



Universidad
Zaragoza

Trabajo de Fin de Grado

Título del trabajo

Diseño, modelado, estudio cinemático y estructural
de un cuadro asimétrico de enduro

English tittle

Design, modelling, cinematic and structural study of
an asymmetric enduro bike frame

Autor

Diego Vélez Cercós

Director

Juan Antonio Peña Baquedano

Facultad

EINA

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo del Producto
2016 - 2017

Resumen

El trabajo de fin de grado realizado ha sido desarrollado por Diego Vélez Cercós con la colaboración de Juan Antonio Peña Baquedano, profesor del área de Expresión Gráfica en la Ingeniería en el departamento de Ingeniería de Diseño y Fabricación.

La temática del proyecto es diseñar y estudiar un cuadro asimétrico de enduro, una modalidad del ciclismo de montaña, cuya principal característica es su verstilidad dado su recorrido de 160mm delanteros como traseros. Aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo del grado, se diseñará, desarrollará y estudiará el triángulo delantero, trasero y las bieletas de unión entre ambos.

Tras la definición y explicación de las partes de un cuadro, así como de los componentes que caracterizan a una bicicleta de este sector, se lleva a cabo un estudio de mercado de las catorce marcas más representativas del ámbito debido a su geometría, buscando entre ellas las diferencias más significativas.

Una vez definidos y justificados los parámetros de la geometría gracias al estudio previo se bocetaron distintos diseños, intentando darle un nuevo factor de diseño, innovando un producto de nueva geometría en el sector.

Elegido el concepto, se estudiará el movimiento y comportamiento del cuadro gracias al apartado de Bloques de SolidWorks, se introducirán las medidas de la fase previa para comprobar su funcionamiento y hacer los ajustes pertinentes para adaptarse a los requisitos del sector. Definiendo previamente los tipos de relaciones que hay en función del recorrido del amortiguador con el de la rueda trasera, se podrá especificar cuál será el comportamiento del cuadro.

Tras completar el desarrollo en CAD del modelo completo y comprobar que las distintas partes tienen las medidas correctas, se procederá a estudiar el triángulo delantero, mediante ensayos de tensiones indicados en la norma, comprobando que el producto resistirá a las tensiones y fuerzas derivadas del uso, describiendo cada uno de los ensayos realizados sobre él.

Para finalizar el cuadro se terminará de preparar el diseño de color que incorporará al cuadro para darle un atractivo visual.

Una vez definidos todos los aspectos formales del proyecto se procedió a fabricar un prototipo a escala real del triángulo delantero mediante impresión 3D.



Escuela de Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Diego Vélez Cercós

con nº de DNI 73133693H en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo

de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la

Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

Diseño, modelado, estudio cinemático y estructural de un cuadro asimétrico
de enduro

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada
debidamente.

Zaragoza, 5 de Abril de 2017

Fdo: 

Índice

0. Introducción	
0.1 Motivación.....	4
0.2 Justificación.....	4
0.3 Alcance.....	4
0.4 ¿Qué es el enduro?.....	4
1. Fase 1: Estudio de mercado y definición de la geometría	
1.1 Descripción y definición de una bicicleta de enduro.....	5
1.2 Geometrías invariables independientemente de la talla.....	6
1.3 Geometrías variables dependientes de la talla.....	7
1.4 Estudio de mercado.....	8
1.5 Tabla de comparación de los valores de la geometría invariable.....	9
1.6 Tabla de comparación de los valores de la geometría variable en función de la talla (XL).....	10
1.7 Medidas elegidas para la geometría.....	11
2. Fase 2: Diseño del cuadro	
2.1 Concepto 1.....	12
2.2 Concepto 2.....	13
2.3 Concepto 3.....	14
3. Fase 3: Análisis funcional de la geometría	
3.1 Desarrollo de la geometría.....	15
3.2 Geometría final y análisis del comportamiento.....	15
4. Fase 4: Materiales, procesos de fabricación y diseño CAD	
4.1 Materiales	
4.1.1 Aluminio.....	17
4.1.2 Fibra de carbono.....	17
4.2 Procesos de fabricación	
4.2.1 Aluminio	
4.2.1.1 Extrusión.....	18
4.2.1.2 Hidroconformado.....	19
4.2.1.3 Fresado.....	19
4.2.1.4 Soldadura.....	20
4.2.2 Fibra de carbono	
4.2.2.2 Proceso de fabricación de piezas en fibra de carbono.....	20
4.3 Diseño y desarrollo CAD.....	21
5. Fase 5: Estudio, análisis y conclusiones del triángulo delantero	
5.1 Análisis estático de simulación de ciclista montado.....	25
5.2 Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales.....	28
5.3 Ensayo de fatiga por fuerzas verticales.....	31
5.4 Ensayo de deformación.....	34
6. Fase 6: Prototipado	
6.1 División del modelo.....	37
6.2 Impresión 3D.....	37
6.3 Lijado.....	38
6.4 Encolado.....	38
6.5 Masillado.....	39
6.6 Pintado.....	39
Conclusiones.....	41
Bibliografía.....	42
Anexos.....	45
Fase 1.....	47
Fase2.....	68
Fase3.....	74
Fase 4.....	81
Fase5.....	87
Fase 6.....	92
Presupuesto.....	98



0.1 Motivación

La idea de este trabajo surge a raíz del interés que existe entorno a las bicicletas de montaña de doble suspensión y de mejorar sus características y prestaciones para aportar un incremento en la calidad de la experiencia. Como sucede en todos los productos, no hay un diseño que se adapte a todas las personas. Es por ello que surge la necesidad de añadir constantes mejoras en los diseños de los productos, intentando llegar al máximo público posible.

Otro motivo responsable de motivar un trabajo orientado hacia el sector del mountain bike es porque es un mercado que está en constante movimiento y requiere nuevas formas y funciones, derivadas de las necesidades de las nuevas tecnologías.

0.2 Justificación

En el grado de Diseño Industrial y en concreto la rama de Desarrollo del Producto se ha prestado mucha atención al diseño basándose en ayudas por computador y en los últimos años se ha hecho hincapié en los nuevos materiales de fabricación junto con los métodos de fabricación que permiten transformarlos en productos innovadores. En el plan de estudios se incluye una asignatura sobre el análisis de los ensamblajes y modelados por ordenador que permite estudiar las fases de diseño y desarrollo con el posterior estudio mecánico que permite evaluar el comportamiento del producto.

Combinar los conocimientos de esta materia con una temática de gran interés para el estudiante puede ser muy interesante, ya que se está al tanto de las novedades en el sector y se conoce los distintos modelos de una gran cantidad de marcas, teniendo un conocimiento previo del estudio de mercado, facilitando la comprensión.

0.3 Alcance

- Definición completa de los parámetro geométricos.
- Desarrollo formal y funcional de un sistema que permita la asimetría de piezas, sin interferir en el funcionamiento del mismo.
- Desarrollo de los elementos del cuadro en Aluminio 6061.
- Desarrollo de las bieletas de unión de los triángulos y amortiguador en carbono.
- Características necesarias de las distintas piezas para poder soportar correctamente los análisis posteriores.

Elección de elementos comerciales más adecuados al nuevo sistema.

- Análisis mecánicos de acuerdo con la norma para la comprobación de resistencia del cuadro.

0.4 ¿Qué es el enduro?

En el mundo de la *mountain bike* existen muchas modalidades distintas, dependiendo del sector al que vaya orientado. Hay modalidades que llevan poco recorrido trasero (en torno a 100mm), como es el caso del *cross country* cuya finalidad es ir a gran velocidad con zonas planas y algunas zonas técnicas. Pero también encontramos, en el otro extremo las bicicletas de modalidad del *downhill* que cuentan con suspensiones de hasta 210mm, pensadas y diseñadas única y exclusivamente para bajar por las zonas más rotas y técnicas posibles.

El enduro es una disciplina en la que predominan las zonas de descenso pero incluyen zonas de ascenso. Las bicicletas se caracterizan por tener doble suspensión, de recorrido intermedio, que varía entre los 150mm y 165mm traseros y en la parte frontal desde 150 a 170mm. Son bicicletas muy polivalentes que permiten disfrutar tanto de tramos de pedaleo en subida como de las bajadas más exigentes gracias a su geometría pensada para absorber todo tipo de impactos.

FASE 1 - ESTUDIO DE MERCADO Y DEFINICIÓN DE LA GEOMETRÍA

1.1 Descripción y definición de una bicicleta de enduro

Como primer paso se procederá a identificar las distintas partes que constituyen un cuadro de enduro, ya que conocer los componentes de una bicicleta es una parte fundamental del diseño de la geometría.

Un triángulo de doble suspensión, se divide en:

1.- **Triángulo delantero:** es la estructura principal de un cuadro de doble suspensión. Se compone de varias piezas: tubo del sillín, tubo superior, pipa de dirección, tubo inferior y caja de pedalier. Es esta parte del cuadro sobre la cuál se hacen la mayor parte de ensayos para comprobar que tiene un comportamiento adecuado y resiste a las condiciones más extremas.

2.- **Triángulo trasero:** es la conexión de la rueda trasera con el basculante y el cuadro y se compone de vainas inferiores y superiores y las punteras de unión.

3.- **Basculante:** su función es la de unir el amortiguador con el cuadro, con el fin de transmitir las irregularidades del terreno al sistema de suspensión.

4.- **Amortiguador:** sirve para compensar o disminuir el efecto de los choques o sacudidas bruscas.

5.- **Pivote virtual** (solo tienen algunas marcas determinadas): su función es evitar conectar directamente el triángulo trasero con el delantero, añadiendo una bieleta que permite un efecto mínimo en la pedalada y la frenada combinado con una buena sensibilidad de suspensión. Hay varios sistemas de pivote virtual, con distinta forma y geometría de los que se hablará en fases posteriores.



Cuadro Giant Reign Advanced

Anexos Fase 1:

- Componentes del triángulo delantero
- Componentes de una bicicleta de enduro.

1.2 Geometrías invariables independientemente de la talla

1.2.1 Ángulo del tubo del sillín

Es la medida en grados, de la inclinación del eje de la tija del sillín con respecto al centro del eje de pedalier. Esto se traduce en la posición que tiene el ciclista sobre el centro de gravedad de la bicicleta alterando altura del sillín, se retrasará. Si el ángulo entre eje de la tija y el centro del eje de pedalier fuera 90 grados, el sillín se situaría sobre el eje de pedalier. Disminuyendo el ángulo, conseguimos retrasar la posición y el centro de gravedad y acotar el movimiento de las rodillas del ciclista con respecto al plano horizontal de las bielas.

La medida habitual en angulación del tubo del sillín suele estar entre 72° y 74° independientemente de la modalidad.

1.2.2 Ángulo del tubo de dirección:

Un ángulo de dirección abierto o cerrado, sitúa la parte inferior de la horquilla más alejada del eje vertical del tubo de dirección, posicionando al ciclista más retrasado con respecto al centro de la bicicleta. Cuanto menor sea el ángulo, mayor eficiencia tendrá cuesta abajo, ya que le permitirá absorber impactos con una mayor facilidad pero también impide una buena eficiencia en los ascensos de manera que tiende a perderse tracción. Sin embargo cuanto mayor sea el ángulo, sucede lo contrario, hay una eficacia de ascenso óptima y una capacidad de sobrepasar obstáculos menores.

1.2.3 Longitud de vainas

La longitud de las vainas de un cuadro es uno de los aspectos más importantes relacionados con la reactividad y manejo de una bicicleta. La longitud de vainas afecta directamente al comportamiento de ambas ruedas. Como norma general, una longitud de vainas corta hace que la rueda trasera reciba una mayor carga de peso mejorando la tracción de la misma, además de permitir una mejor transmisión de la fuerza ejercida en el pedaleo. Unas vainas más largas favorecen una mayor comodidad, haciendo la bicicleta más estable a velocidades altas debido a una mayor distancia entre ejes de rueda.

1.2.4 Altura de caja de pedalier

Cuanto menor sea la altura del eje de pedalier, más cercana al suelo será la posición del centro de gravedad y mayor estabilidad tendrá. Por otra parte cuanto más bajo, más problemas puede llegar a tener con las piedras y obstáculos del terreno. Para la categoría de enduro suele rondar entre los 340mm y los 360mm.



Esquema del ángulo del ángulo del sillín.



■ XC/MARATÓN: 70°-72.5° ■ TRAIL/ENDURO: 66°-68° ■ DESCENSO: ±63°
Esquema del ángulo de dirección.



Esquema de la longitud de vainas.



Esquema de la altura de caja de pedalier.

1.3 Geometrías variables dependientes de la talla

1.3.1 Longitud del tubo del sillín

Se define como la medida desde el centro del eje de pedalier hasta la parte superior del tubo del sillín y es la que determina la talla de la bicicleta. Cuanto menor sea el valor, más pequeña será la talla, distinguiendo así entre las tallas XS, S, M, L, XL e incluso XXL.

1.3.2 Longitud tubo superior

Es la medida que mide la longitud entre el tubo del sillín y el de dirección, se mide paralelo al tubo, no es la proyección horizontal de la misma. La distancia del tubo marcan la estabilidad de la bicicleta, otorgando una mayor distancia entre ejes. Respecto al ángulo que tiene este tubo cuando mayor sea mayor rigidez tendrá el cuadro.

1.3.3 Distancia entre ejes

Es la medida entre los centros de los ejes de las ruedas, cuanto mayor sea la distancia entre estos, mejor estabilidad a altas velocidades y por el contrario cuanto menor sea la medida, más agilidad tendrá la bicicleta en curvas o zonas rápidas. Hay modelos que permiten variar esta distancia gracias a las posiciones de las punteras.

1.3.4 Longitud pipa

Es la medida del tubo donde se aloja el tubo de dirección de la horquilla, cuanto menor es esta medida, más bajo se pueden situar la potencia y el manillar dejando el centro de gravedad más bajo, pero hay que tener en cuenta que hay una medida mínima que no puede ser rebasada ya que esa medida es la mínima para poder montar un horquilla con una dirección tapered.

1.3.5 Reach

Es el valor de la proyección horizontal entre el centro del eje de pedalier y el punto más alto del tubo de dirección. Cuanto mayor sea la distancia, la posición será menos relajada. Este valor puede modificarse cambiando la potencia por una de mayor o menor longitud.

1.3.6 Stack

Es la distancia en vertical entre el centro del eje de pedalier y la parte superior del tubo de dirección, puede ser adaptada según el criterio individual añadiendo o eliminando espaciadores en la potencia.



1.3.1



1.3.2



1.3.3



1.3.4



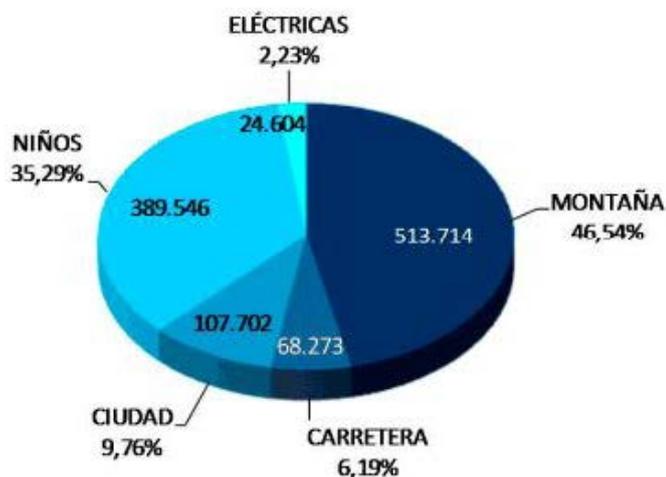
1.3.5



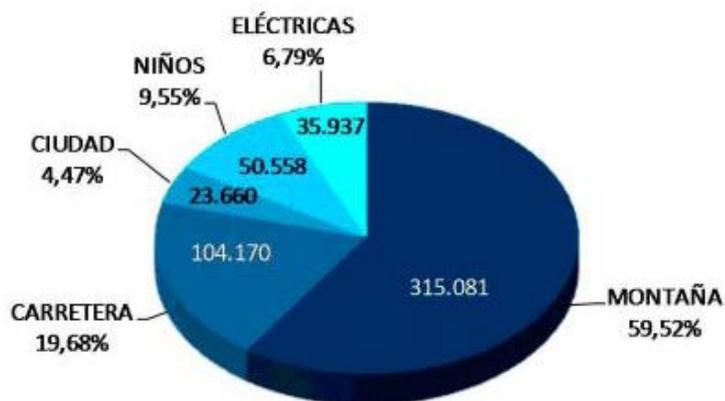
1.3.6

1.4 Estudio de mercado

Viendo las gráficas, se observa que la modalidad de montaña es la que más ventas consigue, con un 46,54% generando la mayor cifra de ingresos. Hay que destacar que durante los últimos años el sector de las bicicletas eléctricas ha experimentado un crecimiento superior al 39% de las ventas de 2015 respecto a la temporada pasada, situándose en el año 2015, en un 2,23% de las ventas totales. El número de marcas que comercializan en el país ha aumentado en un 27% desde el año 2.000, con un número aproximado de 1.000 compañías.



