



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

CAMPUS D'ALCOI

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Politécnica Superior de Alcoy

Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una
bicicleta de doble suspensión

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Mecánica

AUTOR/A: Lázaro Hernández, Carlos

Tutor/a: García García, Daniel

Cotutor/a: Quiles Carrillo, Luis Jesús

CURSO ACADÉMICO: 2021/2022

RESUMEN

“Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión”

El proyecto que se presenta a continuación consiste en el estudio de la bieleta de una bicicleta actual de doble suspensión, para mejorar su rendimiento, seguridad y funcionamiento. La bicicleta que se toma de base, debido a que en cada modelo y marca de bicicleta se utiliza una diferente, es la Orbea OIZ, una bicicleta de doble suspensión monopivote.

La necesidad del estudio viene dada debido a que esta pieza suele romperse con facilidad y es una parte fundamental en el uso de la bicicleta, ya que sin esta no puede ser utilizada. El trabajo constará, en primer lugar, del estudio dinámico de la suspensión de la bicicleta para conocer el comportamiento, y de esta manera poder obtener también las sollicitaciones y estado tensional de la pieza en cuestión. En segundo lugar, se propondrán las modificaciones pertinentes, tanto de material como de geometría de la bieleta, para ello se tendrá en cuenta la normativa vigente, las capacidades resistentes, funcionamiento y viabilidad económica. Todo ello se realizará con la ayuda del programa informático *SolidWorks* para una optimización y rediseño adecuado.

Palabras clave:

Bieleta; Bicicleta; CAD; CAE; Análisis; Materiales

SUMMARY

“Study, calculation and optimization of a rocker arm for a double suspension bicycle”

The project presented below consists of the study of the rocker arm of a current full suspension bicycle, in order to improve its performance, safety and operation. The bicycle that is taken as a base to study its design is the Orbea OIZ, which is a mono pivot double suspension bicycle.

The need for this study is due to the fact that this part tends to break very easily in this type of bicycle and it is a fundamental part for its correct operation. The work will consist, in the first place of the dynamic study of the suspension of the bicycle to know the behavior, and in this way to be able to obtain also the stresses and tensional state of the part in question. Secondly, the pertinent modifications will be proposed, both in terms of the material and geometry of the rocker arm, for this the current regulation will be taken into account, resistance capacities, performance, and economic viability. For the correct performance of the end-of-degree project, the SolidWorks software will be used for proper optimization and redesign.

Keywords:

Rocker arm; Bicycle; CAD; CAE; Analysis; Materials

RESUM

“Estudi, càlcul i optimització de la bieleta d'una bicicleta de doble suspensió”

El projecte que es presenta a continuació consisteix en l'estudi de la bieleta d'una bicicleta actual de doble suspensió, per a millorar el seu rendiment, seguretat i funcionament. La bicicleta que es pren de base per a estudiar el seu disseny és la Orbea OIZ, la qual és una bicicleta de doble suspensió monopivote.

La necessitat de l'estudi ve donada pel fet que aquesta peça sol trencar amb molta facilitat en aquest tipus de bicicletes i és una part fonamental per al seu correcte funcionament. El treball constarà, en primer lloc, de l'estudi dinàmic de la suspensió de la bicicleta per a conèixer el comportament, i d'aquesta manera poder obtenir també les sol·licitacions i estat tensional de la peça en qüestió. En segon lloc, es proposaran les modificacions pertinents, tant de material com de geometria de la bieleta, per a això es tindrà en compte la normativa vigent les capacitats resistents, funcionament i viabilitat econòmica. Per al correcte acompliment del TFG, s'utilitzarà el programa informàtic SolidWorks per a una optimització i redisseny adequat.

Paraules clau:

Bieleta; Bicicleta; CAD; CAE; Anàlisi; Materials

Tabla de Contenidos

I. MEMORIA	13
I. MEMORIA.	15
I.1 OBJETIVO.....	15
<i>I.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL.....</i>	<i>15</i>
<i>I.1.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.....</i>	<i>15</i>
I.2 ALCANCE.	15
I.3 ANTECEDENTES.	16
I.3.1 Contexto histórico.....	16
<i>I.3.1.1 Nacimiento de las bicicletas de montaña (MTB).....</i>	<i>18</i>
I.3.2 Partes una bicicleta de montaña de doble suspensión.	19
<i>I.3.2.1. Suspensión trasera.....</i>	<i>25</i>
<i>I.3.2.2 Suspensión trasera configuración monopivote articulado.....</i>	<i>29</i>
<i>I.3.2.3. Actualidad del sistema monopivote virtual.</i>	<i>31</i>
I.4 NORMAS Y REFERENCIAS.	34
I.4.1 Normativa aplicable.....	34
I.4.2 BIBLIOGRAFÍA.....	35
I.4.3 PROGRAMAS DE CÁLCULO.....	37
I.5 ABREVIATURAS.....	38
I.6 REQUISITOS DE DISEÑO.....	39
I.6.1 Diseño inicial de la pieza.	39
I.6.2 Estudio y definición de hipótesis de trabajo.	44
<i>I.6.2.1 Anclajes de la bieleta.....</i>	<i>45</i>
<i>I.6.2.2 Definición de los estados tensionales según la norma.</i>	<i>47</i>
I.6.3 Modelo FEM de la bieleta original.....	49
<i>I.6.3.1 Simulación con carga estática.....</i>	<i>50</i>
<i>I.6.3.2 Simulación a fatiga.</i>	<i>52</i>

<i>I.6.3.3 Resumen de los estudios carga estática y fatiga.</i>	52
I.7 ANALISIS DE ALTERNATIVAS	53
I.7.1 Rediseño nº1	53
<i>I.7.1.1 Modificaciones.</i>	53
<i>I.7.1.2 Simulaciones.</i>	56
<i>I.7.1.3 Conclusiones.</i>	64
I.7.2 Rediseño nº2	65
<i>I.7.2.1 Modificaciones.</i>	65
<i>I.7.2.2 Simulaciones.</i>	68
<i>I.7.2.3 Conclusiones.</i>	77
I.7.3 Rediseño nº3	78
<i>I.7.3.1 Modificaciones.</i>	78
<i>I.7.3.2 Simulaciones.</i>	80
<i>I.7.3.3 Conclusiones.</i>	88
I.8 RESULTADO FINAL	90
I.9 CONCLUSIÓN	91
II. ANEXOS	94
II. ANEXOS.	95
II.1 CÁLCULOS	95
II.1.1 GEOMETRÍA	95
II.1.2 FUERZAS	96
<i>II.1.2.1 HIPÓTESIS 1.</i>	96
<i>II.1.2.2 HIPÓTESIS 2</i>	97
<i>II.1.2.3 HIPÓTESIS 3.</i>	99
II.2. SELECCIÓN DE MATERIALES	103
Acero	104
Aluminio	104

Titanio	105
Fibra de carbono	105
II.2.1. Comparativa de los materiales.	106
II.3. SIMULACIONES.	107
II.3.1 HIPÓTESIS 2.	107
II.3.2 HIPÓTESIS 3.	110
II.4 FABRICACIÓN.....	113
III. PLIEGO DE CONDICIONES	116
III. PLIEGO DE CONDICIONES.....	118
III.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	118
III.2 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES.....	118
<i>III.2.1 NORMATIVA APLICABLE.....</i>	<i>118</i>
IV. PLANOS	120
IV. PLANOS DE DISEÑO.	122
IV.1 PLANO PIEZA ORIGINAL.....	122
IV.2 REDISEÑOS.....	122
<i>IV.2.1 REDISEÑO 1.</i>	<i>122</i>
<i>IV.2.2 REDISEÑO 2.</i>	<i>122</i>
<i>IV.2.3 REDISEÑO 3.</i>	<i>122</i>
V. PRESUPUESTO.....	124
V. PRESUPUESTO.....	126
V.1 Presupuesto.....	126
V.1.1 Coste de material.....	126
V.1.2 Coste de fabricación.....	126
V.1.3 Coste de diseño.	127
V.1.4 Coste total.....	127

VI. LISTADO DE FIGURAS	130
VI. LISTADO DE FIGURAS	132
VII. LISTADO DE TABLAS.....	138
VII. LISTADO DE TABLAS	140

I. MEMORIA

I. MEMORIA.

I.1 OBJETIVO.

I.1.1 OBJETIVO PRINCIPAL.

El objetivo general de este proyecto es estudiar, rediseñar y optimizar una de las partes del sistema de amortiguación de una bicicleta de doble suspensión con sistema monopivote articulado, en concreto la bieleta, que es el elemento que une el basculante con el amortiguador y va sujeta en el triángulo principal.

I.1.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS.

Los objetivos parciales que se llevarán a cabo para conseguir el objetivo general del presente TFG son los siguientes:

1. Diseñar y modelar la bieleta original.
2. Estudiar el comportamiento de la bieleta ante determinados esfuerzos.
3. Rediseñar la bieleta con el objetivo de conseguir aligerarla.
4. Estudiar el comportamiento de la bieleta rediseñada ante determinados esfuerzos.
5. Seleccionar nuevos materiales para sustituir el material de la pieza original con el objetivo de conseguir una mayor ligereza de la pieza.
6. Estudiar el comportamiento de la bieleta rediseñada con diferentes tipos de materiales ante determinados esfuerzos.

