

Trabajo de Fin de Grado

Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales

Diseño de una motocicleta mediante técnicas de
ingeniería inversa

MEMORIA

Autor: Joan Mataró Villacampa
Director: Joaquín Fernández Sánchez
Convocatoria: Enero 2022



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Industrial de Barcelona



Resumen

La *Muscle R2* es una motocicleta de alta gama desarrollada por [Cohn Racers](#) y enfocada al mercado americano. Esta tiene como base una *Harley Davidson Sportster 1200 Iron* de la que se aprovecha el motor y ciertos componentes extra.

Sin embargo, la *Muscle R2* es una motocicleta con un espíritu completamente distinto al de su predecesora ya que, sin perder la elegancia, tiene un diseño más agresivo combinando aspectos del mundo *off-road* y de la competición en asfalto.

El objetivo del proyecto trata de analizar el proceso de diseño realizado en la motocicleta de *Cohn Racers* así como las técnicas de ingeniería inversa utilizadas para analizar la reutilización de los componentes de la *Harley Davidson*. Además, se analizarán los procesos de diseño seguidos con el programa de diseño asistido por ordenador, así como las técnicas de prototipaje usadas.

Por último, se valorarán los resultados después de haber presentado de manera oficial un primer prototipo que cumple los objetivos de diseño establecidos al inicio de este proyecto.



Figura 1: Muscle R2 - Vista frontal

Sumario

1. GLOSARIO	7
2. INTRODUCCIÓN	8
2.1. OBJETIVOS DEL PROYECTO	8
2.2. ALCANCE DEL PROYECTO	9
3. ESTADO DEL ARTE	10
4. DISEÑO CONCEPTUAL/ARTÍSTICO	13
4.1. CHASIS	15
4.1.1. Geometría de la motocicleta	15
4.2. CUBRE DEPÓSITO	17
4.3. BASCULANTE Y TREN POSTERIOR	19
4.4. TREN DELANTERO	20
4.5. TORNILLERÍA, EJES, ESCAPE Y TREN MOTRIZ	21
5. DISEÑO MECÁNICO	22
5.1. INGENIERÍA INVERSA: ESCANEEO 3D	23
5.1.1. Chasis	23
5.1.2. Cubre depósito	25
5.1.3. Embellecedores depósito de aceite	25
5.2. DISEÑO CAD	27
5.2.1. Chasis	28
5.2.2. Basculante	29
5.2.2.1. Simulación por elementos finitos del basculante	32
5.2.3. Cubre Depósito	39
5.2.4. Tijas y torretas	42
5.2.4.1. Simulación por elementos finitos de las tijas y torretas	44
5.2.5. Soporte pinza de freno trasera	47
5.2.5.1. Simulación por elementos finitos del soporte de freno trasero	48
6. IMPACTO AMBIENTAL	51
7. PROTOTIPAJE	52
7.1. IMPRESIÓN 3D	52
7.2. CORTE POR LÁSER	52
8. PRESUPUESTO	54
9. CONCLUSIONES	55
AGRADECIMIENTOS	57

BIBLIOGRAFÍA.....	58
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
BIBLIOGRAFÍA COMPLEMENTARIA	58
FIGURAS	59

1. Glosario

Avance	Distancia en el suelo desde la vertical del eje delantero hasta la proyección en el suelo del eje de dirección.
Botellas de suspensión	Parte de la suspensión delantera de mayor diámetro por la cual la parte telescópica -de menor diámetro- se desliza.
Buje	Es el elemento sobre el cual gira la rueda en el eje.
CAD	Diseño asistido por ordenador (<i>computer aided design</i>).
Colín	Parte trasera del bastidor de una motocicleta donde se apoya el asiento.
Corona	Rueda dentada situada en la rueda trasera a la que se le transmite el movimiento mediante una correa o una cadena.
Distancia entre ejes	Es la distancia que hay entre el eje delantero y el eje trasero.
Ensamblaje	Conjunto de piezas interrelacionadas o no entre ellas en un programa de diseño asistido por ordenador.
Fresadora	Máquina herramienta de corte por arranque de viruta con avance en uno o más ejes.
Horquilla	Conjunto de suspensiones delanteras y tijas
Lanzamiento	Ángulo que tiene el eje de dirección respecto la vertical de suelo.
Pipa de dirección	Es la parte del chasis que aloja los cojinetes de dirección.
Tijas	Parte del tren delantero de una motocicleta que una las suspensiones con el eje de dirección.
Torretas	Piezas de sujeción del manillar sobre la tija superior.
Utillaje	Adaptaciones sobre una herramienta para la realización de una tarea concreta mediante el posicionamiento y sujeción de una pieza.

2. Introducción

Cohn Racers es una empresa especializada en el diseño, fabricación e ingeniería de vehículos exclusivos, con sede en Miami, Florida.

Además de su contribución al mundo del motor por sus personalizaciones, *Cohn Racers* destaca también por su primera motocicleta de producción propia, la *Muscle R*.



Figura 2: Logotipo de Cohn Racers

Esta primera versión de motocicleta de producción propia, ha originado la inspiración de la construcción de la *Muscle R2*, la segunda generación de una motocicleta de estilo *scrambler*¹ de alta gama. Además de la primera versión, el proyecto de la *Muscle R2* tiene como base la motocicleta *Harley Davidson Sportster 1200 Iron*, de la que se aprovechan ciertos componentes. Como se expone más adelante, este proyecto versa sobre el proceso de diseño de la *Muscle R2*.

Debido a que la *Muscle R2* cuenta con varios componentes que provienen de la *Harley Davidson*, se ha requerido de técnicas de ingeniería inversa² -como el escaneo 3D- para digitalizarlos.

2.1. Objetivos del proyecto

El principal objetivo del proyecto es analizar cómo se ha llevado a cabo el desarrollo de la *Muscle R2*, en particular, en relación con la fase de diseño. Para ello, se deberá dominar el programa de diseño asistido por ordenador, *SolidWorks*³.

En base a este objetivo principal, se considerarán los objetivos secundarios de la siguiente lista:

- Convertir la *Muscle R2* en una motocicleta elegante, con unos acabados sobresalientes, y que, a su vez, cumpla con los requisitos técnicos necesarios de funcionalidad. Además, la finalidad es lograrlo optimizando al máximo los recursos disponibles.

¹ Las *scramblers* son motocicletas que combinan aspectos del mundo del asfalto con el mundo del *off-road*, dando lugar a vehículos muy versátiles y cómodos. Algunas características diferenciales son la posición de conducción más erguida, ruedas de tacos, sillines planos y escapes elevados.

² La ingeniería inversa consiste en la metodología utilizada para, partiendo de un objeto físico, analizar en detalle su estructura, función y método de fabricación, con la finalidad de reproducir un objeto con una funcionalidad similar o igual a la del objeto de partida. La ingeniería inversa permite comprender cómo es el diseño de una pieza con tal de mejorarla o modificarla.

³ *Dessault Systemes. SolidWorks* [software de ordenador]. 2021 SP2.0. [Consulta: 28 de diciembre de 2021]. Disponible en: <https://www.solidworks.com/how-to-buy>

- Obtener un diseño que permita conseguir piezas lo suficientemente versátiles para que el cliente de *Cohn Racers* pueda personalizar su motocicleta según sus preferencias, dándole así exclusividad al producto.
- Llevar a cabo técnicas de prototipaje para un eficiente desarrollo de la motocicleta de modo que se reduzcan los costes a la vez que se evitan fallos en la cadena de desarrollo del producto.
- La utilización de técnicas de ingeniería inversa para la digitalización de los componentes aprovechados de la motocicleta de partida.

2.2. Alcance del proyecto

Este proyecto recogerá todos los aspectos que se han tenido en cuenta a la hora de diseñar esta motocicleta, y detallará las limitaciones encontradas en este proceso.

Estos límites han sido marcados claramente por el aprovechamiento del motor de una *Harley Davidson* comercial, hecho que afecta directamente al diseño por cuanto reduce las posibilidades de la inventiva en esta fase.

En este proyecto únicamente se analizarán las piezas que tengan una importancia clave en el desarrollo de la *Muscle R2* -ya sea por su complejidad de diseño o su importancia a nivel mecánico-, debido al gran número de piezas que forman la motocicleta. Por este mismo motivo, solo se realizarán estudios de resistencia de esfuerzos mediante elementos finitos de las piezas con relevancia a nivel mecánico. Debido a que no se ha creído pertinente en base a las prestaciones de la motocicleta y al uso que se espera dar de esta, tampoco se realizarán simulaciones de fluidos en algunos elementos, aunque tengan cierto interés aerodinámico.

Puesto que esta motocicleta no está focalizada en el mundo de la competición, el flujo de trabajo ha consistido en priorizar en todo momento el aspecto estético por delante de la ligereza, conservando siempre los aspectos de seguridad pertinentes.

Por cuestiones de confidencialidad empresarial, no se pueden facilitar los planos de las piezas descritas en el proyecto por lo que solo es posible analizar los procesos seguidos a la hora de diseñar dichas piezas.

Finalmente, también supone un límite al diseño el hecho de que esta motocicleta ha sido ideada para posibilitar la fabricación de series cortas con el objetivo de poder personalizar cada una de ellas al gusto del cliente. Esta circunstancia genera que ciertas piezas deban concebirse teniendo en cuenta esta modalidad de producción semi-artesanal.

3. Estado del arte

Esta motocicleta está concebida para ser única en su sector. Se trata de un vehículo de alta gama que destaca principalmente por su apariencia y sus prestaciones mecánicas. No obstante, no es una motocicleta diseñada para lograr el máximo rendimiento, sino más bien para ser un artículo de coleccionista o para darle un uso totalmente lúdico, como salir de paseo o de ruta.

Analizando los orígenes en los que se inspira la *Muscle R2*, estos se remontan a finales de los años 60 cuando aparecieron las primeras *scramblers* en el mundo del motociclismo. Estas surgieron en el *TT de la isla de Man*⁴, cuando los jóvenes de la isla competían en carreras clandestinas en las que se mezclaba tanto el asfalto como el off-road. Atendiendo a lo anterior, surgió la necesidad de convertir las motocicletas en un híbrido capaz de correr tanto en campo como en carretera. De esta manera, las motocicletas se modificaron, adaptándolas con ruedas de tacos, sillines más cortos y acolchados, relojes pequeños y un tubo de escape elevado para evitar golpes con las piedras del camino.



Figura 5: Montesa Texas 175 - Estilo Scrambler

⁴ El *International Isle of Man Tourist Trophy* también conocido como *Tourist Trophy*, es una competición anual de motociclismo que tiene lugar desde su carrera inaugural en 1907. Esta se celebra en la Isla de Man, una pequeña isla del archipiélago británico considerada como reserva de la biosfera por la UNESCO desde 2016. La competición se realiza sobre carreteras cerradas al tráfico y en formato contrarreloj y es considerada como una de las carreras más peligrosas del mundo, con un trágico historial de más de 250 víctimas mortales.

Sin embargo, la *Muscle R2* no solo recoge ciertos aspectos de las *scramblers* de los años 60, sino que también se basa en otros aspectos de otras motocicletas del mundo de la competición y de los vehículos de alta gama.

Es un ejemplo de esta combinación el tren delantero, con una horquilla usada en motocicletas sport, unas tijas inspiradas en *Ducati* y un neumático de tacos con llanta de radios. Estas características hacen de la motocicleta de *Cohn Racers* única en su especie.

Si se analiza el mercado en el que compite la *Muscle R2*, encontramos otras firmas como *Arch Motorcycles*, especializada en motocicletas exclusivas, y que tiene como idea redefinir las *cruiser*⁵ americanas. Todos sus modelos cuentan con un motor Harley, además de incorporar sistemas de suspensión, frenado y escape de marcas con renombre. No obstante, *Arch Motorcycles* apuesta por un estilo de motocicleta conceptualmente distinto a *Cohn Racers* por lo que, pese a sus similitudes en cuanto a componentes y *target* de clientes se refiere, son productos completamente distintos.

La *Muscle R2* está enfocada al mercado estadounidense, donde las legislaciones relacionadas con las reformas y modificaciones de vehículos son menos estrictas que en otros países. Por ese motivo no ha sido necesario pasar homologaciones y otros requerimientos típicamente estipulados, por ejemplo, en la normativa a nivel de la Unión Europea. Esto ha permitido a *Cohn Racers* explorar nuevos horizontes en el diseño de sus productos, hecho que en un ámbito normativo más estricto habría sido imposible.

Aunque su uso no esté ideado para circuito, esta motocicleta cuenta con las marcas más exclusivas, tales como *Brembo* en el caso de los frenos, *Öhlins* en el caso de los amortiguadores, y *Akrapovič* en lo que a sistema de escape se refiere.

El motor que monta la *Muscle R2* es de 1200 centímetros cúbicos y proviene de la *Harley Davidson Sportster 1200 Iron*. Este motor bicilíndrico dispuesto en 'V' tiene una potencia de 67cv y un par máximo de 96Nm. Uno de los condicionantes principales de este motor es que va montado sobre gomas con tal de proteger el resto de la motocicleta de sus vibraciones.

Desde el punto de vista de la dinámica, la *Muscle R2* tiene una geometría inspirada en las motocicletas de estilo *scrambler*, por lo tanto, tiene un lanzamiento de dirección mucho menor que en motocicletas de estilo *cruiser* (como las *Harley Davidson*), una posición de conducción mucho más erguida, y una distancia entre ejes menor. Gracias a todo lo mencionado anteriormente, la *Muscle R2* se convierte en una motocicleta ágil y cómoda a la hora de conducir.

⁵ Las *cruiser* son un estilo de motocicletas nacidas en Estados Unidos entre los años 30 y 60 y se caracterizan por posiciones de conducción con los pies hacia delante y manillares altos. Suelen montar motores bicilíndricos en 'V' de gran cilindrada que, junto con su posición de conducción, grandes distancias entre ejes y amplios ángulos de lanzamiento, se convierten en motocicletas muy cómodas y estables en recta, pero a su vez, más toscas y poco maniobrables en curvas.

Por lo que hace a la ingeniería inversa, esta ha sido necesaria para digitalizar componentes de la motocicleta de partida, con tal de poder trabajar con ellos a la hora de diseñar piezas que dependan o estén afectadas por estas. Por este motivo, se ha utilizado el escaneo 3D para poder trabajar con estas piezas en el software de CAD.

El escaneo 3D se basa en una tecnología -o conjunto de ellas- que permite reconocer la posición de los puntos que forman un sólido en un espacio tridimensional, de manera que permite al usuario obtener una representación digitalizada del objeto escaneado en cuestión.

Esta tecnología consiste en la emisión de ondas electromagnéticas o ultrasonidos que rebotan contra el objeto de interés y estas son captadas de nuevo por el escáner. Sin embargo, existen diferentes subtipos de tecnología que hacen esto posible y, por lo tanto, existe una gran variedad de escáneres que realizan esta tarea de distinta manera y con distintas precisiones.

El escáner utilizado, hace uso de la tecnología de luz estructurada. Esta consiste en la emisión de un patrón rallado de luz infrarroja que es captado por dos cámaras situadas a cada lado del emisor. Gracias a la disposición de este patrón captado por ambas cámaras, el escáner es capaz de calcular la distancia a la que se encuentra la superficie analizada.

De esta manera, con el movimiento del escáner a lo largo de la superficie que se quiere digitalizar, el programa con el que se vincula el escáner, es capaz de coser un mallado de puntos en un espacio tridimensional que, a lo largo de la operación, acaba convirtiéndose en el objeto que se quería escanear.

4. Diseño conceptual/artístico



Figura 6: Muscle R2 - Vista lateral

Inspirada en el espíritu de las motocicletas *scrambler* de los años 60, en los acabados de [Ducati](#), y en los detalles y materiales de los superdeportivos⁶ como [Koenigsegg](#), la *Muscle R2* tiene un carácter agresivo que la hace verdaderamente única.

El diseño combina desde aspectos *off-road* como los neumáticos de tacos, hasta detalles que podemos encontrar en motocicletas de competición como la tornillería de titanio. El objetivo es que el diseño sea lo más agresivo posible dentro de los cánones establecidos previamente, pero, a su vez, conservando la elegancia de una motocicleta de alta gama.

Cohn Racers ofrece a sus clientes la posibilidad de personalizar su *Muscle R2* a su gusto. Es posible la elección del color de cada pieza, el tipo de neumáticos, el color de las suspensiones, el acabado de la fibra de carbono e incluso su color. Además, es posible elegir entre varios colores y texturas de cuero, así como el color de los leds de los controles del manillar y tacómetro. Gracias a esta amplia gama de combinaciones en cuanto a personalización se refiere, cada unidad se convierte en un ejemplar único.

⁶ Se considera como superdeportivo aquellos automóviles con unas prestaciones muy superiores a las de otros automóviles, así como por el uso de materiales poco convencionales como la fibra de carbono, el titanio, o el *Kevlar*. Debido al sobrecoste en comparación a otros deportivos de fabricación en masa, se realizan series cortas y por lo tanto se suele realizar el ensamblaje de gran parte del vehículo a mano.