Unidades vendidas en 2015.



Ingresos (en millones de E) en 2015.

• Especificaciones de diseño.

- Recorrido: 150-165mm
- Rueda: 650B o 29'
- Material: aluminio/carbono

• Catorce marcas estudiadas.



Anexos Fase 1:

-Tablas de los valores de cada marca con fotos del modelo.

1.5 Tabla de comparación de los valores de la geometría invariable

	Canyon	Commencal	Devinci	Giant	Kona	Mondraker	Nukeproof
Ángulo del tubo de sillín	73'5°	74°	72'4°	73°	75°	75°	75'5°
Ángulo de dirección	66°	65'5°	65'8°	65°	65'5°	66'5°	65°
Longitud de vainas	423	437	432	434	426	430	435
Altura de caja de pedalier	340	342	337	340	348	347	342

	Pivot	Santacruz	Scott	Specialized	Trek	Yeti	YT
Ángulo del tubo de sillín	74°	74'2°	74'5°	76'5°	74'5°	73'5°	74'8°
Ángulo de dirección	65°	65°	65'8°	65'5°	68'1°	65'5°	65°
Longitud de vainas	430	433'1	448	425	433	442	430
Altura de caja de pedalier	349'2	340	345	345	343	345	342

1.6 Tabla de comparación de los valores de la geometría variable en función de la talla (XL)

	Canyon	Commencal	Devinci	Giant	Kona	Mondraker	Nukeproof
Longitud del tubo del sillín	500	520	510	510	485	510	508
Longitud tubo superior	668	643	645	665	679	673	632
Distancia entre ejes	1240	1231	1201	1242	1253	1260	1236
Longitud pipa	155	125	125	124	130	130	115
Reach	487	471	455	480	510	508	480
Stack	643	616	622	604	604	610	

	Pivot	Santacruz	Scott (L)	Specialized	Trek	Yeti	YT
Longitud del tubo del sillín	495'3	495'3	475	521	521	521	510
Longitud tubo superior	660'9	635	625	632	641	658	626
Distancia entre ejes	1252'7	1223'9	1218	1225	1226	1243	1220
Longitud pipa	130	120	120	125	125	160	130
Reach	484'9	460'7	443	470	487	466	458
Stack	612'9	618'1	624	613	612	635	626

1.7 Medidas elegidas para la geometría

Con los estudios y tablas anteriores, se puede tener una clara definición de los valores geométricos que pueden escogerse para desarrollar el concepto. Los valores escogidos definirán el comportamiento del cuadro, que se explicará tras los valores elegidos.

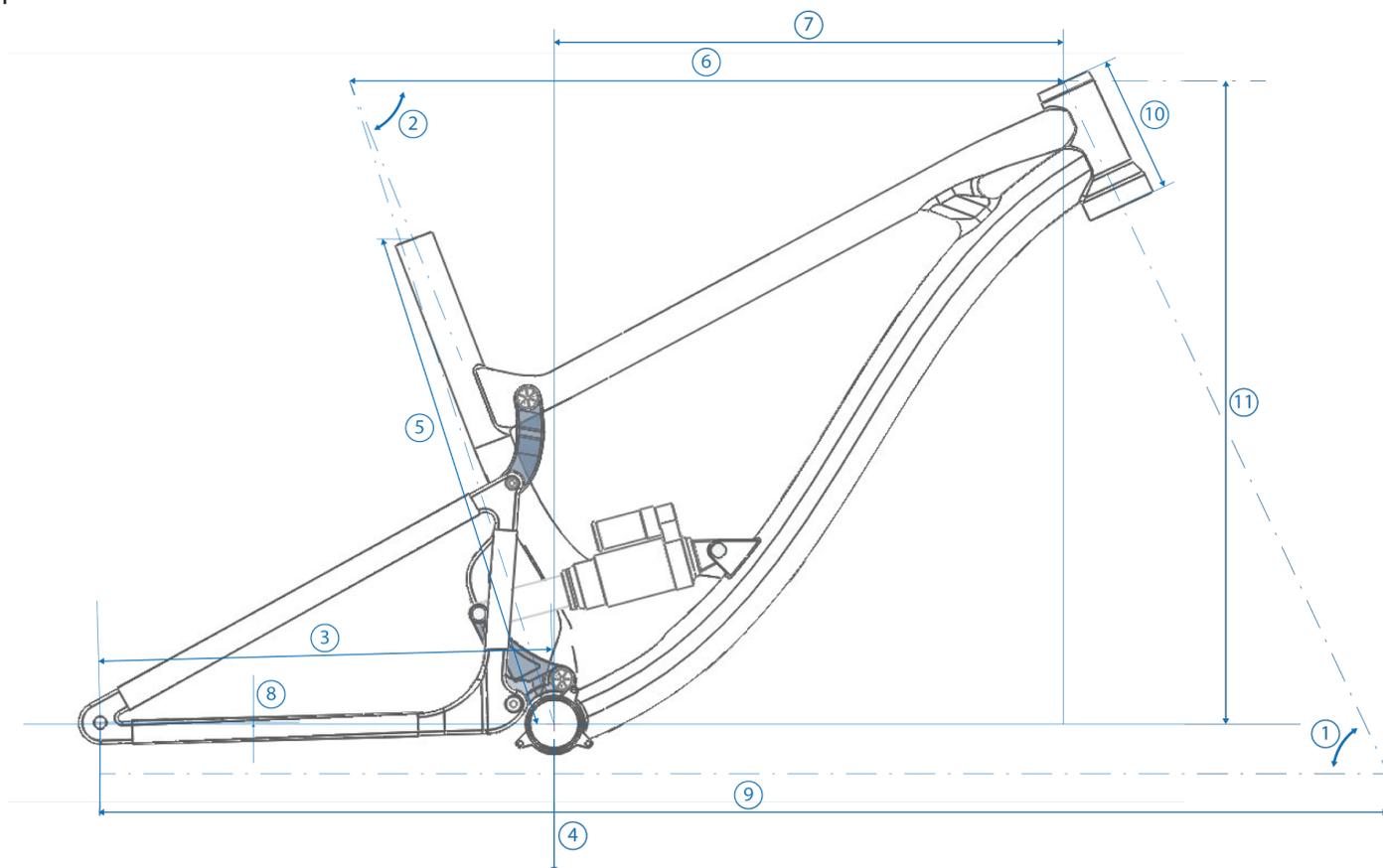
Valores invariables

- Ángulo de dirección 65° (1)
- Ángulo del tubo del sillín 74° (2)
- Longitud de vainas 430mm (3)
- Altura de caja de pedalier 345mm (4)

Variables según la talla (XL)

- Longitud del tubo del sillín 510mm (5)
- Longitud tubo superior 630mm (6)
- Reach 505mm (7)
- Caída de eje de pedalier 5mm (8)
- Distancia entre ejes 1240mm (9)
- Longitud pipa 130mm (10)
- Stack 610mm (11)

En cuanto a la geometría escogida para la talla XL, se busca una postura que en ascenso permita una postura cómoda y eficiente y en el descenso una postura que permita una buena estabilidad con una buena agilidad combinada. El concepto deseado no busca ser un producto que haga los descensos con unas prestaciones excelentes perdiendo valores en el ascenso.



FASE 2 - DISEÑO DEL CUADRO

Anexos Fase 2:

- Linkages existentes
- Conceptos del diseño

2.1 Concepto 1

Este diseño del cuadro (descartando el amortiguador) se compone de cinco partes principales: triángulo delantero, basculante superior e inferior, vainas y punteras delanteras.

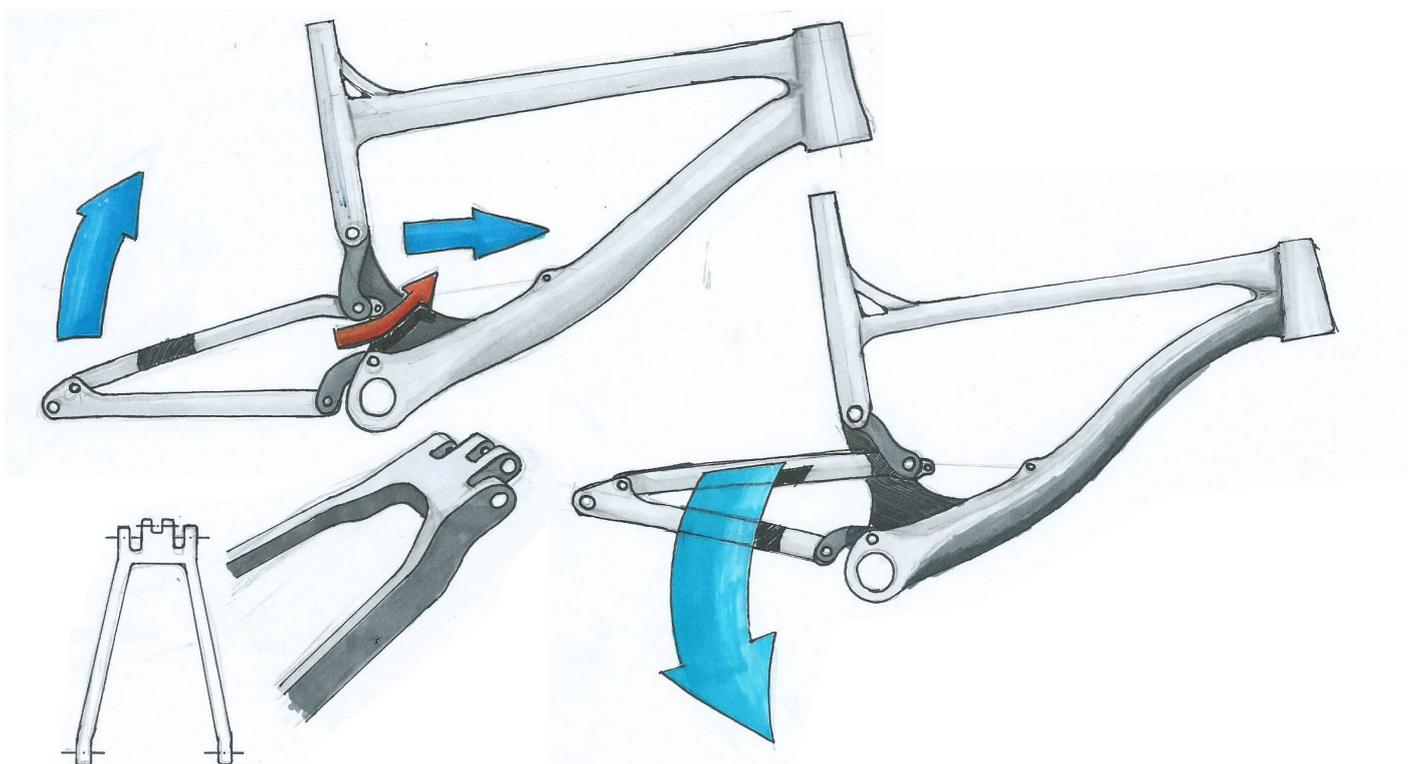
Gracias a la posición del amortiguador en el triángulo principal, el punto de gravedad está situado en una zona bastante baja por lo que tendrá una buena estabilidad teórica. El sistema de suspensión diseñado para este cuadro es simple, con varios puntos de articulación. El triángulo trasero no está formado por una sola pieza, sino por 2 que se unen mediante un pasador con rodamientos en la parte más exterior de la vaina. Estas vainas pivotan respecto al triángulo delantero gracias a una bieleta superior que se une al mismo por encima del eje de pedalier. El amortiguador se encuentra anclado por un ojo al tubo inferior del triángulo delantero mientras que el otro ojo del amortiguador está en la vaina superior. El sistema de suspensión tiene un carácter lineal, comprimiendo el amortiguador hacia delante.

Este primer diseño tiene el ángulo del slope (ángulo que forma el tubo superior con la tija) medio para los estándares actuales, siendo de casi perpendicular. En la unión de la tija con el tubo, hay una bifurcación para eliminar las posibles acumulaciones de tensiones de los esfuerzos de flexión.

El sketch superior simula la situación de compresión, con la subida de las vainas traseras, junto al movimiento de las bieletas. Ya que la vaina superior es en la que se ancla el ojo inferior del amortiguador, tiene que tener un desarrollo formal un poco más profundo para poder comprender mejor el concepto.

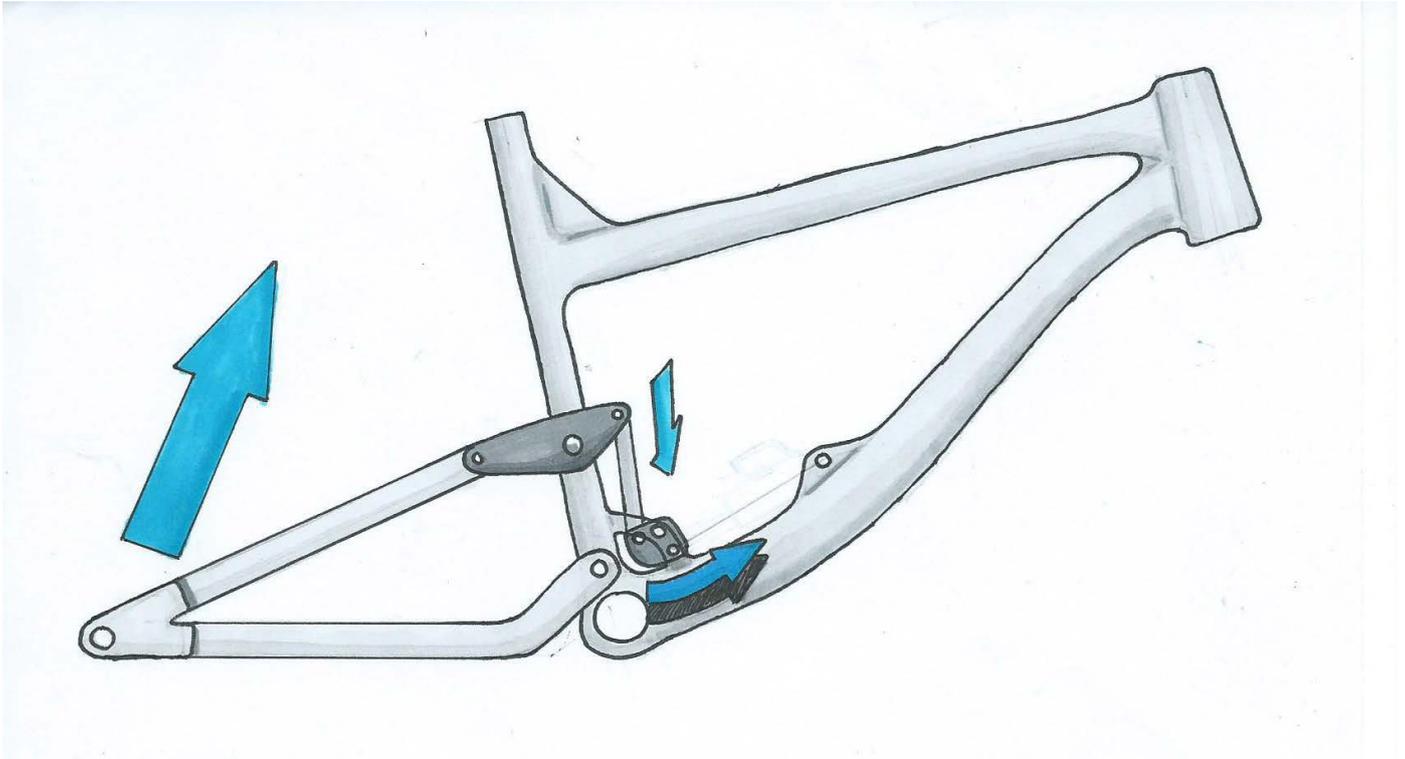
La parte superior es donde se encuentran las conexiones de los laterales de la bieleta superior, así como los taladros del tornillo pasante del ojo del amortiguador. En la vista de la planta de la pieza puede observarse que los ejes de conexión de la bieleta están en el mismo eje, mientras que los del amortiguador están ligeramente adelantados para evitar el choque.

De este modo queda definido el primer concepto con su estudio de componentes y funcionamiento. Para este concepto se ha mantenido la característica de asimetría en la parte del amortiguador.