I.2 ALCANCE.

El alcance del proyecto abarca desde el estudio de la pieza original para obtener los datos de partida e intentar optimizar y mejorar el rendimiento de la pieza, pasando por la realización de rediseños, además de cambios de material para mejorar el rendimiento y reducir el peso de la pieza ya que es un objetivo que cumplir. Y hasta la selección del mejor rediseño, seleccionando el método de fabricación y el presupuesto de fabricarla.

I.3 ANTECEDENTES.

I.3.1 Contexto histórico.

Desde la antigüedad han llegado indicios del concepto de utilizar dos ruedas unidas por una barra como medio de locomoción, más conocido en la actualidad como bicicleta.

Si se busca cuál es el origen de la bicicleta, se debe retroceder hasta el Antiguo Egipto. Hay jeroglíficos en el obelisco de Luxor, donde se muestra a un hombre montado sobre una barra horizontal acoplada sobre dos ruedas hacia el año 1300 a.C. En la época de los Romanos también se encontraron frescos similares en la ciudad de Pompeya, incluso bocetos realizados por Leonardo Da Vinci los cuales se asemejan mucho a lo que es una bicicleta.

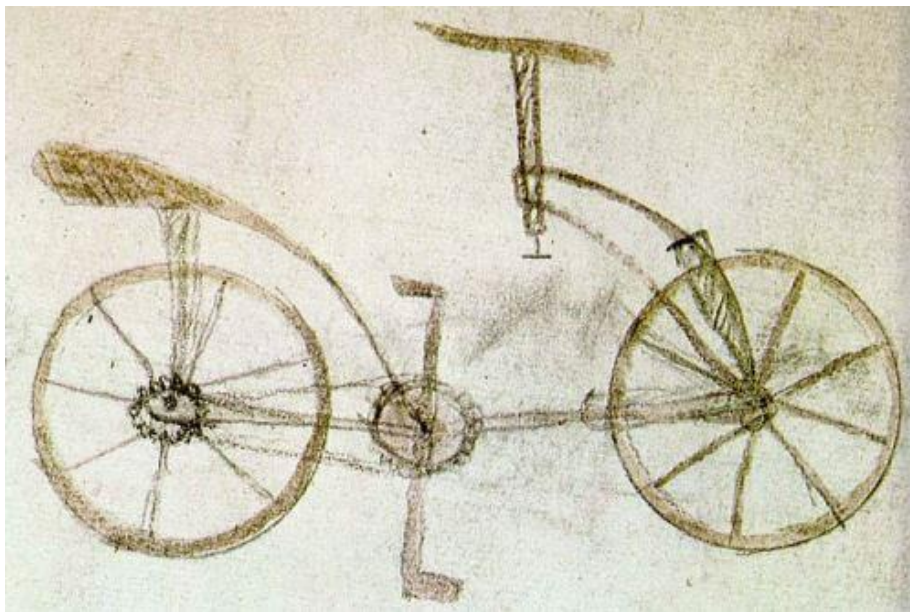


Figura 1. Boceto de Leonardo Da Vinci de un biciclo [1].

En el año 1861, fue cuando el francés Pierre Michaux introdujo los pedales en la rueda delantera, que estaba construida de madera con una banda metálica que estaba en contacto con el suelo. A partir de este momento se introdujeron mejoras en el sistema de transmisión, como en el 1864, que se realizó una bicicleta que contaba con la primera transmisión por cadena.

Tras una gran cantidad innovaciones y variaciones del modelo original, en el año 1885 el británico John Starley Kemp, considerado el padre de la bicicleta moderna, creó la *Rover Safety Bicycle*, con dos ruedas del mismo tamaño, transmisión de cadena y engranaje, pedales, bielas, cuadro en forma de rombo y conducción directa con horquilla, modelo a partir del cual se han desarrollado las bicicletas modernas de hoy en día.



Figura 2. Ilustración de la “Rover Safety Bicycle” [2].

Desde entonces, la bicicleta ha ido evolucionando hasta convertirse en lo que se conoce hoy en día, obras de ingeniería con miles de estudios tras ellas, siendo uno de los vehículos más utilizados por la población en todo el mundo.



Figura 3. Bicicleta “Scott Spark RC 2022”, bicicleta de montaña de doble suspensión.

I.3.1.1 Nacimiento de las bicicletas de montaña (MTB).

Sobre el año 1930 en Estados Unidos, se inventó para las bicicletas la llanta ancha (26 x 2,125 pulgadas) y este avance permitió utilizar la bicicleta en todos los terrenos [5]. En 1933 Ignaz Schwinn construyó, en Estados Unidos, una bicicleta de gran robustez, la *Schwinn Excelsior*.



Figura 4. “Schwinn Excelsior”, la primera bicicleta de gran robustez y llanta ancha [6].

Pero no fue hasta principios de los 70 cuando se inició la moda de utilizar la bicicleta en caminos de tierra. Hacia mediados de los setenta nacían las primeras BMX, algunos aficionados crearon competiciones en descenso; y fue entonces cuando redescubrieron las *Schwinn Excelsior* y vieron su perfecta utilidad para las competiciones de este tipo.

A finales de los 70, Joe Breeze, uno de los pioneros de las bicicletas de montaña (MTB), entendió que el secreto de las *Schwinn* era la geometría del cuadro y esto le impulsó a construir geometrías similares a esta, pero equipadas con grupos más eficientes y cambios de velocidad, en este momento nació el MTB.

Ya modelada la bicicleta de montaña moderna, en 1987 fue cuando se introdujo la suspensión delantera, introducida por la marca “Trek” y más tarde, en 1990, introdujo la bicicleta de doble suspensión [5].

El principal material utilizado para la construcción de bicicletas era el acero, posteriormente se empezaron a utilizar aleaciones de aluminio, titanio y finalmente materiales compuestos como fibra de carbono. Gracias a estas innovaciones los cuadros cada vez son más ligeros y a la vez más rígidos.

I.3.2 Partes una bicicleta de montaña de doble suspensión.

Existen una gran variedad de tipos de bicicletas creadas con el paso de los años como pueden ser: MTB, carretera, gravel, etc. Pero, aunque exista una gran variedad de estas, todas tienen en común algunos elementos que hacen que se les llame bicicletas a todas ellas. Estos elementos son [9]:

- **Cuadro:** componente principal de la bicicleta. Es el elemento de unión de todos los elementos de esta. Se encarga de repartir el peso del ciclista al resto de componentes para lograr un correcto funcionamiento.

- **Horquilla:** elemento que transmite el movimiento desde el manillar hasta la rueda delantera. Básicamente existen dos tipos: horquilla rígida y la horquilla de suspensión cuyo uso dependerá de la modalidad o necesidad de la bicicleta.

- **Asiento:** formado por la tija y el sillín.

- **Ruedas:** formadas por cinco elementos principales: radios, buje, cubierta, llanta y cámara.

- **Frenos:** existen de varios tipos, principalmente los de pinza o *V-Brake* y los de disco. Otra clasificación podría ser los accionados mecánicamente o mediante accionamiento hidráulico.

Dependiendo del tipo de bicicleta y para lo que se va a usar, varían los elementos a utilizar, en este caso se va a profundizar en el estudio de las MTB y más específicamente en las de doble suspensión adentrándonos en el funcionamiento del sistema de suspensión trasero.

Los componentes que podemos encontrar como elementos esenciales de la MTB son los nombrados en el párrafo anterior, pero con ciertas modificaciones obligatorias para adaptarse al tipo de bicicleta. Por tanto, los componentes de esta pueden ser:

- **Cuadro:** como se ha nombrado anteriormente es el componente principal de la bicicleta. En este caso se divide en dos partes, el triángulo delantero que formaría la estructura principal y el triángulo trasero que sería el basculante el cual lleva la rueda trasera.



Figura 5. Cuadro “MMR” doble suspensión, con el triángulo principal y basculante.

- **Horquilla:** es la encargada de amortiguar los impactos en la parte delantera y trasladar los giros de manillar a la rueda y que sea capaz de girar, por otra parte, sujeta la rueda delantera mediante un eje pasante. Esta se fija al cuadro gracias a la potencia, pasando el tubo de la dirección por la pipa de dirección del cuadro. La horquilla se compone de dos barras o una, que se deslizan por dos botellas mediante unos retenes y casquillos. Existen una gran variedad de recorridos desde 80 hasta 200 mm dependiendo de la modalidad y el uso que esté destinado la bicicleta. Como el ancho de las barras en el que podemos encontrar diferentes diámetros de estas dependiendo del uso y marca.



Figura 6. Horquilla “FOX RACING 32 FLOAT SC Factory Series Kashima”.

- **Ruedas:** son las encargadas de estar en contacto con el suelo y de esta manera transmitir las irregularidades del terreno a las suspensiones y cuadro de la bicicleta. El nombre de ruedas engloba a un conjunto de componentes que sin ellos no se podría llamar rueda que son las cubiertas, cámara, fondo llanta, llantas, bujes, radios, cabecillas y válvula. Existen varios tamaños de rueda, las más extendidas actualmente son las 27,5” y 29”, mientras que las 26” han quedado en un segundo plano en los últimos años en esta modalidad. En cuanto al ancho de rueda también existe una gran variedad desde los 1,9” hasta los 2,5”.