A continuación, se muestran las figuras 7, 8 y 9 donde se especifica la procedencia de cada componente, es decir, si ha sido aprovechado de la motocicleta Harley de partida, diseñado específicamente para la *Muscle R2*, o proviene de un distribuidor oficial. También se especificará si la pieza en concreto se analizará más adelante en este proyecto o no.

- Diseñadas por Cohn Racers y se analizan en el proyecto
- Diseñadas por Cohn Racers y no se analizan en el proyecto
- Compradas a distribuidores oficiales
- Aprovechadas de la motocicleta de partida

Figura 7: Leyenda de las figuras 8 y 9



Figura 8: Esquema de componentes - Lado izquierdo



Figura 9: Esquema de componentes - Lado derecho

4.1. Chasis

El chasis es el elemento más crucial de toda la motocicleta. Es el encargado de unir todo el conjunto de las demás piezas además de albergar el motor. Así pues, en función de cómo sea el chasis, la motocicleta se comportará de una manera u otra. En este punto es cuando entra en juego la dinámica de la motocicleta y su geometría.

Cabe puntualizar que el chasis ha sido diseñado tomando como partida el de la motocicleta original con el fin de obtener un vehículo totalmente distinto. En el siguiente apartado se detallarán las modificaciones respecto el punto de partida y se analizarán las consecuencias físicas.

4.1.1. Geometría de la motocicleta

A la hora de diseñar un chasis para una motocicleta es clave conocer y ajustar ciertos parámetros o variables generales con tal de que el vehículo se comporte como es debido.

Algunos de estos parámetros son por ejemplo la distancia entre ejes, el avance, la altura del asiento o el ángulo de lanzamiento, cuyo significado se explica en el glosario.

A continuación, veremos una tabla comparativa con los valores de algunos de estos parámetros principales entre la motocicleta de partida (*Harley Davidson Sportster 1200 Iron*) y la *Muscle R2*.

Parámetro	<i>Harley Sportster 1200 Iron</i>	<i>Muscle R2</i>
Distancia entre ejes	1520 mm	1492 mm
Avance	107 mm	90 mm
Altura del asiento	710 mm	780 mm
Ángulo de lanzamiento	30°	24°
Diámetro llantas	16"	18"

Figura 10: Tabla comparativa de parámetro geométricos

Para analizar el diseño realizado se debe tener en cuenta el diseño de la motocicleta de partida. Como es conocido, *Harley* es una firma que apuesta por grandes ángulos de lanzamiento que hacen a sus motos muy estables en recta a cambio de dificultar su paso por curva.

La motocicleta diseñada se ha querido hacer más manejable y ágil en curvas por lo que se ha reducido la distancia entre ejes, así como otros parámetros que se detallaran a continuación.

Hay que tener en cuenta que tanto el avance, el ángulo de lanzamiento, y la distancia entre ejes son dependientes entre ellos, como se puede ver en la siguiente figura:

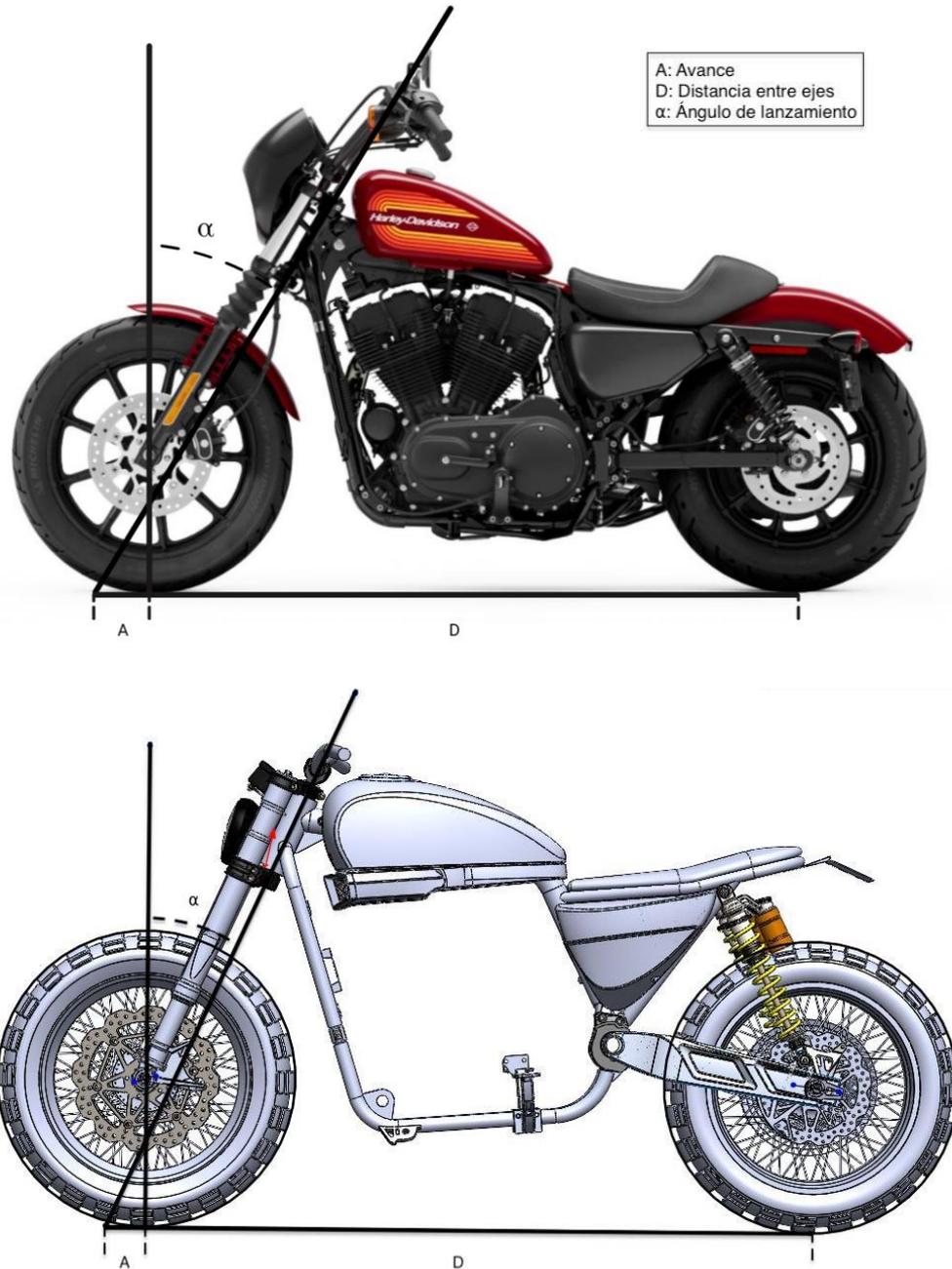


Figura 11: Comparación de los parámetros clave

Se observa que al aumentar el ángulo de lanzamiento (α) aumenta tanto el avance (A) como la distancia entre ejes (D). Es por eso por lo que deben estar en perfecta consonancia para conseguir un buen comportamiento de la motocicleta.

Para validar los parámetros mostrados en la tabla de la figura 10 se han tomado como referencia los valores que se encuentran en la obra de Foale (2002, p. 3.1- 3.20).

Debido a la reducción del ángulo de lanzamiento, la distancia entre ejes también se ha visto acortada. Esta modificación tiene una consecuencia directa en la mejora de la manejabilidad de la motocicleta. Como la motocicleta de partida es una *Harley* y estas tienen una distancia entre ejes mayor a lo habitual, la *Muscle R2* se sitúa en un rango de distancias normal en motocicletas sport-turismo.

Con respecto al avance, además de tener una gran influencia en la estabilidad direccional, también tiene un gran papel en el inicio de la fase de inclinación. Como las franjas de rodadura de, tanto el neumático delantero, como del trasero, están por detrás del punto donde el eje de dirección toca suelo, esto provoca en ambas ruedas un efecto de autocentrado. Esto es debido a que las fuerzas generadas en las ruedas, generan un momento en el eje de dirección que tiende a enderezar la rueda de nuevo. Esto proporciona estabilidad en línea recta.

La altura del asiento ha aumentado a 780mm, lo que hace que la *Muscle R2* sea una motocicleta más cómoda a la hora de conducir. También esto permite atrasar las estriberas con la finalidad de posibilitar al conductor realizar una conducción más ágil.

En cuanto al ángulo de lanzamiento, este tiene una gran influencia sobre la maniobrabilidad de la moto, así como del hundimiento de la suspensión delantera y de cómo se transmiten los esfuerzos sobre ella.

En referencia al lanzamiento de la *Harley*, se puede considerar que tiene un ángulo muy grande debido a que la mayoría de las motocicletas presentan ángulos de entre 20° a 26°, y el suyo es de 30°. De esta manera, con tal de mejorar la maniobrabilidad y convertir a la *Muscle R2* en una motocicleta más ágil y con más facilidad de giro, se ha decidido utilizar un lanzamiento inspirado en motocicletas deportivas como la *Yamaha R1* con un ángulo de lanzamiento de 24°.

Por último, el diámetro de las ruedas juega un importante papel en cuanto al comportamiento de la motocicleta. Asimismo, una parte muy identitaria de la *Muscle R2* son precisamente sus ruedas de 18" -un tamaño grande en relación con la media- pero que sigue dentro de los estándares y que no afecta de manera excesiva en su manejabilidad.

4.2. Cubre depósito

El cubre depósito es uno de los elementos más importantes a nivel estético. Este es el primer elemento que el conductor ve cuando está sentado en la motocicleta además de ser una de las piezas más voluminosas del conjunto del vehículo, lo que le da una predominancia absoluta en el apartado estético en relación con las demás piezas. Por lo tanto, la línea que sigue este embellecedor, que se encarga de esconder el depósito metálico de gasolina en su interior, es vital a la hora de darle un aspecto determinado a la motocicleta.



Figura 12: Muscle R2 - Vista superior

El cubre depósito, hecho de una sola pieza de fibra de carbono, consta de dos partes principales: la parte superior que simula ser un depósito de gasolina, y la parte inferior donde se alojan las entradas de aire. La parte superior luce las fibras de carbono a simple vista, mientras que la parte inferior está pintada en negro mate. Esta combinación permite dar la sensación de que son piezas distintas además de marcar una línea muy definida de la que otros elementos de la motocicleta se aprovecharán, como por ejemplo el asiento, para dar una visión general del vehículo mucho más armónica.

Con tal de dotar a la parte superior del cubre depósito de contraste en cuanto a color y material, una correa de cuero atraviesa longitudinalmente desde la parte delantera hasta el asiento del piloto, pasando a su vez por el embellecedor del tapón de gasolina.

Las entradas de aire son las encargadas de darle a la motocicleta un 'look' más agresivo. Inspiradas en los conductos de admisión de las motocicletas de competición, tienen la función de coleccionar el aire que entra posteriormente en el motor.

Desde la parte posterior de los embellecedores de las entradas de aire, se conectan unos embudos encargados de dirigir el aire hacia los colectores de admisión, así como de alojar los filtros de aire. Estos embudos han sido impresos en 3D debido a su peculiar geometría. De esta manera, se consigue una pieza ligera que, si tuviese que ser mecanizada en aluminio, tendría un coste mucho más elevado.

Además, como no tienen que soportar ningún esfuerzo mecánico, la impresión 3D se convierte en el método más efectivo.

4.3. Basculante y tren posterior

El basculante permite al tren posterior de la motocicleta pivotar, de manera que las suspensiones traseras puedan actuar correctamente. Además de su importancia a nivel mecánico, de la que hablaremos más adelante, el basculante es una de las partes más visibles de la motocicleta y, por lo tanto, un aspecto clave en el estilo e imagen del vehículo.

Se ha optado por un diseño de doble brazo con las suspensiones ancladas en el extremo posterior del basculante hasta el colín. Esto permite una visión clara tanto del basculante como de las suspensiones en sí, aparte de contribuir a darle a la motocicleta el buscado estilo *scrambler*.



Figura 13: Muscle R2 - Vista tren posterior

El diseño del basculante consiste en dos hendiduras en cada lateral bastante pronunciadas que lo dotan de un carácter agresivo, así como de unas propiedades mecánicas mejoradas (como se explicará en el apartado Basculante 5.2.2). Asimismo, el basculante presenta un tensor de cadena en la parte posterior de cada uno de sus brazos, diseño inspirado en este caso en el mundo *racing*.

La suspensión trasera consiste en dos amortiguadores de la marca *Öhlins* que van desde la parte posterior del basculante hasta el colín.

Anclado al basculante y al eje trasero, encontramos el soporte de la pinza trasera. Este se encarga de fijar la pinza de freno trasero y evitar que la pinza se desplace durante la frenada.

La pinza trasera es el modelo *P2* con un pistón de 34mm de diámetro de *Brembo* que trabaja sobre un disco de 260mm de diámetro diseñado específicamente para la *Muscle R2*.

4.4. Tren delantero

En el tren delantero encontramos una gran variedad de elementos que ayudaran a definir a la *Muscle R2* como la motocicleta que es. Dotada con un tacómetro personalizado hecho en fibra de carbono, intermitentes LED incorporados en el manillar, y mandos personalizados; la *Muscle R2* combina aspectos de última tecnología con la artesanía de una motocicleta hecha a medida.

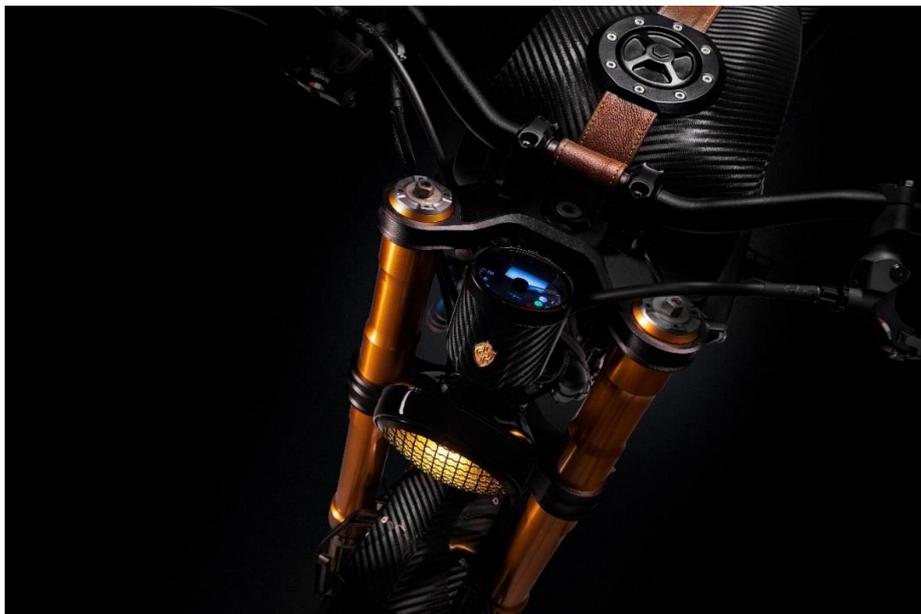


Figura 14: *Muscle R2* - Vista tren delantero

En el tren delantero también encontramos las tijas, encargadas de unir las suspensiones delanteras con el manillar y la pipa de dirección. Debido a que estas están justo debajo del manillar, son un elemento que queda muy a la vista del piloto y, por lo tanto, son un elemento estético para tener en cuenta.

Así pues, se ha optado por un diseño inspirado en el mundo *Moto GP* y en la marca *Ducati*, de manera que las tijas son lo más ligeras y finas posibles para darle la máxima predominancia a las botellas de la suspensión delantera.

Respecto a la amortiguación delantera, se ha elegido la horquilla invertida modelo *FGRT* de la marca *Öhlins* debido a su recorrido ajustable de 120mm a 150mm y sus altas prestaciones testadas en competición en motocicletas como la *BMW HP4* o la *Kawasaki H2*.

En cuanto al sistema de freno delantero, la *Muscle R2* está equipada con un conjunto bomba, maneta, latiguillos y pinza de la marca *Brembo*, el modelo *M4*. Este hace uso de la tecnología monobloque utilizada en *Moto GP* y que permite que la pinza esté construida en un solo bloque de fundición de aluminio. Además, gracias a sus 4 pistones de 34mm de diámetro es capaz de ejercer la máxima presión sobre el disco de freno. Este sistema de freno actúa sobre un disco de 330mm que al igual

que el disco trasero, ha sido diseñado específicamente para esta motocicleta.

Tanto la llanta delantera como la trasera son de radios y miden 18". Gracias a este tamaño de llanta, las ruedas tienen una predominancia en lo que a estética se refiere, de manera que el motor no se ve tan grande y en términos generales la motocicleta queda más proporcionada.

También podemos encontrar detalles como una insignia en la parte frontal del tacómetro con el escudo de la marca *Cohn Racers* y fabricada en oro.

Detalles como el guardabarros delantero, o la tapa del cable del gas están hechas, al igual que el tacómetro, en fibra de carbono.

4.5. Tornillería, ejes, escape y tren motriz

La *Muscle R2* es una motocicleta que destaca por los materiales empleados. Por eso se ha decidido utilizar titanio en la totalidad de su tornillería, gracias a su proporción de fuerza y densidad. Esto hace posible que el conjunto de la tornillería sea muy ligero además de darle al vehículo unos acabados de alta gama.

