricado con el bruto elegido.

Centrándonos en el diseño del pedal los cambios principales que ha sufrido son los siguientes:

- Panel de refuerzo entre placas en el lado de contacto con el pie del piloto para facilitar anclaje de placa para pie
- Forma simplificada y taladros de aligerado en vez de geometrías más complejas para mayor facilidad de mecanizado
- Posicionamiento de la pieza de conexión a la bomba colocada entre las placas para añadir refuerzo y disminuir tamaño
- Taladro de anclaje principal a la placa de la pedalera de menor diámetro para disminución de peso en la junta y en el tornillo de fijación
- Dimensiones finales disminuidas



Ilustración 12: CAD assembly de piezas modificadas

La pieza que conecta a la bomba también ha sufrido muchos cambios por lo que también hemos realizado los planos para que en un futuro se pueda fabricar por parte del equipo del FUEM. El plano es el siguiente:

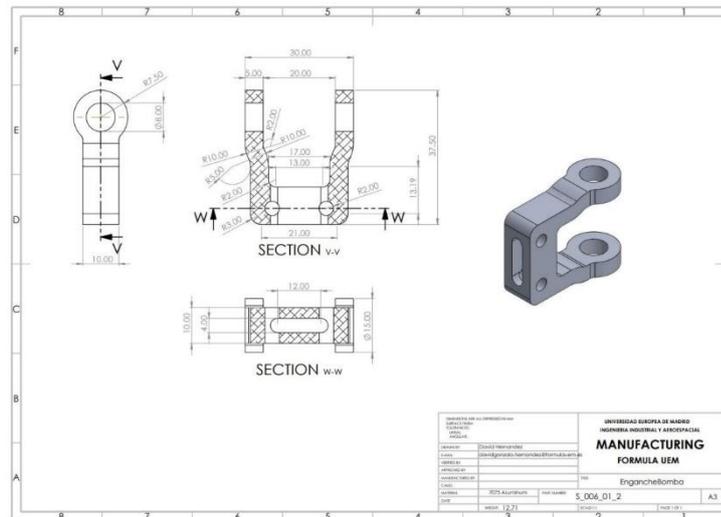


Ilustración 14: Plano de la Conexión con la Bomba de Freno

Hemos conseguido reducir el peso de esta pieza de 24,78g a 12,71g. Esto supone casi un 50% menos de peso. El rediseño del pedal nos permite ser más libres a la hora de diseñar esta pieza, por lo que hemos sido capaces de reducir de una manera considerable su peso.

Por último, debemos tener en cuenta que eliminamos tres tornillos con sus respectivas juntas y tuercas que rigidizaban el pedal original. Además, la junta principal que se



encuentra donde se ancla el pedal a la base de la pedalera se ve reducida en diámetro y en longitud. Una vez fabricado debemos ver que holgura hay y proporcionar arandelas de teflón para disminuir al máximo ese juego.

3. SIMULACIÓN

Para realizar los estudios de la pedalera utilizamos la extensión de simulación de SolidWorks. Con esta simulación generamos un estudio estático sobre el pedal.

En el estudio del pedal solo intervienen cuatro piezas:

- Base de la pedalera
- Conexión bomba-pedal
- Pedal
- Placa de apoyo para pie del conductor

Condiciones de contorno:

- La conexión bomba-pedal es fijada en la conexión con la bomba de manera completa
- La conexión bomba-pedal tiene conexiones con el pedal a través de pasadores
- La base de la pedalera es fijada en la cara inferior de manera completa
- La base tiene una conexión con el pedal a través de un pasador
- La placa de apoyo para el pie del piloto se considera como si fuese una pieza con el pedal en su conexión

Casos de estudio:

- Carga frontal de 2,5 KN en el apoyo del pie del conductor
- Carga frontal con un reparto 60-40% 2,5/2,2/2,15 KN en el apoyo del pie del conductor

Materiales:

- Todas las piezas son de Aluminio 7075 T6 debido a que es el utilizado por el cliente y el cual tienen a disposición para el proyecto

Proceso:

Para comenzar realizamos el estudio de caso 1 para comprobar el pedal original.

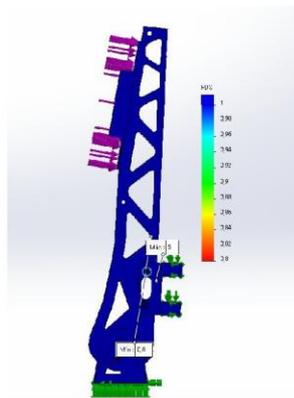


Ilustración 15: Simulación del pedal original

Pudimos comprobar que el pedal no era capaz de superar esta prueba, pero nos sirvió para realizar una lluvia de ideas para mejorar el diseño.

El primer diseño decidimos hacerlo lo más ligero posible para poder tomarlo de referencia en cuanto a las zonas más afectadas del pedal por las cargas, y así añadir material en dichas zonas para reforzarlo.

En el caso de este diseño solo realizamos la prueba frontal de 2,5 KN porque observamos que no era capaz de resistirlo, y no era necesario realizar el 2º caso.

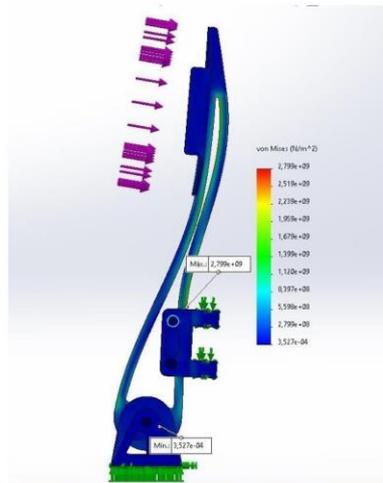


Ilustración 16: Simulación del Primer Diseño del Pedal

Como se puede observar en la imagen el pedal no soportaría las cargas y se deformaría excesivamente, pero gracias a este diseño observamos que las paredes laterales necesitan ser reforzadas para soportar las tensiones frontales.

Para el proyecto el requisito era superar la prueba de 2,5 KN frontales y en una distribución de 60-40% debido a que el anterior pedal sufrió de cargas de ese tipo y fallo en las mismas.



La normativa nos habla de superar los 2 KN, pero hemos decidido aumentarlo a 2,5 KN por seguridad del conductor y por posibles defectos del material a la hora de fabricarlo.

Aunque uno de los últimos diseños superaba los 2,5 KN nos dimos cuenta de que superaba en peso al original de manera notoria. Por eso hemos decidido bajar los requisitos a 2,2 kN en la simulación 60-40%, y así poder aligerar el pedal teniendo en cuenta que seguimos pasando el requisito principal de la normativa de 2kN de fuerza. Una vez ha sido comprobado que el diseño supera los estudios con un factor de seguridad de 1 o superior, se lo comunicamos al equipo de fabricación, los cuales nos dijeron que el bruto disponible tenía un ancho menor al diseñado. Por ello nos vimos obligados a rediseñar el pedal para hacerlo más estrecho y todavía superar los estudios.

En este estudio se redujo la fuerza en el 60-40% de 2,2 KN a 2,15KN para obtener un factor de seguridad de 1 o mayor.

Diseño final:

Caso 1:

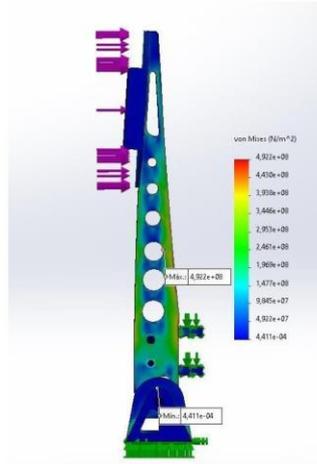


Ilustración 17: Von Mises de Simulación frontal del pedal final

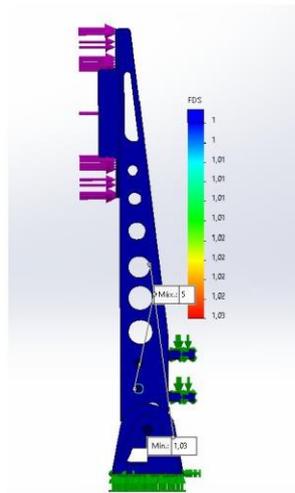


Ilustración 18: Factor de seguridad frontal del pedal final

Pedal de Freno - Prototipado

28

Caso 2:

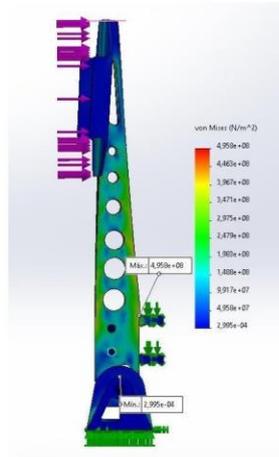


Ilustración 19: Von Mises de Simulación Offset 40/60 del pedal final

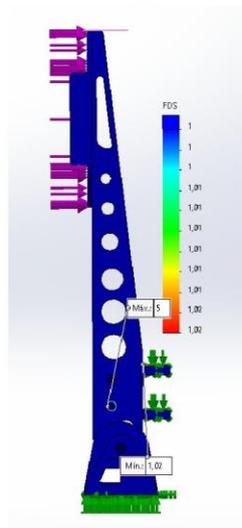


Ilustración 20: Factor de Seguridad de Simulación Offset 40/60 del pedal final

Pedal de Freno - Prototipado



Este pedal supera la prueba de 2,5 KN frontales y 2,15 KN en 60-40% con lo cual lo consideramos de manera exitosa el diseño final del pedal.