Figura 7. Ruedas delantera y trasera “CrossMax”.

- **Transmisión:** es el conjunto de componentes encargado de transmitir la fuerza que se realiza con las piernas sobre los pedales a las ruedas y así

poder producir un desplazamiento por el giro de la rueda. Para que se produzca esta transmisión se debe de pasar por diferentes elementos la fuerza ejercida en los pedales. Los componentes implicados son: bielas, cadena, piñones, plato y cambio trasero. Los pedales conectados a los extremos de las bielas son los que reciben la fuerza ejercida por el ciclista, una de las bielas concretamente la derecha tiene acoplado un plato dentado, que conecta mediante la cadena la parte de los pedales con la rueda trasera, la rueda trasera cuenta con la piñonera-buje, que transmite el movimiento de la cadena a la rueda trasera. Dentro de la transmisión, también tenemos cambio trasero que nos permite el cambio de piñones. En la parte de los pedales antes podíamos encontrar varios platos para poder escoger la relación deseada, pero en los últimos tiempos se ha afianzado el uso de monoplato y mayor número de piñones en este caso 12 velocidades. El cambio trasero es manejado mediante un mando desde el manillar, por accionamiento mecánico, es decir, mediante un cable, o la última incorporación del cambio inalámbrico.



Figura 8. Transmisión completa para bicicleta de montaña “Sram XX1”.

- **Manillar y potencia:** el manillar es el elemento que unido a la potencia permite manejar la bicicleta. El manillar puede variar su longitud, grosor, ángulo y forma según la modalidad de MTB. De igual manera la potencia podrá cambiar también su longitud, ángulo de caída y la forma que se une a la horquilla. Estos componentes podrán ser de distintos materiales como aluminio, carbono, titanio o acero, este último en decadencia. En los últimos

años se está poniendo de moda el uso de manillar con potencia incorporada, un todo en uno.



Figura 9. Manillar con potencia incorporada de la marca “Gemini”.

- **Tija y sillín:** la tija es el elemento con el cual se conecta el cuadro con el sillín. Podemos encontrar tijas fabricadas de diferentes materiales, como titanio, carbono y aluminio; formas y diámetro, estos últimos parámetros dependen del cuadro de la bicicleta. En los últimos años se han puesto de moda el uso de tijas telescópicas que permiten modificar la altura del sillín sin necesidad de utilizar herramientas, con un pulsador mecánico o electrónico desde el manillar, este tipo de tijas se usa especialmente en esta modalidad. El sillín es una de las partes más esenciales, ya que es donde más tiempo se va a estar en contacto. Existen muchos tipos y modelos de sillines, adaptándose a cada tipo de uso y gusto. En los sillines pueden variar casi todas sus medidas. La conexión sillín-tija puede ser de diferentes maneras, dependiendo de la tija principalmente y el sistema de fijación que tenga.



Figura 10. Tija telescópica “Fox Transfer Factory Kashima” y sillín “Ritchey WCS Carbon stream”.

- **Frenos:** se encargan de reducir y mantener una velocidad en una bajada, así como de detener la bicicleta en cualquier momento. En este tipo de modalidad se empezó usando los frenos *V-Brake* los cuales presionaban la llanta para frenarla, pero este sistema se ha quedado obsoleto, aun así, en las gamas más bajas de MTB se sigue viendo. En la actualidad, lo más utilizado es el freno de disco, tanto por accionamiento mecánico mediante un cable o por accionamiento hidráulico. En el manillar podemos encontrar las manetas que accionan las pinzas de freno que se encuentran sujetas en el cuadro, pero muy próximas a las ruedas.



Figura 11. Manetas y pinzas de freno disco “Magura MT Trail Sport” y “Disco Magura”.

- **Amortiguador:** el amortiguador cumple la función del elemento elástico que se utiliza para amortiguar los movimientos realizados por la rueda trasera para leer el terreno y tener una mayor tracción en este. El amortiguador se puede clasificar en dos grupos: el amortiguador de muelle y el amortiguador de aire. Los de aire suelen ser más ligeros y progresivos, mientras que los de muelle son más lineales y pesados, pero con una gran sensibilidad.



Figura 12. Amortiguador trasero “Fox Float DPS Kashima” y “Fox DHx2 Factory Series”.

I.3.2.1. Suspensión trasera.

La suspensión trasera es la suspensión que está montada en la parte trasera de la bicicleta. Es un mecanismo utilizado para amortiguar las vibraciones e impactos transmitidos por la rueda trasera al cuerpo del ciclista debido a la rugosidad del terreno. Además, aporta una mayor comodidad y precisión en el manejo [7].

En la actualidad, los sistemas de suspensión empleados son muy variados, pero como base encontramos 2 elementos: el amortiguador y el basculante, estos elementos son imprescindibles ya que sin ellos el sistema no funcionaría o se trataría de una bicicleta rígida. En función de la configuración de suspensión trasera utilizada varían los elementos utilizados como tirantes, bieletas, barras articuladas en el basculante, puntos de giro, tipo de amortiguador, etc.

Como se ha nombrado anteriormente dependiendo del tipo de configuración se puede obtener 4 tipos de sistema de suspensión trasera: sistema de suspensión trasera monopivote, sistema de suspensión trasera monopivote articulado, sistema de suspensión de 4 barras (*horst link*) y pivote virtual.



Figura 13. Elementos de un sistema de doble suspensión [8].

Monopivote

Es el sistema más básico en el que el basculante, de una pieza, ataca directamente al amortiguador sin ninguna bieleta de por medio. Debido a su extrema simplicidad su mantenimiento es muy poco y bastante básico. La rueda trasera describe una trayectoria en forma de arco al comprimirse la suspensión. La personalización del comportamiento es escasa, gran robustez y muy reactivo, es decir, el tacto es muy directo y sensible. En este sistema todo depende de que el amortiguador esté bien configurado para una eficiencia máxima en el sistema, de normal se suelen utilizar con amortiguadores de aire por su fácil regulación.



Figura 14. Cuadro de doble suspensión “Santa Cruz” con configuración monopivote y amortiguador de aire.

Monopivote articulado

Es la configuración en la cual se le añade al monopivote una bieleta para activar el amortiguador. Es un sistema muy simple estructuralmente, lo que permite gran libertad a la hora de diseñar el cuadro, además de ser ligero en su conjunto.

Este sistema está formado por el basculante, que suele ser de una pieza de carbono o aluminio, donde éste juega un importante papel ya que gracias a su flexión ayuda a completar el funcionamiento de la suspensión. El ángulo en el que la suspensión ataca al amortiguador y la forma de la bieleta permiten jugar con las curvas de compresión del amortiguador.

Es un sistema propenso a sufrir interferencias entre las fuerzas del pedaleo, de la frenada y de la suspensión, lo que conlleva a utilizar amortiguadores más complejos. También es importante poder contar con un bloqueo de los amortiguadores para mitigar estos efectos desfavorables.



Figura 15. Cuadro de doble suspensión “Orbea Oiz” con configuración monopivote articulado.

Sistema de suspensión de 4 barras (*horst link*)

A partir del concepto del monopivote articulado se añade un punto de giro extra en las vainas del basculante, cerca de las punteras (zona donde pasa el eje de la rueda). Con ello se incrementa la independencia entre las fuerzas del pedaleo y frenada y

funcionamiento de la suspensión. Añade complejidad y peso, además de que su mantenimiento debe ser mayor, ya que incluye otro punto de giro.

A partir de este diseño, han salido al mercado otras variaciones como puede ser el sistema patentado de la marca "BH", *sistema split pivot*, en el cual el punto de giro extra que se ha comentado en el punto anterior se encuentra justamente en las punteras por donde para el eje de la rueda, pero el funcionamiento tiene la misma base, aunque en este sistema se consigue una independencia mayor en el pedaleo y frenada del sistema de suspensión.

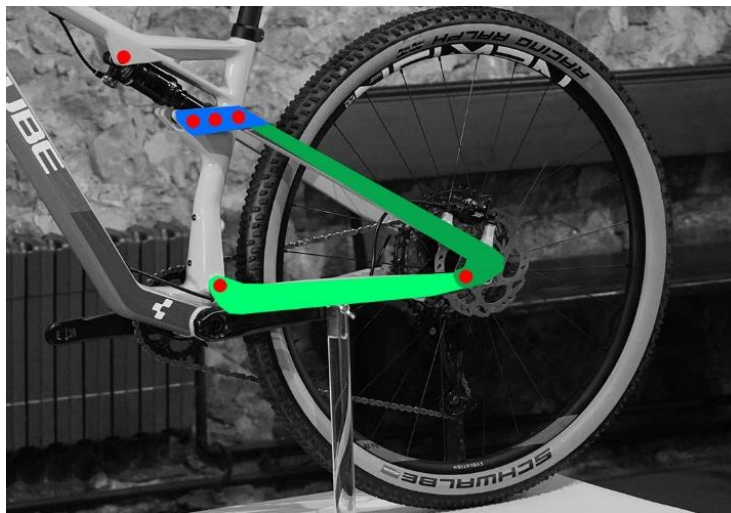


Figura 16. Cuadro de doble suspensión "Cube" con configuración "Horst Link".