En cuanto a los ejes, estos han sido diseñados específicamente para la *Muscle R2*, así como las tuercas de ambos ejes. Estos están fabricados también en titanio.

El sistema de escape consta de dos colectores que salen de cada uno de los cilindros y finalizan en la parte posterior de la motocicleta con un silenciador de la marca *Akrapovič* en cada tubo, garantizando de esta manera, un sonido potente y agradable. Los colectores han sido diseñados y fabricados manualmente por expertos en soldadura y han sido fabricados íntegramente en titanio. Gracias a un utillaje estos se pueden reproducir para todas las series que serán fabricadas en un futuro.



Figura 15: *Muscle R2* - Sistema de escape

Por último, el tren motriz funciona mediante correa, como en la motocicleta de partida. De la Harley se aprovecha la corona trasera y el piñón, en cambio, se ha diseñado un nuevo tensor de correa con una estética más acorde con la *Muscle R2* que el original de la motocicleta de partida.

5. Diseño mecánico

El diseño mecánico de la motocicleta ha sido realizado mediante software de diseño asistido por ordenador, como *SolidWorks*, y herramientas de ingeniería inversa.

La *Muscle R2* aprovecha componentes de la motocicleta de partida como son el motor, el chasis, el sistema eléctrico y el sistema de lubricación por aceite, todos ellos modificados en mayor o menor medida. Por consiguiente, en este apartado solo se detallará el diseño de los principales componentes fabricados específicamente para la *Muscle R2* (detallados en las figuras 8 y 9) y que han tenido un importante papel en la fase de diseño de la motocicleta, ya sea por su complejidad de diseño o por su importancia en el aspecto mecánico. Asimismo, también se detallará el proceso de modificación seguido en el chasis.

En cuanto a las piezas que no se detallan en el proyecto, pero han sido diseñadas especialmente para la *Muscle R2*, se ha obviado su explicación debido a que siguen un proceso similar al que se explicará a continuación.

Además de explicar el procedimiento utilizado en el diseño, se realizarán las simulaciones de las piezas que tengan un papel mecánico importante en el funcionamiento de la motocicleta, mediante *SolidWorks Simulation*. Para validar los resultados obtenidos con este programa se han realizado las pruebas ‘NAFEMS Benchmark⁷’ -incluidos en el propio programa- con tal de verificar que la versión utilizada de *SolidWorks* consta de la precisión y exactitud en sus cálculos por elementos finitos.

En relación con las técnicas de ingeniería inversa, estas han sido necesarias debido a que ciertas partes de la motocicleta han sido aprovechadas del vehículo original y otras han sido producidas por terceros, por lo que no se disponía de los planos 3D exactos de estas piezas. De esta manera, mediante escáneres 3D, se ha conseguido una representación de dichas partes con una precisión de 0,3mm.

⁷ NAFEMS Benchmark es un banco de pruebas realizado por la Agencia Nacional de Normas y Métodos de Elementos Finitos (NAFEMS) que trata de mejorar y verificar la precisión de los códigos utilizados en los *softwares* de simulación por elementos finitos. Gracias a este se puede comprobar la validez de los resultados obtenidos en dichos programas.

5.1. Ingeniería Inversa: Escaneo 3D

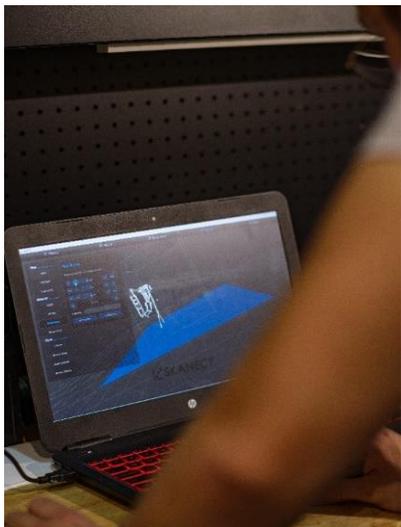


Figura 16: Software de escaneo 3D
(Skanect)

El modelo de trabajo seguido con los datos obtenidos del escaneo 3D, ha consistido en dos técnicas distintas.

La primera trata en utilizar el mallado resultante del escaneo como patrón, es decir, utilizar los puntos proporcionados para guiar el proceso de dibujo en *SolidWorks*. La única pieza que ha requerido de esta técnica ha sido el chasis, del que se ha realizado un escaneo a partir del cual se ha remodelado a partir de la primera aproximación de la malla.

La segunda se fundamenta en el uso del mallado de puntos para limitar la zona de trabajo a la hora de diseñar piezas que interaccionen, o su forma vaya condicionada, por la pieza escaneada. De esta manera, se utiliza la información recibida por el escáner como limitante de la zona de trabajo.

Con el escáner *Sense 2*, y el programa *Skanect*⁸, se ha podido digitalizar diversas piezas de la motocicleta que han sido necesarias para el correcto desarrollo del vehículo.

El principal desafío que se ha presentado ha sido el gran número de puntos que tenían estas mallas (debido a que alguna vez ha sido necesario escanear partes de la motocicleta muy grandes) y el costo computacional que eso conllevaba, dificultando y ralentizando la tarea de diseño.

No obstante, una de las principales limitaciones encontradas a la hora de trabajar con los mallados ha sido la baja precisión del escáner (tan solo 0.3mm). Por este motivo, no se han podido utilizar las mallas obtenidas con el escaneo para encontrar medidas exactas a partir de ellas, en consecuencia, se han usado a modo de patrón o como limitantes de la zona de trabajo a la hora de diseñar.

5.1.1. Chasis

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño del chasis se aprovecha casi íntegramente de la motocicleta original, pero se le han realizado ciertas modificaciones. Por ello, ha sido de vital importancia tener esta pieza digitalizada, para de esta manera, poder fabricarlo desde cero.

Por consiguiente, se ha modificado manualmente un primer chasis con tal de conseguir un primer prototipo funcional que ha servido como base para el diseño del bastidor definitivo. Por lo tanto, como consecuencia de la necesidad de tener dibujado en CAD el chasis, gracias al escáner 3D se ha

⁸ *ManCTL*. *Skanect* [software de ordenador]. 1.11.0. [Consulta: 26 de noviembre de 2021]. Disponible en: <https://skanect.occipital.com/download/>

podido crear una malla lo suficientemente precisa como para usarla a modo de patrón y así, de esta manera, dibujar un chasis desde cero, ya con las modificaciones necesarias aplicadas.

Gracias a la digitalización del bastidor, se ha podido realizar algunos retoques en algunos soportes que, en el primer prototipo, necesitaban mejorarse. Un ejemplo es la caja de la batería, que se ha modificado para que tenga un sistema de anclaje más sencillo y permita una extracción del batería más cómodo.

Las principales barreras que se han encontrado a la hora de escanear el chasis ha sido que este está pintado con pintura en polvo, hecho que provoca que la superficie del chasis tenga un acabado semi-mate que dificulta la lectura del escáner. La solución tomada ha consistido en espolvorear todo el chasis con talco de manera que la superficie se volviera totalmente opaca y, de este modo, el escáner 3D ha sido capaz de detectar a la perfección la superficie.

Una vez obtenida la malla, el proceso de trabajo ha consistido en dibujar con *SolidWorks* sobre el mallado teniéndolo como referencia, de manera que este sirva como guía.

Debido a que el escáner tiene una precisión relativamente baja, con tal de corroborar que las medidas tomadas por la malla eran exactas se ha decidido comprobar todas las medidas clave a mano.



Figura 17: Aumentando la visibilidad del chasis en el escaneo con talco

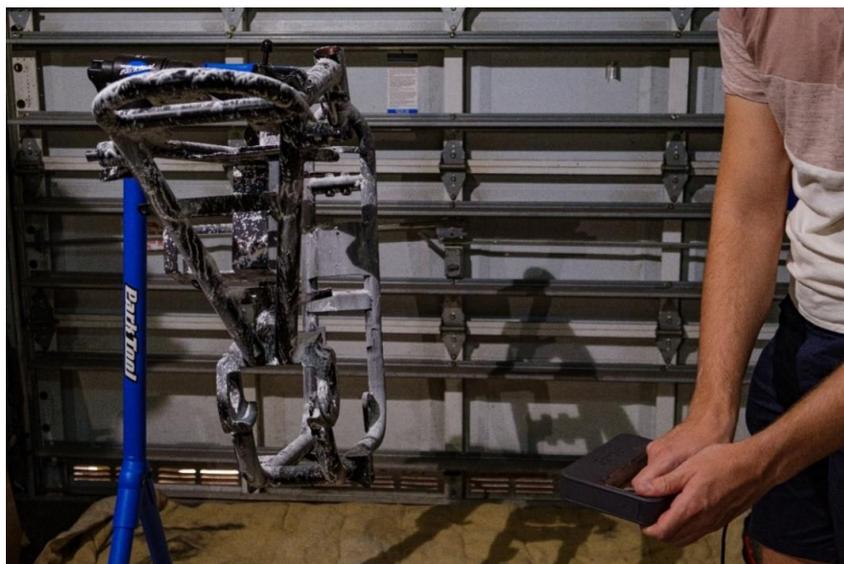


Figura 18: Escaneando el chasis

5.1.2. Cubre depósito

Para el diseño del cubre depósito, ha sido necesaria la utilización del escáner 3D, esta vez usado para limitar la zona de trabajo. Como dice su nombre, el cubre depósito, es el encargado de cubrir (o esconder) el depósito de gasolina, el cual no tiene por qué tener una forma bonita o estética.

Como el depósito de gasolina se compra a un tercero, no se dispone de un plano o dibujo con sus medidas, por lo que diseñar un cubre depósito que se compagine bien con esta pieza es difícil. Es en este momento cuando se ha hecho uso del escáner 3D, con la finalidad de limitar la zona de trabajo a la hora de diseñar el cubre depósito y, por lo tanto, evitar que estas dos piezas se toquen o no encajen como es debido.

El escáner 3D también ha servido de ayuda para centrar agujeros como la entrada de gasolina o los tornillos que aguantan al cubre depósito en el chasis, así como para dar una idea a grandes trazos de cómo quedará desde un punto de vista estético en el conjunto de la moto.

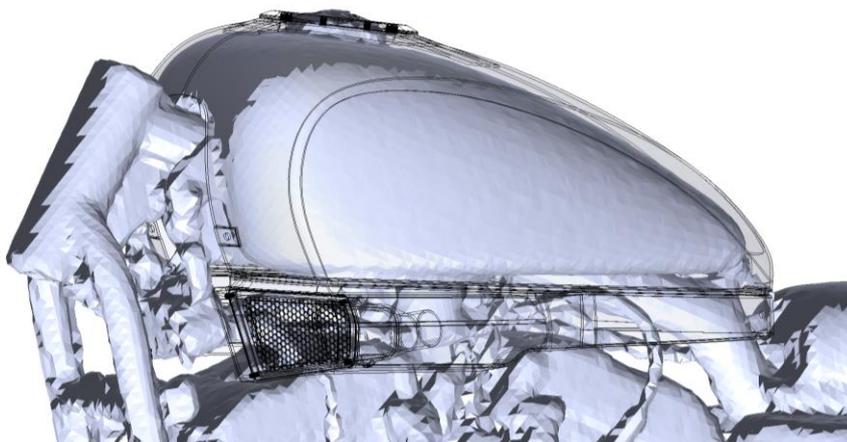


Figura 19: Mallado del depósito con el cubre depósito encima

5.1.3. Embellecedores depósito de aceite

Una de las partes que se aprovechan de la *Harley* original es el sistema de lubricación por aceite. Este, cuenta con un depósito que va situado debajo del asiento y conectado directamente al motor.

Para reducir el impacto visual que este tiene, se han diseñado unos embellecedores que cubren los laterales de debajo del asiento y, a su vez, también tapan la batería, situada en el lado izquierdo del depósito.

Como el depósito de aceite tiene una forma muy concreta, ha sido necesario escanearlo con tal de poder diseñar unos embellecedores que lo cubran sin interferir con él y ocupando el mínimo espacio posible, de manera que tampoco tengan una predominancia excesiva. También el escaneado del depósito ha servido de ayuda para dibujar los anclajes de este al chasis.



Figura 20: Mallado del depósito de aceite con la tapa encima

Así pues, gracias al escaneo 3D se ha podido digitalizar el depósito en una malla, con tal de incluirlo en el ensamblaje con el chasis. De esta manera ha sido posible diseñar las tapas que se muestran sombreadas en la figura 20, estas encajan a la perfección con el chasis y, a su vez, cubren el depósito de aceite en un lado y la batería en el otro, sin que interfieran con ninguno de estos dos elementos.

Además, gracias a este mallado se ha podido situar el soporte de la batería lo más ajustado posible al depósito de aceite con tal de que todo el conjunto quepa en el colín.

5.2. Diseño CAD

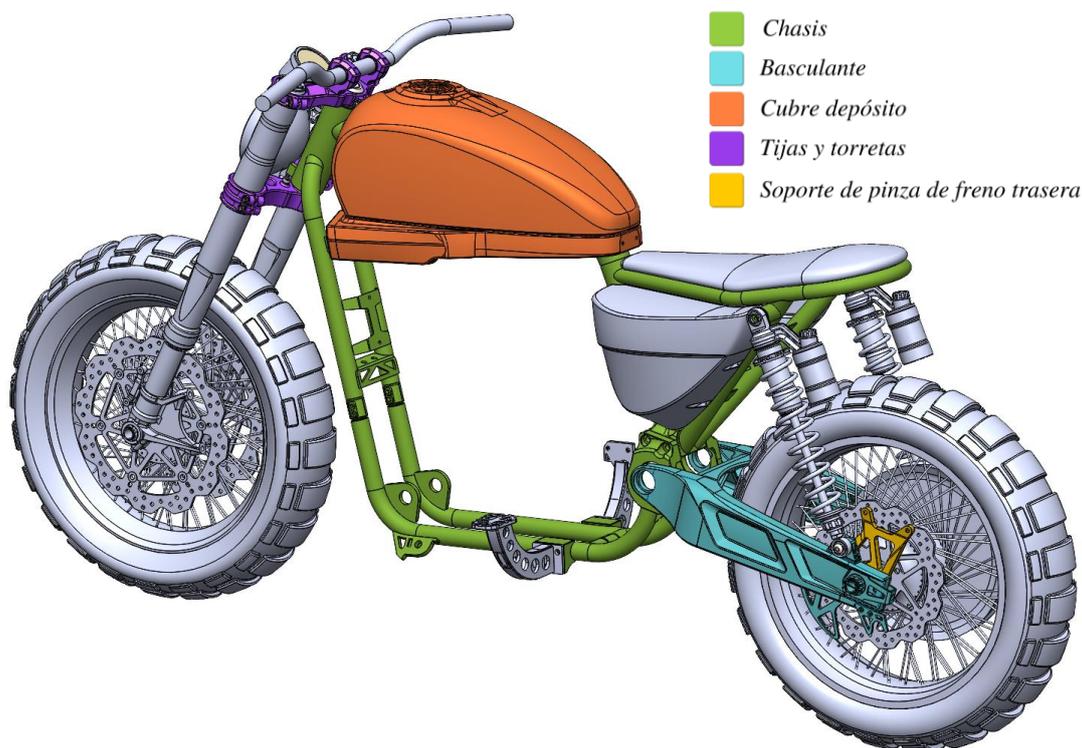


Figura 21: Ensamblaje completo de la Muscle R2 con las piezas analizadas resaltadas en color

A continuación, se analizará el modelo de trabajo seguido a la hora de realizar algunas de las piezas más importantes que han sido diseñadas. También se analizarán las simulaciones mecánicas realizadas en las piezas con importancia mecánica, además de las técnicas utilizadas para ahorrar material y peso sin comprometer la estructura.

Todas las simulaciones se han realizado tomando como material el aluminio 6061-T6 con las siguientes propiedades:

Propiedades	Módulo elástico	Coefficiente de Poisson	Tensión de rotura	Límite elástico
Valor	69.000 N/mm ²	0,33	310 N/mm ²	275 N/mm ²

Figura 22: Tabla de propiedades del Aluminio 6061-T6

Las principales técnicas de dibujo utilizadas han sido la modelación de sólidos, modelación de superficies, y la modelación de sólidos mediante superficies. Para unir el conjunto de piezas se han realizado ensamblajes de subensamblajes. De manera que resulte una estructura de archivos ramificada, siendo la principal rama el ensamblaje entero de la motocicleta, la cual se va ramificando en subensamblajes más pequeños como por ejemplo el tren delantero, el tren trasero, o el chasis, resultando finalmente en las piezas individuales.