2.2 Concepto 2

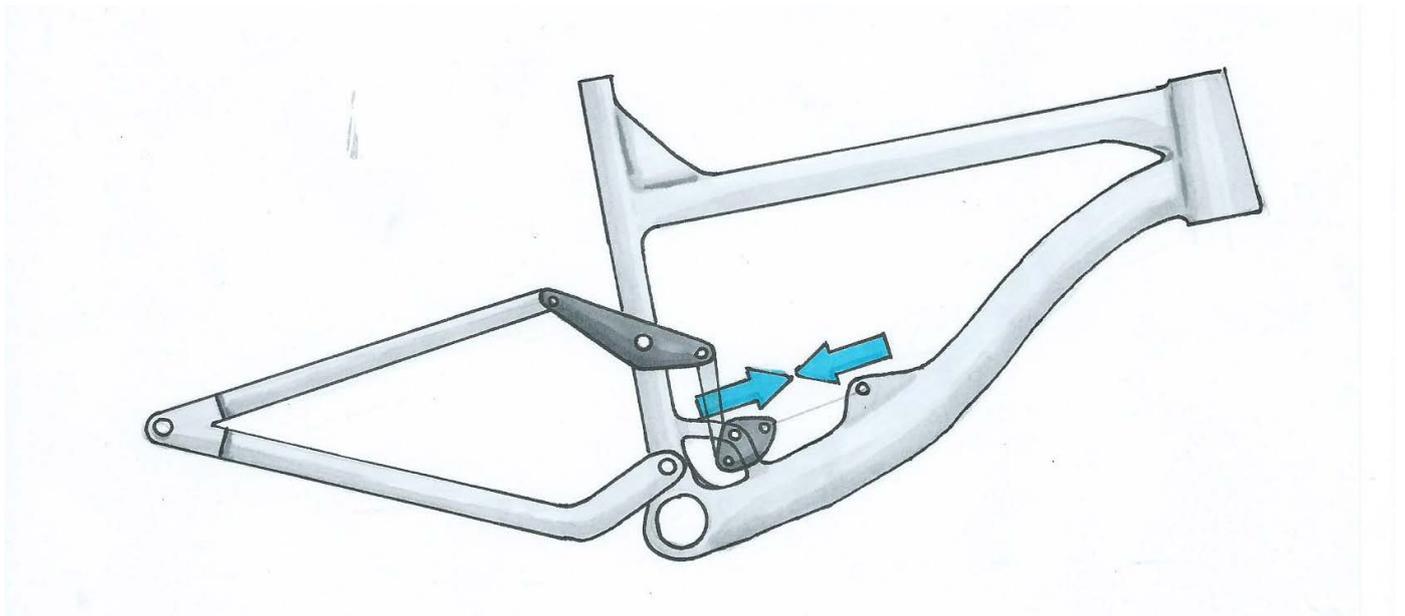
El segundo concepto no está pensado de manera que haya ciertas partes asimétricas, sino que está pensado de modo que haya dos bieletas que estén directamente unidas mediante piezas ligeras y rígidas que permitan transmitir las imperfecciones del suelo.



Este segundo concepto, está compuesto de 7 componentes.

El elemento característico de este diseño es el modo en el que está pensado el linkage. Ambas bieletas están directamente conectas por una pieza de unión cuyo objetivo es transmitir el giro de la bieleta superior a la inferior, que esta provoca la compresión del amortiguador, así como un giro que eleva el amortiguador. Esta elevación no supone un problema ya que los ojos de los amortiguadores permiten el giro sin restricciones de ningún tipo.

La compresión efectiva del amortiguador depende de la forma y dimensiones que tuviera la bieleta inferior de modo que consistiría en hacer un estudio más detallado para llegar conseguir el Leverage ratio y comportamiento deseado. En el sketch inferior puede verse el sistema en el momento de compresión, como la distancia entre los ojos del amortiguador ha disminuido, marcado por las flechas azules, lo que supone una absorción de impacto por parte del sistema.



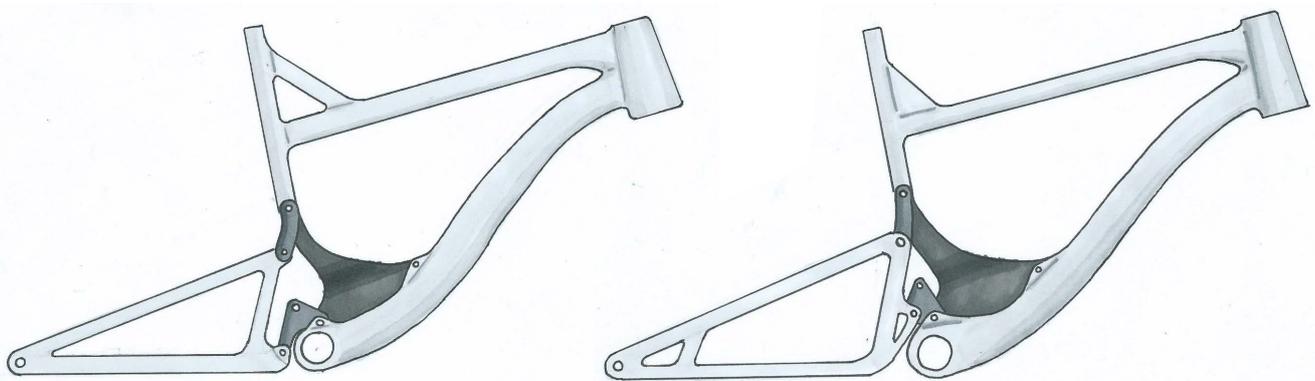
2.3 Concepto 3 - CONCEPTO ELEGIDO

El concepto 3 consta de la asimetría deseada desde el principio, así como un sistema que funciona correctamente, formado por cuatro piezas, conectando los dos triángulos, delantero y trasero mediante dos bieletas.

Ya que este concepto fue el más convincente, se decidió desarrollar formalmente con mayor profundidad hasta llegar a un concepto que pudiera ser funcional. Este proceso de múltiples diseños se irán desarrollando en la fase siguiente para comprobar su funcionamiento y teniendo de este modo un criterio de selección más adecuado. Todos los conceptos desarrollados a continuación constan de las partes nombradas anteriormente.

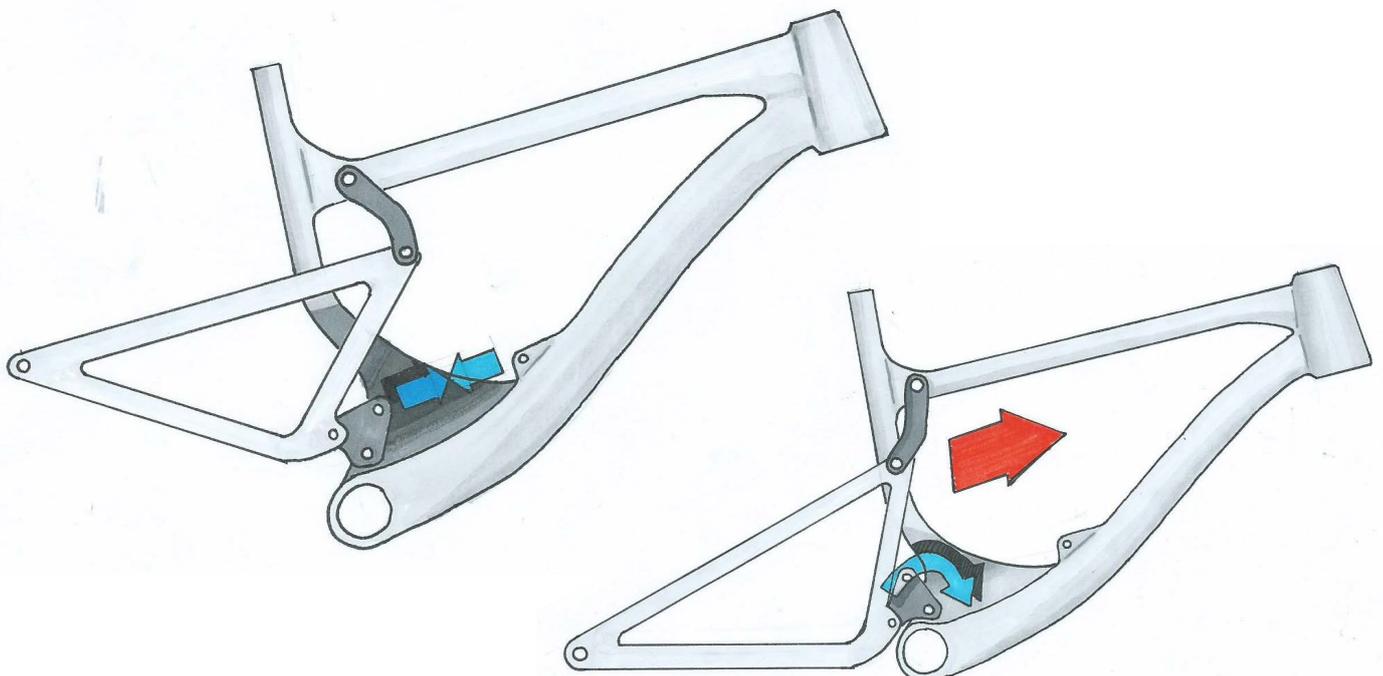
En el primer concepto consta de un triángulo delantero con una barra que une la tija con el tubo superior disipando posibles tensiones, es una forma bastante recurrente como se puede ver en distintos modelos del estudio de mercado.

Respecto al sistema de suspensión, el pivote virtual se ancla en la zona superior a la caja de pedalier, al igual que en el concepto 1, pero la diferencia de este sistema con el primero es que el anclaje del amortiguador no está situado en la vaina superior sino en el pivote, bajando el centro de gravedad. En cuanto a la bieleta superior se encuentra en la parte media de la tija y la unión curva para tener una conexión con el triángulo trasero más cercano al suelo.



Para el último sketch la mayor diferencia con los conceptos anteriores es la nueva posición de la bieleta superior que ahora se sitúa en el tubo superior, permitiendo que la pieza asimétrica tenga un enfoque más realista desde el punto de vista de la construcción de las piezas que componen el cuadro.

El otro cambio destacable la eliminación de la barra de unión de la tija con la barra superior pero si que hay un ensanchamiento de la barra en la parte final para optimizar el peso de la pieza superior.



FASE 3 - ANÁLISIS FUNCIONAL DE LA GEOMETRÍA

3.1 Desarrollo de la geometría

El desarrollo de la geometría es la parte más crítica en la creación de un cuadro de doble suspensión. Determinará el comportamiento de la bicicleta, por ejemplo que sea más progresiva o lineal, más nerviosa o más estable, etc... En esta fase se debe diseñar el sistema de manera que las partes no interfieran entre ellas con una correcta distribución de elementos.

Anexos Fase 3:

- Conceptos básicos
- Bloques de SolidWorks
- Evolución funcional y formal

3.2 Geometría final y análisis del comportamiento

Tras los dos primeros estudios de las distintas formas de la geometría, se llegó al que más se adaptaba y mejor funcionaba en ratios de compresión y desplazamientos, así como posiciones extremas.

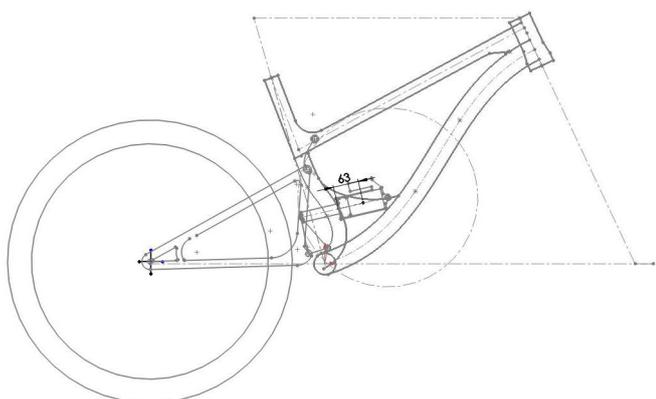
Los cambios que mayor importancia tienen desde el cambio de concepto de segundo al tercero son varios:

- 1.- Se ha eliminado el triángulo que se encontraba debajo del sillín, uniendo el tubo superior con la tija.
- 2.- El ángulo del slope es mucho más pronunciado, ya que en los conceptos anteriores se comprobaba el funcionamiento adecuado del sistema y para para la realización del final, debía estar como los demás modelos en el mercado.

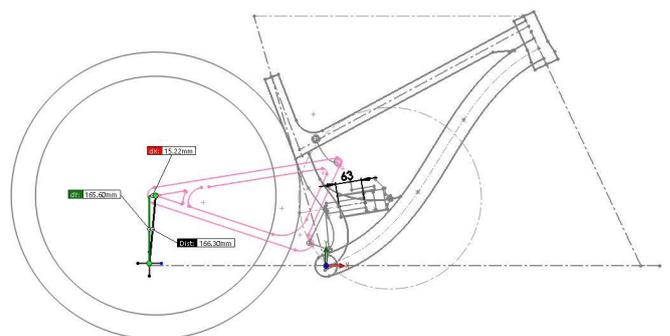
Respecto a los temas de compresión y recorridos del cuadro y amortiguador, este concepto se adapta a todos los requisitos de diseño que debían estar en el modelo:

- El recorrido del amortiguador se limitó a 63mm en la situación de compresión para evitar excesos de dimensionamiento erróneos.
- Un desplazamiento de rueda comprendido entre 150 y 170mm.

Como se puede ver en la imagen inferior, en el momento de la compresión máxima, el modelo se ha creado de tal manera que la sea la situación geométrica más crítica posible en la que el neumático llega a tocar la parte posterior de la tija del cuadro, llegando así al tope. De este modo observamos que el desplazamiento es de 165'90mm en módulo, con un desplazamiento horizontal de tan sólo 15mm, desde la posición inicial de la rueda hasta la posición final de la misma. Esta medida es adecuada con los valores que hay actualmente en el mercado, por lo que si concuerda tanto en desplazamiento vertical de la rueda como con el del amortiguador, hay que corroborarlo con el cociente obtenido con el *Leverage Ratio*.



Modelo 3_4, en posición normal.



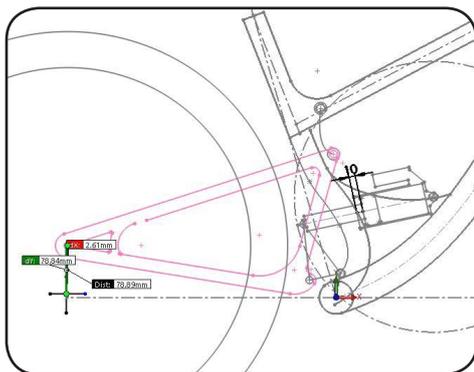
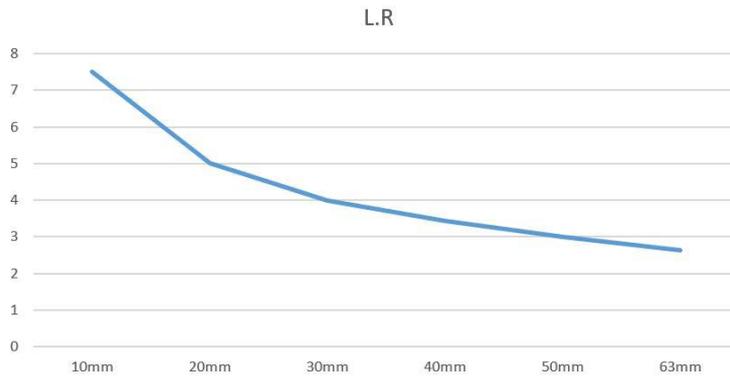
Modelo 3_4, con la medidas de recorrido de rueda y amortiguador.

Respecto al L.R del último concepto, se sabe que por los datos proporcionados, la geometría va a funcionar y los datos van a dar un resultado de geometría muy progresiva, con un valor por encima de 2.

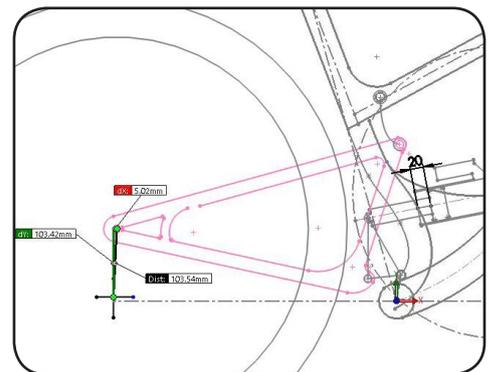
$$Leverage Ratio (Concepto 3_4) = \frac{166.3}{63} = 2.63$$

Para justificar el carácter progresivo del sistema, se han realizado una serie de recortes, así como una gráfica que demuestra que el sistema es muy blando en los primeros milímetros de recorrido de amortiguador, comparándolo con el recorrido de la rueda trasera que es mucho mayor, obteniendo un cocientes de L.R de 7'89. Pero que sea blando en los primeros mm de recorrido puede ser solucionado con el amortiguador, ya que estos tienen una serie de ajustes que permiten regular el funcionamiento al gusto del ciclista, configurando el amortiguador con la compresión a altas y bajas velocidades.

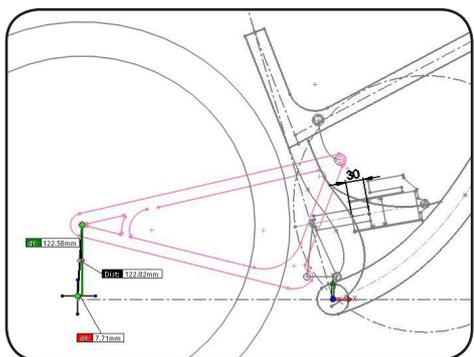
A continuación se muestra la progresividad del sistema, mediante una gráfica, obtenida de conseguir el L.R cada 10mm hasta llegar al recorrido final del amortiguador.