Pivote virtual

Es el sistema con más opciones de configuración en su comportamiento. Formado por un basculante de una pieza que no tiene conexión directa con el triángulo principal, se conecta a través de dos bieletas. En sus diferentes configuraciones suelen ofrecer una gran sensibilidad inicial combinada con una gran independencia de funcionamiento respecto al pedaleo. Además, aprovechan mejor el recorrido gracias a tener más soporte en la parte intermedia del recorrido y ser más progresivos en su parte final.

Debido a su mayor complejidad mecánica al incorporar dos bieletas y tener más puntos de giro, el peso se ve bastante aumentado y una limitación importante es a la

hora del diseño del cuadro, ya que es de gran tamaño y ocupa gran parte de la parte intermedia de la bicicleta.

En este tipo de suspensión se pueden encontrar verdaderas obras de ingeniería por parte de los fabricantes de bicicletas que tienen un funcionamiento excepcional como puede ser el sistema “Zero” de “Mondraker” o el “sistema maestro” de “Giant”, todas estas con las características nombradas anteriormente, es decir un basculante de una pieza, 2 bieletas y ninguna interacción directa entre basculante y triángulo principal.



Figura 17. Cuadro de doble suspensión “Giant Trance 29” con configuración Pivote virtual, sistema “MAESTRO” patentado por la propia marca.

I.3.2.2 Suspensión trasera configuración monopivote articulado.

Como se ha nombrado en el apartado anterior, este sistema es una evolución del monopivote. Este se compone básicamente por 3 partes sin contar el triángulo principal, ya que este es el que le confiere la estructura a la bicicleta. Estas partes son:

- **Basculante:** para esta configuración se trata de una única pieza, en la cual las vainas inferiores se conectan directamente al cuadro en la zona del pedalier, es decir, cerca de la parte baja del triángulo principal, mientras que los tirantes superiores van conectados a la bieleta. Los materiales con los cuales están contruidos normalmente son aluminio y carbono. Los tirantes

superiores flectan para ayudar al correcto funcionamiento de sistema. Dependiendo del modelo y marca de la bicicleta podemos encontrar diferentes geometrías y conexiones, lo que hace que cada una de las bicicletas tenga un comportamiento diferente, pero similar entre ellos.



Figura 18. Basculante “Orbea Oiz 2021”.

- **Amortiguador:** como se ha mencionado anteriormente, se trata del elemento elástico que amortigua las irregularidades del terreno. En esta configuración el más usado es el de amortiguador de aire por facilidad de configuración y ajuste, además de tener un peso menor. El único requerimiento es que se pueda bloquear desde el manillar o tener un sistema como el “*Brain*” de “Specialized” el cual, mediante un sistema de válvulas y un émbolo, controla la compresión de la suspensión dependiendo del tipo de terreno.



Figura 19. Amortiguador “Rockshox SIDluxe Ultimate RL”.

- **Bieleta:** elemento con el cual se conecta los tirantes superiores del basculante y el amortiguador. Esta pieza va sujeta al triángulo principal y se encarga de transmitir el movimiento del basculante al amortiguador haciendo que se comprima el cuadro en mayor o menor medida dependiendo de la irregularidad absorbida por la bicicleta. Este tramo pivota o bascula hacia arriba o hacia abajo o hacia delante o detrás. Dependiendo de su lugar en el cuadro trabajará en una dirección u otra, pero la finalidad sigue siendo la misma en esta configuración.



Figura 20. Bieleta “Specialized Epic Pro”.

I.3.2.3. Actualidad del sistema monopivote virtual.

En la actualidad podemos encontrar gran cantidad de fabricantes que incorporan este sistema de suspensión en sus modelos de bicicleta por las ventajas ya nombradas, ya que hoy en día uno de los objetivos que se busca en una bicicleta es que sean ligeras y de gran fiabilidad, y este sistema ayuda a que se cumplan ambos requisitos demandados tanto por usuarios como por los fabricantes, los cuales compiten por fabricar la bicicleta más ligera.

En el mercado se pueden encontrar diferentes configuraciones del sistema monopivote, refiriéndonos a la geometría del cuadro y disposición de la bieleta, esto hace que el comportamiento del amortiguador varíe según esté dispuesto en el cuadro, pero la naturaleza del sistema se mantiene en todas estas configuraciones, un sistema simple, pero muy efectivo. Algunas de las marcas más conocidas que utilizan este sistema son:

- **Specialized.** Dicha empresa emplea el sistema monopivote en algunos de sus modelos como puede ser la “Specialized Epic Pro”, en el que la bieleta trabaja sobre el tubo inferior del sillín con el amortiguador en horizontal sujetado en el tubo superior del cuadro.



Figura 21. “Specialized Epic Pro” con sistema monopivote articulado.

- **Scott.** Dicha empresa emplea el sistema monopivote en algunos de sus modelos como puede ser la “Scott SparkRC900”, en el que la bieleta trabaja sobre el tubo inferior del sillín con el amortiguador en vertical sujetado en la caja pedalier.



Figura 22. “Scott Spark RC900” con sistema monopivote articulado.

- **Orbea.** Dicha empresa emplea el sistema monopivote en algunos de sus modelos como puede ser la “Orbea Oiz”, en el que la bieleta trabaja sobre el tubo superior del cuadro con el amortiguador en horizontal sujetado en el mismo tubo.



Figura 23. Orbea Oiz M-LDT 2021 con sistema monopivote articulado.

I.4 NORMAS Y REFERENCIAS.

I.4.1 Normativa aplicable.

La normativa aplicable a este proyecto será la **UNE-EN ISO 4210**. Dicha normativa es la utilizada para los requisitos de seguridad y puesta en funcionamiento para las bicicletas. Esta normativa se conforma de diferentes partes:

- ISO 4210-1:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 1: Términos y definiciones.
- ISO 4210-2:2015 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y carretera.
- ISO 4210-3:2014, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 3: Métodos de ensayo comunes.
- ISO 4210-4:2014, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 4: Métodos de ensayo de frenado.
- ISO 4210-5:2014, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 5: Métodos de ensayo de la dirección.
- ISO 4210-6:2015, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla.
- ISO 4210-7:2014, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 7: Métodos de ensayo para ruedas y llantas.
- ISO 4210-8:2014, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 8: Métodos de ensayo de los pedales y del pedalier.
- ISO 4210-9:2014, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 9: Métodos de ensayo de los sillines y puestos de asiento.

En este proyecto nos centraremos en la Parte 2, que son los requisitos que debe cumplir una bicicleta de montaña, y en la Parte 6, que son los métodos de ensayo del cuadro y horquilla.

La Parte 6 es la encargada de estudiar de qué forma afectan los diferentes esfuerzos a los que puede estar sometido un cuadro de bicicleta mediante ensayos que los simulan, estos esfuerzos pueden provenir tanto de la interferencia del pedaleo con el cuadro, como de los esfuerzos transmitidos por el pedaleo.

Se trata de una pieza la cual recibe los movimientos del basculante, que son los realizados por la rueda trasera al recibir un impacto o al adaptarse al terreno, es decir movimientos verticales. El método de ensayo correspondiente es el especificado en el subapartado 4.5; Cuadro, ensayo de fatiga con una fuerza vertical, situado en el apartado 4 (cuadro) de la Parte 6 de la norma **UNE-EN ISO 4210**.

I.4.2 BIBLIOGRAFÍA.

- [1]. Curiosfera. *Historia y evolución de la bicicleta*. <https://curiosfera-historia.com/historia-de-la-bicicleta/>
- [2]. Bikester. *Desarrollo de la bicicleta durante los últimos 200 años*. <https://www.bikester.es/info/historia-bicicleta/>
- [3]. WeRbikes. *La Historia de la Bicicleta*. <https://www.werbikes.mx/blogs/werbikes-blog/la-historia-de-la-bicicleta/>
- [4]. Twenergy. *Todo lo que necesitas saber acerca de la historia de la bicicleta* <https://twenergy.com/sostenibilidad/movilidad-sostenible/la-historia-de-la-bicicleta-236/>
- [5]. El kilómetro cero de Chile. *Historia del ciclismo y el nacimiento del mountain bike*. http://www.ce3rkw.cl/historia_del_mountain_bike.htm.
- [6]. Dave's Vintage bicycles. *1941 Schwinn DX Excelsior – Special Model*. <http://www.nostalgic.net/1941-schwinn-dx-excelsior-special-model>
- [7]. LBDC. *Bicicleta MTB ¿Doble o rígida? El gran debate de la suspensión* <https://www.sport.es/labolsadelcorredor/bicicleta-mtb-doble-o-rigida/>