5.2.1. Chasis

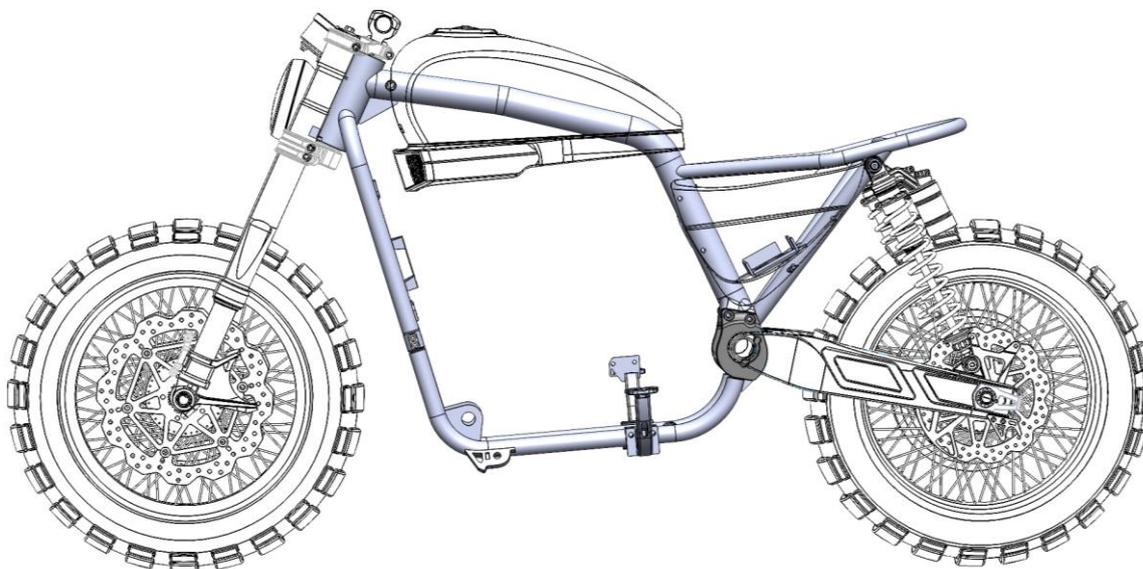


Figura 23: Chasis resaltado en el ensamblaje completo

El diseño del chasis ha consistido en la adaptación de un primer prototipo realizado a mano con las modificaciones en cuanto a parámetros dinámicos realizadas. Este último se ha escaneado a modo patrón para su digitalización.

Gracias a la digitalización del chasis, se ha podido redefinir la distribución del colín para que el depósito de aceite, la batería y la tapas que cubren a ambos, encajen perfectamente. También se han podido mejorar los soportes del sistema de refrigeración de aceite y del sistema eléctrico.

Además, la digitalización del chasis ha servido para diseñar otras piezas que dependan de él, tomándolo como referencia.

Cabe señalar que se ha decidido no realizar ninguna simulación sobre este, debido a que a nivel estructural no se ha modificado nada que pueda comprometer la integridad del chasis y el diseño del que proviene es un modelo perfectamente funcional comercializado.

También se han realizado los ajustes pertinentes ya comentados respecto a la geometría de la motocicleta, como adaptar el ángulo de lanzamiento deseado, o ajustar la altura de la pipa de dirección para amorrar más o menos la motocicleta.

Además, se ha diseñado de manera que el chasis esté formado por tres partes que se ensamblan a posteriori. Esto ahorra costes de transporte al disminuir volumen del envío desde el lugar de fabricación hasta el lugar del ensamblado de la motocicleta. También facilita la colocación del motor durante el montaje del vehículo.

El dibujo en *SolidWorks* se ha realizado mediante modelación de sólidos -debido a su forma poco compleja-, y consiste de un ensamblaje de 3 piezas por cuestiones de practicidad: parte superior, parte inferior y colín.

Un hecho a tener en consideración en el proceso de diseño es que el motor va montado en gomas para minimizar el impacto de sus vibraciones en el resto de la motocicleta, es por ello que se ha debido tener en cuenta los alojamientos de estas.

El chasis está hecho en acero al cromo-molibdeno, el mismo material con el que está hecho el chasis en la *Harley Davidson*.

5.2.2. Basculante

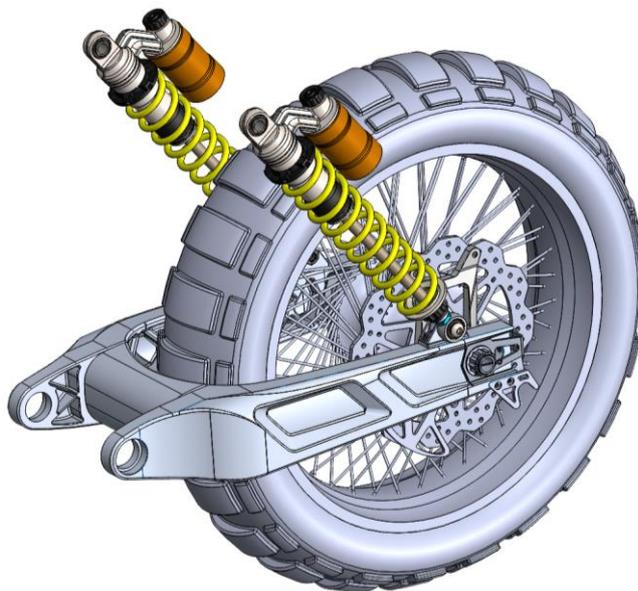


Figura 24: Ensamblaje del tren trasero

El basculante es la pieza que conecta la rueda trasera de la motocicleta con el chasis (mediante un eje). Es un elemento clave en el sistema de suspensión debido a que es la parte que más cargas recibe tanto a la hora de frenar como de acelerar.

Como bien dice su nombre, esta pieza bascula desde un extremo fijo donde se ancla al chasis. Esto permite a la suspensión absorber las fuerzas ejercidas en el tren posterior.

Si nos adentramos en el diseño estructural que consta de tres partes -las cuales están soldadas entre sí-, los dos brazos y un núcleo que junta ambas partes. Las tres están fabricadas en aluminio 6061-T6 pues esta aleación permite tener unas cualidades muy buenas a nivel mecánico tales como una buena resistencia, formabilidad, soldabilidad, mecanizado y resistencia a la corrosión además de tener un precio asequible. No obstante, se está valorando la posibilidad de utilizar la aleación 7075 para futuras series debido a que tiene una mejor resistencia y el sobre coste no es excesivo.

Como en el resto de la motocicleta, el basculante se ha diseñado priorizando el apartado estético, por este motivo la metodología seguida en el proceso de diseño ha consistido en la prueba-error mediante simulaciones. Por lo tanto, se ha partido de un primer modelo que cumplía con los cánones estéticos deseados y a partir de ahí se ha ido aligerando, comprobando en todo momento su rendimiento a los esfuerzos, de manera que no se comprometa su integridad estructural en ningún momento. Así pues, una vez llegado a un peso y factor de seguridad razonable, se ha considerado que esa versión es la definitiva. Más adelante se explicará en profundidad el análisis seguido mediante elementos finitos, así como los resultados obtenidos.

Respecto el diseño en CAD, ha sido realizado mediante dos principales procesos: modelado de sólidos y modelado de sólidos mediante superficies. Partiendo como base de un croquis con las cotas generales requeridas tales como la distancia entre ejes, ancho y alto, generamos un sólido con la forma aproximada del basculante.

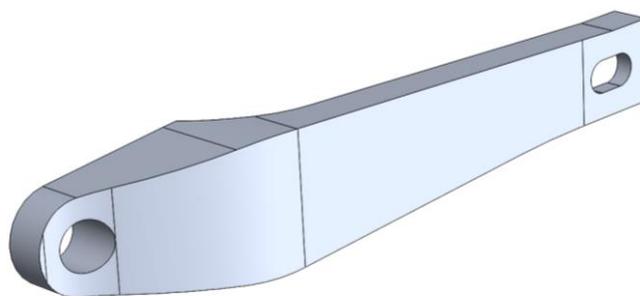


Figura 25: Modelado de sólidos utilizado para el basculante

A partir de aquí, empezamos a generar una estructura de alambre mediante un croquis 3D para generar las superficies que más adelante nos permitirán modelar el sólido. Gracias a este croquis 3D seremos capaces de limitar las superficies y a su vez ajustarlas a nuestro gusto.

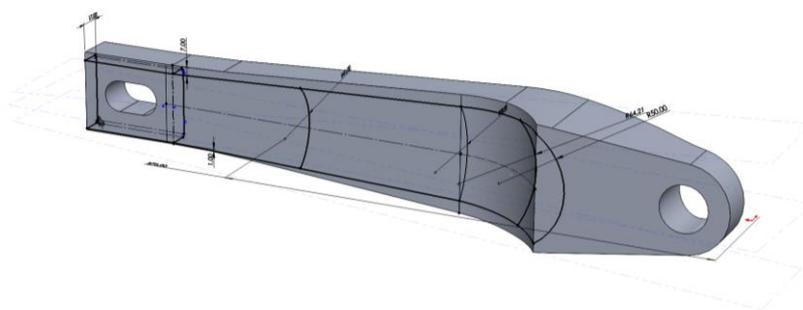


Figura 26: Croquis 3D para el modelado de sólidos mediante superficies utilizado para el basculante

El siguiente paso ha sido generar la cara exterior del basculante de tal manera que siga el estilo deseado y a su vez nos permita tener una estructura robusta.

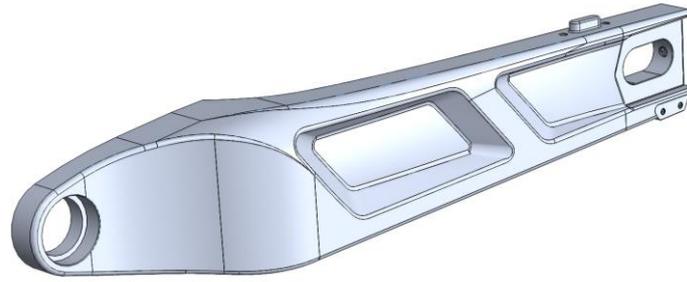


Figura 27: Hendiduras laterales del basculante

De esta manera, gracias al nervio superior e inferior que generan las dos hendiduras, se consigue un perfil en 'H' que mejora la distribución de tensiones a lo largo de la sección para cargas tangenciales, como se puede ver en la figura 28.

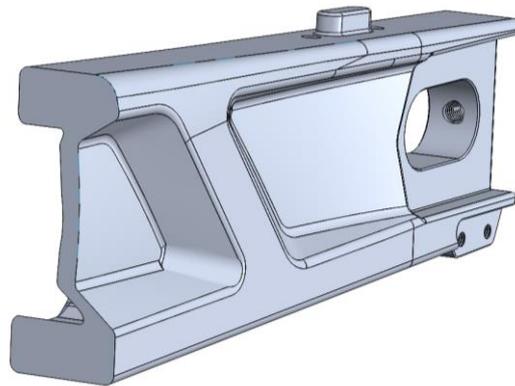


Figura 28: Brazo del basculante visto en sección

Para mejorar la rigidez de la estructura en la dirección longitudinal de los brazos para esfuerzos torsionales y a la vez aligerar peso, la cara interior del basculante se ha cubierto de un patrón en 'X' de manera que no afecten a la estética de la pieza.

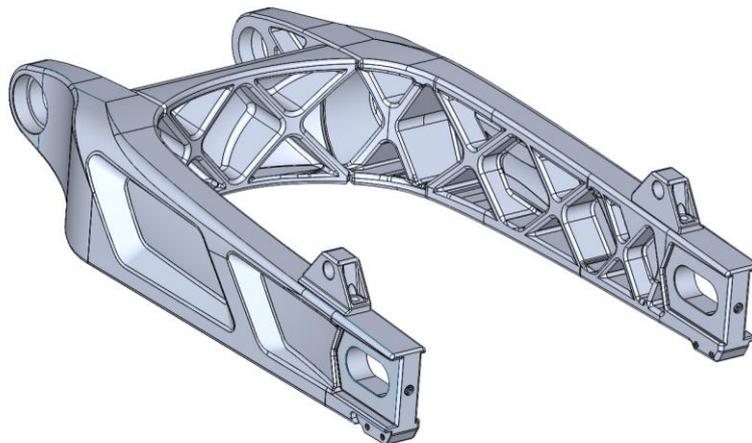


Figura 29: Estructura de la cara no visible del basculante

Finalmente, el núcleo sigue la misma lógica que los brazos laterales, además, su cara interna también consta del mismo patrón en 'X'. Esta pieza también cuenta con unos centradores para que, a la hora de soldar, las tres piezas queden situadas en el lugar de diseño. Para asegurar aun más que la soldadura se realiza de la manera correcta, se ha diseñado un utillaje que evita deformaciones provocadas por la soldadura.

Finalmente se han diseñado los soportes de suspensión que se sitúan en la parte superior del eje trasero. Estos cuentan con un centrador y son anclados mediante tornillos.

Todo el diseño del basculante ha sido concebido para que pueda ser fabricado en una fresadora de 3 ejes, de esta manera se ahorran costes de fabricación. Esto es posible ya que la herramienta puede entrar y salir desde la cara exterior (y respectivamente desde la interior en una operación análoga) sin necesidad de girar la pieza, solo desplazándose en un plano.

5.2.2.1. Simulación por elementos finitos del basculante

Como en el resto de la motocicleta, en el diseño del basculante también se ha dado prioridad al apartado estético. Por este mismo motivo, en el proceso no se ha usado la metodología seguida en competición -que consiste en un diseño en base a los requerimientos funcionales dejando en un plano secundario el apartado estético-, sino que en este caso se ha puesto por delante la parte estética y después se ha ido optimizando la pieza mediante prueba-error en simulaciones, asegurando que cumpla con los requisitos funcionales de la motocicleta.

Así pues, para realizar las simulaciones es necesario conocer qué esfuerzos sufre el basculante y en qué dirección. Analizando la física de una motocicleta, vamos a considerar dos esfuerzos: el primero es el que sufre el basculante cuando la motocicleta acelera, y el segundo es el que sufre cuando la motocicleta está en curva. Se analizará cada caso por separado en una simulación.

Cabe puntualizar que no se analizará el caso de una frenada de emergencia para el basculante. Esto es debido a que en este tipo de situaciones la rueda trasera recibe muy pocas cargas, ya que todo el peso del vehículo se desplaza hacia el tren delantero, descargando a su vez la rueda trasera o incluso levantándola del suelo.

Para el primer tipo de esfuerzo, se puede simplificar el basculante como una barra anclada fijamente en el eje del basculante donde solo podría rotar, y otra en el eje de la rueda trasera donde además de rotar también se podría desplazar en el eje longitudinal. Por lo que hace a las fuerzas, solo hay una aplicada en el soporte de la suspensión. Véase el esquema de la figura 30.

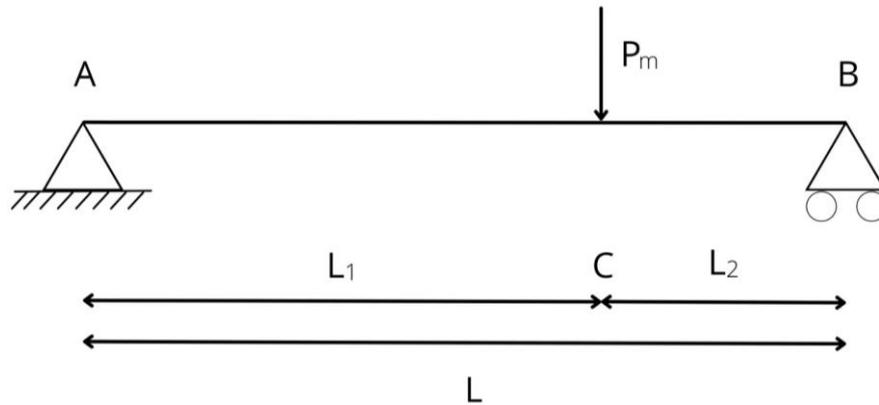


Figura 30: Esquema de los esfuerzos aplicados al basculante durante una aceleración

En el punto C (el soporte de suspensión) de la figura 30 es donde se aplica todo el peso de la motocicleta (P_m). Es cierto que como la motocicleta tiene dos ruedas el peso se distribuiría, pero si nos situamos en el caso límite, cuando la motocicleta acelere al máximo todo el peso será distribuido hacia la parte trasera, incluso podría llegar a levantar la rueda delantera. Así pues, supondremos que toda la fuerza ejercida sobre el soporte de suspensión equivale al peso de la motocicleta. Como el peso de la motocicleta ronda los 250Kg sin contar al piloto, se ha tomado como referencia un peso de 350Kg suponiendo que el piloto pese como máximo 100Kg.

Partiendo de estas premisas, procedemos a realizar la simulación en el programa *SolidWorks* mediante elementos finitos.

El primer paso consistirá en definir las restricciones de movimiento y posteriormente las fuerzas aplicadas en el modelo. Una vez definidas las condiciones de contorno se procede a mallar el modelo. El propio programa se encarga de aumentar la densidad de elementos en las zonas conflictivas, no obstante, hay que definir un intervalo de tamaño de elemento lo suficientemente pequeño como para que no haya fallos en las zonas geoméricamente complejas.