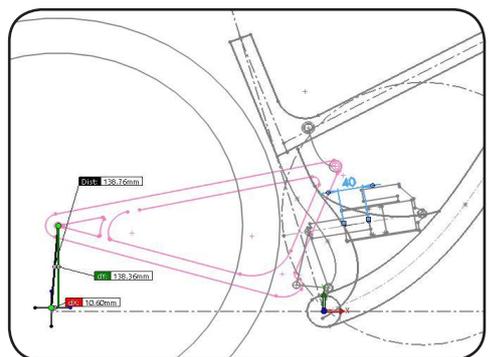
10 mm



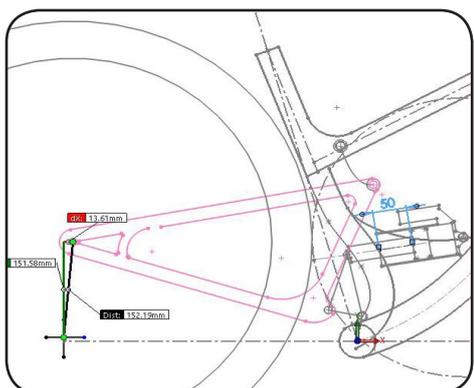
20 mm



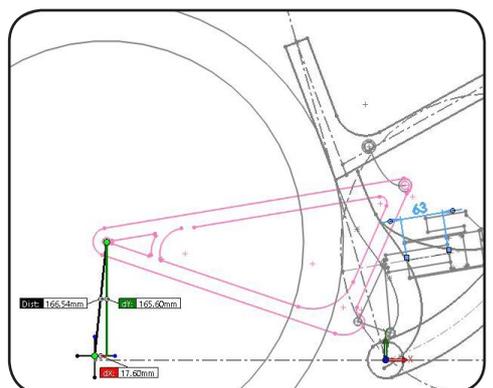
30 mm



40 mm



50 mm



63 mm

FASE 4 - MATERIALES, PROCESOS DE FABRICACIÓN Y DISEÑO CAD

4.1 Materiales

4.1.1 Aluminio: es un metal ligero, muy abundante en la naturaleza. Mecánicamente se caracteriza por ser un material blando con una horquilla de valores entre 2 y 4 en la escala de Mosh, junto con una buena maleabilidad. El aluminio en estado puro está limitado a 160-200 MPa en ensayo de resistencia a tracción. Por ello, es un material que suele ser aleado para la mayoría de usos. Como se explicaba previamente el aluminio utilizado para la construcción de cuadros no es puro, sino que está aleado con otros minerales, en cantidades muy pequeñas, variando así propiedades mecánicas que interesa mejorar, como la resistencia, la tenacidad, resistencia a fatiga, etc...

Dependiendo de los materiales con los que se alee, tienen unas propiedades distintas. Se clasifican en función del aleante mayoritario, subdividiendo en 8 series, identificadas por cuatro cifras.

Serie	Designación	Aleante principal
Serie 1000	1XXX	Pureza del 99%
Serie 2000	2XXX	Cobre (Cu)
Serie 3000	3XXX	Manganeso (Mn)
Serie 4000	4XXX	Silicio (Si)
Serie 5000	5XXX	Magnesio (Mg)
Serie 6000	6XXX	Magnesio (Mg) + Silicio (Si)
Serie 7000	7XXX	Zinc (Zn)
Serie 8000	8XXX	Otros elementos

Tabla de las series de aleaciones del aluminio.

Las series más usadas en el sector de ciclismo son las series 6.000 y 7.000.

Dado que el diseño de algunas piezas tendrán carácter complejo, se ha decidido de usar el **Aluminio 6061** ya que facilitará la tarea del hidroformado, y consta de unas características mecánicas adecuadas para el uso intensivo del enduro.

4.1.2 Fibra de carbono: es un material formado por fibras de 50-10 micras de diámetro, compuesto principalmente de átomos de carbono, estando unidos entre sí en cristales alineados en paralelo al eje longitudinal de la fibra, lo que le proporciona una densidad de la fibra de carbono es de 1.750 kg/m³.

Gracias a las propiedades de la combinación de las fibras de carbono con la resina epoxi, es un material que tiene una gran presencia en la industria aeroespacial, ingeniería civil, aplicaciones militares, automoción, deportes, etc.

- Muy elevada resistencia mecánica.
- Baja densidad (1.750kg/m³).
- Elevado precio de producción.
- Resistencia a agentes externos.
- Gran capacidad de aislamiento térmico.
- Buen conductor eléctrico.
- Resistencia a las variaciones de temperatura.

La fibra de carbono se puede organizar por propiedades mecánicas de la fibra, anchura del tejido y según la base del tratamiento térmico.

Según sus **propiedades**:

- Ultra- alto módulo , tipo UHM (módulo > 450Gpa)
- De alto módulo , tipo HM (módulo de entre 350 – 450Gpa)
- Intermedio – módulo, tipo IM (módulo de entre 200 – 350Gpa)
- Módulo bajo y de alta resistencia a la tracción , tipo HT (módulo < 100Gpa , resistencia a la tracción > 3.0Gpa)
- Súper alta resistencia , tipo SHT (resistencia a la tracción > 4.5Gpa)

Según la **anchura del tejido**:

La fibra de carbono se mide por la anchura del tejido, es decir, un tejido de 1K se aproxima a 1mm de ancho, 6K a 6mm, 12K a 12mm, etc. La definición K, está relacionada por cada 1.000 fibras de carbono que componen cada hilo del tejido. Estas fibras se tejen en la tela con diversos patrones de tejido, siendo la 3K la más común.

- 1K: prácticamente no se usa. Es más ligera que otras fibras y proporciona una conducción más flexible.
- 2K: se produce por no más de dos fabricantes de carbono en el mundo. Proporciona las características óptimas para fabricar cuadros.
- 3K o HMF: es la fibra de carbono más común, es resistente en todas las direcciones.
- 12K: es el tejido más grande y más rígido. Esta capa externa hace más duro el cuadro y menos confortable comparada con las otras. Es un poco más pesada y mucho menos costosa de producir.
- UD (Uni-direccional): permite formas más curvadas, ya que las fibras se orientan en un sentido, aunque requiere una estructura de varias capas mucho más avanzada pero, si se construye correctamente, ofrece mucha más resistencia por unidad de peso.

Una vez explicados los distintos parámetros que clasifican la fibra de carbono, se procede a elegir una tipología para la fibra que constituirá las bieletas. Ya que son partes que no van a soportar esfuerzos de tracción ni compresión como podría ser el cuadro, se elegirá una fibra de **alto módulo (HR)** para tener la seguridad de que aguantará todos los posibles esfuerzos derivados de un terreno extremo. En cuanto a la anchura de la fibra, se elegirá el **3K**, ya que al ser el más común, es el más económico y consta de una buena resistencia en todas las direcciones por lo que para el uso de las bieletas es adecuado.

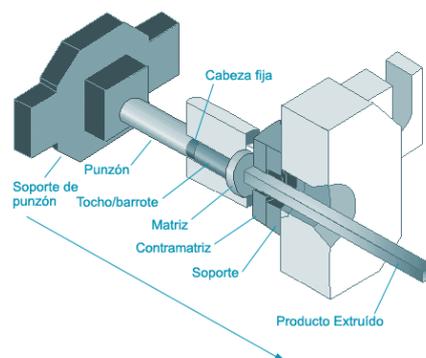
4.2 Procesos de fabricación

4.2 1 Aluminio

El aluminio una vez extraído de la bauxita, ya está listo para ser procesado y al ser un metal hay una gran cantidad de formas de proceder a darle la forma o acabado deseado, como pueden ser la extrusión, troquelado, conformado y otros procesos que sirven para dotar de forma y acabado al material para que se adapte a los requisitos del producto. Los cuadros de aluminio están compuestos por perfiles que luego son soldados; de manera que se analizarán los procesos de extrusión, hidroconformado y soldadura de los perfiles.

4.2.1.1 Extrusión

Se define como el proceso que crea un perfil, según las especificaciones y formato del fabricante/cliente. Previamente hay que precalentar el metal hasta que adquiere una temperatura entre 440°C y 490°C (según la aleación) que permita ser maleable al pasar por el perfil, que también se calienta para que haya un contraste menor. A continuación con una prensa hidráulica empuja el aluminio, en forma de cilindro, a través del perfil dándole la forma deseada. Este método requiere unas tolerancias estrictas, por lo que los perfiles tienen que tener límites dimensionales para asegurar la conexión de las distintas partes del cuadro ya que posteriormente serán ensambladas.



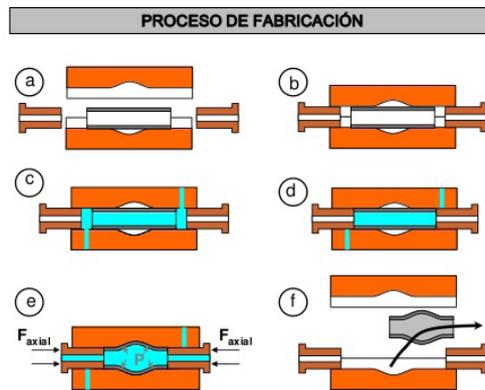
4.2.1.2 Hidroconformado

Es el proceso de fabricación en el que, a partir de un tubo de sección constante, normalmente circular, se consigue el perfil deseado. Se consigue con un fluido activo (suele ser mezcla de aceite con agua) a alta presión que conforma el material, gracias a una distribución uniforme de la presión sobre los moldes que rodean a la pieza. La presión depende del material, así como del grosor, radio, etc, pero suele ser del orden de miles de bares para poder formar deformación plástica en el material.

Con este proceso se consiguen formas de alta complejidad gracias a las matrices que forman el molde de contención, obteniendo formas suaves, de sección variable.

Los pasos para el proceso de hidroconformado son:

- a.- Introducción de los tubos en la matriz.
- b.- Cierre de la matriz mediante hidráulico.
- c.- Se llena el interior del tubo de líquido.
- d / e.- Se aumenta la presión del líquido para deformar el tubo de acuerdo con la matriz.
- f.- Extracción del tubo procesado.



Las principales ventajas que caracterizan al hidroconformado son:

- Libertad de diseño para piezas complejas.
- Reducir el número de piezas individuales en la carrocería.
- Reducción al mínimo de las conexiones ensambladas y/o soldadas.
- Reducción del material y peso de la pieza.
- Mayor resistencia mecánica.
- Mayor durabilidad.
- Alta precisión dimensional y de conformado con springback reducido.

4.2.1.3 Fresado

Es el proceso que mediante movimientos en la dirección de los 3 ejes consigue eliminar el material de una pieza, gracias a una herramienta rotativa, para obtener la forma deseada en un elemento mecanizado.

El fresado en el sector del ciclismo se usa para eliminar la partes finales de los perfiles hidroconformados, eliminando media circunferencia de material, haciendo que los tubos superiores e inferiores encajen con otros elementos cilíndricos como son la pipa de dirección y la caja de pedalier, haciendo que encajen con una pequeña tolerancia para soldarlos posteriormente.



4.2.1.4 Soldadura

El objetivo del proceso es conseguir la unión de dos o más piezas de un material, gracias a la fusión de las piezas o de un material de aporte, que derritiéndose sobre ellos y posteriormente enfriándose forma una fijación rígida llamada cordón de soldadura.

En la industria de ciclismo el método de soldadura más usado es el de la soldadura de arco, ya que es un proceso manual que suele ser usado para soldar materiales finos debido a su arco estable y soldadura de alta calidad. Este sistema de soldadura también tiene otras aplicaciones como en el sector aeronáutico, naval, etc...Es un proceso que puede ser usado en una gran cantidad de metales soldables pero su mayor aplicación se encuentra en acero y metales ligeros.

Para soldar las partes mecanizadas previamente, se deben poner en un soporte, fijándolas en la posición concreta, coincidiendo las distintas piezas entre sí.



Una vez fijados los distintos componentes, se procede a soldar, hasta que el cordón de soldadura quede uniforme garantizando así la unión de las piezas. Una vez enfriado se prepara el cuadro para la posterior capa de pintura.

4.2.2 Fibra de carbono

Anexos Fase 4:

- Métodos de fabricación/unión

4.2.2.1 Proceso de fabricación de piezas en fibra de carbono

El proceso de producción de componentes o cuadros de carbono tiene una serie de pasos pensados para optimizar el proceso de producción para una altísima calidad. Dependiendo del momento y modo en el que se aplique la resina a la fibra, se puede clasificar en: método por infusión y método por preimpregnación, pero las empresas de bicicletas usan el segundo dado su optimización de la cantidad de resina usada. El método de infusión suele ser usado para zonas abiertas, como puede ser el casco de un bote pequeño.

Enumerando los pasos desde el primer hasta último paso distinguimos entre:

1. Confección del molde

El alojamiento en el que se realizará la cocción de la fibra, es un molde fabricado en acero que gracias al proceso de fresado se le dá la forma del cuadro, teniendo en cuenta las distintas tolerancias. El molde constará de dos partes; un macho y una hembra que mediante tornillos de cabeza Allen quedan unidos para garantizar el proceso de impregnación de las fibras.

2. Confección de la lámina de carbono

El proceso consiste en tejer las bobinas de las fibras de carbono, con el fin de formar una lámina. En este proceso se puede encontrar ya la segmentación de los tipos de aplicación de resina que tenga el fabricante, ya que para los modelos de fibra preimpregnados, una vez creada la lámina, se aplica una resina de polímero (epoxi), siendo así más moldeable.

Por la otra parte para el método por infusión, la lámina no recibe ninguna aplicación de resina hasta que llegue al molde.

3. Corte de la fibra

Los componentes en carbono están compuestos de una gran cantidad de pequeñas láminas, que orientadas

en distintas posiciones le otorgan la rigidez y las excelentes propiedades mecánicas al cuadro. Estas pequeñas piezas se obtienen de las láminas, que con la ayuda de un plotter consigue las medidas diseñadas en el proceso de diseño, reduciendo el desperdicio de material.

4. Preformado

El objetivo es dotar de forma a las distintas partes. Este proceso se consigue pegando las pequeñas láminas creadas con el corte que alineándolas de una forma específica, sobre un núcleo extraíble de espuma de poliuretano que hace la función de preforma. Dado que las fibras no mantienen con facilidad la forma se calientan con una pistola de calor para hacerlas más maleables y que mantengan la forma de la espuma.

5. Proceso de moldeado

Es el momento clave de la fabricación de las piezas en carbono ya que con este paso se cuecen y endurecen las fibras hasta conseguir las prestaciones que caracterizan al carbono. El proceso consiste en introducir las piezas de carbono en el molde que conforma la forma final, pero para que el carbono endurezca tiene que haber un elemento que haga presión o tope desde el interior. Normalmente la metodología utilizada por la empresa, consiste en usar bolsas de aire, que son infladas desde el interior para presionar las láminas preimpregnadas contra las paredes del molde y que una vez cocido el producto en un horno entre 150°C y 200°C durante 30 minutos, son retiradas con facilidad.

6. Mecanizado

Trata de eliminar partes sobrantes y/o prepararlas para los distintos elementos normalizados, como pueden ser las roscas de la caja de pedalier, o las zonas que albergarán los rodamientos. Suele usarse una fresadora industrial con chorro de líquido refrigerante para evitar daños en la pieza.

7. Lijado

El objetivo, es el de eliminar imperfecciones que pueden darse tanto en la fase desmoldeo de la pieza, como en la del ensamblaje de las distintas piezas con el sobrante de la cola empleada para unir las distintas piezas, en el caso que haya sido creada con racores.

8. Pintado

Como indica el nombre, en el pintado se le da el acabado final a la pieza. Primero se le aplica una capa de imprimación para que adhiera mejor la pintura, seguido por las distintas capas de pintura que conforman los distintos diseños visuales del cuadro/pieza. Es corriente que esta fase se hagan distintas imprimaciones de colores preparando los diseños especificados. Por último se aplica una laca transparente con el fin de proteger de los elementos atmosféricos al producto final.