Como se puede observar las cargas han sido distribuidas en las paredes laterales y se han incluido varios vaciados para optimizar el peso sin perder funcionalidad. En ninguna de las imágenes se pueden observar puntos centralizados de cargas excesivas con lo cual el diseño es correcto y valido.

4. COSTES DE DISEÑO

En cuanto a los costes de diseño hemos tenido en cuenta las horas de ingeniería utilizadas, las horas de estudio necesarias y el coste de programa. En cuanto al coste por hora de ingeniería fue sugerido por Ángel Enríquez al igual que el coste de estudio el cual es un 20% superior al de ingeniería. Por último, para el coste de programa el cual es SolidWorks, asumimos que el programa solo habría que pagar el mantenimiento de este, con lo cual el precio no es el de la licencia total [3].

Table 1 - Costes de Diseño

DEFINICIÓN		UNIDAD
HORAS DE INGENIERÍA	40	hora
HORAS DE ESTUDIO	20	hora
PRECIO DE INGENIERÍA/HORA	50	euro/hora
PRECIO DE ESTUDIO/HORA	60	euro/hora
PRECIO INGENIERÍA	2000	euros
PRECIO ESTUDIO	1200	euros
PROGRAMAS	2250	euros
COSTE TOTAL	5450	euros

5. COSTES DE MATERIAL

El coste del material se mide con las dimensiones del bruto de la pieza, su coste de compra y la chatarra tras el mecanizado que se puede vender para recuperar gastos. Hemos hecho el cálculo del bruto del pedal original y del nuevo. En ambos hemos calculado su coste para un mecanizado en CNC, aunque el primer pedal haya sido fabricado a partir de una chapa.

Las dimensiones del bruto necesario para el pedal original son de 266x23x50mm.

Las dimensiones del bruto necesario para el nuevo pedal son de 244x20x28mm.

El precio por kg de aluminio 7075 T6 según el vendedor [1] de una página web es de 13,94€. La densidad de este material es de 2810kg/m³ por lo que con el volumen del bruto de cada diseño nos determina el coste de cada uno.

Según la página web [2] el coste al que podemos vender la viruta esta entre 0,7€ y 1,8€. Hemos tomado como coste de viruta 1,2€

6. RESULTADOS DISEÑO

A continuación, realizamos una tabla de comparación de peso y dimensiones de bruto para la fabricación del pedal, teniendo planificado hacerlo mediante mecanizado CNC. En esta tabla veremos cuanto hemos conseguido disminuir las piezas afectadas por el rediseño del pedal y ver el total ahorrado. También podemos comparar mediante el tamaño del bruto y chatarra, el coste en material que supone el cambio de dimensiones.

Table 2 - Costes de Material

PIEZA	PESO [G]	VOLUMEN [M ³]	VOLUMEN BRUTO [M ³]	COSTE BRUTO [€]	COSTE CHATARRA [€]	COSTE TOTAL €
PEDAL ORIGINAL	88	3.13E-05	3.06E-04	11.98	0.93	11.06
ENGANCHE BOMBA O.	24.78	8.82E-06	4.08E-05	1.60	0.11	1.49
ENGANCHE BASE O.	75.35	2.68E-05	1.68E-04	6.61	0.48	6.13
PEDAL V5.7	83.05	2.96E-05	1.37E-04	5.35	0.36	4.99
ENGANCHE BOMBA V2.2	12.71	4.52E-06	1.71E-05	0.67	0.04	0.63
ENGANCHE BASE V2.0	73.45	2.61E-05	1.33E-04	5.20	0.36	4.84

Resumiendo, los resultados obtenemos la siguiente tabla comparativa:

Table 3 - Comparativa costes Sistema Original vs Sistema Modificado

PIEZAS	PESO TOTAL [G]	COSTE TOTAL [€]
ORIGINALES	188.13	18.68
MODIFICADAS	169.21	10.46
DIFERENCIA	18.92	8.22

Como podemos observar ahorramos casi 19g de peso total del sistema siendo esto un 10% de mejora. En cuanto al coste hemos disminuido la cantidad en un 44%.

7. CONCLUSIÓN DISEÑO

Para concluir el informe podemos decir que hemos cumplido con los requisitos dados por el "cliente" y la normativa. Hemos conseguido bajar el peso del sistema y a su vez hemos mejorado los resultados a la hora de simular para conseguir que el pedal pase la prueba de la pisada de 2kN con un factor de seguridad de 1.25. Para un vehículo de competición como el monoplace del FUEM este coeficiente de seguridad es suficiente ya que buscamos tener piezas al límite de forma que el peso disminuya. Si este fuera un pedal para un coche que se va a producir en serie habría que asegurarse de subir el factor de seguridad para no arriesgar y tener un gran número de fallos.

Como grupo de diseño y simulación hemos hecho lo posible para no dificultar al grupo de fabricación. Hemos buscado simplificar la forma del pedal lo suficiente para que no sea una labor imposible de llevar a cabo. Como hemos tenido en la cabeza fabricar las piezas con una CNC hemos diseñado acorde para que sea posible fresar con la máquina de 3 ejes de la universidad. En el caso de poder haber fabricado mediante corte laser y doblado podríamos haber tenido muchas más libertades en las geometrías, especialmente en las zonas donde buscábamos rebajar el peso.

Hemos visto que el trabajo de diseño va muy de la mano con la simulación ya que sin ello no podríamos ver donde está fallando la pieza y donde podemos quitar material. Además de haber trabajado en conjunto realizando simulación tras rediseño tras



simulación, hemos puesto a prueba la capacidad de comunicación dentro del grupo para realizar estas tareas y cambios lo más eficaz posible.

Como mejoras para futuros diseños, siempre se puede seguir haciendo cambios y estudios e ir ajustando al mínimo detalle la pieza hasta que ya no se pueda más. Pero esto requiere de mucho más tiempo del que teníamos disponible. También los límites de fabricación afectan mucho a la hora de realizar geometrías complejas. En el mejor de los casos si fuese posible trabajar con un sistema de impresión en metal (por normativa el pedal tiene que serlo), podríamos ir al extremo de calcular la forma del pedal con diseño generativo por ordenador. Este es un diseño orgánico en el que el PC calcula exactamente dónde debe colocar material para que la pieza cumpla con los requisitos dados. Esta forma de diseñar es de lo más eficiente, pero a la vez de lo más complejo una vez queremos llevarlo a producción.

Resumiendo, en el informe hemos incluido el proceso detallado que hemos efectuado para el diseño del pedal mediante iteraciones de diseño CAD y simulación con el programa SolidWorks. Podemos decir que hemos cumplido con el objetivo de nuestro grupo del proyecto.

8. FABRICACIÓN

8.1. Introducción

En esta parte del proyecto se fabrica la pedalera que monta el fórmula de la Universidad Europea de Madrid. Para ello, se estudian distintas alternativas de mecanizado para obtener la más conveniente en cuanto a tiempo de fabricación y coste. Se realiza también un prototipo en impresora 3D en PLA.

El diseño de la pedalera lo realiza el equipo de diseño.



Ilustración 21: Máquina HAAS

Pedal de Freno - Prototipado

37

8.2. Prototipo

Una vez obtuvimos el diseño de nuestros compañeros empezamos con la fabricación del prototipo, para el cual decidimos usar una impresora 3D e imprimirlo en PLA, de esta manera pudimos llegar a la decisión de que la pieza se ajustaba a los parámetros preliminares como podrían ser el anclaje y la posición correcta.



Ilustración 22: Impresión 3D del prototipo

Pedal de Freno - Prototipado

38



Ilustración 23: Prueba prototipo en FUEM

Una vez probado el prototipo en el coche, haber tenido una reunión del equipo de proyecto completo y con los responsables del fórmula UEM, se da el visto bueno para realizar la fabricación de este en aluminio 7075.