- [8]. Rumble Bikes. *Diferencia entre monopivote y pivote virtual en bicicletas explicado de forma fácil.* <https://www.rumblebikes.com/es/blog/posts/diferencia-entre-monopivote-y-pivote-virtual-en-bicicletas-explicado-de-forma-facil>
- [9]. MTB. *Partes básicas de una bicicleta.* <https://noticiasmtb.com/partes-basicas-de-una-bicicleta/>
- [10] Tuvalum. *Tipos de suspensión trasera en mountain bike.* <https://tuvalum.com/blog/tipos-suspension-trasera-mountain-bike/>
- [11] Mundo MB. *Conoce todo sobre la suspensión en las MTB.* <https://www.mundomb.com/suspensiones/>
- [12] esmtb. *Entendiendo los sistemas de suspensión en mountain bike – Edición XC.* <https://esmtb.com/sistemas-suspension-xc/>
- [13] Biking. *¿Qué sistemas de suspensión hay?* <https://www.bikingpoint.es/blog/que-sistemas-de-suspension-hay/>
- [14] Todobici. *Bieleta Suspensión.* <https://todobici.com.es/8-bieleta-suspension/#:~:text=Se%20llama%20bieleta%20de%20anclaje,le%20demos%20a%20la%20bici>
- [15] Specialized. *Nuevo Brain.* <https://www.specialized.com/es/es/stories/brain-technology>
- [16] Orbea. *Blue-Paper-OIZ-HYDRO-2020-ES.* <https://www.orbea.com/downloads/products/BLUE-PAPER-OIZ-HYDRO-2020-ES.pdf>
- [17] Merida. *Cuadros de aluminio innovadores.* <https://www.merida-bikes.com/es-es/p/tecnologia/tecnologia-en-aluminio-147.html>
- [18] Tuvalum. *La guía definitiva de cuadros de bicicleta; ¿qué material es mejor?* <https://tuvalum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/>
- [19] Mercabici. *Tipos de fibra de carbono que se utilizan en la fabricación de bicicletas.* <https://www.merkabici.es/blog/tipos-fibra-de-carbono/#:~:text=En%20el%20caso%20de%20los,perfecto%20entre%20rigidez%20y%20ligereza.>

[20] Cortes CNC. *Fresadora CNC*. <https://www.cortes-cnc.es/fresadora-cnc/>

[21] BuhoBike. *Bieleta aluminio Orbea Oiz OMR-HYDRO*.
<https://www.buhobike.com/repuestos/17933-bieleta-aluminio-orbea-oiz-omr---hydro.html>

[22] Talentcom. *Salario medio para un ingeniero Mecánico en 2022*.
<https://es.talent.com/salary?job=ingeniero+mec%C3%A1nico#:~:text=El%20salario%20ingeniero%20mec%C3%A1nico%20promedio,hasta%20%E2%82%AC%2040.000%20al%20a%C3%B1o>.

I.4.3 PROGRAMAS DE CÁLCULO.

A continuación, se van a mostrar los programas informáticos utilizados en la realización de este proyecto.

- SolidWorks
- Ansys Granta EduPack
- MeshLab

I.5 ABREVIATURAS.

h_3	Altura máxima permitida del sillín
b	Ancho
BMX	Bicycle Motocross
C	Carga dinámica
C_0	Carga estática
ν	Coefficiente de Poisson
CNC	Control numérico por computadora
Cr	Cromo
ρ	Densidad
D_e	Diámetro Exterior
D_i	Diámetro Interior
CAD	Diseño asistido por computadora
P_u	Límite de carga de fatiga
σ	Límite elástico
σ_{max}	Límite de tracción
E	Módulo elástico
Mo	Molibdeno
MTB	Mountain Bike
VARTM	Vacuum Assisted Resin Transfer Molding
n_{lim}	Velocidad de rotación limit

I.6 REQUISITOS DE DISEÑO.

I.6.1 Diseño inicial de la pieza.

En este proyecto se va a estudiar la bieleta de una bicicleta, en concreto la bieleta de la “Orbea Oiz 2021”. Para poder obtener el prototipo en CAD de esta pieza se partió de un escaneo en 3D de la misma, ya que se disponía de la pieza real.



Figura 24. Bieleta de la suspensión de la bicicleta de montaña “Orbea Oiz”.

El primer paso fue desmontar la pieza de la bicicleta. Posteriormente, se introdujo la pieza en el escáner 3D. Con el objetivo de obtener un correcto escaneado de la pieza, previamente se pintó la misma de blanco. Para ello se empleó un quitamanchas, con el

cual se consiguió pintar la superficie de la pieza de blanco y además permitía retirar la pintura con agua, evitando así dañar la pieza original.



Figura 25. Cebralín quitamanchas utilizado para pintar la pieza y poder escanearla.

Para poder obtener imágenes de toda la pieza, se realizaron 18 escaneos en diferentes posiciones para abarcar la máxima superficie digitalizada y poder realizar una reconstrucción de la pieza lo más exacta posible.

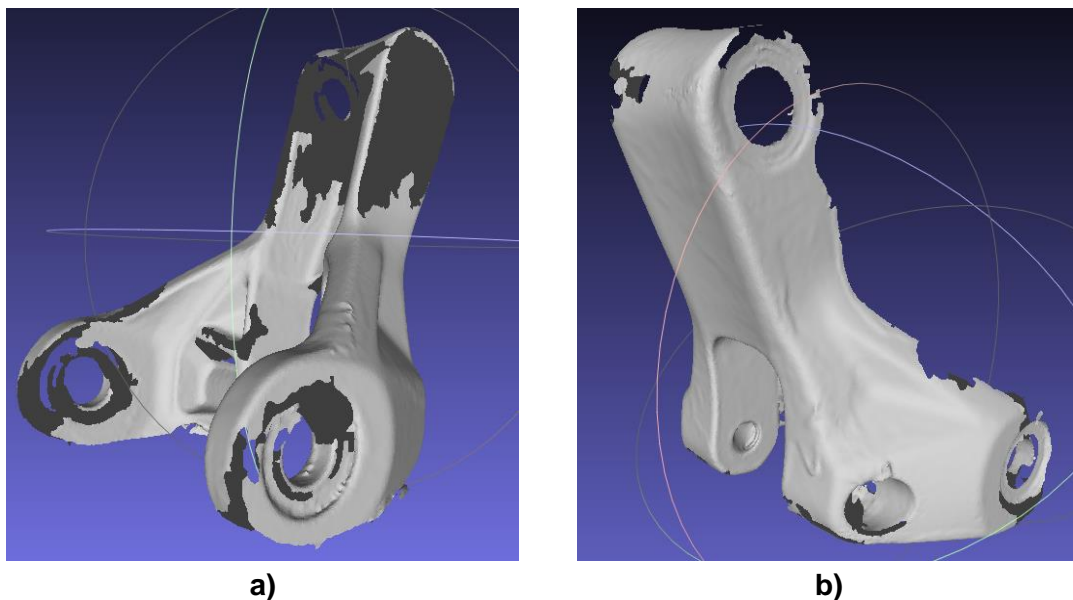


Figura 26. a) Primer escaneo realizado de la parte que está en contacto con el cuadro. b) Segundo escaneo de la parte delantera de la bieleta.

Una vez obtenidos todos los escaneos, con ayuda del programa informático *MeshLab*, se reconstruyó la pieza. Se obtuvo un modelo 3D de superficies, pero este presentaba defectos, ya que la reconstrucción con superposición de imágenes no podía rellenar algunas superficies debido a que los escaneos presentaban algunos defectos.

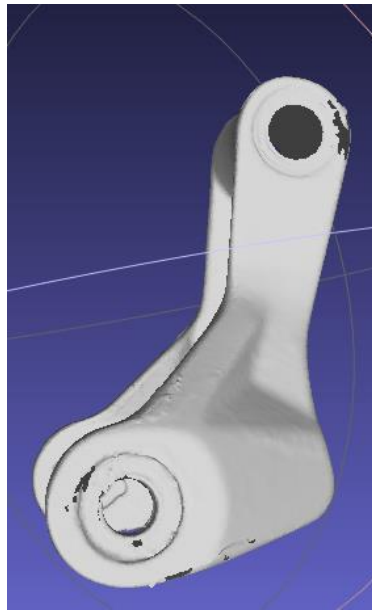


Figura 27. Reconstrucción de la pieza mediante "MeshLab".

El programa *MeshLab* cuenta con una herramienta que permite reconstruir esas superficies que no están cerradas, *Surface Reconstruction: Screened Poisson*, que utiliza un algoritmo de reconstrucción de superficies y crea nuevas a partir de un conjunto de puntos orientados. Gracias a esta herramienta se pudieron completar todos estos fallos, pero surgió un inconveniente, que esta reconstrucción tapaba los agujeros de los tornillos.



Figura 28. Pieza reconstruida en su totalidad, gracias al programa “MeshLab” y su herramienta de reconstrucción de superficies.

Una vez obtenida la pieza reconstruida, formada por un conjunto de superficies, se procedió a pasarla a sólido. Para ello se utilizó el programa informático *SolidWorks*, mediante el cual se importó el modelo como una nube de puntos y gracias a la herramienta, *Scan to 3D*, se obtuvo un sólido.

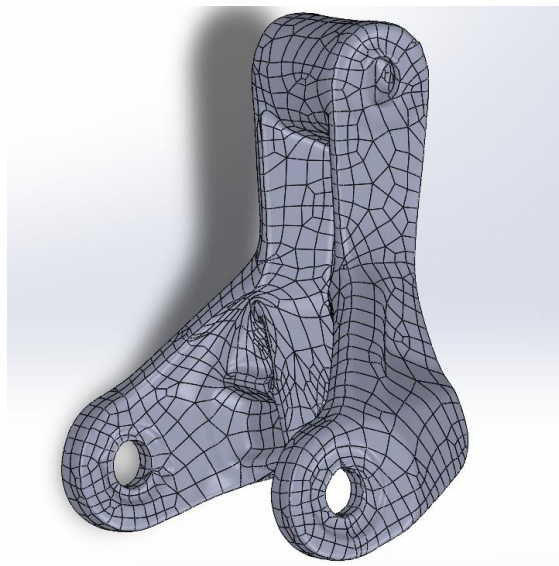


Figura 29. Obtención de la pieza en sólido mediante el programa “SolidWorks”.