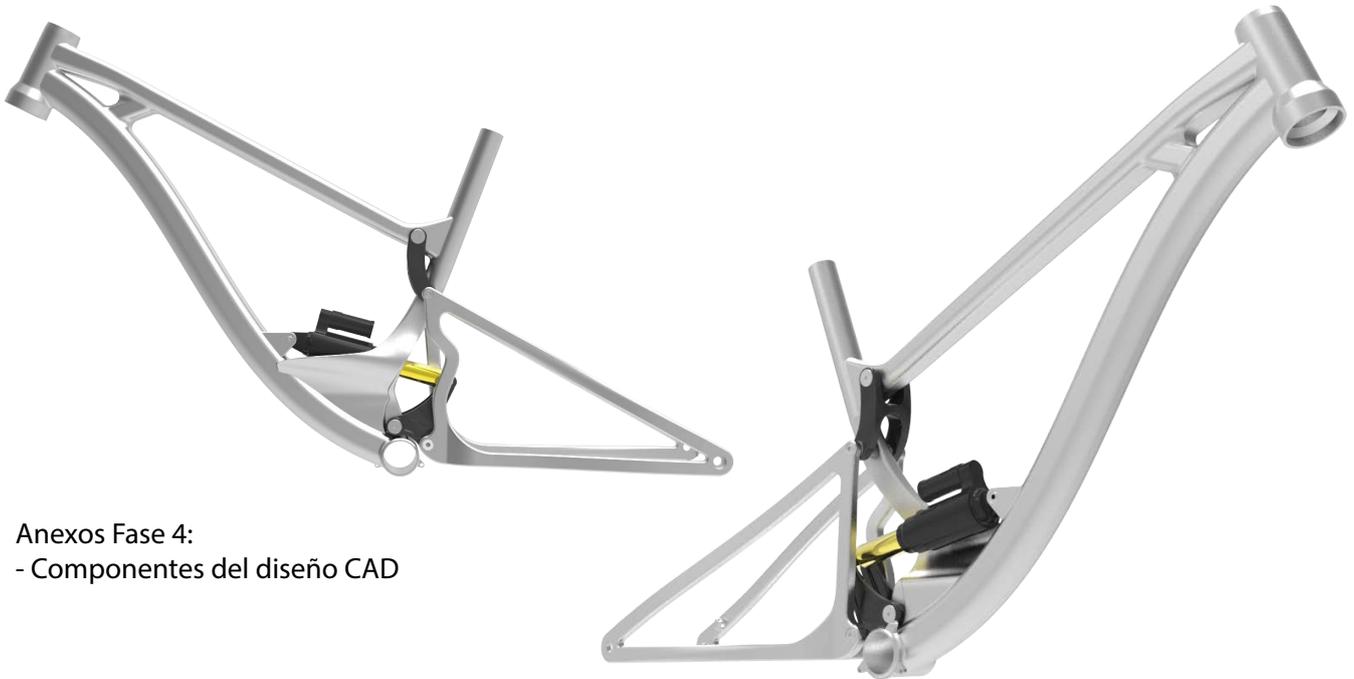
4.3 Desarrollo del modelado en CAD



Para el diseño de cada componente, se usarán unas líneas de construcción para indicar y delimitar las medidas establecidas y así tener el diseño con la geometría elegida. Una vez modeladas las distintas partes que forman un subensamblaje, por ejemplo el triángulo delantero, se ensamblarán para comprobar que las medidas encajan adecuadamente y a continuación un análisis de interferencias para comprobar si hay piezas que se entrecrucen con otras pudiendo formar un posible error.

Cuando todas las piezas y subensamblajes hayan sido modelados, se creará un ensamblaje principal en el que hacer comprobaciones generales, de geometría y choque de piezas de manera general. Se producirán interferencias en algunas zonas, teniendo que cambiar las distintas piezas involucradas para un correcto desarrollo.

Una vez establecidos que los distintos componentes tienen las medidas correctas, se procede a diseñar un amortiguador, de modo simple para comprobar que ninguno de los componentes de este chocan en ninguna parte del cuadro, tanto en la posición de compresión como de extensión. El amortiguador adjuntado en el modelo, está basado en el modelo Rock Shox Monarch Plus R de medidas de 222x66.



Anexos Fase 4:
- Componentes del diseño CAD

Tras una breve comparativa de los colores de los modelos actuales se puede concluir que la mayoría constan de uno o dos colores formando letras o diseños simples. Para el proyecto se ha decidido basar la estética en base a dos colores.

Para estudiar los colores posibles del modelo se tuvieron en cuenta los significados cognitivos que pueden tener los colores en la sociedad. En la gráfica inferior se pueden observar los posibles significados que se obtienen de los colores.



Para el modelo, los valores que pretender transmitirse con el modelo son elegancia, pasión y adrenalina, ya que las bicicletas de enduro pueden llegar a transmitir esa serie de valores. Como puede verse, los colores que engloban a esos valores son el rojo y el negro.

El siguiente paso es establecer el diseño del cuadro, como combinar los colores, etc. Dado que la mayoría de modelos actuales no constan de muchos diseños, sino que optan por la opción minimalista. Es frecuente encontrar en los productos, inspiraciones en la naturaleza, por lo que adaptando la metodología a los colores usados se encontró un animal que tenía esos colores: la viuda negra. Es un animal cuya estética encaja ya que es un insecto peligroso y el mountain bike es un deporte de riesgo por lo que encaja con la tipología del segmento.

De este modo se adaptaron los colores y morfología de la viuda negra al cuadro. En la parte inferior del tubo inferior se distingue una franja roja sobre fondo negro, mientras que el tubo superior es completamente rojo. En la pipa de dirección, hay un logotipo de una viuda negra de color rojo sobre fondo negro, invirtiendo los colores lógicos del animal.

El triángulo trasero es totalmente que junto a las bieletas en carbono y los tornillos negros consigue aplicar detalles pequeños como las marcas del abdomen de la viuda.

Renders finales

Los renders se llevaron a cabo con el programa SolidWorks con el complemento de PhotoView 360, que permite renderizar los distintos productos. Esta opción permite aplicar apariencias, escenas, calcomanías, etc. Consta de muchas opciones de renderizado para obtener el máximo provecho del render.

Estos renders simulan el cuadro en su estado de reposo.



Los siguientes renders simulan el comportamiento del cuadro, en proceso de compresión para que se vea de manera clara y sencilla los distintos componentes, con sus respectivas distancias, en la posición más desfavorable.



FASE 5 - ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL TRIÁNGULO DELANTERO

La norma UNE-EN14766, estudia todos los apartados que afectan a los distintos componentes de las bicicletas para la comprobación de que sean elementos seguros. En ella se detallan y explican los distintos ensayos que se realizan junto a su definición y posteriormente encontramos los distintos ensayos para cada componente como pueden ser manillar, frenos, cuadro, dirección, etc, para definir completamente los aspectos de seguridad relativos a la pieza concreta. Cada ensayo contiene las generalidades, requisitos y el método de ensayo, definiéndolo por completo.

Anexos Fase 5:

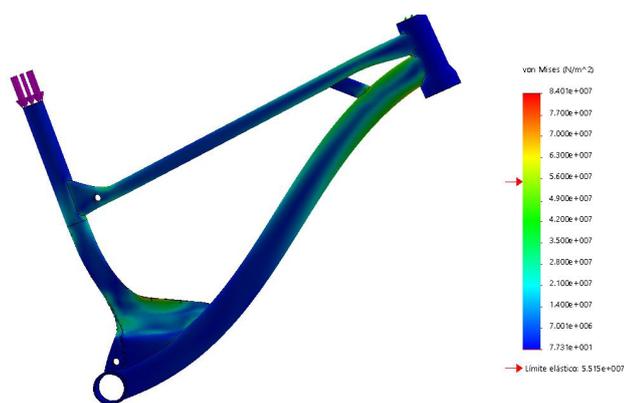
- Métodos de trabajo de SolidWorks

5.1 Análisis estático de simulación de ciclista montado

El objetivo del primer ensayo que se realizó sobre el triángulo delantero, era comprobar la resistencia simulando un ciclista de 80kg con el peso distribuido de 75% detrás, 25% delante, cargando 60kgf sobre la caja de pedalier y 20 kg distribuidos simetricamente a 350mm de la pipa de dirección simulando el manillar.

Pero previamente se hicieron unos estudios para comprobar la resistencia general del cuadro.

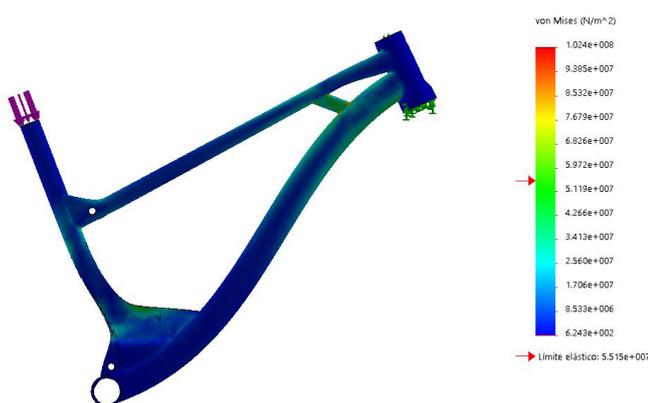
La primera prueba que se realizó fue la simulación de apoyar 800N de fuerza sobre la cara plana de la tija, fijando la pipa de dirección para comprobar si el cuadro fracturaba por cierta parte.



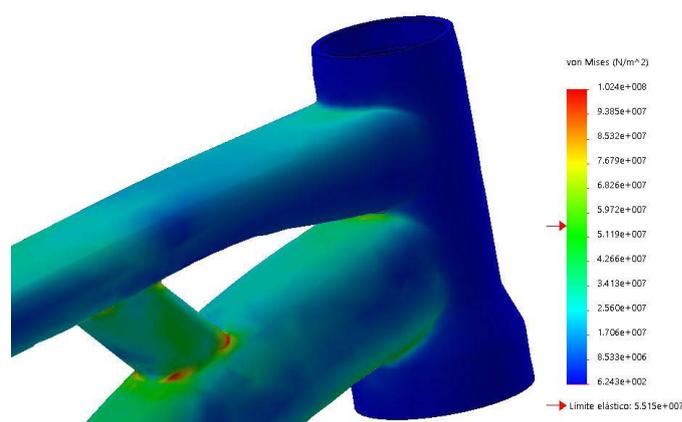
Análisis 1, cuadro sin soldar

La primera imagen corresponde al primer análisis, como ensamblaje de las distintas piezas pero sin soldaduras en las uniones. Como se puede observar, se encuentran tensiones en las partes sometidas a flexión y zonas con curvaturas, como sucede en el tubo inferior, el tubo superior o la unión de la tija con el pedalier.

En las imágenes inferiores a este texto, encontramos el análisis del cuadro con simulación de soldadura mediante redondeos en las juntas, distribuyendo mejor las cargas, debido a que las esquinas son acumuladores de tensiones.



Análisis 1, cuadro soldado



Detalle de la unión del tubo superior e inferior

Viendo los resultados obtenidos, las mayores tensiones se acumulan en los extremos de la unión con el tubo inferior, se procedió a hacer más ancha y larga hasta un perfil de 30x25. Los análisis revelaron un decrecimiento de las tensiones pero aún seguía en zona roja por lo que se llevaron a cabo los redondeos de las secciones. Con un redondeo en la parte superior de 10mm y en la inferior de 15mm y un aumento del grosor de la pared de la unión de 2.5 a 3mm se consiguieron eliminar las zonas críticas en rojo.

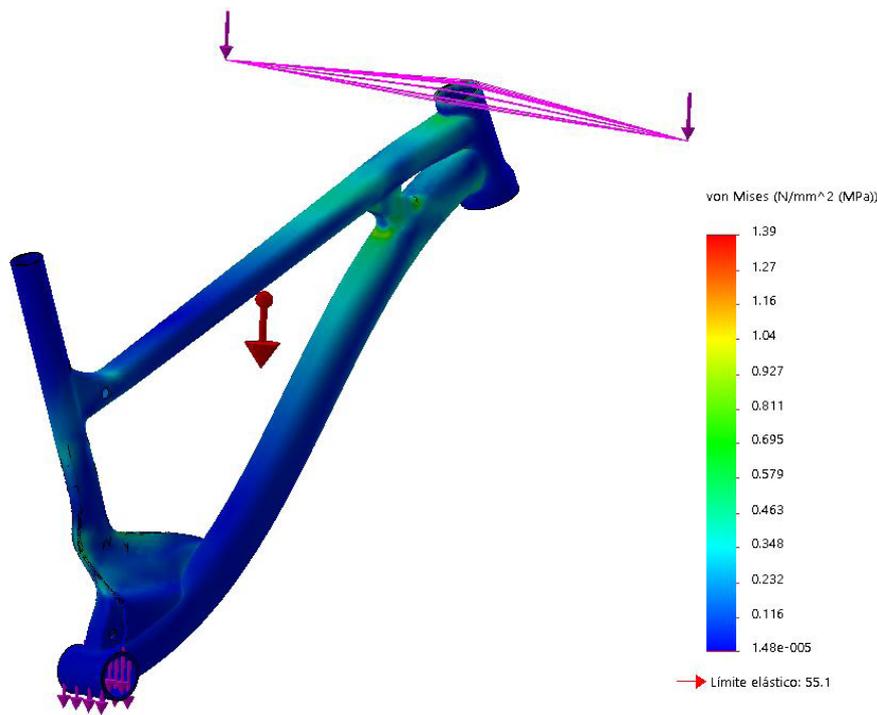
Como se puede observar en la leyenda lateral, en todas las simulaciones anteriores, el modelo fracturaba debido a las restricciones que se le habían impuesto a la misma, dado que en el modelo anterior se aplicaba un peso de 800N sobre la tija, la simulación no era muy representativa de la postura que suele encontrarse en una situación real.

De esta manera se hizo una nueva simulación en la que se aplicaban fuerzas distribuidas de manera más real.

El cuadro se le asignó el material de Aluminio 6061, como en la simulación anterior.

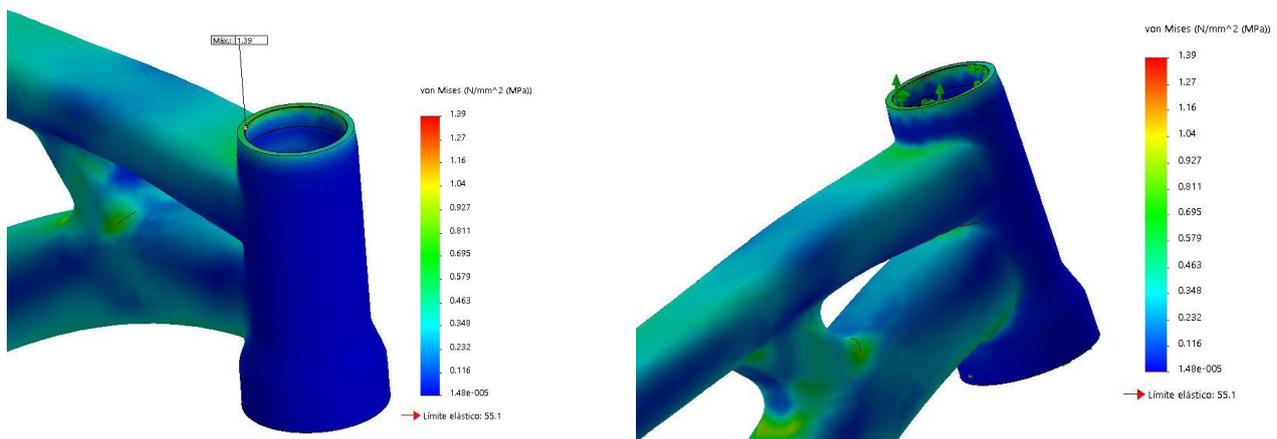
Respecto a las fuerzas se le añadió la gravedad en el eje Y en dirección -i, junto a la carga de 60kgf en el eje de pedalier y 20kgf de simulación de peso apoyado sobre el manillar, a una distancia de 350mm respecto al eje de la pipa de dirección. Con estas fuerzas se simula un ciclista de 80kg sobre el triángulo delantero, sin más elementos de la bicicleta como es el amortiguador que precarga la bicicleta absorbiendo el peso del rider.

En cuanto a las sujeciones, se sujetó por la pipa de dirección con una restricción fija en todas sus caras cilíndricas.



En la imagen superior se pueden ver los resultados generales obtenidos por la simulación; en la leyenda se puede notar que no hay una flecha roja que indica que el triángulo delantero ha deformaba como sucedía en los casos anteriores, a pesar de que el límite elástico del material es de 55MPa. La tensión de Von Mises, alcanza un valor máximo de 1.39MPa, en la pared interior de la pipa de dirección, como puede verse en la imagen inferior izquierda.

El recorte del estudio que se encuentra a la derecha de la imagen anterior es una ampliación de los detalles de la unión de la barra superior con la barra inferior para poder comprobar que no hay un sobretensionamiento en esas zonas ya que en los primero estudios se vió que esa parte era donde se acumulaban la mayor parte de las tensiones junto a la parte inferior del tubo inferior, cerca de la zona restringida de movimiento.



Detalle del valor máximo de la tensión de Von Mises.

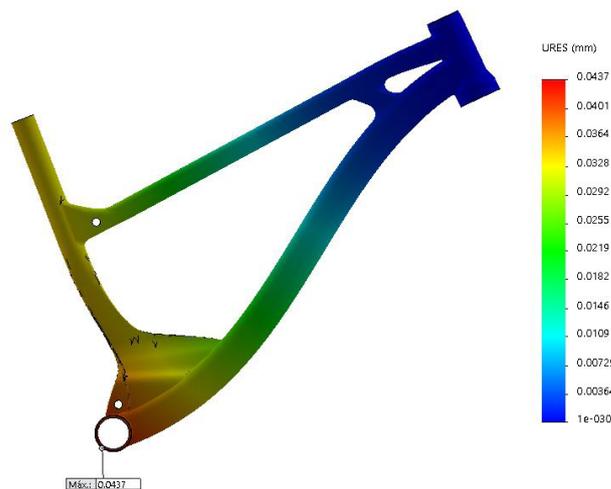
Detalle del valor máximo de la tensión de Von Mises.