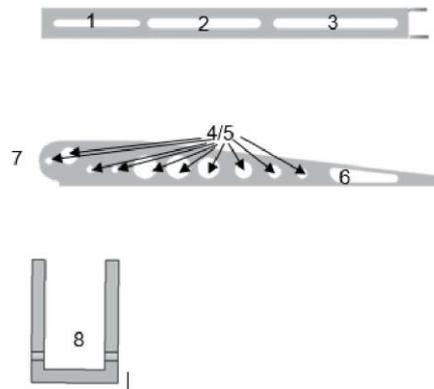
8.3. Planificación de fabricación con la CNC

En primer lugar, se habló con el encargado del taller de la universidad donde se encuentra la CNC para la fabricación definitiva, el primer problema que encontramos es que no había bruto disponible con las medidas que había, se habló con los compañeros de diseño para que modificaran el mismo y poder mecanizar con el material que hay en la universidad.

Una vez obtenido la versión correcta de diseño se preparó el siguiente código necesario para introducir en la máquina de proceso, esto se hizo con el programa de diseño CatiaV5.

8.4. Hoja de procesos

A continuación, se muestra un índice de las operaciones y la hoja de procesos utilizada en el taller.



- Procesos:
- 1- Cajado 1
 - 2- Cajado 2
 - 3- Cajado 3
 - 4- Marcar taladros
 - 5- Taladros $\varnothing 4/6/7.5/10/12/14$
 - 6- Cajado triangular
 - 7- Contorneado
 - 8- Cajado

Ilustración 24: Procesos de mecanizado

Prototipado, Simulación y ensayos				Año 2022			
Realizado por:							
Comprobado por: Daniel Gualoto Condor							
Denominación:							
Material:							
Medidas Bruto: 243,5X20X28 mm							
Proceso de mecanizado							
							
Fase	Subfase	Operación	Definición del proceso	Máquina	Hta	Vc m/min	RPM
1	1	1	Cortar Bruto	Sierra	-	-	-
2	1	1	Cajeado 1	Fresadora	Fresa Ø6	800	2400
2	1	2	Cajeado 2	Fresadora	Fresa Ø6	800	2400
2	1	3	Cajeado 3	Fresadora	Fresa Ø5	700	2400
2	2	1	Marcar taladros	Fresadora	Broca de centrar Ø4	700	2400
2	2	2	Realizar taladros pasantes	Fresadora	Brocas Ø4/6/7.5/10/12.5/14	450-700	1000-1500
2	2	3	Realizar cajeado triangular	Fresadora	Fresa Ø6	800	2500
2	3	1	Realizar cajeado triangular	Fresadora	Fresa Ø6	800	2500
2	3	2	Contorneado desbaste	Fresadora	Fresa Ø 50	1000	2500
2	3	3	Contorneado acabado	Fresadora	Fresa Ø8	900	2500
2	4	1	Cajeado	Fresadora			2400

Ilustración 25: Hoja de procesos

8.5. Imágenes del proceso

Los centros de las piezas se hallaron con el palpador Haas.



Ilustración 26: Palpador HAAS

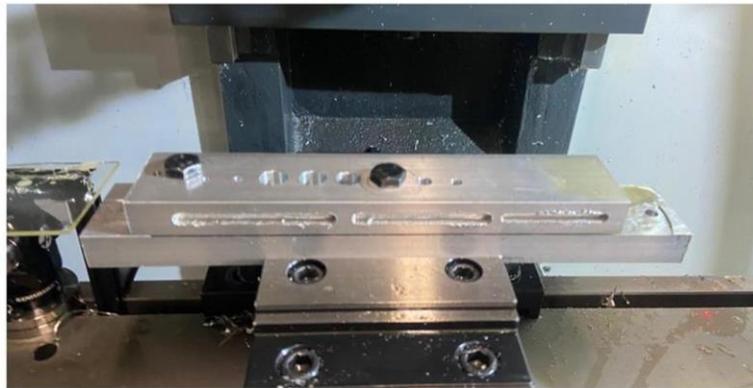


Ilustración 27: Proceso Mecanizado I

Cabe mencionar que el proceso de los agujeros se realizó con agujeros pasantes por lo que no hubo que girar la pieza.



Ilustración 28: Proceso Mecanizado II

Dejándonos el resultado mostrado, y que posterior mente se entregaría al grupo de simulación para realizar las pruebas y contrastar los datos con los de la simulación en 3D realizada por el grupo de diseño.

8.6. Costes de fabricación

En este apartado se va a mostrar el desglose de lo mostrado en los apartados previos, comenzaremos con el coste del prototipo que en este caso se realizó en una impresora 3D, como ya se comentó.

Prototipo		
Material	PLA	
coste bruto	22,8	Euros/kg
coste neto	3,65	Euros
Coste de la impresora	0,45	Euros/H
Tiempo de uso	9	H
Coste Prototipo	7,7	Euros

Como se puede ver, el coste de esta clase de prototipo es bajo, ya que se usa un material de lo más común junto con una herramienta la cual no es cara de tener en funcionamiento. En este caso decidimos hacerlo así ya que el prototipo no tiene mayor función que la de comprobar medidas, y colocación de esta.

A continuación, viene el desglose del coste en la maquina CNC. Como se muestra el proceso con las operaciones previas.

Mecanizado		
Material	aluminio 7075	
Coste bruto	4,4	Euros/kg
coste bruto para mecanizar	270	gr
Coste de material	1,2	euros
Coste CNC	50	Euros/H
Coste operario	60	Euros/H
Horas de CNC	7	Horas
Total	771,2	Euros

En este caso se debe mencionar que el coste del operario que trabaja la maquina es tan alto por ser un contrato por horas.

Para poder analizar si el sistema que usamos fue el más apropiado con respecto a tiempo y coste hemos decidido investigar otras posibles alternativas para la misma pieza, y pudiendo obtener una conclusión, si este fue el sistema más optimo o habia otros mejores.

Para esto decidimos usar un proceso el cual es considerado superior, siendo este la impresión por láser. Dejándonos el siguiente desglose:

Sintetizado laser		
Material	aluminio 7075	
Coste bruto	250	Euros/kg
coste bruto para mecanizar	270	gr
Coste de material	67,5	euros
Coste Laser	100	Euros/H
Coste operario	80	Euros/H
Horas de Laser	10	Horas
Total	1867,5	Euros



Como podemos observar el coste es mayor en todos los puntos, empezando por el material. Siendo este un material más delicado y especial, el cual admite la máquina. No porque sea un material raro de encontrar, si no por el hecho de su preparación para ser admitido por la máquina.

También se puede observar un incremento en el coste de la máquina y operario, al ser un sistema más técnico y nuevo.

Observando el trabajo de otros proyectos podríamos decir que el acabado de esta máquina es superior al de la CNC, por eso se ve tan afectado el precio.

Finalmente hemos contemplado una última opción, en la cual seguimos usando la CNC, pero decidimos añadir la plegadora, para quitarle horas de trabajo a la máquina; obteniendo el siguiente desglose:

Plegadora+Mecanizado		
Material	aluminio 7075	
Coste bruto	56	Euros/kg
coste bruto para mecanizar	270	gr
Coste de material	15,12	euros
Coste Plegadora	15	Euros/H
Coste operario	10	Euros/H
Horas de Plegado	1	Horas
Coste CNC	50	Euros/H
Coste operario	60	Euros/H
Horas de CNC	5	Horas
Total	590,12	Euros

Como podemos ver; las horas de mecanizado se reducen ya que suprimimos operaciones en la CNC, por lo que nuestro coste total baja.

Pero esta bajada conlleva a una pérdida también de calidad en el acabado, el motivo siendo el estrés al que se somete la pieza para el doblado preciso que requeríamos.

Una vez viendo analizado las posibles optativas podríamos decir que el método del que disponíamos y el utilizado es el más optimizado en coste y tiempo.

9. Ensayos

9.1. Preparación

Para realizar este ensayo de la manera más real posible, se han planteado dos opciones:

La primera opción consiste en dejar caer un peso desde una altura concreta que al hacer contacto con la pieza simule la frenada de 200 N. Por otro lado, la segunda opción requiere de una máquina de pruebas de tracción-compresión en donde se colocará la pieza sujeta de forma que se pueda simular la fijación al vehículo y a la bomba de freno. Esta segunda prueba tiene el inconveniente de que la fuerza se aplica de manera progresiva en un tiempo de unos 5-10 segundos, por lo que no serían las condiciones reales.

Finalmente se ha tomado la decisión de realizar la segunda prueba ya que no se tenían los medios suficientes para realizar la primera y aunque esta segunda no sean las condiciones reales, nos puede dar resultados válidos.

Una vez decidido el ensayo, se analiza la manera en la que se va a realizar.

Para poder fijar de manera correcta la pieza y simular su posición real, se ha necesitado fabricar un utillaje a modo de sujeción para que se aplicasen los esfuerzos en los puntos correctos, en donde deberían hacer contacto con la sujeción al vehículo y a la bomba del freno.