Con el programa *SolidWorks* también se consiguió reparar los orificios que había rellenado la herramienta de *MeshLab*. Para ello se empleó la herramienta *extrusión/corte*, obteniendo así las perforaciones para los tornillos y rodamientos de la bieleta. De esta forma se obtuvo la pieza completa digitalizada. Las medidas de los orificios fueron tomadas del manual de montaje de la bicicleta [16].

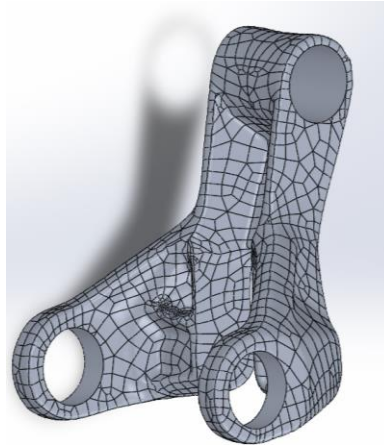


Figura 30. Bieleta digitaliza y reconstruida en su totalidad.

Debido a ciertos problemas con la reconstrucción de la malla, los cuales no permitían simular la pieza, se decidió realizar un modelado manual de la pieza mediante el programa *SolidWorks* utilizando como referencia el modelo de la pieza escaneado.

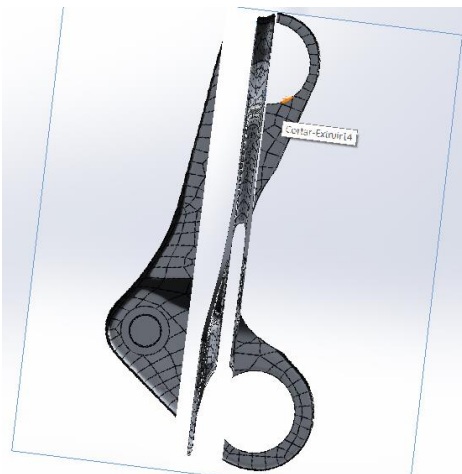


Figura 31. Croquis con imágenes para la reconstrucción de la pieza.

Con ayuda de los croquis con imágenes y la geometría conocida, se pudo reconstruir la pieza en su totalidad con la geometría exacta de la bieleta original, así como con los agujeros en sus respectivas posiciones. Toda la reconstrucción se pudo completar gracias a las herramientas de *SolidWorks*: Saliente-extruir, Cortar-extruir y Redondeo. El diseño final obtenido se puede ver en la siguiente figura.

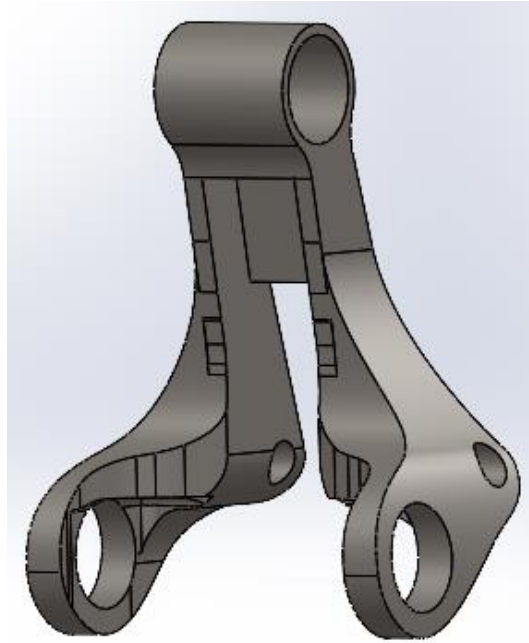


Figura 32. Bieleta “Orbea Oiz” diseño final.

I.6.2 Estudio y definición de hipótesis de trabajo.

Para poder comprender la cinemática del modelo se ha de comentar que se estudiará como un sólido libre sometido a una carga vertical, esta carga es transmitida directamente desde el basculante trasero, específicamente desde los tirantes superiores, que son los que están conectados a la bieleta, y esta se encarga de transmitir este esfuerzo al amortiguador.

La bieleta sobre la que se va a realizar el proyecto cuenta con 3 orificios de anclaje, en la siguiente imagen se puede observar la posición original de trabajo en la que va acoplada al cuadro de la bicicleta. El orificio que se encuentra en la parte superior corresponde con el que se acoplará al cuadro de la bicicleta, con un movimiento de bisagra, actuando mediante unos rodamientos, ya que este girará por el movimiento

transmitido desde el basculante trasero. El orificio central permite su anclaje con el amortiguador. Por el último, los agujeros de la parte inferior corresponden con los anclajes de la bieleta con el basculante trasero, que, en su interior para poder girar, poseen unos rodamientos. Todo esto está asegurado y unido mediante pernos con par de apriete especificado por el fabricante en el manual de montaje [16].

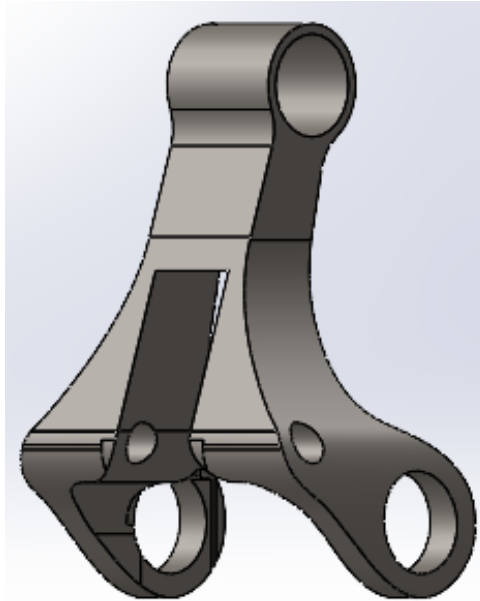


Figura 33. Bieleta en la posición de trabajo correcta.

I.6.2.1 Anclajes de la bieleta.

La bieleta posee dos tamaños de orificios, primero los de diámetro 19 mm, que son los únicos que poseen rodamientos y se encuentran conectados al triángulo principal y al basculante trasero. Gracias a estos la bieleta pivotará para transmitir los movimientos que provienen de la rueda trasera, transmitiéndolos al amortiguador.

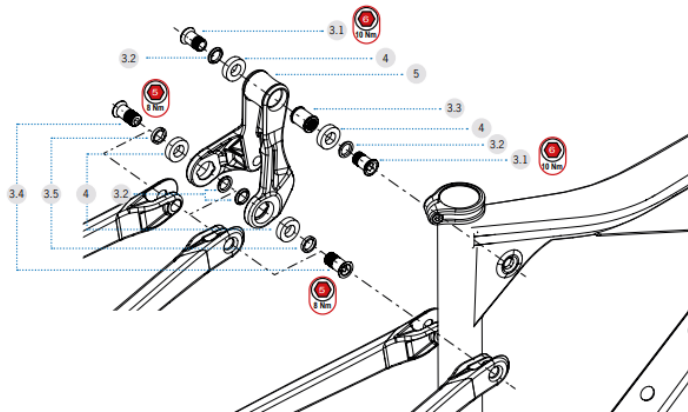


Figura 34. Montaje de la bieleta sobre el cuadro de la “Orbea Oiz” [16].

Los rodamientos seleccionados para esta pieza deberán una serie de características, algunas definidas por el fabricante en el manual de montaje de la bicicleta. En primer lugar, el tamaño de estos será de 10 mm de diámetro interno (D_i), 19 mm de diámetro externo (D_e) y 5 mm de espesor (b), además estos rodamientos deben soportar esfuerzos radiales. Otra característica a tener en cuenta a la hora de la selección de rodamientos es el número de revoluciones que puede soportar, pero en este caso como en ningún momento llegan a completar una vuelta completa, el número de revoluciones no es un dato relevante.



Figura 35. Kit bieleta para la sujeción del cuadro y basculante con la bieleta.

Realizando una búsqueda en el catálogo de SKF con las características predefinidas que se han comentado anteriormente, se ha encontrado el siguiente rodamiento:

Tabla 1. Selección del rodamiento para la bieleta, las conexiones con el cuadro y basculante.

Designación	Tipo	Dimensiones (mm)			Capacidades cargas (kN)			Velocidad (rpm)
		D _i	D _e	b	C	C ₀	P _U	n _{lim}
61800-2RS1	Rodamiento rígido de bolas	10	19	5	1,72	0,83	0,036	22.000

El segundo tamaño de orificio es el de diámetro de 8 mm, el correspondiente al anclaje de la bieleta con el amortiguador. En este caso no tienen rodamientos, ya que son únicamente para poder pasar el tornillo y conectar el amortiguador a la bieleta.



Figura 36. Kit hardware amortiguador para unir el amortiguador con la bieleta.

I.6.2.2 Definición de los estados tensionales según la norma.