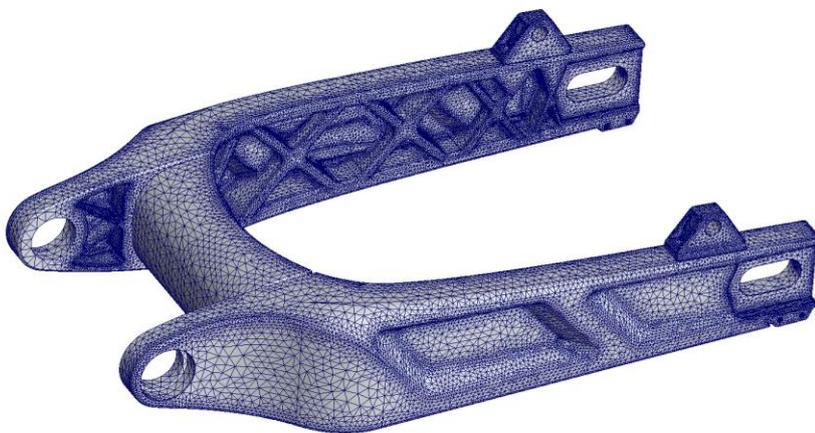


Figura 31: Mallado del basculante para la simulación

Si analizamos los resultados obtenidos en el gráfico de la tensión máxima de Von Mises de la figura 32, podemos comprobar que el máximo valor se encuentra en el alojamiento del eje de la rueda trasera y en ningún momento llega a superar el valor de límite elástico del aluminio 6061-T6 que es de $2,75E+08$ N/m². Si comprobamos el coeficiente de seguridad mediante el máximo valor obtenido, resulta de la siguiente manera:

$$c. s. = \frac{\text{Límite elástico}}{\text{Tensión máxima}} = \frac{2,750E + 08}{2,692E + 07} = 10,21$$

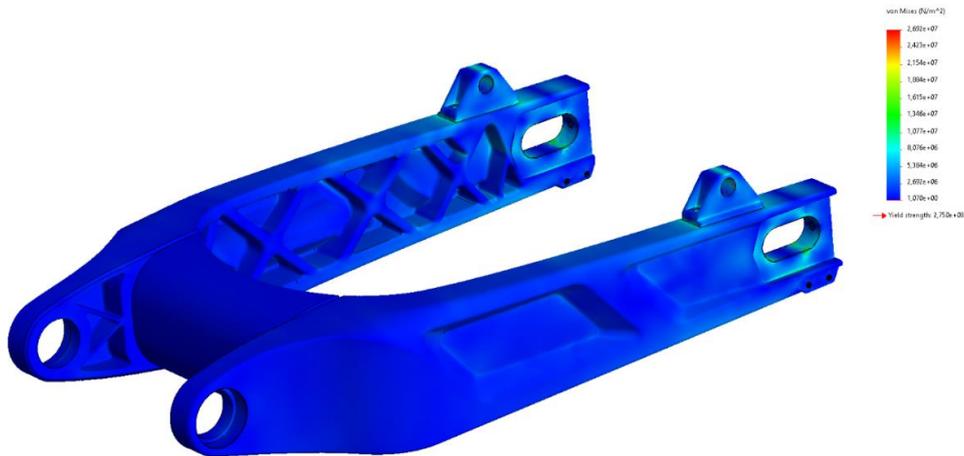


Figura 32: Gráfico de la distribución de tensiones de Von Mises en el basculante durante una aceleración

Vease que el resultado del coeficiente de seguridad es de 10,21 y por lo tanto es un resultado más que suficiente para afirmar la resistencia de la pieza al someterse a esta carga.

Si analizamos los desplazamientos del basculante, se observa que el desplazamiento máximo se sitúa en la zona central de cada brazo, justo delante del soporte de la suspensión. Esto ocurre con un valor máximo de $3,006E-02$ mm, y podemos considerar que un desplazamiento de esta magnitud es insignificante de cara a la integridad estructural de la pieza.

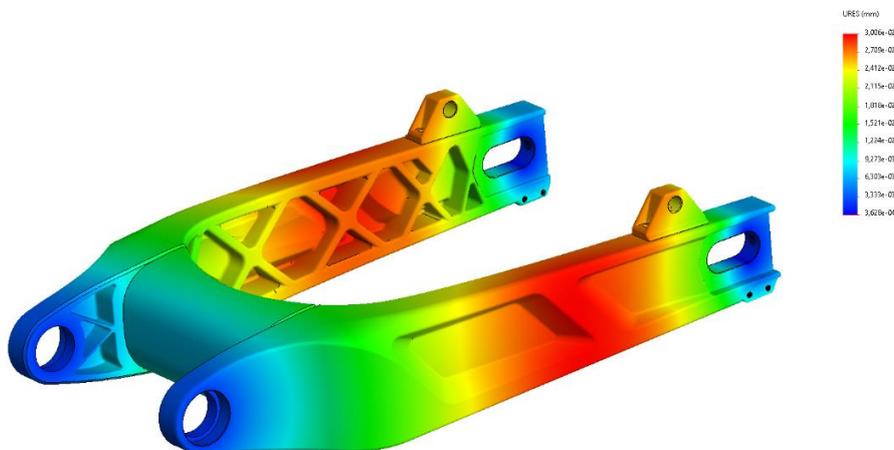


Figura 33: Gráfico de la distribución de desplazamientos en el basculante durante una aceleración

Para el siguiente tipo de simulación que se ha realizado, se considera que la motocicleta se encuentra en una curva y por lo tanto aparecen fuerzas torsionales en el tren trasero. Estas, se acaban transmitiendo como fuerzas verticales de sentido contrario en cada uno de los brazos del basculante.

Observando el siguiente esquema de la figura 34 podemos entender cómo aparece una componente de fuerza en el plano del suelo. Esto crea un momento flexor en la llanta que se traduce en una fuerza ascendente en un brazo del basculante del interior de la curva y en una descendente en el brazo del exterior.



Figura 34: Esquema de los esfuerzos que recibe la motocicleta durante una curva

Así pues, si realizamos los cálculos de la fuerza que se aplicará en la simulación, es necesario empezar por la definición de la fuerza centrípeta:

$$F_c = \frac{m \cdot v^2}{R}$$

Donde 'm' es la masa, 'v' la velocidad y 'R' el radio de la curva. Considerando la misma hipótesis que en la simulación anterior para el caso límite, la motocicleta tendría una masa total de 350Kg. Para la velocidad tomaríamos una velocidad punta de 150Km/h o redondeando 41m/s, y suponiendo una curva de 50m de radio, se obtendría la siguiente fuerza centrípeta:

$$F_c = F_r = \frac{350\text{Kg} \cdot (41\text{m/s})^2}{50\text{m}} = 11767\text{N}$$

Si queremos obtener la fuerza en la referencia de la motocicleta y se supone una inclinación de 45° , que dado el tipo de motocicleta es bastante, la fuerza en la componente vertical F_y es:

$$\begin{aligned} F_y &= \cos\theta \cdot N + \sin\theta \cdot Fr = \cos\theta \cdot m \cdot g + \sin\theta \cdot Fc \\ &= \cos 45^\circ \cdot 350Kg \cdot \frac{9,8m}{s^2} + \sin 45^\circ \cdot 11767N = 2425,37N + 8320,52N \\ &= 10745,89N \end{aligned}$$

Para la componente horizontal en la referencia del vehículo, la de los ejes de las ruedas, se calcularía con la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} F_x &= \cos\theta \cdot Fr - \sin\theta \cdot N = \cos\theta \cdot Fc - \sin\theta \cdot m \cdot g \\ &= \cos 45^\circ \cdot 11767N + \sin 45^\circ \cdot 350Kg \cdot \frac{9,8m}{s^2} = 8320,52N - 2425,37N \\ &= 5895,15N \end{aligned}$$

Una vez encontradas las componentes de las fuerzas ejercidas sobre la zona de rodadura del neumático, en la referencia del motorista, se procede al cálculo de las fuerzas aplicadas sobre el basculante.

Debido a que tenemos dos componentes, estas provocarán que haya reacciones horizontales y verticales.

Supondremos que la distribución de pesos es del 50% y por lo tanto se considera que las fuerzas F_x y F_y se reducen a la mitad. Se las llamará F_x' y F_y' .

Para encontrar las reacciones que se aplican en los soportes del eje del basculante, se aplicará sumatorio de fuerzas y se considerará que los puntos A y B de la figura 35 son articulaciones con un grado de libertad con tal de simplificar el problema.

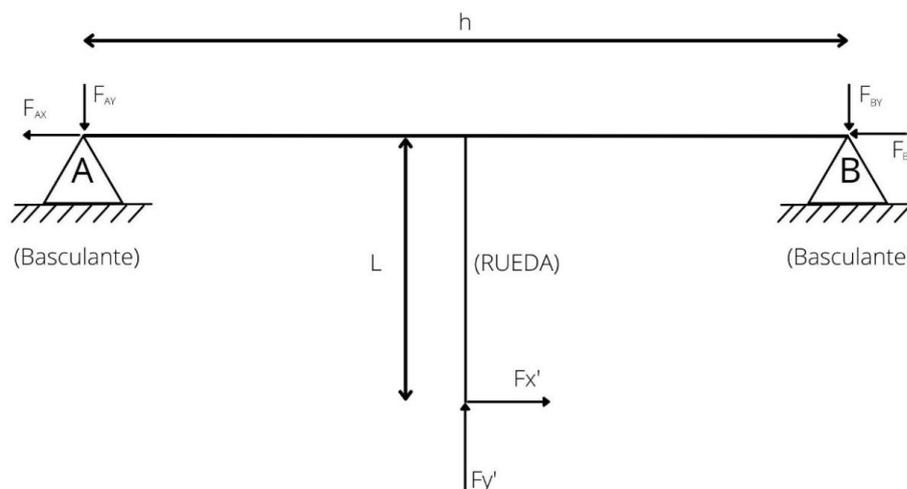


Figura 35: Esquema de los esfuerzos recibidos por el basculante durante una curva

De esta manera los cálculos serían:

$$h = \text{ancho del eje de la rueda trasera} = 0,263\text{m}$$

$$L = \text{radio de la rueda (aproximado)} = 0,25\text{m}$$

$$F_{x'} = \frac{F_x}{2} (\text{debido a la repartición de pesos}) = 2947,57\text{N}$$

$$F_{y'} = \frac{F_y}{2} (\text{debido a la repartición de pesos}) = 5372,94\text{N}$$

$$F_{AX} = \text{fuerza resultante horizontal en el punto A}$$

$$F_{AY} = \text{fuerza resultante vertical en el punto A}$$

$$F_{BX} = \text{fuerza resultante horizontal en el punto B}$$

$$F_{BY} = \text{fuerza resultante vertical en el punto B}$$

$$\sum F = 0$$

$$F_{AX} + F_{BX} = F_{x'}$$

$$F_{AY} + F_{BY} = F_{y'}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$F_{BY} \cdot h - F_{y'} \cdot h/2 - F_{x'} \cdot L = 0$$

$$F_{BY} = \frac{F_{y'} \cdot h/2 + F_{x'} \cdot L}{h} = 5481,43\text{N}$$

$$\sum M_B = 0$$

$$-F_{AY} \cdot h - F_{x'} \cdot L + F_{y'} \cdot h/2 = 0$$

$$F_{AY} = \frac{F_{y'} \cdot \frac{h}{2} - F_{x'} \cdot L}{h} = -108,49\text{N}$$

Resumiendo, en el brazo 'A' se aplicará una fuerza vertical de $F_{AY} = -108,49\text{N}$. En el otro brazo, el 'B', resultará una fuerza $F_{BY} = 5481,43\text{N}$. Por lo que hace a las reacciones horizontales, a priori no se podría asegurar su valor debido a que esta sobrerestringido, no obstante, por simetría podemos asegurar que F_{AX} y F_{BX} son iguales y de valor igual a la mitad de $F_{x'}$. Por lo tanto, $F_{AX} = F_{BX} = 1473,78\text{N}$.

Siguiendo el mismo proceso visto anteriormente, se procede al mallado del modelo y se definen las condiciones de contorno.

En este caso se han fijado los soportes de suspensión y se han aplicado las fuerzas en el alojamiento del eje trasero.

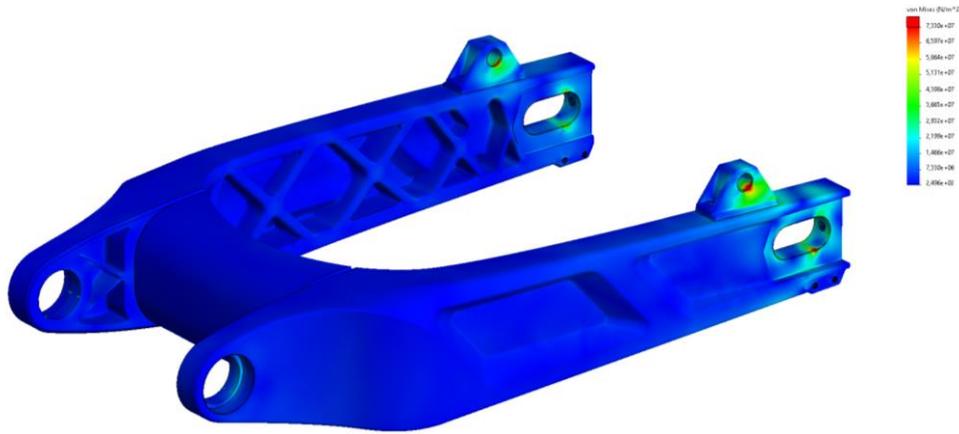


Figura 36: Gráfico de la distribución de tensiones de Von Mises en el basculante durante una curva

Una vez realizada la simulación se puede ver que el punto más conflictivo es el soporte de la suspensión con una tensión máxima de Von Mises de $7,330E+07$ N/m². Por lo tanto, el coeficiente de seguridad quedaría de la siguiente manera:

$$c. s. = \frac{\text{Límite elástico}}{\text{Tensión máxima}} = \frac{2,750E + 08}{7,330E + 07} = 3,75$$

Es cierto que el margen de seguridad es bastante menor que en la anterior simulación, no obstante, sigue siendo un valor elevado. Además, se ha supuesto que la suspensión estaría contraída al máximo ya que hemos fijado los soportes, no obstante, esto es una casuística casi imposible y, por lo tanto, la suspensión absorbería parte de estos esfuerzos rebajando de esta manera las tensiones en el soporte de la suspensión.

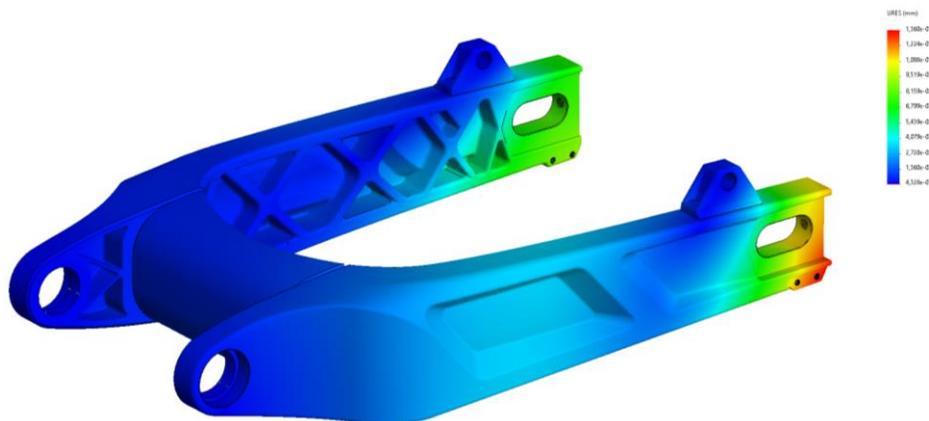


Figura 37: Gráfico de la distribución de desplazamientos en el basculante durante una curva

Respecto a los desplazamientos, el máximo se encuentra en el extremo posterior del basculante con un valor de 0,136mm y que no resulta preocupante dada su magnitud.

5.2.3. Cubre Depósito

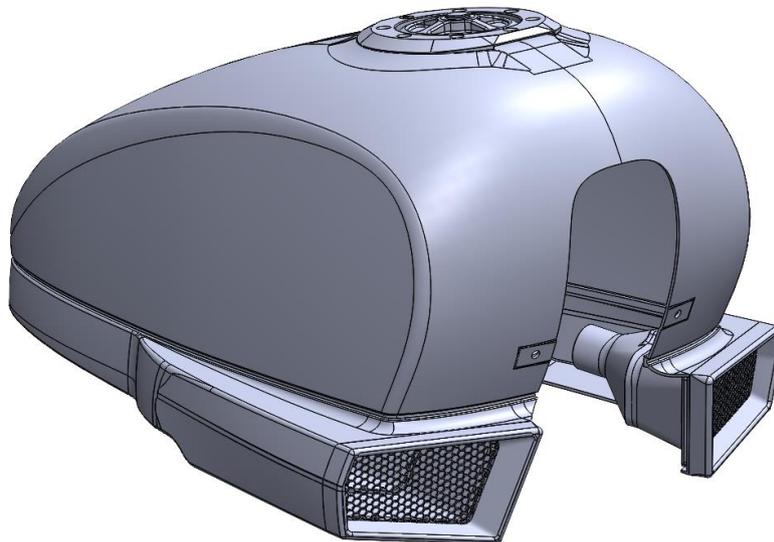


Figura 38: Ensamblaje del cubre depósito

El cubre depósito es la carcasa que se sitúa encima del depósito de gasolina, este tiene la función de embellecedor, pero además protege de la intemperie y mejora la aerodinámica de la motocicleta. Ha sido fabricado en fibra de carbono, la cual aporta una gran rigidez y ligereza.