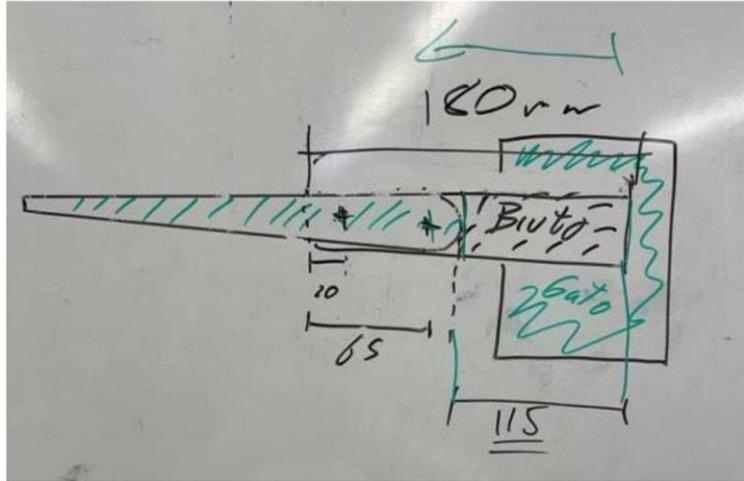


Ilustración 30: Boceto ensayo



Ilustración 29: Preparación pedalera

9.2. Ensayo

Una vez preparado el ensayo, se procede con su realización. En el ensayo se aplica de manera progresiva una fuerza de hasta 200 N de modo que la fuerza dejara de ejercerse cuando llegue a dicha fuerza o cuando la pieza venza y no aplique más resistencia.

Prueba 1:

Una vez colocada la pieza en la máquina de tracción-compresión, realizamos la prueba colocando una barra de aluminio de 30 x 10 (mm) que simulase el pie. Al hacer contacto con la pieza y a medida que aumentaba la fuerza podíamos ver que la fuerza no se estaba aplicando de manera correcta, ya que la superficie del pie es más grande que la superficie con la que estábamos aplicando nosotros la fuerza. El resultado fue un exceso de carga en un solo punto lo que resulto en una deformación de la parte superior de la pieza.



Ilustración 31: Prueba presión I

Pedal de Freno - Prototipado

48

Prueba 2:

Para la segunda prueba se colocó una chapa metálica donde se situaría el apoyo del pie, de modo que la fuerza aplicada era más uniforme. Por otro lado, en vez de hacer presión con una barra de aluminio, se utilizó la propia pinza de la máquina de compresión ya que la superficie era más grande y similar a la que presentaría la planta del pie sobre nuestra pedalera.



Ilustración 32: Prueba presión II

9.3. Resultados

Tras someter la pieza al segundo ensayo, se pudo apreciar como resistía el aumento de fuerza sin romper. A partir de 180N la pieza empezó a deformarse por lo que ya no presentaba ninguna resistencia y la fuerza no pudo incrementarse hasta llegar a 200N. En el momento que la deformación llegó a más de 1,5 cm separó el ensayo y dejó de aplicarse la fuerza, pudiendo ver como la pieza volvía a su forma original sin presentar ningún tipo de fractura o grieta en los puntos de mayor esfuerzo.

Pedal de Freno - Prototipado

49

9.4. Conclusiones

Puesto que la pieza resistió hasta los 180N y se aplicó durante varios segundos de manera progresiva, podríamos decir que resistiría 200N aplicados de manera momentánea sin llegar a fracturarse.

10. Anexo

10.1. Bibliografía

1. *BARRA ALUMINIO 7075 T6 REDONDA - Randrade.* (s. f.). Randrade.
Recuperado 15 de mayo de 2022, de <https://www.randrade.com/barras/209-barra-aluminio-7075-t6-redonda.html>
2. Leequid, R. (2021, 3 noviembre). *Precio Chatarra de Aluminio.* El Plural.
Recuperado 15 de mayo de 2022, de https://www.elplural.com/leequid/precio-chatarra-de-aluminio_122354102
3. *Precios de Licencias COMPRA SOLIDWORKS.* (2022, 1 abril). ORIGEN.
Recuperado 15 de mayo de 2022, de <https://origencadcam.es/precios-de-licencias-compra-solidworks/>

10.2. Código G

Cajeado 1 y 2

```
%  
O100  
N10 G91 G28 Z0  
( TOOL DATA : T9 END MILL D 6,T9 END MILL D 6 )  
N20 T9 M6  
    G90 G57 G0 X0 Y0  
N30 G0 X-99.25 S2400 M3  
N40 G1 Z9. F900.  
N50 G1 Z-1. F800.  
N60 X-27.25  
N70 G0 Z.5  
N80 G1 Z-2.  
N90 X-99.25  
N100 G0 Z-.5  
N110 G1 Z-3.  
N120 X-27.25  
N130 G0 Z-1.5  
N140 G1 Z-4.  
N150 X-99.25  
N160 Z16. F1000.  
N170 X-13.25 Z29. F800.  
N180 Z-1.  
N190 X51.75  
N200 G0 Z.5  
N210 G1 Z-2.  
N220 X-13.25  
N230 G0 Z-.5  
N240 G1 Z-3.  
N250 X51.75
```

Pedal de Freno - Prototipado

51

N260 G0 Z-1.5
N270 G1 Z-4.
N280 X-13.25
N290 Z36. F1000.
G91 G28 Z0
N310 M30
%

Cajeado 3

%
O102
N10 G91 G28 Z0
(TOOL DATA : T7 END MILL D 5,T7 END MILL D 5)
N30 T7 M6
G90 G57 G0 X0 Y0
N40 G0 X111.75 Y.5 S2400 M3
N50 G1 Z10. F900.
N60 G1 Z-.5 F700.
N70 X61.75
N80 G0 Z.25
N90 X111.75
N100 G1 Z-1.
N110 X61.75
N120 G0 Z-.25
N130 X111.75
N140 G1 Z-1.5
N150 X61.75
N160 G0 Z-.75
N170 X111.75
N180 G1 Z-2.

Pedal de Freno - Prototipado

52

N190 X61.75
N200 G0 Z-1.25
N210 X111.75
N220 G1 Z-2.5
N230 X61.75
N240 G0 Z-1.75
N250 X111.75
N260 G1 Z-3.
N270 X61.75
N280 G0 Z-2.25
N290 X111.75
N300 G1 Z-3.5
N310 X61.75
N320 G0 Z-2.75
N330 X111.75
N340 G1 Z-4.
N350 X61.75
N360 Z36. F1000.

G91 G28 Z0

N370 M30

%

Contorneado desbaste

%

O121

N10 G91 G28 Z0

(TOOL DATA : T3 FACE MILL D 50)

N20 T5 M6

G90 G57 G0 X0 Y0

N30 G0 X-58.75 Y-39.5 S2400 M3

N40 G1 Z10. F1000.

N50 G1 Z-1.139 F900.

Pedal de Freno - Prototipado

53

N60 X-109.25 F1000.
N70 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N80 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N90 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N100 G1 X121.75
N110 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N120 G1 Y9.
N130 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N140 G1 X-55.772 Y-39.326
N150 G0 Z.569
N160 X-58.75 Y-39.5
N170 G1 Z-2.278 F900.
N180 X-109.25 F1000.
N190 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N200 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N210 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N220 G1 X121.75
N230 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N240 G1 Y9.
N250 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N260 G1 X-55.772 Y-39.326
N270 G0 Z-.569
N280 X-56.238 Y-39.353
N290 Z1.
N300 X-58.285 Y-39.473
N310 Z-.569
N320 X-58.75 Y-39.5
N330 G1 Z-3.417 F900.
N340 X-109.25 F1000.
N350 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N360 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N370 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

54

N380 G1 X121.75
N390 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N400 G1 Y9.
N410 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N420 G1 X-55.772 Y-39.326
N430 G0 Z-1.708
N440 X-56.238 Y-39.353
N450 Z1.
N460 X-58.285 Y-39.473
N470 Z-1.708
N480 X-58.75 Y-39.5
N490 G1 Z-4.556 F900.
N500 X-109.25 F1000.
N510 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N520 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N530 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N540 G1 X121.75
N550 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N560 G1 Y9.
N570 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N580 G1 X-55.772 Y-39.326
N590 G0 Z-2.847
N600 X-56.238 Y-39.353
N610 Z1.
N620 X-58.285 Y-39.473
N630 Z-2.847
N640 X-58.75 Y-39.5
N650 G1 Z-5.694 F900.
N660 X-109.25 F1000.
N670 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N680 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N690 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