En el endurecimiento, al ser un deporte de alta duración y castigo para todos los componentes de la bicicleta, es frecuente pinchar la cámara de los neumáticos por lo que es frecuente ver como en algunos cuadros se pegan las cámaras plegadas con cinta adhesiva a los huecos que se adaptan a ellos. También podría permitir albergar una cámara de repuesto o incluso las herramientas necesarias para reparar un pinchazo.

De esta manera hemos encontrado una función derivada de la forma que ha sido necesaria cambiar por motivos técnicos de resistencia.

Con los resultados de la simulación también se incluyen las deformaciones que sufren los componentes del triángulo delantero. Dado que la restricción de sujeción fija se encuentra en la pipa, es normal que la parte colindante a la misma, apenas sufra desplazamientos.

Ya que la mayor fuerza (de 60kgf) se encuentra en el eje de pedaliar, ahí será donde se encuentren la mayores deformaciones, en el caso de estudio es de 0.0437mm, una cifra que apenas es considerable teniendo en cuenta los esfuerzos a los que están sometidos los cuadros de estas bicicletas y como hemos nombrado anteriormente la configuración del triángulo delantero sin los demás componentes del cuadro, es la mejor manera de analizar el comportamiento del cuadro ya que se producen en él los casos más desfavorables sin la presencia del amortiguador y otros componentes que puedan llegar a absorber cierta cantidad de energía extra.



Deformaciones en mm, con el valor máximo.

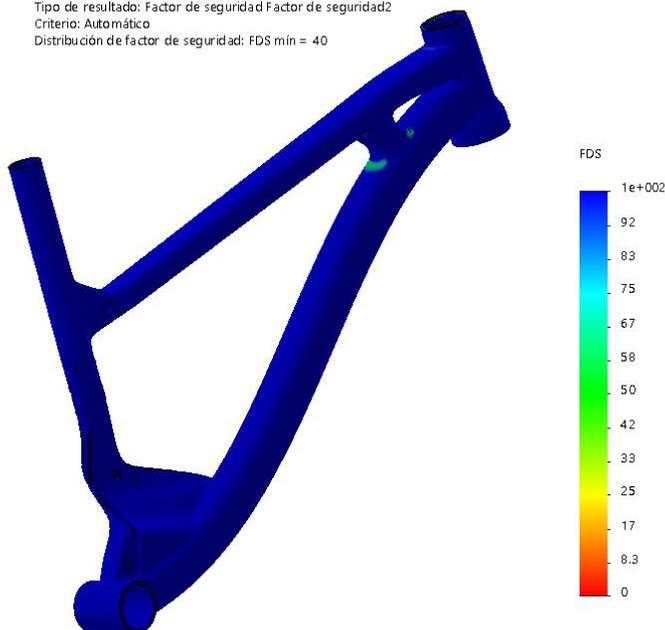
Hay que destacar como punto clave el factor de seguridad que se define como el cociente entre el valor del límite elástico del material y el valor del máximo de la tensión de Von Mises cuyo objetivo es garantizar la seguridad en todo momento, dejando un margen extra de fuerzas, deformaciones por encima de las necesarias.

$$\text{Factor de seguridad} = \frac{\text{Límite elástico del material}}{\text{Tensión máxima de Von Mises}}$$

Para nuestro caso, haciendo el cociente de los valores resultantes del análisis, obtenemos que el factor de seguridad es de 39.64.

$$F.S = \frac{55.1 \text{ MPa}}{1.39 \text{ MPa}} = 39.64$$

Nombre del modelo: cuadro soldado
 Nombre de estudio: Análisis estático 2 (-Predeterminado-)
 Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad2
 Criterio: Automático
 Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 40



Valores del factor de seguridad.

En la imagen izquierda se puede ver que el resultado del caso de estudio del factor de seguridad. La gran parte del cuadro tiene un factor de seguridad muy elevado, siendo de color azul oscuro, y las zonas más desfavorables son las de la unión del tubo inferior con la pletina de unión de ambos tubos, viéndose que el valor aproximado de las zonas críticas es de 40, como se indica en el texto de la parte superior de la imagen en la última línea.

Con estos datos podemos decir con seguridad que los esfuerzos simulados para el triángulo delantero no deforman ni comprometen estructuralmente el diseño de cuadro ya que sabiendo que el factor de seguridad es de 39.64, las probabilidades de rotura y/o deformación del cuadro son muy pequeñas, garantizando adecuadamente el uso de la modalidad hacia la que está orientado el diseño del cuadro.

Para los análisis anteriores, que acaban teniendo deformación plástica observamos que el factor de seguridad no llega a una relación de un mínimo de 1. El límite elástico sigue siendo el mismo valor de 55.1 MPa, mientras que la tensión máxima registrada es de 87.72 MPa, obteniendo un F.S de 0.62.

5.3 Ensayo de fatiga por fuerzas horizontales

La descripción de la norma UNE-EN 14766 describe este ensayo como "Se instala el cuadro en su posición normal fijándolo al nivel de sus patas traseras de tal forma que no esté limitado en su rotación (es decir, de preferencia por el eje trasero) como se muestra en la figura 30. Se verifica que los centros de los ejes delantero y trasero están alineados en el plano horizontal. Se aplican ciclos de fuerzas dinámicas horizontales de +1.200 N hacia delante y de -600 N hacia atrás en las punteras de la horquilla delantera durante 50 000 ciclos, con la horquilla delantera bloqueada según la dirección vertical, pero con libertad para desplazarse en la dirección longitudinal bajo el efecto de las fuerzas aplicadas. La frecuencia máxima debe ser de 25 Hz."

Y los requisitos del mismo son " Durante el ensayo efectuado según el método descrito en el apartado 4.8.5.3, no debe haber ninguna fisura ni rotura visible en el cuadro y no debe haber ninguna separación de cualquier elemento de los sistema de suspensión.

Para los cuadros de fibra de carbono, la flecha máxima en el momento del ensayo en los puntos de aplicación de las fuerzas no debe exceder del 20 % del valor inicial!"

Los ensayos de fatiga se caracterizan por repetir un número de ciclos una fuerza/tensión aplicada en un análisis estático previo del que tomar los datos obtenidos. Conociendo la manera de funcionar de los ensayos, se procede a analizar el triángulo delantero. Para ello la norma dice que tiene que existir un elemento de fijación delantero, y en caso de no tener horquilla delantera se estudiará con una tija maciza de acero que permita simular los efectos de la suspensión delantera pero al ser un elemento macizo los requisitos serán distintos a los que fuesen con una horquilla estándar.

El primer paso para el análisis estático era fijar los componentes entre ellos, simulando la unión de la barra al triángulo, de manera que el eje de la horquilla y el de la caja de pedalier queden alineados en el plano horizontal. A continuación se aplican los materiales a ambos elementos, en el caso del T.D, aluminio 6061 y para la barra se escoge el acero galvanizado.

Respecto a las restricciones de movimiento y fuerzas aplicadas se siguen las descritas en la normativa. El eje de la caja de pedalier se fija, limitando su rotación, estableciendo en el análisis una restricción de geometría fija en la caja de pedalier. El paso siguiente consiste en aplicar una fuerza de 1.200N en el eje de la barra en sentido positivo del eje X. En la norma establece que en el análisis de fatiga tiene que hacerse una fuerza de 600 N en sentido negativo pero para este caso, sólo se van a poner 1.200N ya que en el análisis de fatiga se hará la repetición de 1.200N positivos y negativos desde el punto 0, como se explicará posteriormente.



Triángulo delantero y barra de acero con los parámetros del análisis estático.

Una vez establecidos los parámetros básicos del modelo se procederá al mallado y ejecución del caso, el mallado se establecerá como fino con unos parámetro de 10mm y 0.5mm. En la siguiente imagen se puede observar el resultado de las tensiones de Von Misses.



Tensiones de Von Mises en MPa.

Una vez obtenidos los resultados, en los que se observa la acumulación de tensiones en los laterales de la barra más cercana a la dirección en la pipa. Se vé que no fractura por lo que se puede proseguir al estudio de fatiga.

Creando un nuevo análisis de Simulación, se escoge la opción "Análisis de fatiga". Previamente hay que comprobar y estipular una serie de ajustes para conseguir los resultados necesarios. En el menú de Carga en el que encontramos el número de ciclos, el tipo de carga y la asociación de estudios.

El primero de ellos, es establecer el número de ciclos que va a repetirse la prueba, en el caso de análisis de fatiga a fuerzas horizontales, según la norma se establece un número de 50.000 repeticiones.

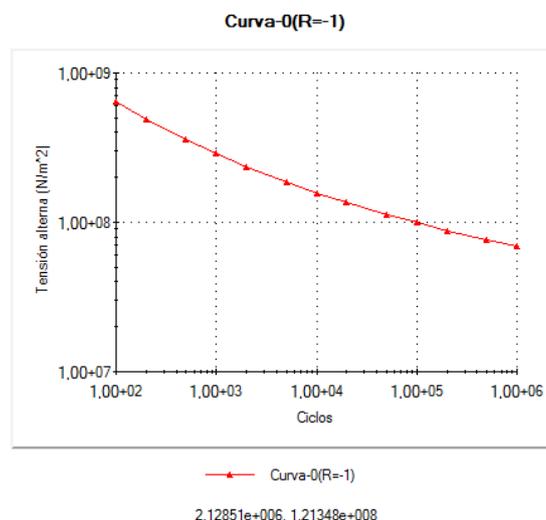
El tipo de carga determina picos de tensión y, por lo tanto, la tensión alterna.

$$Tensión\ alterna = \frac{|Tensión\ máxima - Tensión\ mínima|}{2}$$

Una vez establecido el tipo de carga para el análisis, el siguiente paso es aplicar los datos de fatiga del material. El resultado de este análisis de fatiga tiene el objetivo de averiguar la vida del producto, así como el porcentaje de daños que puede sufrir el cuadro en un determinado número de ciclos.

Los resultados se obtienen a partir de la curva telmática de los materiales que SolidWorks tiene incorporados. Esta función representa la relación de la fatiga del material, relacionando el número de ciclos con la tensión alterna registrada.

La tabla de la derecha es la curva log-log basada en curvas de acero austenítico ASME, para la barra de acero y cuadro debido a la simulación.



Propiedades Tablas y curvas Curvas SN de fatiga Apariencia Rayado Persona

Origen
 Interpolador: Log-log
 Definir: Curva-0(R=-1)
 Derivar de módulo elástico del material:
 Basado en curvas de acero austenítico ASME
 Basado en curvas de acero al carbono ASME
 Definir la ecuación de fatiga S-N (para análisis de fatiga de vibración aleatorio)

Vista preliminar

 Ver todo

Datos de tabla
 Factor de tensión (R): -1 Unidades: N/m^2

Puntos	N	S
1	100	1936749117
2	200	1491519435
3	500	1098233216
4	1000	883038869.3
5	2000	719787985.9
6	5000	563957597.2
7	10000	474911660.8
8	20000	411837455.8
9	50000	343568904.6
10	100000	302756183.7
11	200000	266395759.7
12	500000	230035335.7
13	1000000	210000000
14		

Archivo Ver Guardar

Aplicar Cerrar Guardar Config... Ayuda

"El límite de resistencia es la tensión alterna mayor que no tiene como resultado un fallo por fatiga. En otras palabras, si la tensión alterna es igual o menor que el límite de resistencia, la cantidad de ciclos de tensión que causan fallo se hace muy grande (prácticamente infinita). El límite de resistencia se define generalmente para las tensiones alternas con media en cero. El límite de resistencia también se denomina límite de fatiga."

En la tabla de la izquierda, pueden verse los distintos valores, en la columna N están el número de ciclos, y en columna de la S, están escritos los distintos valores que se han obtenido de la curva del acero. Es observable que va disminuyendo conforme más ciclos de acuerdo con la fatiga del material.

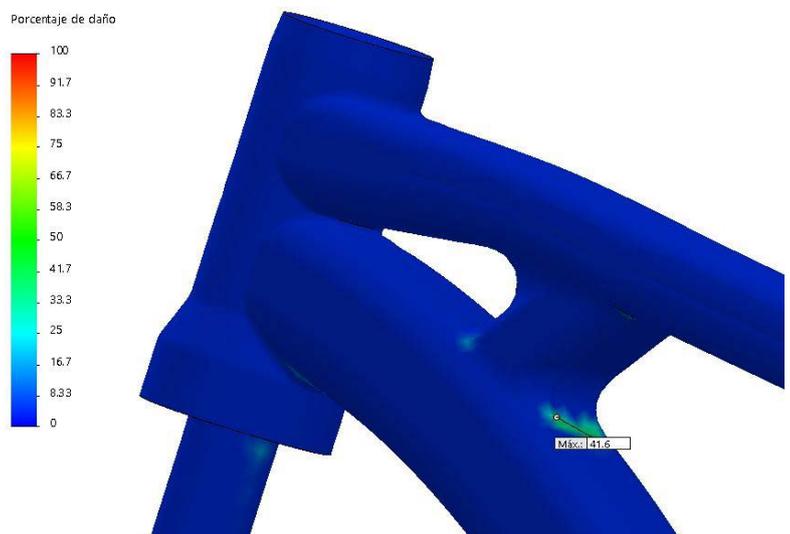
Una vez definidos todos los parámetros referentes al análisis de fatiga se procede a correr el caso. Los resultados que se esperan de los análisis de fatiga son dos:

- El porcentaje de daño
- Vida del producto

En la primera imagen es el recorte del primer resultado, el porcentaje de daños. El color general del triángulo delantero se puede observar que es azul oscuro y que como podemos comprobar en la leyenda es aproximadamente cero, pero la zona de unión del tubo conector del tubo superior e inferior hay un porcentaje de daños mayor ya que es la parte más castigada durante el ensayo. Puede observarse que el porcentaje de daño es del 41.2%, señalándolo como la anotación máxima para así poder ver su ubicación. La segunda imagen es el zoom de la zona en la que se encuentra la sección más castigada. Puede observarse que las zonas del redondeo son las que tienen el mayor porcentaje de daño aunque en el caso de la parte delantera no llegue al 30% de daño.

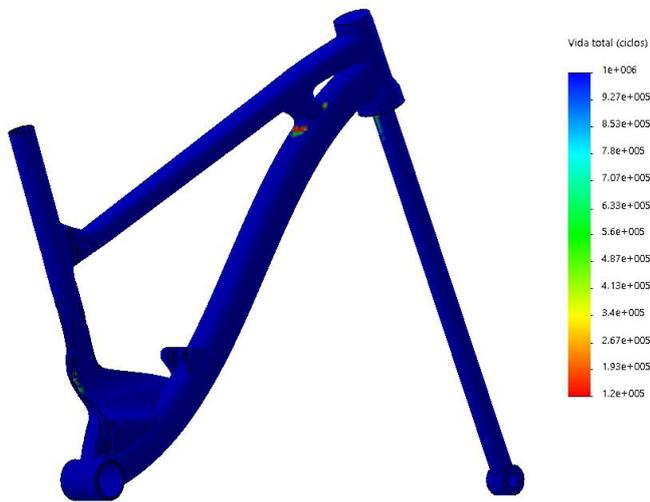


Porcentaje de daño en el modelo.



Ampliación de la zona más dañada.

Se hizo una prueba con los redondeos más pequeños para hacer una comprobación del comportamiento del cuadro con el fin de comprobar otra configuración de la unión y los resultados fueron negativos ya que en la parte superior del tubo de unión entre el superior e inferior apareció una zona con un porcentaje de daños del 129%. Por este motivo se dejó el redondeo impuesto anteriormente.



Resultados de la vida del triángulo delantero.

Para concluir el ensayo de fatiga a fuerzas horizontales, el segundo resultado es la vida útil del triángulo delantero, el que se puede ver una tonalidad azulada en la gran parte del cuadro, teniendo un valor aproximado según la leyenda de un millón de ciclos, que en el lenguaje de SolidWorks significa que tiene una vida teórica infinita, con muy pocas probabilidades de fallo.

Al igual que sucedía con el porcentaje de daño, en la zona donde se había producido un 41.2% de daños, se encuentra la zona que menos ciclos resiste 120.000 ciclos, más del doble de lo estipulado por la norma. Además la situación impuesta es de fuerzas muy altas por lo que se puede concluir que con un uso concorde con su categoría el triángulo delantero resistirá el uso de manera prácticamente infinita.

5.4 Ensayo por fatiga de fuerzas verticales

La descripción del ensayo según la norma "Se instala el cuadro en su posición normal, fijándolo a las punteras traseras, de tal forma que no esté limitado en su rotación (es decir, de preferencia por el eje trasero) como se muestra en la figura 32. Se instala un rodillo apropiado en el eje delantero para permitir al cuadro flexionar en el sentido longitudinal bajo el efecto de las fuerzas de ensayo. Se introduce una tija maciza redonda de acero equivalente a una tija de sillín en la parte superior del tubo de sillín a una profundidad de 75 mm y se fija con la ayuda del dispositivo de sujeción normal y según las instrucciones del fabricante. Se fija rígidamente una extensión horizontal dirigida hacia atrás a la parte superior de esta tija de tal forma que su longitud coloca el punto H en una posición equivalente a la del centro del bastidor del sillín cuando la bicicleta está ajustada a la altura máxima de sillín recomendada para el cuadro en cuestión; o si no se dispone de la información sobre la altura máxima del sillín, h debe valer 250 mm."