Como bien se ha especificado en el apartado anterior, la normativa a cumplir en este caso es la **UNE-EN ISO 4210**, Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla, apartado 4. Cuadros; y subapartado 4.5. Cuadro, ensayo de fatiga con una fuerza vertical. En la norma podemos encontrar lo siguiente:

Cuando un cuadro permite ser convertible para ciclistas hombre o mujer por la retirada de un tubo, el ensayo se realiza con el tubo retirado.

Cuando un cuadro con suspensiones tiene soportes o uniones regulables, estos elementos se posicionan de forma que las fuerzas ejercidas sobre el cuadro sean máximas. Si se conoce la altura máxima permitida por el fabricante en el sillín (h_3) se establece esa, pero si por el contrario no se conoce se debe aplicar una altura de 250 mm. Se asegura la suspensión trasera como se describe en la siguiente imagen:

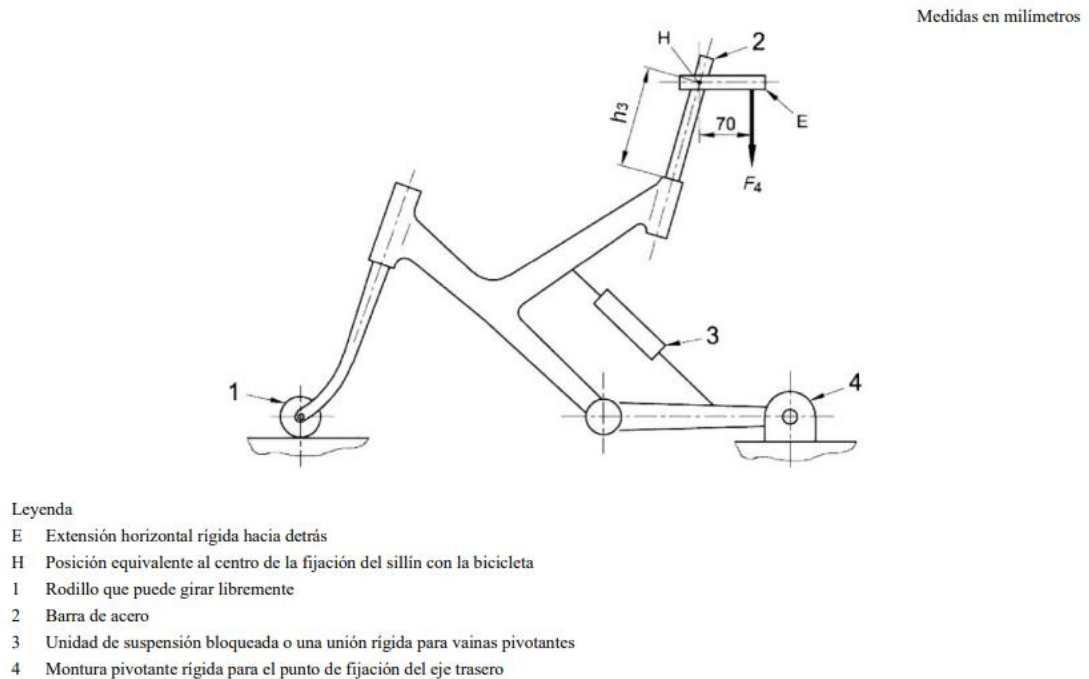


Figura 37. Cuadro. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical. Según la norma UNE-EN ISO 4210.

Tabla 2. Fuerzas que aplicar según la norma UNE-EN ISO 4210.

	TIPO DE BICICLETA			
	Bicicleta de paseo	Bicicletas para adultos jóvenes	Bicicletas de montaña	Bicicletas de carretera
Fuerza, F_4 (N)	1.000	500	1.200	1.200

En nuestro caso, al tratarse de una bicicleta de montaña, se debe aplicar una fuerza de 1.200 N, mediante esta se podrá obtener la carga a aplicar en la pieza para poder incluirla en el programa de simulación.

Otra cosa a tener en cuenta es que la norma nombra que los ensayos de fatiga se deberán realizar con un número mínimo de 50.000 ciclos.

I.6.3 Modelo FEM de la bieleta original.

Tal como se describe en el Anexo: II.1 Cálculos; II.1.2 Fuerzas; II.1.2.1 Hipótesis 1, para que la simulación se lleve al extremo supondremos que el amortiguador está bloqueado y que toda la fuerza recae sobre la rueda trasera, suponiendo que ha saltado y la recepción la realiza con esta.

Para cumplir lo que indica la norma, la pieza ha de tratarse como un sólido rígido, por lo que al añadir en la parte superior de anclaje al cuadro una bisagra fija y en el anclaje del amortiguador un anclaje fijo obtenemos un modelo hiperestático.

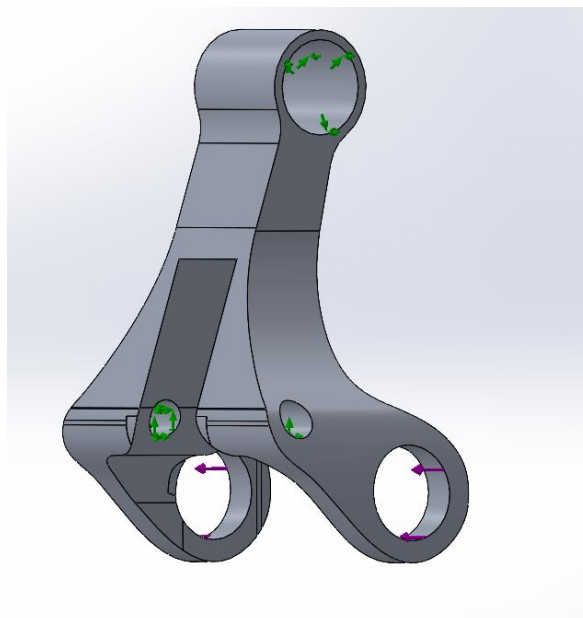


Figura 38. Definición de parámetros para la simulación SolidWorks.

Como se puede observar en la imagen las flechas de color verde hacen referencia a las sujeciones, la de la parte superior es una bisagra fija y la de la parte inferior una sujeción fija. Por otro lado, en los orificios donde van conectados los tirantes del basculante encontramos las flechas de color lila que hacen referencia a la dirección de la fuerza que se está aplicando en esos puntos, de un valor de 4.636,44 N.

En cuanto a al material de la pieza original se trata del aluminio 6061-T6, el cual ya se ha comentado en el apartado anterior de materiales, el cual es el más utilizado en la industria ciclistas por sus buenas características mecánicas y bajo peso.

Se va a realizar una simulación para conocer el comportamiento de la pieza real, obteniendo la siguiente información: Tensiones de Von Mises, Desplazamientos, Factor de Seguridad, Daños y Vida.

I.6.3.1 Simulación con carga estática.

Del estudio de carga estática realizado se adjuntarán tres imágenes, que corresponden con las mostradas por el programa *SolidWorks* en su informe de simulación. La primera corresponde con las tensiones de Von Mises, donde aparecerán coloreadas las zonas de mayor tensión sufrida por la carga. La segunda imagen representa los desplazamientos, que nos permite observar la deformación sufrida en cada zona. Por último, la tercera imagen se corresponde con el factor de seguridad, donde podremos observar si la pieza está sobredimensionada o falla con la carga establecida. El estudio se ha realizado con el material original de la pieza comentado en el apartado anterior.