55

N700 G1 X121.75
N710 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N720 G1 Y9.
N730 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N740 G1 X-55.772 Y-39.326
N750 G0 Z-3.986
N760 X-56.238 Y-39.353
N770 Z1.
N780 X-58.285 Y-39.473
N790 Z-3.986
N800 X-58.75 Y-39.5
N810 G1 Z-6.833 F900.
N820 X-109.25 F1000.
N830 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N840 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N850 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N860 G1 X121.75
N870 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N880 G1 Y9.
N890 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N900 G1 X-55.772 Y-39.326
N910 G0 Z-5.125
N920 X-56.238 Y-39.353
N930 Z1.
N940 X-58.285 Y-39.473
N950 Z-5.125
N960 X-58.75 Y-39.5
N970 G1 Z-7.972 F900.
N980 X-109.25 F1000.
N990 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1000 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N1010 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

56

N1020 G1 X121.75
N1030 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N1040 G1 Y9.
N1050 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 JO
N1060 G1 X-55.772 Y-39.326
N1070 G0 Z-6.264
N1080 X-56.238 Y-39.353
N1090 Z1.
N1100 X-58.285 Y-39.473
N1110 Z-6.264
N1120 X-58.75 Y-39.5
N1130 G1 Z-9.111 F900.
N1140 X-109.25 F1000.
N1150 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1160 X-127.441 Y31.87 I38.004 JO
N1170 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N1180 G1 X121.75
N1190 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N1200 G1 Y9.
N1210 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 JO
N1220 G1 X-55.772 Y-39.326
N1230 G0 Z-7.403
N1240 X-56.238 Y-39.353
N1250 Z1.
N1260 X-58.285 Y-39.473
N1270 Z-7.403
N1280 X-58.75 Y-39.5
N1290 G1 Z-10.25 F900.
N1300 X-109.25 F1000.
N1310 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1320 X-127.441 Y31.87 I38.004 JO
N1330 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

57

N1340 G1 X121.75
N1350 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N1360 G1 Y9.
N1370 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N1380 G1 X-55.772 Y-39.326
N1390 G0 Z-8.542
N1400 X-56.238 Y-39.353
N1410 Z1.
N1420 X-58.285 Y-39.473
N1430 Z-8.542
N1440 X-58.75 Y-39.5
N1450 G1 Z-11.389 F900.
N1460 X-109.25 F1000.
N1470 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1480 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N1490 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N1500 G1 X121.75
N1510 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N1520 G1 Y9.
N1530 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N1540 G1 X-55.772 Y-39.326
N1550 G0 Z-9.681
N1560 X-56.238 Y-39.353
N1570 Z1.
N1580 X-58.285 Y-39.473
N1590 Z-9.681
N1600 X-58.75 Y-39.5
N1610 G1 Z-12.528 F900.
N1620 X-109.25 F1000.
N1630 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1640 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N1650 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

58

N1660 G1 X121.75
N1670 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N1680 G1 Y9.
N1690 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N1700 G1 X-55.772 Y-39.326
N1710 G0 Z-10.819
N1720 X-56.238 Y-39.353
N1730 Z1.
N1740 X-58.285 Y-39.473
N1750 Z-10.819
N1760 X-58.75 Y-39.5
N1770 G1 Z-13.667 F900.
N1780 X-109.25 F1000.
N1790 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1800 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N1810 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N1820 G1 X121.75
N1830 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N1840 G1 Y9.
N1850 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N1860 G1 X-55.772 Y-39.326
N1870 G0 Z-11.958
N1880 X-56.238 Y-39.353
N1890 Z1.
N1900 X-58.285 Y-39.473
N1910 Z-11.958
N1920 X-58.75 Y-39.5
N1930 G1 Z-14.806 F900.
N1940 X-109.25 F1000.
N1950 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N1960 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N1970 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

59

N1980 G1 X121.75
N1990 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N2000 G1 Y9.
N2010 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 JO
N2020 G1 X-55.772 Y-39.326
N2030 G0 Z-13.097
N2040 X-56.238 Y-39.353
N2050 Z1.
N2060 X-58.285 Y-39.473
N2070 Z-13.097
N2080 X-58.75 Y-39.5
N2090 G1 Z-15.944 F900.
N2100 X-109.25 F1000.
N2110 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N2120 X-127.441 Y31.87 I38.004 JO
N2130 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N2140 G1 X121.75
N2150 G2 X147.25 Y14. IO J-25.5
N2160 G1 Y9.
N2170 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 JO
N2180 G1 X-55.772 Y-39.326
N2190 G0 Z-14.236
N2200 X-56.238 Y-39.353
N2210 Z1.
N2220 X-58.285 Y-39.473
N2230 Z-14.236
N2240 X-58.75 Y-39.5
N2250 G1 Z-17.083 F900.
N2260 X-109.25 F1000.
N2270 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N2280 X-127.441 Y31.87 I38.004 JO
N2290 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

60

N2300 G1 X121.75
N2310 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N2320 G1 Y9.
N2330 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N2340 G1 X-55.772 Y-39.326
N2350 G0 Z-15.375
N2360 X-56.238 Y-39.353
N2370 Z1.
N2380 X-58.285 Y-39.473
N2390 Z-15.375
N2400 X-58.75 Y-39.5
N2410 G1 Z-18.222 F900.
N2420 X-109.25 F1000.
N2430 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N2440 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N2450 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N2460 G1 X121.75
N2470 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N2480 G1 Y9.
N2490 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N2500 G1 X-55.772 Y-39.326
N2510 G0 Z-16.514
N2520 X-56.238 Y-39.353
N2530 Z1.
N2540 X-58.285 Y-39.473
N2550 Z-16.514
N2560 X-58.75 Y-39.5
N2570 G1 Z-19.361 F900.
N2580 X-109.25 F1000.
N2590 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N2600 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N2610 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87

Pedal de Freno - Prototipado

61

N2620 G1 X121.75
N2630 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N2640 G1 Y9.
N2650 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N2660 G1 X-55.772 Y-39.326
N2670 G0 Z-17.653
N2680 X-56.238 Y-39.353
N2690 Z1.
N2700 X-58.285 Y-39.473
N2710 Z-17.653
N2720 X-58.75 Y-39.5
N2730 G1 Z-20.5 F900.
N2740 X-109.25 F1000.
N2750 G2 X-147.251 Y-1.496 I.003 J38.004
N2760 X-127.441 Y31.87 I38.004 J0
N2770 X-109.25 Y39.5 I18.191 J-17.87
N2780 G1 X121.75
N2790 G2 X147.25 Y14. I0 J-25.5
N2800 G1 Y9.
N2810 G2 X122.961 Y-18.312 I-27.5 J0
N2820 G1 X-55.772 Y-39.326
N2830 Z50. F900.
G91 G28 Z0
N2860 M30
%
Contorneado acabado
%
O125
N10 G91 G28 Z0
(TOOL DATA : T8 END MILL D 8,T8 END MILL D 8)
N30 T8 M6
G90 G57 G0 X0 Y0

Pedal de Freno - Prototipado

62

N40 G0 X-58.75 Y-18. S2400 M3
N50 G1 Z10. F1000.
N60 G1 Z-1.139 F900.
N70 X-109.25 F1000.
N80 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N90 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N100 G1 X-113.219 Y14.5
N110 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N120 G1 X121.75
N130 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N140 G1 Y9.
N150 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N160 G1 X-58.283 Y-17.973
N170 G0 Z.569
N180 X-58.75 Y-18.
N190 G1 Z-2.278 F900.
N200 X-109.25 F1000.
N210 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N220 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N230 G1 X-113.219 Y14.5
N240 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N250 G1 X121.75
N260 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N270 G1 Y9.
N280 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N290 G1 X-58.283 Y-17.973
N300 G0 Z-.569
N310 X-58.75 Y-18.
N320 G1 Z-3.417 F900.
N330 X-109.25 F1000.
N340 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N350 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0

Pedal de Freno - Prototipado

63

N360 G1 X-113.219 Y14.5
N370 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N380 G1 X121.75
N390 G2 X125.75 Y14. IO J-4.
N400 G1 Y9.
N410 G2 X120.451 Y3.041 I-6. JO
N420 G1 X-58.283 Y-17.973
N430 G0 Z-1.708
N440 X-58.75 Y-18.
N450 G1 Z-4.556 F900.
N460 X-109.25 F1000.
N470 G2 X-125.75 Y-1.5 IO J16.5
N480 X-115.564 Y13.744 I16.5 JO
N490 G1 X-113.219 Y14.5
N500 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N510 G1 X121.75
N520 G2 X125.75 Y14. IO J-4.
N530 G1 Y9.
N540 G2 X120.451 Y3.041 I-6. JO
N550 G1 X-58.283 Y-17.973
N560 G0 Z-2.847
N570 X-58.75 Y-18.
N580 G1 Z-5.694 F900.
N590 X-109.25 F1000.
N600 G2 X-125.75 Y-1.5 IO J16.5
N610 X-115.564 Y13.744 I16.5 JO
N620 G1 X-113.219 Y14.5
N630 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N640 G1 X121.75
N650 G2 X125.75 Y14. IO J-4.
N660 G1 Y9.
N670 G2 X120.451 Y3.041 I-6. JO