En cuanto a los requisitos del ensayo, están escritos como "Después del ensayo efectuado según los métodos descritos en el apartado 4.8.2.3, no debe haber ninguna fisura ni rotura visible en el conjunto y no debe haber ninguna separación de cualquier elemento de los sistemas de suspensión."

La deformación permanente medida entre los centros de los ejes de rueda (distancia entre ejes, véase el apartado 3.22 y la figura 27) no debe sobrepasar:

- 30 mm cuando la horquilla está montada;
- 10 mm cuando se ha montado una tija maciza de acero en lugar de la horquilla."



Tija maciza.

Como se describe en el ensayo, la fuerza de 1.200N que se ha de aplicar en una tija maciza de acero con una prolongación horizontal. Se modela una nueva pieza en el ensamblaje y a partir del diámetro interior de la tija. Como explica el ensayo ha de estar insertada a 75mm y a 250mm en proyección paralela de la tija se extruye un perfil de 10mm de espesor.

Una vez terminada la tija de acero se comienza el análisis estático, definiendo primeramente el material de la tija en acero, ya que los demás componentes del ensayo ya estaban definidos por el ensayo de fatiga de fuerzas horizontales. A continuación se aplicaron las restricciones; la primera de geometría fija en la caja de pedalier y la segunda de rodillo en la parte final de la horquilla de acero tal y como describe la norma.

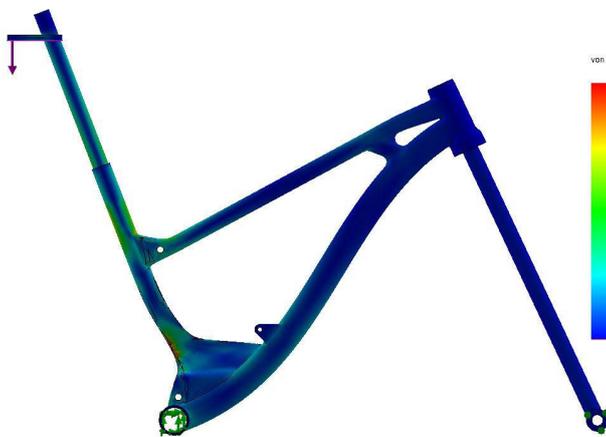
Posteriormente hay que aplicar la fuerza de 1.200N en la pletina plana que se ha diseñado previamente en la tija, la distancia en la que hay que situar la fuerza está situada en el plano medio de la tija, en la cara inferior a 70 mm de distancia desde el eje de la tija.

El mallado del modelo será fino, de 10mm y 0.5mm respectivamente para conseguir que la malla sea de transición suave y que malle correctamente.

Una vez ejecutado el caso, puede observarse en el recorte de la tensión de Von Mises de la página siguiente, que el valor máximo es de 161 MPa, en la parte curva de la unión entre la tija y el tubo inferior. También se ve que las tensiones que se acumulan y distribuyen de una manera uniforme en la tija, a la altura de la unión del tubo superior y una tensión del orden de 50MPa en la unión del tubo inferior con la zona curva de la pieza curva.



Restricciones y fuerza en el modelo.



Tensión de Von Mises del modelo.



Porcentaje de daño.

Por los resultados obtenidos, puede afirmarse que el modelo resiste correctamente el análisis estático previo, no se sobrepasa el límite elástico del material por lo que no se produce deformación plástica.

Una vez analizado el análisis en el que basar el ensayo de fatiga y concluir que resiste el ensayo se procede a completar las variables del análisis de fatiga. Al igual que en el caso anterior el número de ciclos es de 50.000, como dicta la normativa.

Respecto a la tipología de la carga, para este ensayo se elegirá la opción de LR=0, descrita en el ensayo de fuerzas horizontales, ya que para este caso concreto interesa que el valor vaya desde 0 a 1.200N y siendo cíclico.

Por último, la asignación de curvas de fátiga de los materiales, el triángulo y la horquilla mantienen los datos del ensayo anterior, el del acero austenítico y para la tija maciza también se le añaden los mismos parámetros de fatiga.

Con los datos introducidos se procede a simular el análisis. El primero de los resultados a analizar es el del porcentaje de daño que ha sufrido durante los 50.000 ciclos. Los resultados obtenidos se interpretan en una gama de colores que comienza del 0% (azul oscuro) al 100% (rojo). El mayor porcentaje de daño, con un valor de 24.2% se encuentra en la zona curvada de la unión de tija y caja de pedaliar, donde previamente en el análisis estático se había podido encontrar la mayor concentración de tensiones de Von Mises. Es un porcentaje de daño muy bajo, teniendo en cuenta que es un cuadro asimétrico y podría haber una mayor acumulación de tensiones en ciertas partes que recibieran más carga.

El otro resultado del ensayo de fatiga, es la vida del triángulo delantero que como puede observarse, tiene una vida de un millón de ciclos, que como se había explicado en el ensayo anterior, SolidWorks lo interpreta como que tiene una vida infinita de manera general ya que el color del cuadro es rojo, salvo en la parte crítica donde antes se había localizado el 24.2% de daño. De esta manera se puede decir con certeza que la parte asimétrica del cuadro aguantará el uso, ya que ha superado el ensayo de la norma con muy buenos resultados para ser una bicicleta del sector del enduro, sector expuesto a grandes tensiones y fuerzas.



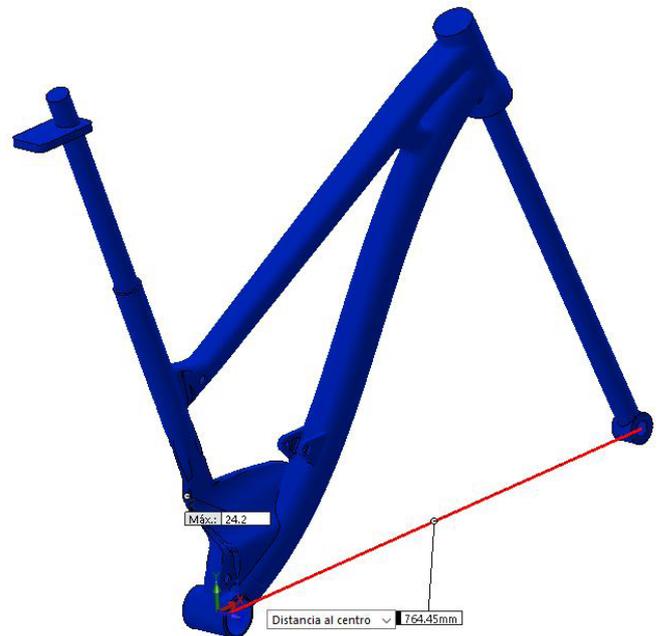
Vida del triángulo.

En cuanto a los requisitos exigidos por la norma, el primero de ellos, estipulaba que no debía haber fisuras ni roturas y en respecto a la deformación permanente entre el eje de la caja de pedalier y el eje de la horquilla, no debe superar los 10mm.

Como se ha podido comprobar en el análisis estático no hay fisuras en la parte crítica, donde se acumulaban las tensiones ya que si las hubiera, sería porque habría superado el límite elástico del material, cosa que no sucedió por lo que se puede estudiar el siguiente caso, que es la deformación entre los ejes.



Medida en el modelo general.



Medida en el ensayo de fatiga.

En las imágenes superiores se puede encontrar la medida entre el eje de pedalier y el eje de la horquilla maciza en dos fases distintas, la imagen de la izquierda, marca la medida en el modelo y la segunda en el ensayo de fatiga, tras haber analizado anteriormente el análisis estático.

Ambas medidas coinciden por lo que la deformación entre ambos ejes es cero, lo que significa que el cuadro tiene un excelente comportamiento y soporta grandes ciclos de esfuerzos siendo asimétrico.

5.5 Ensayo de deformación

Este ensayo no aparece en la norma, pero se ha considerado que puede ser interesante para el proyecto tenerlo entre los diversos estudios realizados.

El objetivo de este ensayo es determinar la fuerza necesaria para conseguir una deformación permanente en el cuadro, siendo así inservible.

El ensayo real consiste en anclar la caja de pedalier a una plataforma que mediante un tornillo sin fin va moviendo esta hacia el eje de la horquilla. Para conseguir la deformación, se instala en la pipa de dirección una horquilla de doble pletina cuyo fin es mantener esa posición. De este modo se somete el cuadro a una compresión que deriva en el caso de los cuadros de aluminio en una deformación permanente en el tubo inferior (la mayoría de las veces) y en una fractura del cuadro en los modelos de carbono.



Sistema real de tornillo sin fin del ensayo.

En las imágenes contenidas en esta página, se observa un ensayo real de fractura/deformación de la Santa Cruz Nomad, en sus dos variantes de construcción aluminio y carbono. En la imagen superior puede observarse que la caja de pedalier es la que se acerca hacia la horquilla gracias a un motor y a un tornillo sin fin.



Tensión de rotura del cuadro de aluminio.



Tensión de rotura del cuadro de carbono.

En las imágenes superiores se observan los resultados del mismo ensayo dependiendo del material utilizado. En la parte izquierda se encuentra el resultado de un cuadro de aluminio cuyo tensión máxima para la deformación plástica es de 1.464 lbs, que en traducido a las unidades del sistema europeo son aproximadamente 665kg de fuerza. Como ya se sabe gracias a las propiedades de los materiales explicada en la fase cuatro, el carbono es un material con una resistencia mayor que la del aluminio pero debido a su composición no deforma sino que fractura, seccionando por las zonas críticas, con un valor de 2050lbs (930kg).

Para el análisis de deformación, se toma solamente el triángulo delantero, ya que como se había explicado en los casos anteriores, es la situación más desfavorable ya que al ser un cuadro de doble suspensión, la mayor acumulación

de tensiones se producen en el triángulo delantero. Al igual que en el estudio descrito en las imágenes anteriores el triángulo delantero se une a una barra de acero que simula la horquilla, sobre la que se aplicará la fuerza necesaria.

El primer paso del estudio, es definir los materiales, que como se sabe el triángulo delantero es de Aluminio 6061 y la barra de acero aleado. A continuación se limita el movimiento del cuadro mediante restricciones fijas en la caja de pedalier y el agujero del eje pasante del basculante superior, evitando que el cuadro rote permitiendo el proceso de tracción. Para que el estudio se lleve a cabo, se simula el estudio descrito anteriormente, por lo que se adapta al estudio del proyecto. En vez de un tornillo sin fin, para el estudio se aplicará una fuerza de 6500N en sentido de tracción hacia la caja de pedalier y posteriormente se comprobarán las tensiones y se compararán con tablas de propiedades del Aluminio 6061 para comprobar si existe deformación plástica.

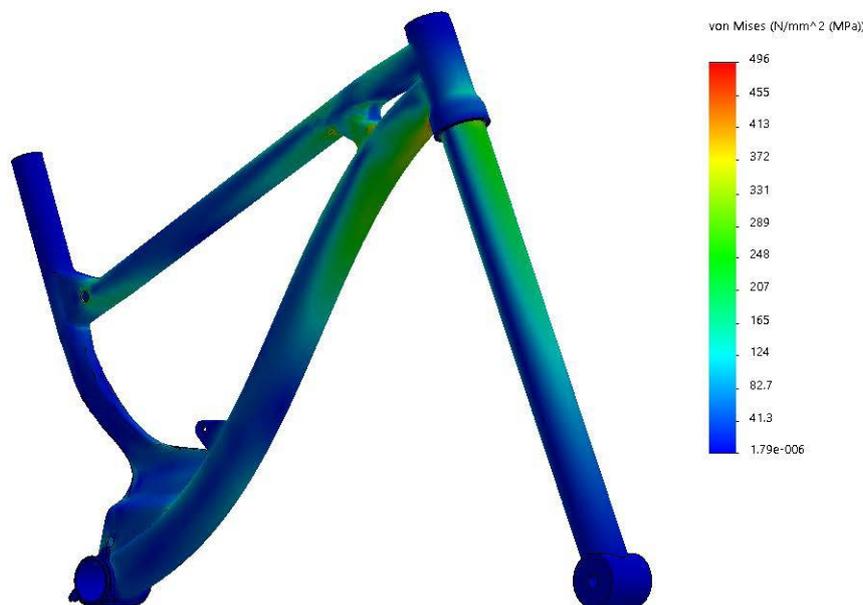


Restricciones y fuerza aplicadas al modelo.

Una vez definido los materiales, restricciones de movimiento y cargas que va a soportar el estudio, el paso consecutivo es mallar el modelo para poder realizar adecuadamente la simulación. Se elige una malla basada en curvatura de 5mm de longitud, 16 puntos jacobianos y polígonos de 3 lados para adaptarse mejor a la curvatura de la forma del modelo.

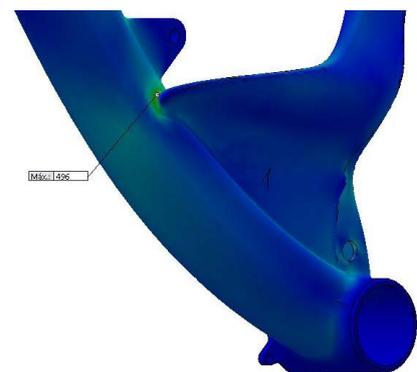
Se procede a ejecutar el caso.

En los resultados obtenidos, se ha mostrado especial interés en la tensión de Von Mises y la deformación unitaria ya que es la proporción de cambio de longitud δL a la longitud original L .



Perfil de la tensión de Von Mises.

En el recorte inferior, puede observarse el resultado de las tensiones obtenidas. Se observa en el modelo, que la barra de acero soporta una parte de las tensiones pero gracias al contacto entre componentes como unión rígida se transmite gran parte de estas tensiones al cuadro. La mayor acumulación de tensiones se encuentra en la parte inferior del tubo superior, con un valor medio aproximado de 200 a 300 MPa. Sin embargo la tensión máxima de 469 MPa, se localiza en la pieza asimétrica, en la unión con el tubo inferior, debido a que ahí hay una mayor acumulación de tensiones.



En la tabla del aluminio 6061, en la sección de propiedades típicas del material, concretamente entre las características a la tracción, se encuentra el límite elástico a temperatura ambiente, 20° C. El valor mínimo es de 55MPa, mientras que el máximo es de 270. Para el modelo el valor máximo está situado en 470MPa, en la zona crítica de la unión de la soldadura de la pieza asimétrica con el tubo inferior.

Con estos datos puede concluirse que para la fuerza aplicada existe una deformación permanente en la pieza asimétrica.

-6061- (ALUMINIO – MAGNESIO – SILICIO)											
COMPOSICIÓN QUÍMICA											
%	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Otros elementos		Al
Mínimo	0,40		0,15		0,80	0,04			Otros	Total	
Máximo	0,80	0,70	0,40	0,15	1,20	0,35	0,25	0,15	0,05	0,15	El resto

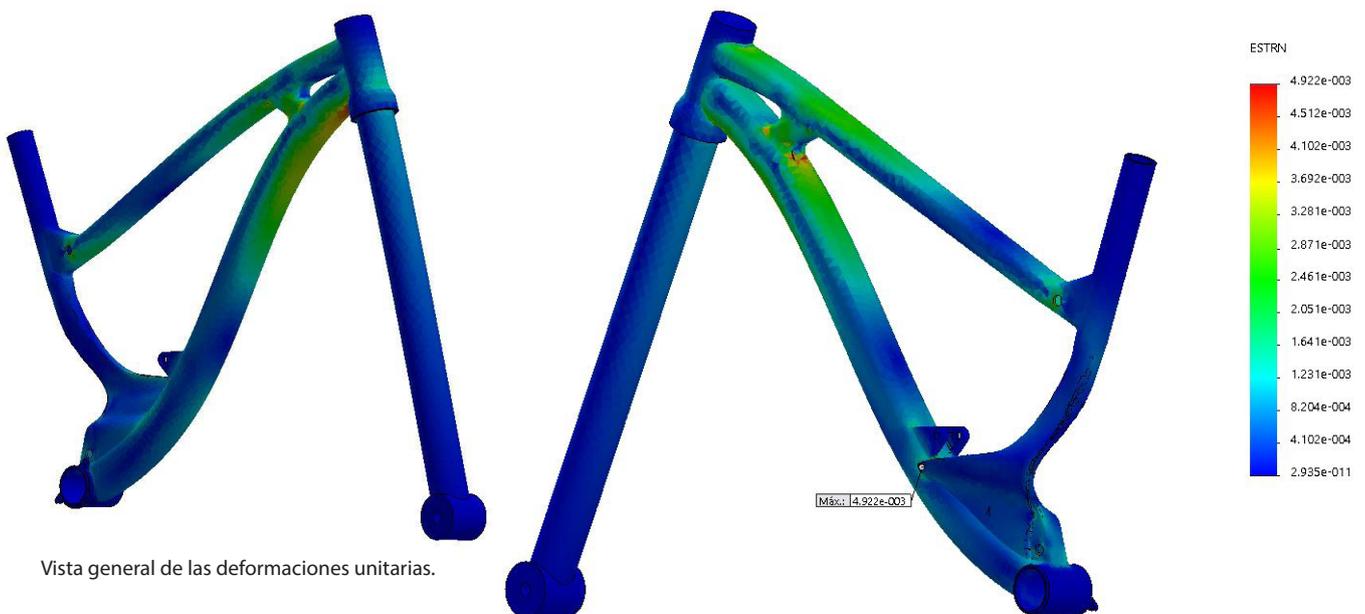
PROPIEDADES MECÁNICAS TÍPICAS (a temperatura ambiente de 20°C)						
Estado	Características a la tracción			Límite a la fatiga N/mm ²	Resistencia a la cizalladura τ N/mm ²	Dureza Brinell (HB)
	Carga de rotura Rm. N/mm ²	Límite elástico Rp 0,2. N/mm ²	Alargamiento A 5,65%			
0	125	55	27	120	85	30
T4	235	140	21	180	150	65
T6	310	270	14	190	190	95

Tabla de propiedades del Aluminio 6061.