Debido a que el cubre depósito es de fibra de carbono, se ha diseñado simétricamente de manera que cada mitad de la pieza pueda desmoldar sin problema. Esto se consigue eliminando ángulos negativos del diseño que dificulten la extracción de la pieza de molde.

Otra de las funciones en este caso del cubre depósito es la de incorporar las entradas de aire al motor, mediante unas canalizaciones impresas en PETG⁹ en una impresora 3D. Estas canalizaciones alojan también en su interior el filtro de aire, necesario para el buen funcionamiento del motor.

Cabe puntualizar que se ha decidido desarrollar la explicación de esta pieza en el proyecto debido a su complejidad en la fase de diseño. Esta se ha realizado mediante modelaciones de superficies que sirven como ejemplo para otras piezas diseñadas con la misma técnica, pero de menor complejidad.

⁹ El PETG (polietileno tereftalato glicol) es un termoplástico muy conocido en el ámbito de la impresión 3D. Su composición química es la misma que la del plástico PET (polietileno tereftalato), y es uno de los polímeros más comunes en el mercado alimenticio (por ejemplo, para la fabricación de botellas de agua). Este plástico, al que se le ha añadido glicol con tal de hacerlo más resistente y reducir, así, su fragilidad es 100% reciclable y tiene, además, una buena resistencia a los impactos y a las sustancias químicas.

En cuanto al proceso de dibujo, se estructura de manera parecida a la anterior. En este caso empezamos dibujando una estructura de alambre que nos permita definir y limitar las superficies del depósito, de manera que las podamos modificar a nuestro gusto.

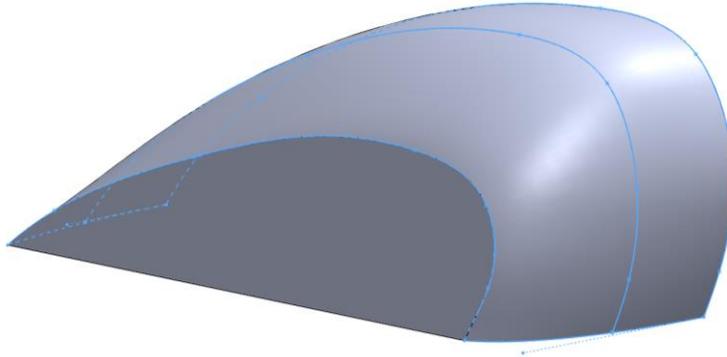


Figura 39: Modelación de superficies en el cubre depósito

Una vez definidas las superficies, estas se cosen y se convierten en sólido. A partir de aquí se empieza a trabajar con modelado de sólidos y se usarán superficies como herramienta para modificarlos (como en el caso del basculante).

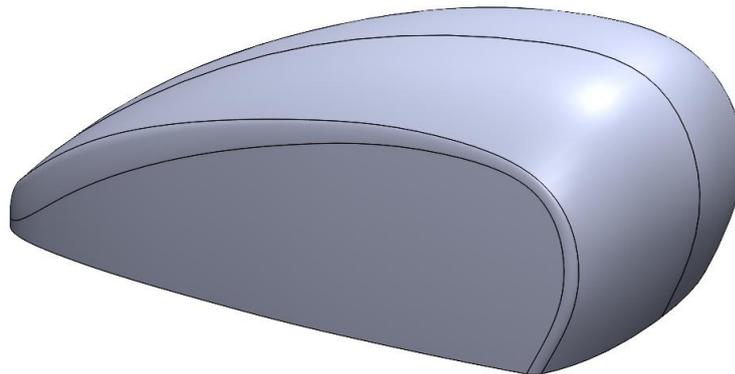


Figura 40: Sólido creado a partir de superficies

Una vez establecida la base del cubre depósito, podemos empezar a trabajar en los elementos secundarios como la anilla de depósito (donde se encuentra el tapón del depósito de gasolina) o donde se alojan las entradas de aire del motor.



Figura 41: Parte del cubre depósito diseñada para los moldes de la fibra de carbono

Una vez aquí se diseñan las entradas de aire, el embellecedor de la anilla de depósito y los embellecedores de las entradas de aire. Para los embellecedores se ha decidido utilizar aluminio que luego se pintará del color que el cliente elija.

Respecto a las entradas de aire, impresas en 3D, se ha optado por un diseño modular que permita la sustitución del filtro de aire de manera sencilla. Estas, además, cuentan con unas rejillas de diseño propio, fabricadas con la cortadora láser, que evitan la entrada de elementos más grandes como piedras o insectos grandes.

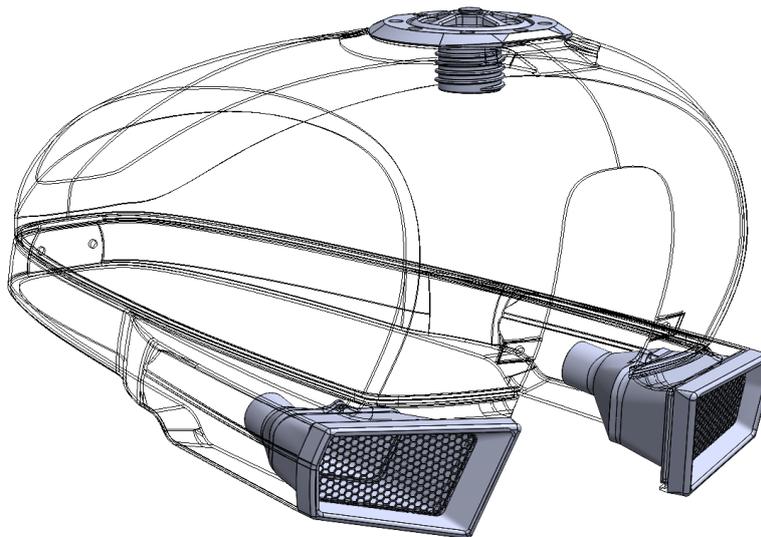


Figura 42: Embellecedores y embudos de las entradas de aire con su malla

5.2.4. Tijas y torretas

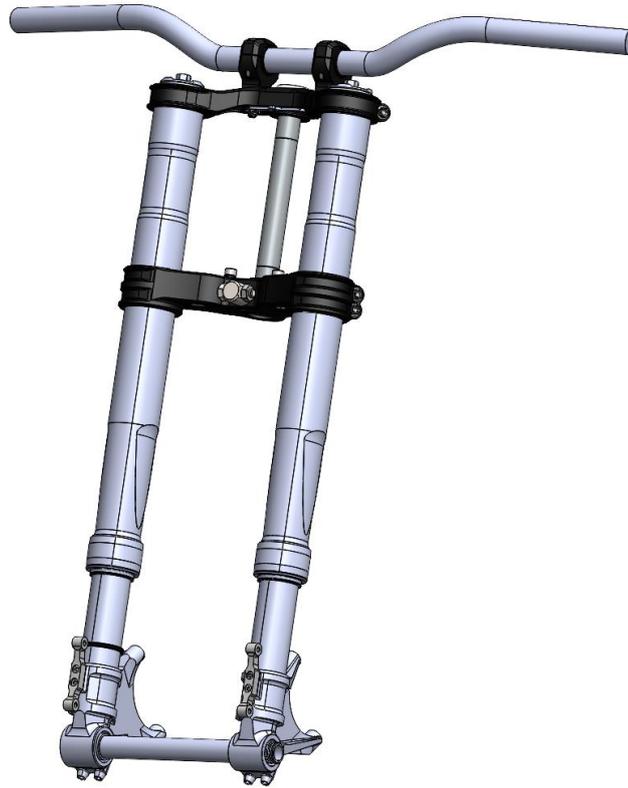


Figura 43: Ensamblaje de las tijas, torretas y horquilla

Las tijas son las encargadas de sujetar las botellas de la suspensión delantera a la pipa de dirección del chasis. Estas son un elemento estructural clave en la motocicleta ya que es el elemento de conexión del tren delantero con el resto de la moto. Como se puede observar en la figura 44, consisten en dos piezas que están fijadas a las botellas de suspensión por un costado pues por el otro pasa el eje de dirección de una pieza a la otra.



Figura 44: Vista ampliada de las tijas

Ambas piezas están hechas en aluminio 6061-T6 y mecanizadas mediante fresadora. La pieza inferior es la encargada de absorber la mayoría de los esfuerzos y, en consecuencia, tiene un diseño mucho más robusto. Al contrario, la pieza superior tiene un diseño mucho más liviano y estético. Además en esta pieza, la sujeción de las botellas está en un plano inferior al del eje de dirección, esto permite bajar las botellas de suspensión de tal manera que la parte delantera de la motocicleta queda más elevada respecto del suelo, ganando así avance en el ángulo de dirección. Esto es necesario debido a que el modelo de horquilla montado de la marca *Öhlins* está más enfocado al mundo de la competición y tienen una longitud menor, de esta manera, se recupera la dinámica correcta para las cotas de esta moto.

En cuanto al proceso de diseño, en este caso se partió de un *sketch* con las cotas esenciales en cuanto a distancia entre botellas y distancia entre estas últimas y el eje de dirección. A partir de aquí mediante la modelación de sólidos se da forma a cada una de las tijas.

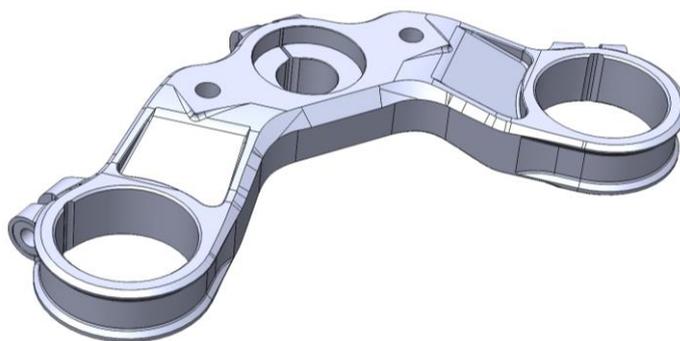


Figura 45: Tija superior

Además, la tija superior tiene que alojar las torretas, que son las encargadas de sujetar el manillar de la motocicleta. Gracias a un diseño modular, seremos capaces de ajustar la altura de las torretas respecto la tija y, por lo tanto, la altura del manillar. De esta manera se puede adaptar un poco más la ergonomía de la motocicleta a las necesidades de cada cliente.

En cuanto a la tija inferior, no es necesario un diseño en diferentes planos como en la superior, debido a que las botellas se pueden ajustar a la altura necesaria. Esta pieza, asimismo, aloja los topes de dirección, que limitan el movimiento de la dirección a un rango determinado.

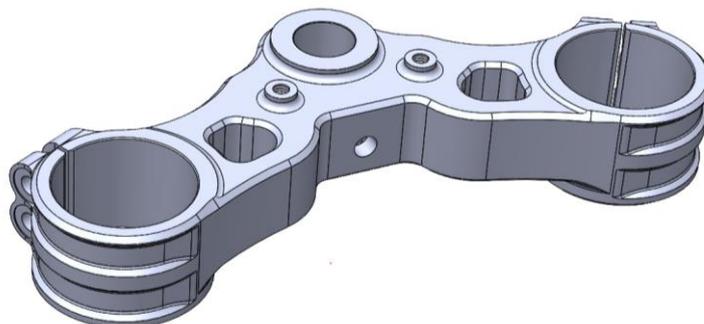


Figura 46: Tija inferior

5.2.4.1. Simulación por elementos finitos de las tijas y torretas

Para simular las tijas y torretas, se ha supuesto como caso límite una frenada de emergencia. Para saber qué esfuerzos se ejercen en las tijas, primero se debe calcular la fuerza de frenada que hace la rueda con el asfalto. La fuerza de frenado se calcula con la siguiente expresión:

$$F_f = m \cdot a$$

En este caso “m” es la masa del conjunto vehículo más piloto, que -como en los anteriores casos- se supondrá de 350Kg. Después la “a” es la aceleración que se deberá calcular con las condiciones de contorno del problema.

Se ha supuesto una velocidad inicial de 150 Km/h, y una distancia de detención de 80m. Por lo tanto, con las ecuaciones del movimiento rectilíneo uniformemente acelerado, podemos encontrar la desaceleración necesaria.

$$X = X_0 + v_0 \cdot \Delta t + \frac{1}{2} \cdot a \cdot \Delta t^2$$

$$a = \frac{v_f - v_0}{\Delta t}$$

Si juntamos estas dos ecuaciones en un sistema, obtenemos la aceleración en función de la posición con la siguiente ecuación:

$$a = \frac{-v_0^2}{2 \cdot X}$$

Por lo tanto, la aceleración resultante de este cálculo con los datos anteriores es:

$$a = 10,85m/s^2.$$

Una vez obtenida la aceleración, la fuerza de frenada necesaria es:

$$F_f = 3797,74N$$

Se supondrá que toda la fuerza de frenada es aplicada sobre la rueda delantera al igual que todo el peso de la motocicleta, considerando pues como caso limite que la rueda trasera no toca el suelo.

En el siguiente esquema de la figura 47, se muestra cómo se distribuyen las cargas sobre la horquilla de la motocicleta.

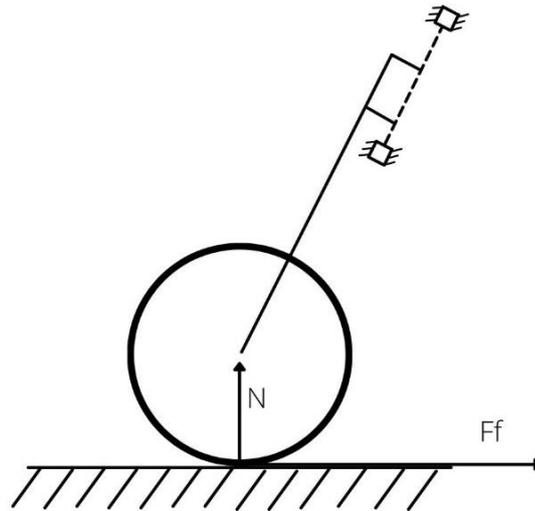


Figura 47: Esquema de los esfuerzos en el tren delantero durante una frenada de emergencia

Como en el caso del basculante, se supondrá que todo el peso recae sobre la rueda delantera, debido a la hipótesis de que la rueda trasera no tiene contacto con el suelo. Por lo tanto, la fuerza N sería:

$$N = m \cdot g$$

$$N = 3430N$$

Para realizar la simulación, en este caso se ha dibujado un sólido rígido, que no se deformará durante la simulación y que hará a su vez de horquilla y de rueda, de manera que las fuerzas se apliquen en la zona de rodadura de la rueda (véase la figura 49).

Una vez realizada la simulación, podemos observar el siguiente gráfico de distribución de tensiones de Von Mises:

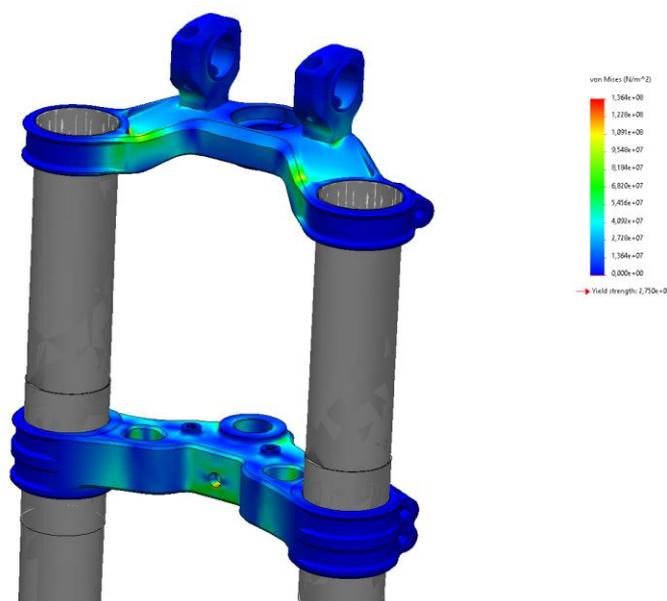


Figura 48: Gráfico de la distribución de tensiones de Von Mises en las tijas durante una frenada de emergencia

Se observa que la tensión máxima es de $1,364E+08$ y se encuentra en la tija inferior en una zona poco comprometida, donde se aloja el soporte del faro. Por otra parte, si se calcula el coeficiente de seguridad resulta:

$$c. s. = \frac{\text{Límite elástico}}{\text{Tensión máxima}} = \frac{2,750E + 08}{1,364E + 08} = 2,0161$$

El resultado obtenido es suficientemente bueno en base a las condiciones límites que se han impuesto, debido a que la distancia de frenado propuesta es en base a un coche, por lo que una motocicleta con estas características frenaría en más distancia -ya que tiene menos contacto con el suelo- y por lo tanto la aceleración sería menor. Como consecuencia, la fuerza de frenado sería menor, lo que provocaría una tensión máxima menor. Se ha impuesto la distancia de frenado de un coche debido a que son los datos más fiables y testeados, además de que impone un caso con unas condiciones más extremas aún.