Pedal de Freno - Prototipado

64

N680 G1 X-58.283 Y-17.973
N690 G0 Z-3.986
N700 X-58.75 Y-18.
N710 G1 Z-6.833 F900.
N720 X-109.25 F1000.
N730 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N740 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N750 G1 X-113.219 Y14.5
N760 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N770 G1 X121.75
N780 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N790 G1 Y9.
N800 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N810 G1 X-58.283 Y-17.973
N820 G0 Z-5.125
N830 X-58.75 Y-18.
N840 G1 Z-7.972 F900.
N850 X-109.25 F1000.
N860 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N870 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N880 G1 X-113.219 Y14.5
N890 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N900 G1 X121.75
N910 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N920 G1 Y9.
N930 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N940 G1 X-58.283 Y-17.973
N950 G0 Z-6.264
N960 X-58.75 Y-18.
N970 G1 Z-9.111 F900.
N980 X-109.25 F1000.
N990 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5

Pedal de Freno - Prototipado

65

N1000 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1010 G1 X-113.219 Y14.5
N1020 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1030 G1 X121.75
N1040 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1050 G1 Y9.
N1060 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1070 G1 X-58.283 Y-17.973
N1080 G0 Z-7.403
N1090 X-58.75 Y-18.
N1100 G1 Z-10.25 F900.
N1110 X-109.25 F1000.
N1120 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1130 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1140 G1 X-113.219 Y14.5
N1150 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1160 G1 X121.75
N1170 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1180 G1 Y9.
N1190 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1200 G1 X-58.283 Y-17.973
N1210 G0 Z-8.542
N1220 X-58.75 Y-18.
N1230 G1 Z-11.389 F900.
N1240 X-109.25 F1000.
N1250 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1260 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1270 G1 X-113.219 Y14.5
N1280 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1290 G1 X121.75
N1300 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1310 G1 Y9.

Pedal de Freno - Prototipado

66

N1320 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1330 G1 X-58.283 Y-17.973
N1340 G0 Z-9.681
N1350 X-58.75 Y-18.
N1360 G1 Z-12.528 F900.
N1370 X-109.25 F1000.
N1380 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1390 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1400 G1 X-113.219 Y14.5
N1410 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1420 G1 X121.75
N1430 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1440 G1 Y9.
N1450 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1460 G1 X-58.283 Y-17.973
N1470 G0 Z-10.819
N1480 X-58.75 Y-18.
N1490 G1 Z-13.667 F900.
N1500 X-109.25 F1000.
N1510 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1520 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1530 G1 X-113.219 Y14.5
N1540 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1550 G1 X121.75
N1560 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1570 G1 Y9.
N1580 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1590 G1 X-58.283 Y-17.973
N1600 G0 Z-11.958
N1610 X-58.75 Y-18.
N1620 G1 Z-14.806 F900.
N1630 X-109.25 F1000.

Pedal de Freno - Prototipado

67

N1640 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1650 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1660 G1 X-113.219 Y14.5
N1670 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1680 G1 X121.75
N1690 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1700 G1 Y9.
N1710 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1720 G1 X-58.283 Y-17.973
N1730 G0 Z-13.097
N1740 X-58.75 Y-18.
N1750 G1 Z-15.944 F900.
N1760 X-109.25 F1000.
N1770 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1780 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1790 G1 X-113.219 Y14.5
N1800 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1810 G1 X121.75
N1820 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N1830 G1 Y9.
N1840 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1850 G1 X-58.283 Y-17.973
N1860 G0 Z-14.236
N1870 X-58.75 Y-18.
N1880 G1 Z-17.083 F900.
N1890 X-109.25 F1000.
N1900 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N1910 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N1920 G1 X-113.219 Y14.5
N1930 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N1940 G1 X121.75
N1950 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.

Pedal de Freno - Prototipado

68

N1960 G1 Y9.
N1970 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N1980 G1 X-58.283 Y-17.973
N1990 G0 Z-15.375
N2000 X-58.75 Y-18.
N2010 G1 Z-18.222 F900.
N2020 X-109.25 F1000.
N2030 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N2040 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N2050 G1 X-113.219 Y14.5
N2060 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N2070 G1 X121.75
N2080 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N2090 G1 Y9.
N2100 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N2110 G1 X-58.283 Y-17.973
N2120 G0 Z-16.514
N2130 X-58.75 Y-18.
N2140 G1 Z-19.361 F900.
N2150 X-109.25 F1000.
N2160 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N2170 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N2180 G1 X-113.219 Y14.5
N2190 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N2200 G1 X121.75
N2210 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N2220 G1 Y9.
N2230 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N2240 G1 X-58.283 Y-17.973
N2250 G0 Z-17.653
N2260 X-58.75 Y-18.
N2270 G1 Z-20.5 F900.

Pedal de Freno - Prototipado

69

N2280 X-109.25 F1000.
N2290 G2 X-125.75 Y-1.5 I0 J16.5
N2300 X-115.564 Y13.744 I16.5 J0
N2310 G1 X-113.219 Y14.5
N2320 G2 X-109.25 Y18. I3.969 J-.5
N2330 G1 X121.75
N2340 G2 X125.75 Y14. I0 J-4.
N2350 G1 Y9.
N2360 G2 X120.451 Y3.041 I-6. J0
N2370 G1 X-58.283 Y-17.973
N2380 Z29.5 F900.
 G91 G28 Z0
N2400 M30
%
Cajeado circular
%
O104
N10 G91 G28 Z0
(TOOL DATA : T9 END MILL D 6,T9 END MILL D 6)
N20 T9 M6
 G90 G57 G0 X0 Y0
N30 G0 X67.473 Y6.881 S2500 M3
N40 G1 Z9. F1000.
N50 G1 Z-.667 F900.
N60 X76.988 Y8. F800.
N70 X60.86
N80 G3 X57.959 Y5.763 I0 J-3.
N90 G1 X67.473 Y6.881
N100 G0 Z.333
N110 G1 Z-1.333 F900.
N120 X76.988 Y8. F800.
N130 X60.86

Pedal de Freno - Prototipado

70



N140 G3 X57.959 Y5.763 I0 J-3.
N150 G1 X67.473 Y6.881
N160 G0 Z-.333
N170 G1 Z-2. F900.
N180 X76.988 Y8. F800.
N190 X60.86
N200 G3 X57.959 Y5.763 I0 J-3.
N210 G1 X67.473 Y6.881
N220 G0 Z-1.
N230 G1 Z-2.667 F900.
N240 X76.988 Y8. F800.
N250 X60.86
N260 G3 X57.959 Y5.763 I0 J-3.
N270 G1 X67.473 Y6.881
N280 G0 Z-1.667
N290 G1 Z-3.333 F900.
N300 X76.988 Y8. F800.
N310 X60.86
N320 G3 X57.959 Y5.763 I0 J-3.
N330 G1 X67.473 Y6.881
N340 G0 Z-2.333
N350 G1 Z-4. F900.
N360 X76.988 Y8. F800.
N370 X60.86
N380 G3 X57.959 Y5.763 I0 J-3.
N390 G1 X67.473 Y6.881
N400 Z16. F900.
G91 G28 Z0
N430 M30
%
Cajeado
%

Pedal de Freno - Prototipado

71

O221

N10 G91 G28 Z0
(TOOL DATA : T7 END MILL D 5,T7 END MILL D 5)
N30 T7 M6
 G90 G57 G0 X0 Y0
N40 G0 X-10. S2500 M3
N50 G1 Z10. F900.
N60 G1 Z-20.395 F800.
N70 X-60.
N80 G0 Z-19.802
N90 G1 Z-20.79
N100 X-10.
N110 G0 Z-20.198
N120 G1 Z-21.186
N130 X-60.
N140 G0 Z-20.593
N150 G1 Z-21.581
N160 X-10.
N170 G0 Z-20.988
N180 G1 Z-21.976
N190 X-60.
N200 G0 Z-21.383
N210 G1 Z-22.371
N220 X-10.
N230 G0 Z-21.779
N240 G1 Z-22.767
N250 X-60.
N260 G0 Z-22.174
N270 G1 Z-23.162
N280 X-10.
N290 G0 Z-22.569

Pedal de Freno - Prototipado

72

N300 G1 Z-23.557
N310 X-60.
N320 G0 Z-22.964
N330 G1 Z-23.952
N340 X-10.
N350 G0 Z-23.36
N360 G1 Z-24.348
N370 X-60.
N380 G0 Z-23.755
N390 G1 Z-24.743
N400 X-10.
N410 G0 Z-24.15
N420 G1 Z-25.138
N430 X-60.
N440 G0 Z-24.545
N450 G1 Z-25.533
N460 X-10.
N470 G0 Z-24.94
N480 G1 Z-25.929
N490 X-60.
N500 G0 Z-25.336
N510 G1 Z-26.324
N520 X-10.
N530 G0 Z-25.731
N540 G1 Z-26.719
N550 X-60.
N560 G0 Z-26.126
N570 G1 Z-27.114
N580 X-10.
N590 G0 Z-26.521
N600 G1 Z-27.51
N610 X-60.