Seleccionando el trazado de deformaciones unitarias en los resultados obtenidos, pueden observarse las zonas que más deformación sufren en comparación con el tamaño original.

Las zonas más castigadas son la zona de unión de la pipa con el tubo inferior y la unión inferior del tubo dissipador de tensiones entre el tubo superior e inferior, observando zonas de color rojo. Como ya se había comprobado con las tensiones de Von Mises la deformación máxima se encuentra en la unión de la pieza asimétrica con el tubo inferior, confirmando la teoría de que la deformación plástica se produce en esa zona concreta.

Es destacable que con la fuerza empleada en el estudio se producen deformaciones en ambos tubos de unión de la pipa prologándose hasta aproximadamente la mitad, debido a la fijación establecida con anterioridad.



Vista general de las deformaciones unitarias.

Valor máximo y posición del mismo en el triángulo delantero.

FASE 6 - PROTOTIPADO

Anexos Fase 6:

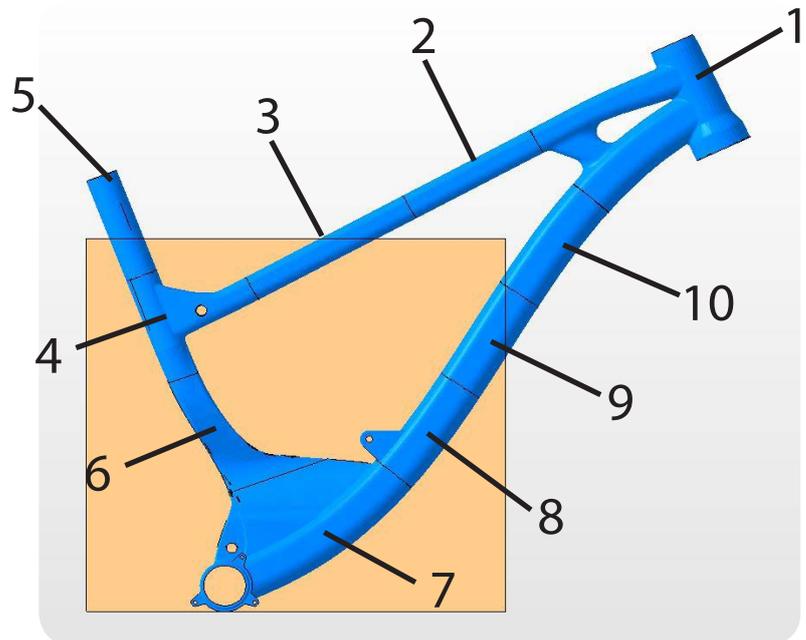
- Motivos del prototipado
- Impresora usada
- Software utilizado

6.1 División del modelo

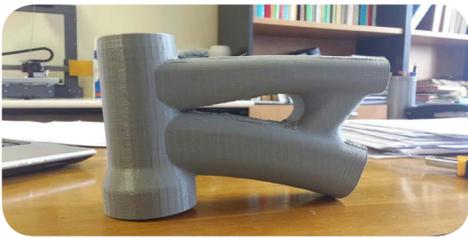
El triángulo delantero, se imprime a escala 1:1 y dado que la impresora 3D usada es la BQ Epeostos 2, se divide el cuadro en 10 partes para que quepan en la bandeja de impresión. Se divide el cuadro en piezas lo más grandes posibles para conseguir tener las zonas de soldadura lo más finas posibles para obtener el mejor resultado final.

Las diez partes en las que se ha dividido el triángulo delantero son:

- 1.- Pipa de dirección con tubo superior e inferior.
- 2.- Tubo superior primera mitad.
- 3.- Tubo superior segunda mitad.
- 4.- Unión tubo superior tija.
- 5.- Tija.
- 6.- Pieza asimétrica primera mitad.
- 7.- Pieza asimétrica segunda mitad.
- 8.- Tubo inferior unión amortiguador.
- 9.- Tubo inferior primera mitad.
- 10.- Tubo inferior segunda mitad.



6.2 Impresión 3D



Pipa de dirección (Pieza 1)



Tubo superior (Piezas 2, 3 y 4)



Tija (Pieza 5)



Pieza asimétrica (Pieza 6)



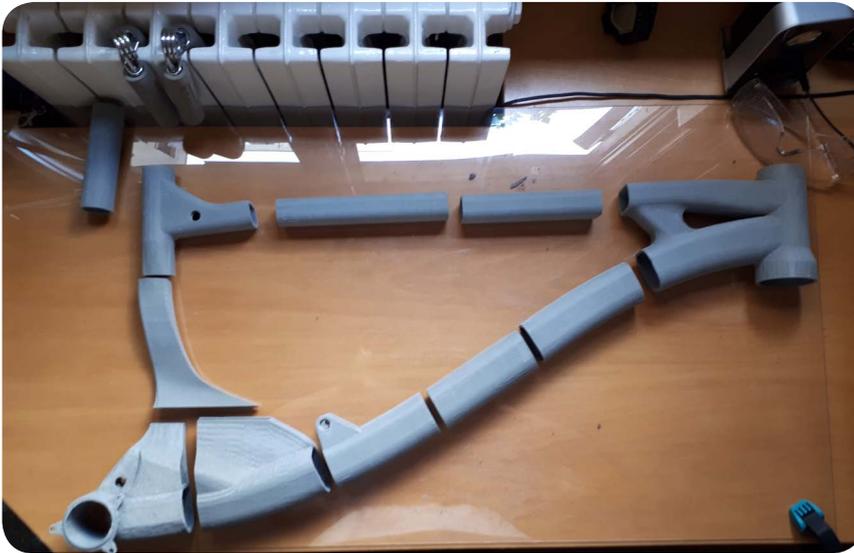
Tubo inferior (Piezas 8, 9 y 10)



Caja de pedalier (Pieza 7, dividida en 2 partes)

6.3 Lijado

Para este proceso se usaron lijas rectangulares y lijas de agua, ambas de distintos grosores. Primeramente se lijaba con las lijas rectas y se terminaba con las lijas de agua para dar un acabado de mayor precisión, se comenzó por las lijas de mayor grosor para eliminar la mayor cantidad de material para posteriormente pasar a las más finas, desgastando la superficie dejándolas más suaves para el siguiente paso.



Modelo lijado y sin pegar.



Lijas utilizadas durante el prototipado.

6.4 Encolado

Una vez lijadas las partes, el siguiente paso es unir las para tener la maqueta completa del triángulo delantero completo. Para ello se unen las distintas partes, por componentes, es decir, las tres piezas que componen el tubo superior, se unirán para posteriormente unirse a la pipa de dirección, etc. Para el encolado, primero hay que mantener las piezas en su posición gracias a unas gomas elásticas y superglue que para una primera fijación tiene un uso correcto. A continuación con superglue se pegarán las aristas que estén en contacto, manteniendo la posición deseada, evitando los errores de desfase entre piezas.

El orden seguido para pegar las piezas fue dividir el triángulo dos partes, la mitad izquierda, constituida por la tija, unión curva y caja de pedalier y la mitad derecha compuesta por la pipa de dirección y barras superior e inferior para un posterior encolado más sencillo. De este modo se comenzó con la pipa de dirección, uniéndolo el tubo superior y el inferior teniendo una estructura principal sólida. A continuación se pegó la tija a la parte final del tubo inferior, donde se alberga el perno del basculante superior. Por otra parte se unieron las dos partes del eje de pedalier, asegurando concordancia de las líneas superiores para unir a continuación la parte curva del modelo.

Una vez diferenciadas las dos partes del cuadro se prosiguió a encolar ambas partes, obteniendo así el modelo completo a escala real del triángulo delantero.



Piezas pegadas y manteniendo la posición con gomas elásticas



Modelo completo pegado.

6.5 Masillado

El siguiente paso para el prototipado del modelo, consiste en pulir los pequeños detalles para conseguir una superficie lisa y uniforme, debido a que las uniones no tienen el acabado deseado debido a diferencias de medidas y pequeños detalles que pueden comprometer la estructuralidad del modelo.



Masilla de fibra de vidrio.



Modelo con masillado.

6.6 Pintado

Cuando se consiguió una textura lisa y suave en las partes críticas, el siguiente paso sería el pintado del triángulo delantero, para ello habría que relizar varios pasos. El primero de ellos, la imprimación base sobre la cuál se aplicarían posteriormente los colores seleccionados. Para aplicar la imprimación en spray se colgó el cuadro desde el agujero del basculante superior evitando tapar zonas con el hilo muy visibles.



Primera capa de imprimación.



Partes protegidas para pintar solo las zonas negras.



Imprimación negra.



Imprimación roja.

Prototipo final



CONCLUSIONES

A lo largo del proyecto se han aprendido nuevos conceptos que hasta entonces eran desconocidos, así como una profundización de los programas usados para la consecución de los objetivos establecidos.

En el apartado del desarrollo de la geometría se han aprendido conceptos que sirven para entender mejor el sector del ciclismo y tener un mayor conocimiento de causa para el uso personal, de modo que no solo fuera un proyecto profesional sino que tuviera una repercusión en el ámbito individual.

La importancia de desarrollar correctamente el apartado geométrico del proyecto no había tenido tanta relevancia en el primer momento, pero debe considerarse un apartado clave para determinar el comportamiento del cuadro en la situación real.

Gracias al apartado de crear conceptos se perfeccionó el Steckching para poder plasmar los distintos conceptos de manera comprensible.

Una vez elegido el concepto, se desarrolló la parte de comprobación geométrica, lo que implicó entender nuevos conceptos como el Leverage Ratio hasta ahora desconocidos que permite conocer los diferentes comportamientos de las bicicletas con los datos con los datos técnicos de compresión de amortiguador y movimiento de rueda para un correcto desarrollo.

Otro apartado donde se han mejorado aptitudes ha sido con el uso de programas, Adobe InDesign pero más concretamente SolidWorks, en el que se han invertido muchas horas tanto para diseño, modelado, análisis y renderizado del cuadro, llegando a usarlo de una manera más perfeccionista. Gracias a los conocimientos aprendidos en la EINA acerca de los análisis de elementos finitos, me ha permitido entender mejor los resultados obtenidos ante situaciones reales de la normativa.

Tras realizar los distintos ensayos de la norma UNE-EN14766, adaptándolos a la situación del proyecto, puede afirmarse que cumple con los objetivos de seguridad de la norma.

Los ensayos realizados son la simulación del uso en las situaciones más desfavorables y ya que el ámbito del proyecto es un cuadro de doble suspensión si se analiza en el triángulo delantero la situación será aún más desfavorable por lo que si supera los distintos ensayos, el producto resistirá mejor en una situación real, gracias al amortiguador y al triángulo trasero que disiparán aún más las energías.

Las dos simulaciones de fatiga, a fuerzas horizontales y verticales, cuyo objetivo es comprobar el porcentaje de daño en un número determinado de ciclos y la vida útil del producto, corroboran que el cuadro resiste el ambos ensayos con un factor de seguridad alto, dejando ver que resistirán el uso de manera excelente, llegando hasta el millón de ciclos.

Para finalizar el diseño del cuadro ha sido un apartado que ha permitido desarrollar la creatividad individual y gustos personales para plasmarlos en el cuadro y dotar de una personalidad al cuadro.

También se han introducido nuevos conocimientos acerca de programas de impresión 3D, entre los que destacan NetFabb y Cura pudiendo tener una idea más detallada del proceso de impresión 3D de un prototipo de escala real.

A modo de conclusión final el proyecto ha aumentado el número de conocimientos para llegar a comprender de una manera mucho más detallada el proceso de diseño y prototipado de proyectos reales teniendo en cuenta plazos previstos para el desarrollo final del cuadro.

BIBLIOGRAFÍA

Adrian Smith Bike frame 3D

https://www.youtube.com/watch?v=5gFyqFGtqsM&ab_channel=RedBull

3D carbon fiber printer

https://www.youtube.com/watch?v=Y5wjDBdgeE&ab_channel=MARKFORGED

Unno bikes Pinkbike

<http://www.pinkbike.com/news/all-about-unno-2016.html>

Geometría significados

<http://www.mtbpro.es/afondo/geometria-de-la-bici-de-mtb-medidas-angulos-y-lo-que-significan>

Webs oficiales de marcas de bicicletas (orden alfabético)

1. <https://www.canyon.com/es/>
2. <http://www.commencal-store.es/>
3. <http://www.devinci.com/home.html>
4. <https://www.giant-bicycles.com/es/>
5. <http://konaworld.com/>
6. <https://www.mondraker.com/>
7. <https://nukeproof.es/>
8. <http://www.pivotcycles.com/>
9. <http://www.santacruz bicycles.com/es-ES>
10. <https://www.scott-sports.com/global/es/products/bike-bikes>
11. <https://www.specialized.com/es/es/>
12. http://www.trek bikes.com/es/es_ES/
13. <http://www.yeticycles.com/>
14. <https://www.yt-industries.com/en/>

Descripción de las geometrías

-Ángulo de la dirección

<http://www.todomountainbike.es/art/nociones-basicas-sobre-la-geometria-de-una-bicicleta-el-angulo-de-direccion>

-Ángulo del sillín

<http://www.todomountainbike.es/art/nociones-basicas-sobre-la-geometria-de-una-bicicleta-el-angulo-del-tubo-del-sillin>

-Longitud de las vainas

<http://www.todomountainbike.es/art/nociones-basicas-sobre-la-geometria-de-una-bicicleta-la-longitud-de-las-vainas>

Revoluciones del mtb

http://www.mtbpro.es/afondo/revoluciones-del-mtb-ii-los-sistemas-de-suspension?utm_source=Facebook&utm_medium=ContenidoInteraccion

Trek manufacturing process

<https://dirtmountainbike.com/bike-reviews/downhill-bikes/making-trek-session.html>

Rocky mountain geometry adjust (4 points)

http://giphy.com/gifs/3o7TKQasOMTNmPf4Gc?utm_source=iframe&utm_medium=embed&utm_campaign=tag_click

Sistemas de suspensión

<https://www.bikingpoint.es/blog/que-sistemas-de-suspension-hay/>

<https://blogsgderaulito.wordpress.com/tag/horst-link/>

-Pivote virtual

<http://www.blogsociados.com/mountain-bike/el-pivote-virtual-vpp>

-Amortiguador flotante

<http://www.blogsasociados.com/mountain-bike/el-amortiguador-flotante>

-Santacruz VPP

<https://www.santacruzbicycles.com/es-ES/sistema-de-suspensi%C3%B3n-virtual-pivot-point-vpp>

Leverage ratio

<http://linkagedesign.blogspot.com.es/2009/10/leverage-ratio.html>

Procesos de fabricación

-Carbono formas de hacerlo

<http://www.fibradecarbono.es/guias/como-piezas-carbono/>

-Hidroconformado

<https://es.wikipedia.org/wiki/Hidroconformado>

Tipos de dirección

<https://www.emeb.es/direcciones-tipos-y-medidas/>

Cajas de pedalier

<https://www.emeb.es/cajas-de-pedalier-tipos-y-medidas/>

Solidworks help

-Análisis de fatiga

http://help.solidworks.com/2016/Spanish/SolidWorks/cworks/IDH_HELP_FATIGUE_ADD_EVENT.htm

-Cuadro de diálogo Material - Pestaña Curvas S-N de fatiga

http://help.solidworks.com/2015/spanish/SolidWorks/sldworks/HIDD_DLG_MATEDITAB_FATIGUESNCURVES.htm?format=P&value=1

Prototipado

-Pegado

https://www.youtube.com/watch?v=03fwhsUju90&ab_channel=MakerBot

-Pintado

https://www.youtube.com/watch?v=Jz_s7sJOIMU&ab_channel=MakerBot

Norma UNE-EN 14766