Por lo que hace a los desplazamientos, se puede ver cómo la parte inferior que simula ser la rueda - en la zona en contacto con el asfalto- y dónde están aplicadas las dos fuerzas, es la que sufre más desplazamiento, en cambio las tijas sufren desplazamientos mucho más pequeños. Cabe recordar que las dos barras que simulan ser la suspensión y rueda a la vez son rígidas, y que por lo tanto estos desplazamientos son la consecuencia de la deformación de las tijas. Se puede ver que los máximos desplazamientos en las tijas son de $0,2168$ mm, un valor totalmente aceptable.

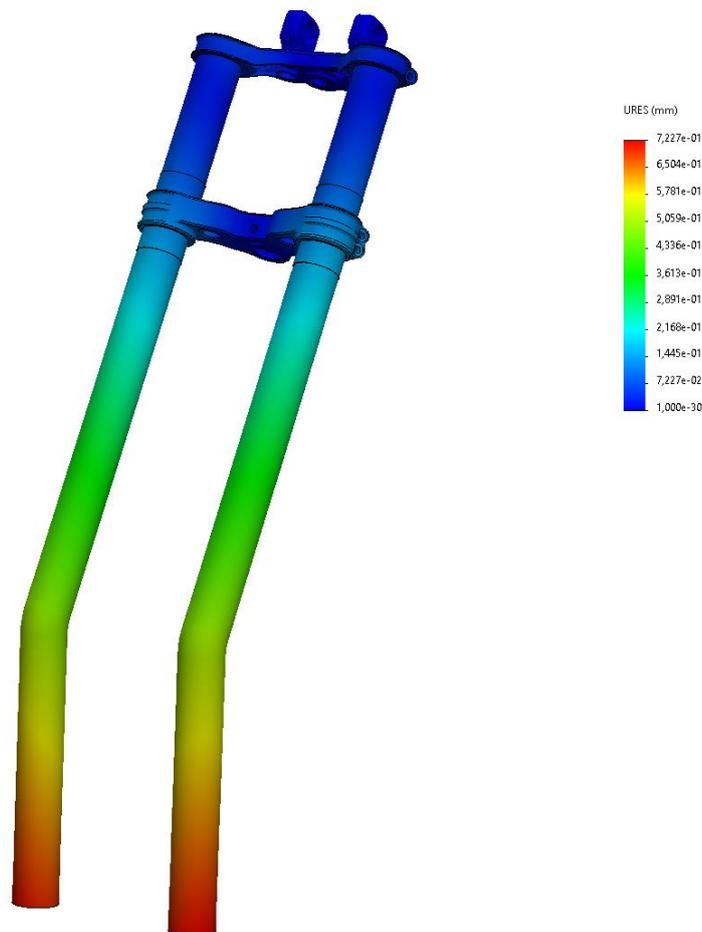


Figura 49: Gráfico de la distribución de desplazamientos en las tijas durante una frenada de emergencia

5.2.5. Soporte pinza de freno trasera

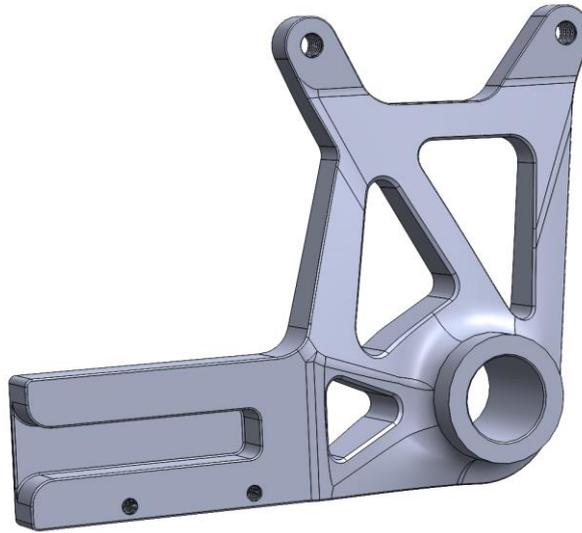


Figura 50: Soporte de la pinza de freno trasero

El soporte de la pinza de freno consiste en una pieza unida al eje trasero mediante una unión eje-agujero deslizante con dos grados de libertad y otra unión tipo guía deslizante al basculante con dos grados de libertad, evitando así que rote sobre el eje. No obstante el movimiento de la pieza en sentido axial queda restringido por el basculante en un lado y por el buje de la rueda en el otro. En la parte superior se atornilla la pinza de freno trasera.

Debido a que la pieza recibe una gran carga por parte del freno, es necesario que tenga un diseño robusto. También es necesario que sea lo más ligera posible para minimizar al máximo el peso suspendido y por lo tanto las inercias en el basculante. Está fabricada en aluminio 6061-T6 y mecanizada mediante fresadora de 3 ejes.

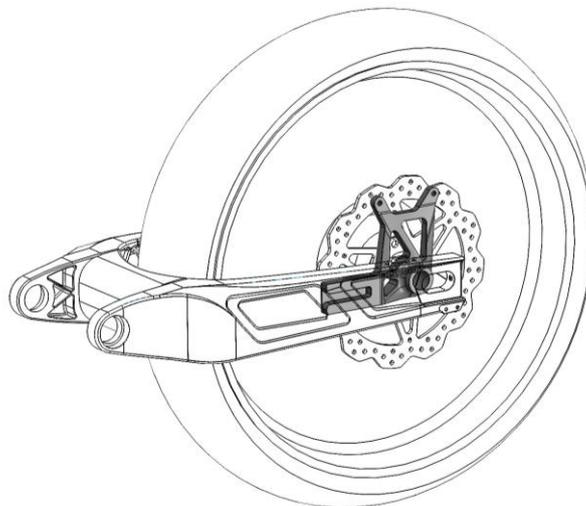


Figura 51: Ensamblaje del tren trasero con el soporte de la pinza resaltado

5.2.5.1. Simulación por elementos finitos del soporte de freno trasero

Debido a que el soporte pinza de freno trasera es un elemento que recibe esfuerzos de magnitud considerable, se ha decidido realizar una simulación por elementos finitos.

Aprovechando los cálculos realizados en la simulación de las tijas en referencia a una frenada de emergencia, se ha calculado la fuerza que ejerce el disco de freno sobre la pinza trasera.

Así pues, se considera que el conjunto de la motocicleta tiene que ejercer una fuerza $F_f=3797,74\text{N}$ y que en este caso la rueda trasera tiene contacto con el asfalto. La distribución de frenada en una motocicleta convencional es del 70% en la rueda delantera y del 30% en la rueda trasera, por lo que la fuerza que tiene que ejercer la rueda trasera es de $F_f' = 0,3 \cdot F_f = 1139,32\text{N}$

Observando el esquema siguiente, podemos calcular la fuerza que tiene que ejercer la pinza trasera, y por lo tanto el soporte de esta, mediante un sumatorio de momentos:

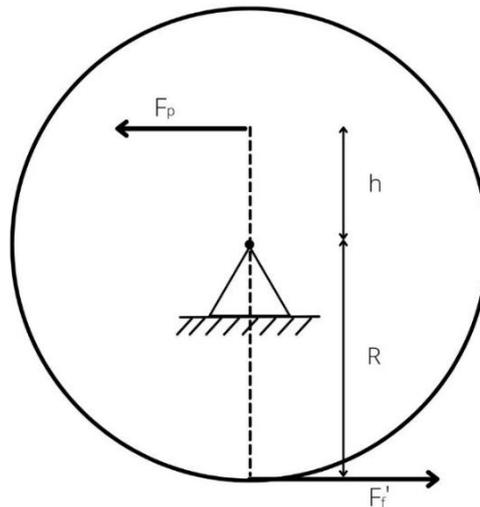


Figura 52: Esquema de los esfuerzos en la pinza trasera durante una frenada de emergencia

Tomando los siguientes parámetros:

$$R = 336\text{mm}$$

$$h = 114\text{mm}$$

Y aplicando el sumatorio de momentos igual a cero en el eje trasero, se calcula la fuerza F_p (fuerza en la pinza) de la siguiente manera:

$$\sum M = 0$$

$$F_f' \cdot R = F_p \cdot h$$

$$F_p = \frac{F_f' \cdot R}{h} = 2734,37\text{N}$$

De esta manera, de igual modo en que se ha procedido anteriormente, se realiza el mallado de la pieza y se fijan las condiciones de contorno. En este caso, se ha anclado el agujero del eje de manera que solo tenga un movimiento de rotación sobre este, y se ha fijado la parte anclada al basculante con un movimiento de guía, de manera que la pieza queda fija. Por otra parte se ha aplicado la fuerza F_p repartida en los dos anclajes de la pinza por igual.

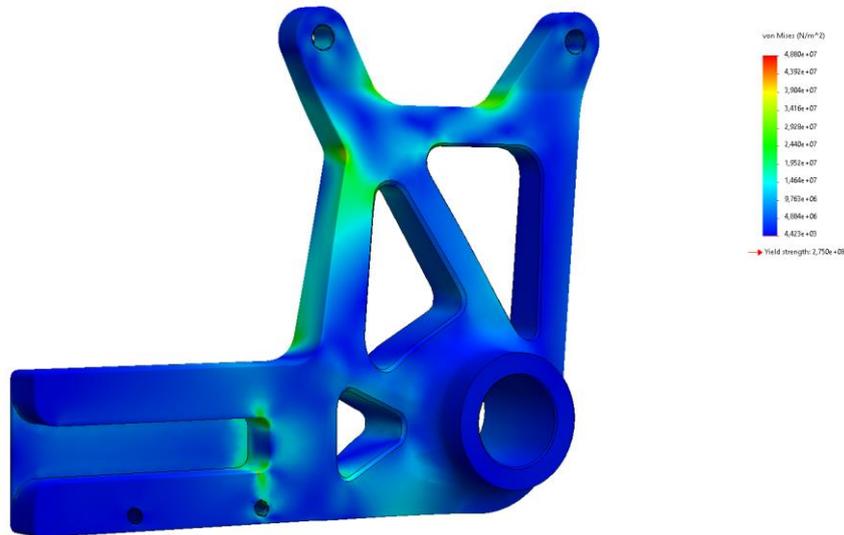


Figura 53: Gráfico de la distribución de tensiones de Von Mises en la pinza de freno trasera durante una frenada de emergencia

En la figura 53 se pueden observar los resultados obtenidos: una tensión máxima de Von Mises de $4,880E+07N/m^2$. Si se calcula el coeficiente de seguridad, este resulta de la siguiente manera:

$$c. s. = \frac{\text{Límite elástico}}{\text{Tensión máxima}} = \frac{2,750E + 08}{4,880E + 07} = 5,635$$

Respecto al gráfico de desplazamientos de la figura 54, se observa que el desplazamiento máximo se encuentra en los anclajes de la pinza de freno con un valor de 0,07197 mm. Este valor no es preocupante debido a que la pinza de freno funciona con bastante margen con el disco en la dirección del desplazamiento.

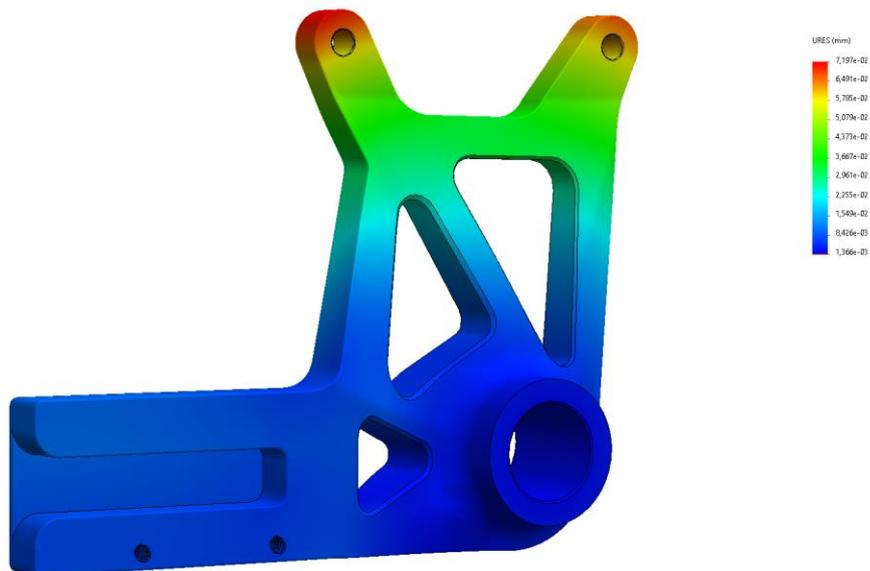


Figura 54: Gráfico de la distribución de desplazamientos en la pinza de freno trasera durante una frenada de emergencia

6. Impacto ambiental

La *Muscle R2* se ha diseñado teniendo en cuenta los estándares ambientales que se exigen en la normativa de Estados Unidos. La motocicleta es un producto de alta gama destinada a un *target* de cliente que tiene alto nivel adquisitivo y que prioriza las prestaciones del vehículo, la calidad de los materiales y la sofisticación del diseño a la minimización de su impacto ambiental.

No obstante, para series de producción futuras, la empresa planea introducir más consideraciones ambientales en el diseño y la fabricación del producto y, en consecuencia, tiene intención de trasladar la producción de casi todo el vehículo a Europa donde se podría fabricar la motocicleta con unos materiales y piezas que hayan sido producidos con los estándares ambientales.

Así, en España se producen materiales, como por ejemplo el cuero o la fibra de carbono, con una estricta aplicación de la legislación ambiental nacional y europea, en línea con la normativa ambiental de la Unión Europea y con los principales tratados internacionales en materia ambiental y en materia de emisiones contaminantes, como, por ejemplo, la Directiva 2008/98/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de noviembre de 2008, sobre los residuos o el Acuerdo de París, entre otras muchas.

Además, gran parte de la fase de diseño ha sido llevada a cabo mediante teletrabajo, debido a que el equipo es internacional. Por este motivo, se han podido reducir costes de transporte a nivel económico, pero también reducir las emisiones que contribuyen al cambio climático.

7. Prototipaje

A lo largo de este proyecto, el prototipaje ha sido una herramienta clave a la hora de realizar el desarrollo de la *Muscle R2*. Gracias a tecnologías como la impresión 3D o el corte láser, ha sido posible ahorrar mucho en cuanto a tiempo y costes de fabricación de prototipos se trata.

7.1. Impresión 3D

Gracias a la impresión 3D, ha sido posible visualizar el detalle de cada pieza y comprobar que el diseño seguido era el deseado. Debido a que el diseño de los embellecedores era íntegramente realizado mediante *SolidWorks*, era necesario materializar de alguna manera la pieza en cuestión. Así pues, gracias a la maleabilidad del plástico PETG usado, y la buena aceptación de la pintura, se han podido colocar en la motocicleta replicas 100% fidedignas con la pieza final, que han permitido una mejor interpretación del conjunto y una mejor toma de decisiones de cara a posibles cambios.

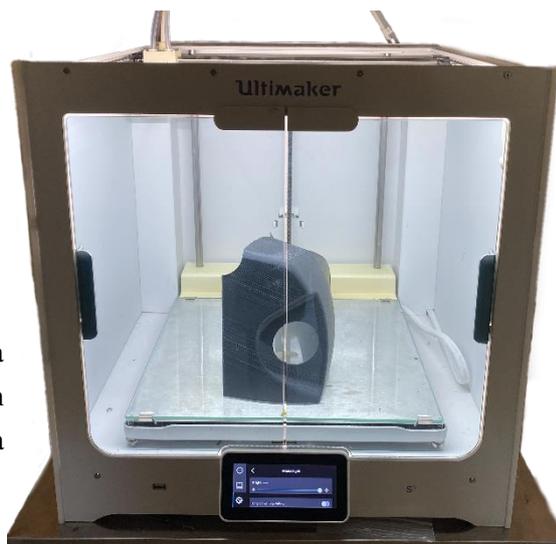


Figura 55: Impresora 3D terminando de imprimir la tapa del depósito de aceite

Pero la impresión 3D no solo ha servido de cara a piezas con un papel estético como los embellecedores, sino que también ha sido de gran ayuda en componentes con importancia mecánica. Gracias a la impresión de piezas, se han podido ver fallos de diseño o posibles mejoras que hubieran sido mucho más difíciles de detectar en el CAD, además de evitar gastos innecesarios en remesas de piezas con fallos que se desconocían en la etapa de diseño.

7.2. Corte por láser

El corte por láser ha sido una herramienta clave en el desarrollo de la *Muscle R2*. Ha permitido la realización de prototipos de chapa doblada sin la necesidad de trabajar con chapa metálica. Gracias al corte de plásticos duros como el polimetilmetacrilato, o más conocido como acrílico, se han podido crear estructuras muy maleables que han permitido simular las piezas hechas con chapa doblada

como por ejemplo los reposapiés, o el soporte de la batería, ambos componentes del chasis.



Figura 56: Cortadora láser serigrafiando el logotipo de la MR2

Además, el corte por láser ha servido para el corte de vinilos, así como el grabado de superficies metálicas y para las rejillas de las entradas de aire.