Pedal de Freno - Prototipado

73

N620 G0 Z-26.917
N630 G1 Z-27.905
N640 X-10.
N650 G0 Z-27.312
N660 G1 Z-28.3
N670 X-60.
N680 Z11.7
 G91 G28 Z0
N690 M30
%
%
O200
N10 G91 G28 Z0
(TOOL DATA : T9 END MILL D 6,T9 END MILL D 6)
N20 T9 M6
 G90 G57 G0 X0 Y0
N30 G0 X-221. S2500 M3
N40 G1 Z10. F900.
N50 G1 Z-20.593 F800.
N60 X-149.
N70 G0 Z-19.704
N80 G1 Z-21.186
N90 X-221.
N100 G0 Z-20.296
N110 G1 Z-21.779
N120 X-149.
N130 G0 Z-20.889
N140 G1 Z-22.371
N150 X-221.
N160 G0 Z-21.482
N170 G1 Z-22.964
N180 X-149.

Pedal de Freno - Prototipado

74

N190 G0 Z-22.075
N200 G1 Z-23.557
N210 X-221.
N220 G0 Z-22.668
N230 G1 Z-24.15
N240 X-149.
N250 G0 Z-23.261
N260 G1 Z-24.743
N270 X-221.
N280 G0 Z-23.854
N290 G1 Z-25.336
N300 X-149.
N310 G0 Z-24.446
N320 G1 Z-25.929
N330 X-221.
N340 G0 Z-25.039
N350 G1 Z-26.521
N360 X-149.
N370 G0 Z-25.632
N380 G1 Z-27.114
N390 X-221.
N400 G0 Z-26.225
N410 G1 Z-27.707
N420 X-149.
N430 G0 Z-26.818
N440 G1 Z-28.3
N450 X-221.
N460 Z11.7
N470 X-135. Z29.407
N480 Z-20.593
N490 X-70.
N500 G0 Z-19.704

Pedal de Freno - Prototipado

75

N510 G1 Z-21.186
N520 X-135.
N530 G0 Z-20.296
N540 G1 Z-21.779
N550 X-70.
N560 G0 Z-20.889
N570 G1 Z-22.371
N580 X-135.
N590 G0 Z-21.482
N600 G1 Z-22.964
N610 X-70.
N620 G0 Z-22.075
N630 G1 Z-23.557
N640 X-135.
N650 G0 Z-22.668
N660 G1 Z-24.15
N670 X-70.
N680 G0 Z-23.261
N690 G1 Z-24.743
N700 X-135.
N710 G0 Z-23.854
N720 G1 Z-25.336
N730 X-70.
N740 G0 Z-24.446
N750 G1 Z-25.929
N760 X-135.
N770 G0 Z-25.039
N780 G1 Z-26.521
N790 X-70.
N800 G0 Z-25.632
N810 G1 Z-27.114
N820 X-135.

Pedal de Freno - Prototipado

76



N830 G0 Z-26.225

N840 G1 Z-27.707

N850 X-70.

N860 G0 Z-26.818

N870 G1 Z-28.3

N880 X-135.

N890 Z11.7

G91 G28 Z0

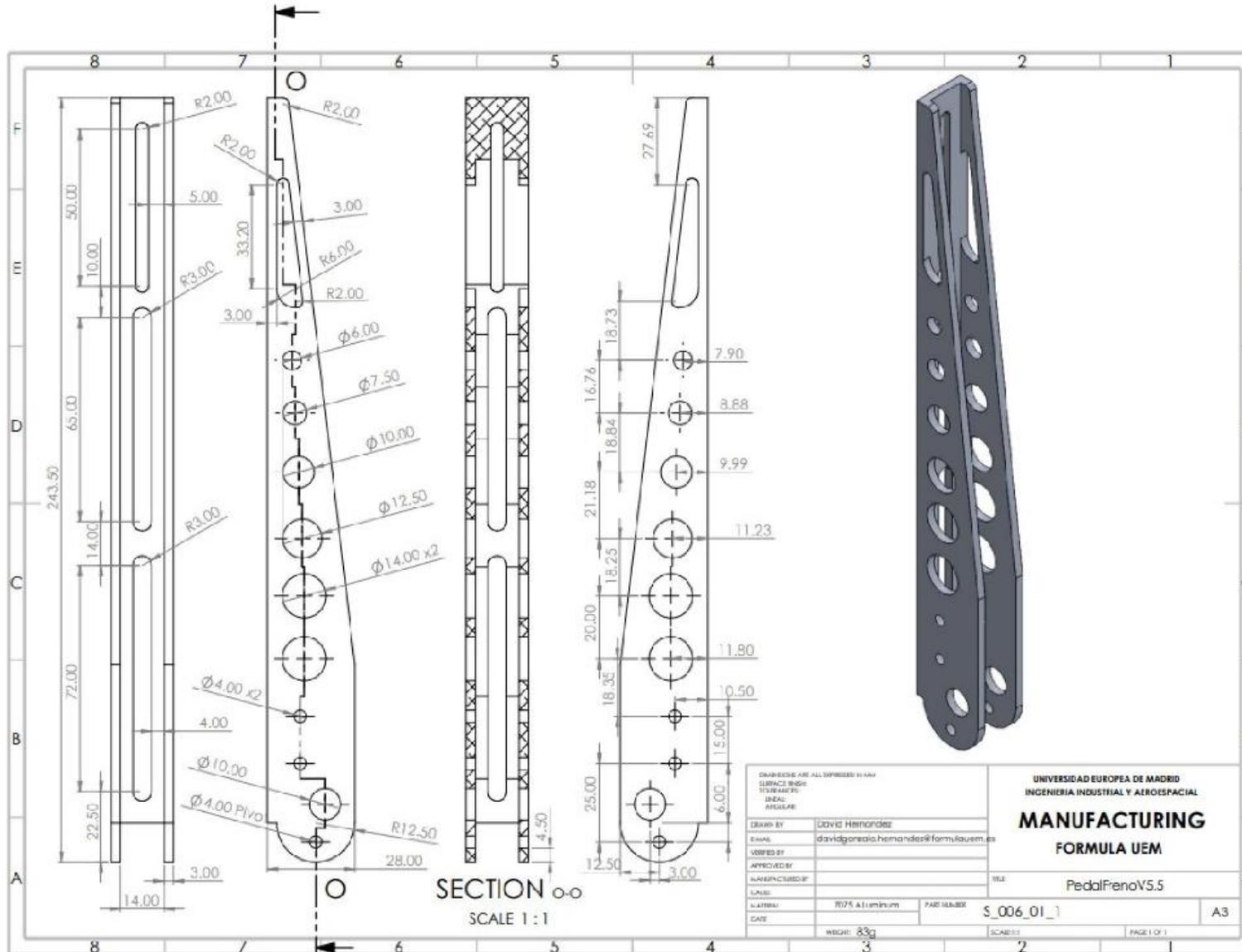
N900 M30

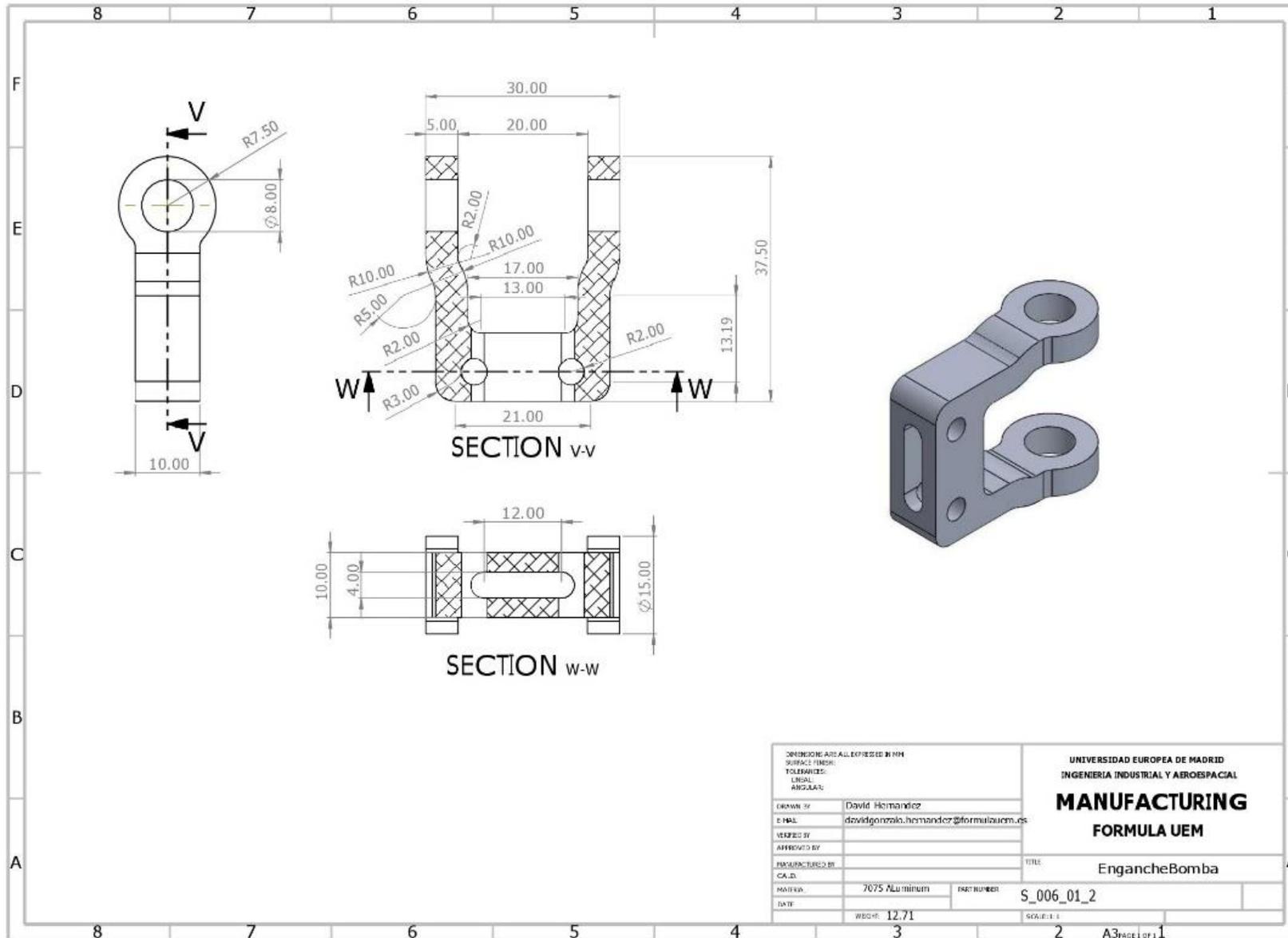
%

Taladros pasantes se hacen de forma manual

10.3. Planos

10.4. AMFE





Función	Modo de fallo	Efecto	S	Causa	D	Detección	D	NFR	Acciones	Responsable	Fecha de entrega	Después de acciones			
												S	D	D	NFR
Fijarse al chasis	Que no se fije al chasis	no se puede instalar freno	3	Mal diseño	1	CAE	1,5	4,5	Revisión de plano + CAE	Diseño	de abril a 2 de m	3	1	1	3
	No entra		2,5					0				3	0,1	0,1	0,08
	No se puede acoplar		3	Mal montaje	1,5	Medidas	1	4,5	Analizar caso y repetir						0
	Se acopla parcialmente		3	Mal fabricación	1,5	Medidas	1	4,5	Revisión proceso						0
															0
															0
Fijarse a la alca base	Que no se fije a la placa base	No se puede instalar el freno	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano						0
			3	Mal montaje	1,5	Medidas	1	4,5	Analizar caso y repetir						0
			3	Mal fabricación	1,5	Medidas	1	4,5	Revisión proceso						0
															0
Posición correcta para el piloto	Que no esté centrado	Piloto no aprieta toda la superficie	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano						0
		Tiene que buscar el pedal		Mal montaje		Medidas			Revisión proceso						0
		Se puede confundir y pisar el acelerador		Mal fabricación		Medidas			Analizar caso y repetir						0
															0
Capaz de soportar 2,5 kN	No soporta los 2,5 kN	Falla en la prueba	3	Diseño no ok	1	CAE	1	3	Rediseño de plano						0
			3	Material no ok	1	CAE	1	3	Rediseño de plano						0
			3	Proceso fabricación no ok	1,5	Medidas	1,5	6,75	Ensayo en máquina de tracción-compresión comprobar si un determinado número de ensayos	Simulación					0
									Si no hay utilajes => Fabricar utilajes de ensayos	Fabricación					0
															0
															0
Fuerza aplicada a la bomba + X kN	Fuerza inferior	Necesitar fuerza excesiva en el pedal	2	Relación punto de aplicación / punto de apoyo incorrecta				0							
		Frenado incontrolable	3	Relación punto de aplicación / punto de apoyo incorrecta				0							
		Cocher freno poco	3	Relación punto de aplicación / punto de apoyo incorrecta				0							
	Fuerza superior							0							
															0
Respuesta a la presión de peda															
Fricción	Mínima	Sensible	2	Mal diseño	1,5	Medidas	1	3	Rediseño de plano						0
		Frenazos	2	Mal diseño	1,5	Medidas	1	3	Rediseño de plano						0
	Máxima	Mayor fuerza de frenado	2	Poco engrase	1,5	Medidas	1	3	Revisión caso						0
				2	Sobredimensionamiento de algún componente	1,5	Medidas	1	3	Rediseño de plano					
															0
Tolerancia	Holgura	Juego entre freno y soporte	1	Mal montaje	1		1,5	1,5	Analizar caso y repetir						0
		Holgura actuación	1,5	Mal diseño	1		1,5	2,25	Rediseño de plano						0
	No holgura	Tracciona	1,5	Mal diseño	1		1,5	2,25	Rediseño de plano						0
															0
Peso	Demasiado peso	Peso innecesario	1,5	Mal diseño	1		2,5	3,75	Rediseño de plano						0
	Peso insuficiente	Deformidad en la estructura	2	Mal diseño	1		1,5	3	Rediseño de plano						0
															0
Fijar balanceo de la bomba de frenos	Ajustar altura balanceo de bomba de frenos	Rotura de soldadura	3	Mal diseño	1	CAE	1,5	4,5	Rediseño de plano						0
															0
Tamaño de pedal izquierdo (Arche)	Pedal sobredimensionado	Piloto no aprieta toda la superficie	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano						0
	Pedal pequeño	Tiene que buscar el pedal	3	Mal montaje	1,5	Medidas	1,5	6,75	Analizar caso y repetir						0
		Se puede confundir y pisar el acelerador	3	Mal fabricación	1,5	Medidas	1,5	6,75	Revisión proceso						0
															0
Accesibilidad para reparación	No es accesible para repararse	Mayor tiempo de reparación	3	Mal diseño	1	Medidas	2,5	7,5	Rediseño de plano						0
		Mayor trabajo	3	Mal diseño	1	Medidas	2,5	7,5	Rediseño de plano						0

Función	Modo de fallo	Efecto	S	Causa	O	Detección	D	NPR	Acciones
Capaz de soportar X kN	No soporta los X kN	Fallo en la prueba	3	Diseño no ok	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Material no ok	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Proceso fabricación no ok	1,5	Medidas	1,5	6,75	Ensayo en máquina de tracción-compresión
			3	Proceso montaje no ok	1,5	Medidas	1,5	6,75	Analizar caso y repetir
Permita fijar cable de actuación	Que no se pueda fijar	No acelera	3	Mal diseño	1	Pruebas	1	3	Rediseño de plano
Permite regular cable	Que no se pueda regular	Poca precisión	2	Mal diseño	1	Pruebas	2	4	Rediseño de plano
Tope mecánico para acelerador	Excesivo corto	Limitación en rango de actuación	2,5	Mal diseño	1		2,5	6,25	Rediseño de plano
	Insuficiente corto	Rotura de la mariposa	3	Mal diseño	1		1	3	Rediseño de plano
Fijación de placa de acelerador a la estructura	Que no se fije al chasis	no se puede instalar freno	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
			3	Mal montaje	1,5	Medidas	1	4,5	Analizar caso y repetir
			3	Mala fabricación	1,5	Medidas	1	4,5	Reevaluación proceso
Tamaño de pedal razonable (Año)	Pedal sobredimensionado	Piloto no aprieta toda la superficie	3	Mal diseño	1	CAE	1	3	Rediseño de plano
	Pedal pequeño	Tiene que buscar el pedal	3	Mal montaje	1,5	Medidas	1,5	6,75	Analizar caso y repetir
		Se puede confundir y pisar el acelerador	3	Mal fabricación	1,5	Medidas	1,5	6,75	Reevaluación proceso
Accesibilidad para reparación	No es accesible para repararse	Mayor tiempo de reparación	3	Mal diseño	1	Medidas	2,5	7,5	Rediseño de plano
		Mayor trabajo	3	Mal diseño	1	Medidas	2,5	7,5	Rediseño de plano