8. Presupuesto

A continuación, se analizarán los costes de desarrollo que han supuesto todo el proceso de diseño relatado en este proyecto. La realización de los diseños ha tenido una duración de un año y se contabilizaran las horas dedicadas por las figuras implicadas, así como el software y hardware necesario. Por último, el valor de los equipos utilizados se da como la amortización por cada unidad, suponiendo un tiempo de amortización de 5 años.

	Unidades / hora	€ / Unid. / hora	Total
Gestión del proyecto			
Manager de proyecto	104 h.	60 €/h.	6.240 €
Ingeniero proyectista	585 h.	20 €/h.	11.700 €
Hardware			
Workstation	1 u.	240 €/u.	240 €
Escáner 3D <i>Sense 2</i>	1 u.	111,08 €/u.	111,08 €
Impresora 3D <i>Ultimaker S5</i>	1 u.	1.409,65 €/u.	1.409,65 €
Cortadora láser <i>Glowforge Plus</i>	1 u.	705,09 €/u.	705,09 €
Software			
<i>SolidWorks</i>	1 u.	9.495 €/u.	9.495 €
<i>Skanect</i>	1 u.	129 €/u.	129 €
Coste total de diseño			30.029,82 €

Figura 57: Tabla de costes de diseño

El presupuesto que se presenta en la tabla de la figura 57, es una estimación de los costes del desarrollo del diseño de la *Muscle R2*. Se asume que el diseño es realizado por una sola persona, la cual es supervisada por el mánager de proyecto. Por lo tanto, también se ha contabilizado el sueldo de esta persona.

Además, se ha tenido en cuenta los costes del puesto de trabajo del ingeniero proyectista, así como de las herramientas necesarias para la labor de prototipaje y de escaneo 3D, que son: una impresora 3D, una cortadora láser y un escáner 3D.

En cuanto al software utilizado, se ha contabilizado una aproximación del coste del *SolidWorks* ya que es una licencia adquirida por la empresa. En relación con el software utilizado para la tarea de escaneo 3D, el programa *Skanect*, este consiste de una licencia de pago único para la versión 'Pro' que permite exportar mallados de más de 5000 polígonos.

9. Conclusiones

Después de más de un año de desarrollo en el diseño de la *Muscle R2* y de un primer prototipo, se puede constatar el éxito del proyecto y concretamente, el éxito de la fase de diseño. Se han cumplido los objetivos establecidos al inicio del proyecto. Estos consistían en diseñar una motocicleta completamente nueva en cuanto a concepto, utilizando y adaptando ciertos componentes de una motocicleta de producción ya existente, empleando técnicas de ingeniería inversa.

Se ha conseguido un diseño totalmente acorde con la idea preestablecida en la fase de concepto, incluso se ha mejorado en muchos aspectos a medida que avanzaba el proyecto. Se ha logrado utilizando de la manera más eficaz los recursos disponibles y el vehículo cumple con los requisitos técnicos funcionales necesarios.

También se ha conseguido diseñar un prototipo con un amplio abanico de posibles personalizaciones de cara al cliente y se han añadido nuevos detalles al diseño que permiten a cada *Muscle R2* ser única.

El diseño de esta motocicleta ha permitido al equipo de *Cohn Racers* constatar la importancia del prototipaje y explorar las innumerables ventajas de realizar prototipos con impresión 3D o con corte por láser.

Se ha demostrado la importancia del uso de las técnicas de ingeniería inversa a la hora de trabajar con piezas comercializadas y probadas de las que no se dispone ningún tipo plano. Sin embargo, el hecho de aprovechar el motor de otra motocicleta, así como otros componentes, ha sido todo un reto, tanto desde el punto de vista del diseño, como de la ingeniería aplicada a este.

Un claro ejemplo de esto ha sido el desarrollo del chasis, en el que se ha observado que el hecho de fabricar un primer prototipo a mano para después replicarlo supone un coste extra en cuanto a tiempo y dinero. La elaboración de un chasis desde cero con un diseño propio, hubiera repercutido positivamente en las tareas de diseño de otros componentes de la motocicleta, que al tener que adaptarse a un chasis preestablecido, han sido más costosas y laboriosas de adaptar. Además, si se hubiera partido de un chasis de diseño propio, las tareas de ingeniería inversa en el chasis se podrían haber evitado.

Por lo tanto, una clara conclusión que se obtiene de estas premisas, es que diseñando un chasis especialmente dedicado a las necesidades de la *Muscle R2* se hubieran evitado algunos de los problemas que han surgido a raíz del aprovechamiento del chasis.

En cuanto al proceso de diseño mediante *SolidWorks*, se ha constatado que la principal dificultad a la hora de trabajar con mallados es el elevado número de puntos que estos tienen. Esto es debido a que, para renderizar la imagen en el software, se requiere de grandes costes computacionales que ralentizan la tarea de diseño. En consecuencia, como la opción de aligerar la densidad de puntos de estos mallados no era factible debido a la pérdida de resolución de estos, se han requerido ordenadores de altas prestaciones para trabajar con mayor fluidez.

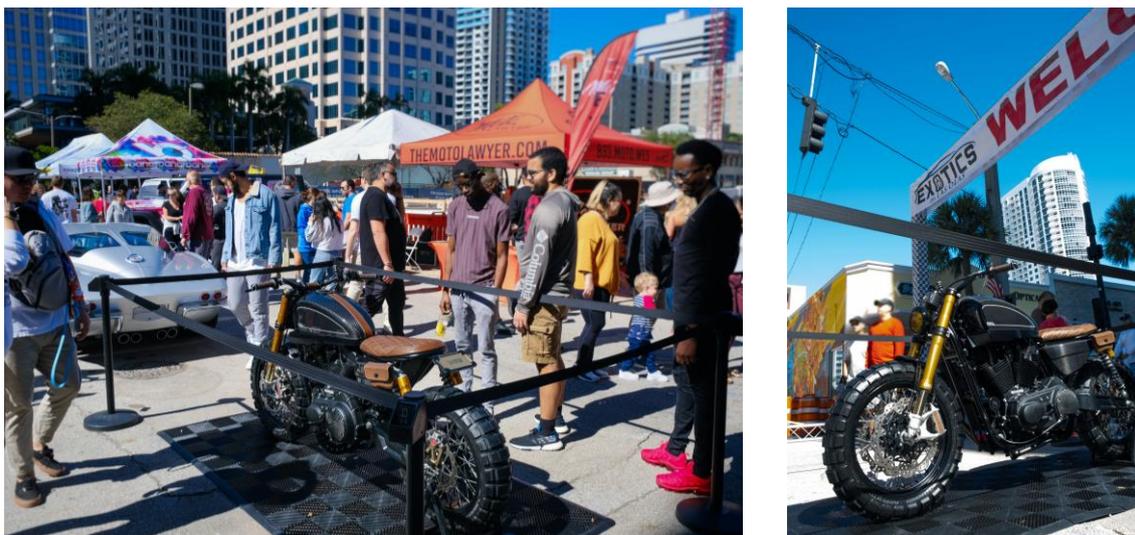


Figura 58: Muscle R2 en el show de 'Exotic on Las Olas'

En noviembre de 2021 se presentó el primer prototipo de la *Muscle R2* en Fort Lauderdale, Miami, en el evento de exhibición de vehículos exclusivos, '[Exotic on Las Olas](#)', recibiendo una gran aceptación por parte del público visitante. Esta experiencia significó mucho para el equipo de *Cohn Racers*, pues sentimos una gran satisfacción al ver culminado con tan buenos resultados nuestro proyecto.



Figura 59: Muscle R2 - Vista posterior

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a Chete como director de *Cohn Racers*, por darme la oportunidad de participar en la construcción de este proyecto y confiar en mí para el diseño de la *Muscle R2*. También quiero agradecerle la inolvidable experiencia de poder vivir el día a día de *Cohn Racers* en Miami en la recta final del proyecto.

Gracias a Joaquín Fernández Sánchez, mi tutor de proyecto, por guiarme en la elaboración de este y dedicarme todo el tiempo necesario.

No puedo dejar de mencionar a mis amigos cuyo apoyo ha sido esencial durante estos años.

Por último, pero no menos importante, estaré eternamente agradecido a mis padres y a mi hermana por su gran soporte incondicional. Gracias en especial a mi pareja, por apoyarme en todo momento. De ella he aprendido que el buen humor es primordial para que las cosas salgan adelante.

Muchas gracias.

Joan Mataró Villacampa

Bibliografía

Referencias Bibliográficas

- [1] Arnella, J: Técnicas de conducción de motos. España: T. A. C. 1997
ISBN 9788485797554
- [2] Casillas, A. L: Maquinas: Calculos de Taller. Editorial Limusa. 2002.
ISBN 9789681899554
- [3] Castro, M: Suspensión, dirección, frenos. España: CEAC. 1986. ISBN 9788485797554
- [4] Cocco, G: Motorcycle Design and Technology. Inglaterra: Giorgio Nada Editore. 1999.
ISBN 9788879111898.
- [5] Cossalter, V: Motorcycle Dynamics. Italia: Lulu. 2006. ISBN 9781430308614
- [6] Crococo, D. Agostinis, M. Motorbike Suspensions: Modern Design and Optimisation.
Inglaterra: 2013. ISBN 9781447151487
- [7] Crouse, W. Anglin, D. Mecánica de la motocicleta. España: Marcombo Boixareu. 1992.
ISBN 8426708501
- [8] Foale, T: Motorcycle Handling & Chassis Design. Inglaterra: TONY FOALE
DESIGNS. 2002. ISBN 9788493328634.

Bibliografía complementaria

Contreras, L. El plástico PETG en la impresión 3D [en línea]. 3Dnatives, 2019 [Consulta: 16 de diciembre 2021]. Disponible en: <https://www.3dnatives.com/es/el-plastico-petg-en-la-impresion-3d-181220192/>

Nobles, J. M. La física de las curvas (I) [en línea]. Blog personal, La Guarida, 2009 [Consulta: 15 de diciembre 2021]. Disponible en: <http://laguaridademalatesta.blogspot.com/2009/09/la-fisica-de-las-curvas-i.html>

San Román López, D. Diseño y fabricación de un basculante para una motocicleta de competición [en línea]. Trabajo final de grado, UPC, Escuela Técnica Superior de Ingeniería (ICAI). Grado en Ingeniería Electromecánica, 2018 [Consulta: 9 de enero 2022]. Disponible en: <https://repositorio.comillas.edu/jspui/bitstream/11531/29380/1/TFG-San%20RomAn%20LApez%2C%20Daniel.pdf>

Velázquez Kennedy, M. Propuesta de un basculante y sistema de suspensión para una moto de competición [en línea]. Trabajo final de grado, UPC, Universidad Carlos III. Grado en Ingeniería Mecánica, 2012 [Consulta: 3 de diciembre 2021]. Disponible en: <https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/16809/TFG%20Miguel%20Velazquez%20Kenendy.pdf>

Figuras

FIGURA 1: MUSCLE R2 - VISTA FRONTAL	3
FIGURA 2: LOGOTIPO DE COHN RACERS	8
FIGURA 3: SOFTWARE DE ESCANEADO 3D (SKANECT)FIGURA 4: LOGOTIPO DE COHN RACERS.....	8
FIGURA 5: MONTESA TEXAS 175 - ESTILO SCRAMBLER	10
FIGURA 6: MUSCLE R2 - VISTA LATERAL	13
FIGURA 7: LEYENDA DE LAS FIGURAS 8 Y 9	14
FIGURA 8: ESQUEMA DE COMPONENTES - LADO IZQUIERDO.....	14
FIGURA 9: ESQUEMA DE COMPONENTES - LADO DERECHO	14
FIGURA 10: TABLA COMPARATIVA DE PARÁMETRO GEOMÉTRICOS	15
FIGURA 11: COMPARACIÓN DE LOS PARÁMETROS CLAVE	16
FIGURA 12: MUSCLE R2 - VISTA SUPERIOR	18
FIGURA 13: MUSCLE R2 - VISTA TREN POSTERIOR.....	19
FIGURA 14: MUSCLE R2 - VISTA TREN DELANTERO.....	20
FIGURA 15: MUSCLE R2 - SISTEMA DE ESCAPE	21
FIGURA 16: SOFTWARE DE ESCANEADO 3D (SKANECT)	23
FIGURA 17: AUMENTANDO LA VISIBILIDAD DEL CHASIS EN EL ESCANEADO CON TALCO	24
FIGURA 18: ESCANEANDO EL CHASIS.....	24
FIGURA 19: MALLADO DEL DEPÓSITO CON EL CUBRE DEPÓSITO ENCIMA	25
FIGURA 20: MALLADO DEL DEPÓSITO DE ACEITE CON LA TAPA ENCIMA	26
FIGURA 21: ENSAMBLAJE COMPLETO DE LA MUSCLE R2 CON LAS PIEZAS ANALIZADAS RESALTADAS EN COLOR	27
FIGURA 22: TABLA DE PROPIEDADES DEL ALUMINIO 6061-T6	27
FIGURA 23: CHASIS RESALTADO EN EL ENSAMBLAJE COMPLETO.....	28
FIGURA 24: ENSAMBLAJE DEL TREN TRASERO	29
FIGURA 25: MODELADO DE SÓLIDOS UTILIZADO PARA EL BASCULANTE	30
FIGURA 26: CROQUIS 3D PARA EL MODELADO DE SÓLIDOS MEDIANTE SUPERFICIES UTILIZADO PARA EL BASCULANTE	30
FIGURA 27: HENDIDURAS LATERALES DEL BASCULANTE	31
FIGURA 28: BRAZO DEL BASCULANTE VISTO EN SECCIÓN	31
FIGURA 29: ESTRUCTURA DE LA CARA NO VISIBLE DEL BASCULANTE.....	31
FIGURA 30: ESQUEMA DE LOS ESFUERZOS APLICADOS AL BASCULANTE DURANTE UNA ACELERACIÓN.....	33
FIGURA 31: MALLADO DEL BASCULANTE PARA LA SIMULACIÓN	33
FIGURA 32: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES EN EL BASCULANTE DURANTE UNA ACELERACIÓN	34
FIGURA 33: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN EL BASCULANTE DURANTE UNA ACELERACIÓN	34
FIGURA 34: ESQUEMA DE LOS ESFUERZOS QUE RECIBE LA MOTOCICLETA DURANTE UNA CURVA	35
FIGURA 35: ESQUEMA DE LOS ESFUERZOS RECIBIDOS POR EL BASCULANTE DURANTE UNA CURVA	36
FIGURA 36: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES EN EL BASCULANTE DURANTE UNA CURVA	38
FIGURA 37: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN EL BASCULANTE DURANTE UNA CURVA	38
FIGURA 38: ENSAMBLAJE DEL CUBRE DEPÓSITO	39
FIGURA 39: MODELACIÓN DE SUPERFICIES EN EL CUBRE DEPÓSITO	40
FIGURA 40: SÓLIDO CREADO A PARTIR DE SUPERFICIES	40
FIGURA 41: PARTE DEL CUBRE DEPÓSITO DISEÑADA PARA LOS MOLDES DE LA FIBRA DE CARBONO.....	41
FIGURA 42: EMBELLECEDORES Y EMBUDOS DE LAS ENTRADAS DE AIRE CON SU MALLA.....	41

FIGURA 43: ENSAMBLAJE DE LAS TIJAS, TORRETAS Y HORQUILLA.....	42
FIGURA 44: VISTA AMPLIADA DE LAS TIJAS	42
FIGURA 45: TIJA SUPERIOR.....	43
FIGURA 46: TIJA INFERIOR.....	43
FIGURA 47: ESQUEMA DE LOS ESFUERZOS EN EL TREN DELANTERO DURANTE UNA FRENADA DE EMERGENCIA	45
FIGURA 48: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES EN LAS TIJAS DURANTE UNA FRENADA DE EMERGENCIA ..	45
FIGURA 49: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN LAS TIJAS DURANTE UNA FRENADA DE EMERGENCIA	46
FIGURA 50: SOPORTE DE LA PINZA DE FRENO TRASERO	47
FIGURA 51: ENSAMBLAJE DEL TREN TRASERO CON EL SOPORTE DE LA PINZA RESALTADO	47
FIGURA 52: ESQUEMA DE LOS ESFUERZOS EN LA PINZA TRASERA DURANTE UNA FRENADA DE EMERGENCIA	48
FIGURA 53: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE TENSIONES DE VON MISES EN LA PINZA DE FRENO TRASERA DURANTE UNA FRENADA DE EMERGENCIA	49
FIGURA 54: GRÁFICO DE LA DISTRIBUCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS EN LA PINZA DE FRENO TRASERA DURANTE UNA FRENADA DE EMERGENCIA	50
FIGURA 55: IMPRESORA 3D TERMINANDO DE IMPRIMIR LA TAPA DEL DEPÓSITO DE ACEITE.....	52
FIGURA 56: CORTADORA LÁSER SERIGRAFIANDO EL LOGOTIPO DE LA MR2	53
FIGURA 57: TABLA DE COSTES DE DISEÑO.....	54
FIGURA 58: MUSCLE R2 EN EL SHOW DE 'EXOTIC ON LAS OLAS'	56
FIGURA 59: MUSCLE R2 - VISTA POSTERIOR	56