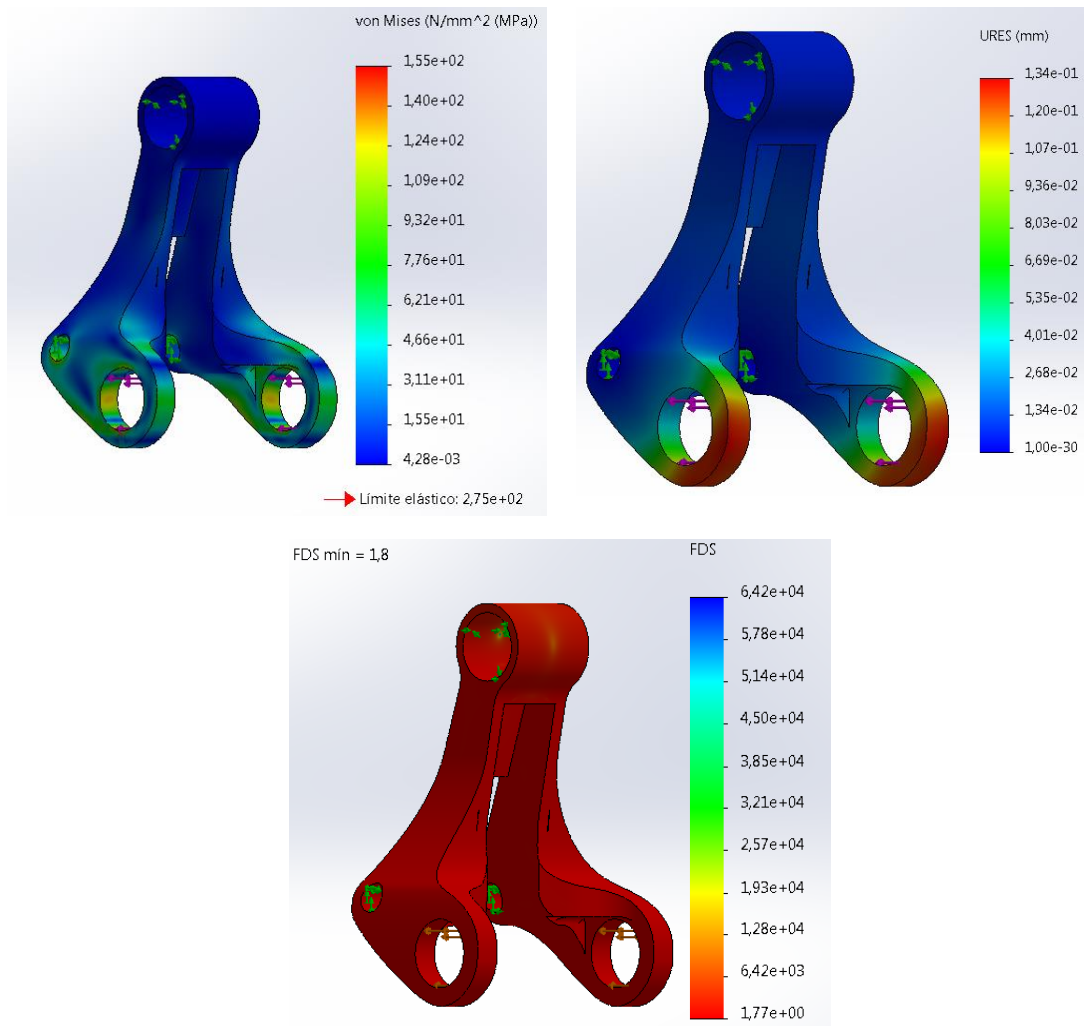


Figura 39. Valores de los estudios de carga estática para la pieza original.

Gracias a la simulación realizada se puede observar en la **Figura 42.** que no supera el límite elástico por lo que no sufrirá deformación permanente, en lo referente a los desplazamientos la zona que más ha sufrido es la zona delantera donde va conectado el basculante trasero y por último el factor de seguridad extraído de la pieza es de 1,8 el esperado para una bicicleta de competición.

I.6.3.2 Simulación a fatiga.

La simulación realizada a fatiga se ha efectuado utilizando como base el estudio estático anterior. En este caso, hay que introducir el número de ciclos, que tal y como indica la norma son 50.000.

Las siguientes imágenes han sido extraídas del estudio realizado a la pieza. La primera imagen corresponde con el porcentaje de daños producidos en la pieza. Mientras que la segunda imagen nos muestra la vida, es decir, el número de ciclos que la pieza es capaz de soportar. En este caso el material ensayado es el mismo que en el estudio anterior.

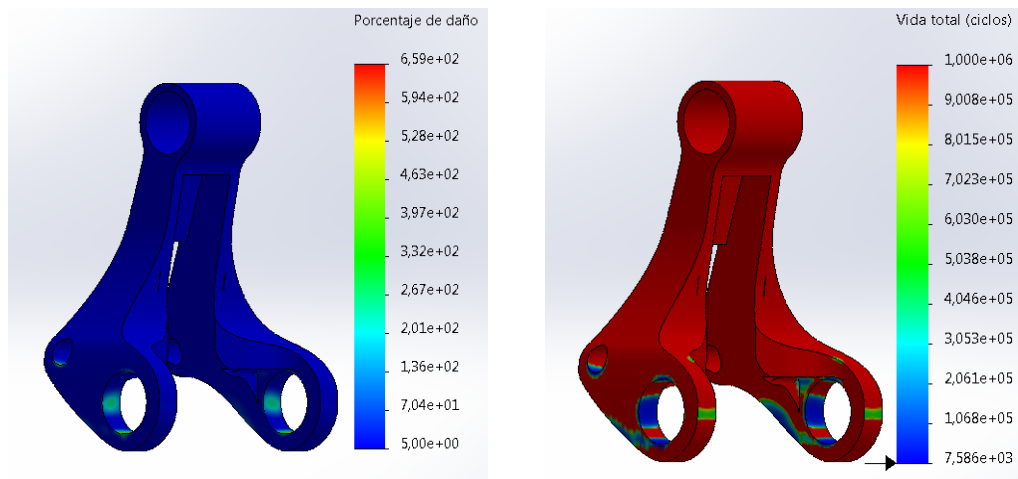


Figura 40. Valores de los estudios de fatiga para la pieza original.

En cuanto a los resultados obtenidos en el estudio de fatiga se puede observar que los daños sufridos en la zona de conexión con el basculante trasero son los de mayor magnitud, es la zona más crítica. En lo referente a la vida, la zona comentada anteriormente es la que tiene una vida más reducida, de 7.586 ciclos.

I.6.3.3 Resumen de los estudios carga estática y fatiga.

En la siguiente tabla podemos observar un resumen de los datos obtenidos en los estudios estáticos y de fatiga de la pieza original. De los datos se han obtenido los valores máximos de las tensiones de Von Mises, desplazamientos y daño; para

encontrar las zonas más críticas; de la misma manera se han seleccionado los valores mínimos de ciclo de vida para tener en cuenta cuando la pieza fallará.

Tabla 3. Datos obtenidos de los estudios de carga estática y de fatiga.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Aluminio	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95

I.7 ANALISIS DE ALTERNATIVAS.

Tras la realización y el análisis de los estudios descritos en el anterior apartado se ha procedido al rediseño del prototipo inicial. Concretamente, en este caso, se ha rediseñado su geometría y se ha modificado el material original. Posteriormente, para comprobar si la pieza ha mejorado su comportamiento mecánico, cumpliendo la norma UNE-EN ISO 4210, se ha realizado un estudio de carga estática y un estudio de fatiga, igual que el que se ha realizado para la pieza original.

I.7.1 Rediseño nº1.

Este primer rediseño se ha centrado en la reducción de peso al máximo, retirando material que había en determinadas zonas en exceso, ya que había zonas que cumplían los requerimientos exigidos.

I.7.1.1 Modificaciones.

Para comenzar, con tal de reducir la masa de la pieza, se han realizado una serie de operaciones para variar la superficie, respetando los orificios, ya que son la geometría de referencia.

La primera y más significativa modificación ha consistido en retirar material de la parte central, debajo de orificio superior. En este caso, dicha zona se ha reducido al máximo, ya que no soportaba una excesiva carga y casi no sufría deformación.

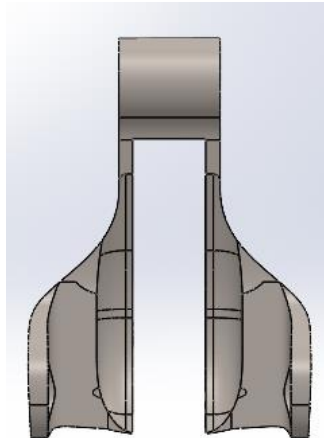


Figura 41. Modificación I rediseño nº1, recorte parte central bajo el orificio superior.

Otra modificación significativa que se ha realizado ha sido la retirada de material de los anclajes del amortiguador, ya que cumplían con holgura en el diseño original y por tanto permitirá reducir aún más el peso de la pieza.

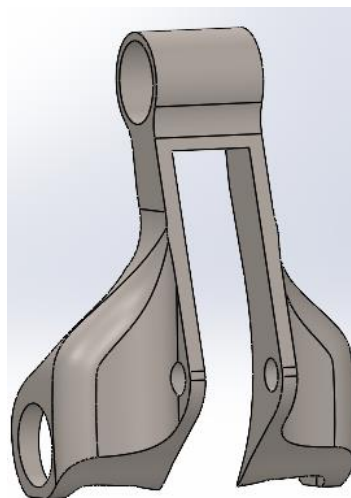


Figura 42. Modificación II rediseño nº1, reducción de material en los anclajes del amortiguador.

La última modificación realizada es la incorporación de unos refuerzos en la zona baja de la bieleta, ya que en esa zona había una concentración de tensiones alta y se han añadido estos refuerzos para ayudar a soportar dichas tensiones.

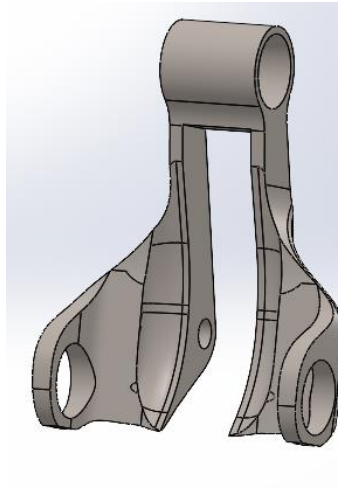


Figura 43. Modificación III rediseño n°1, refuerzos en la zona baja de la bieleta.

En la siguiente imagen se puede observar el aspecto final del primer rediseño realizado a la bieleta original.



Figura 44. Render del rediseño n°1 de la bieleta.

I.7.1.2 Simulaciones.

A continuación, para validar la pieza obtenida en el rediseño n°1 se han realizado las mismas simulaciones que se realizaron a la pieza original.

En primer lugar, se ha efectuado un análisis estático y a fatiga a la pieza con el material original, aluminio 6061-T6, obteniendo los valores de los estados tensionales, desplazamientos, factor de seguridad, porcentaje de daño y vida que se pueden apreciar en la **Figura 48** y **Figura 49**.

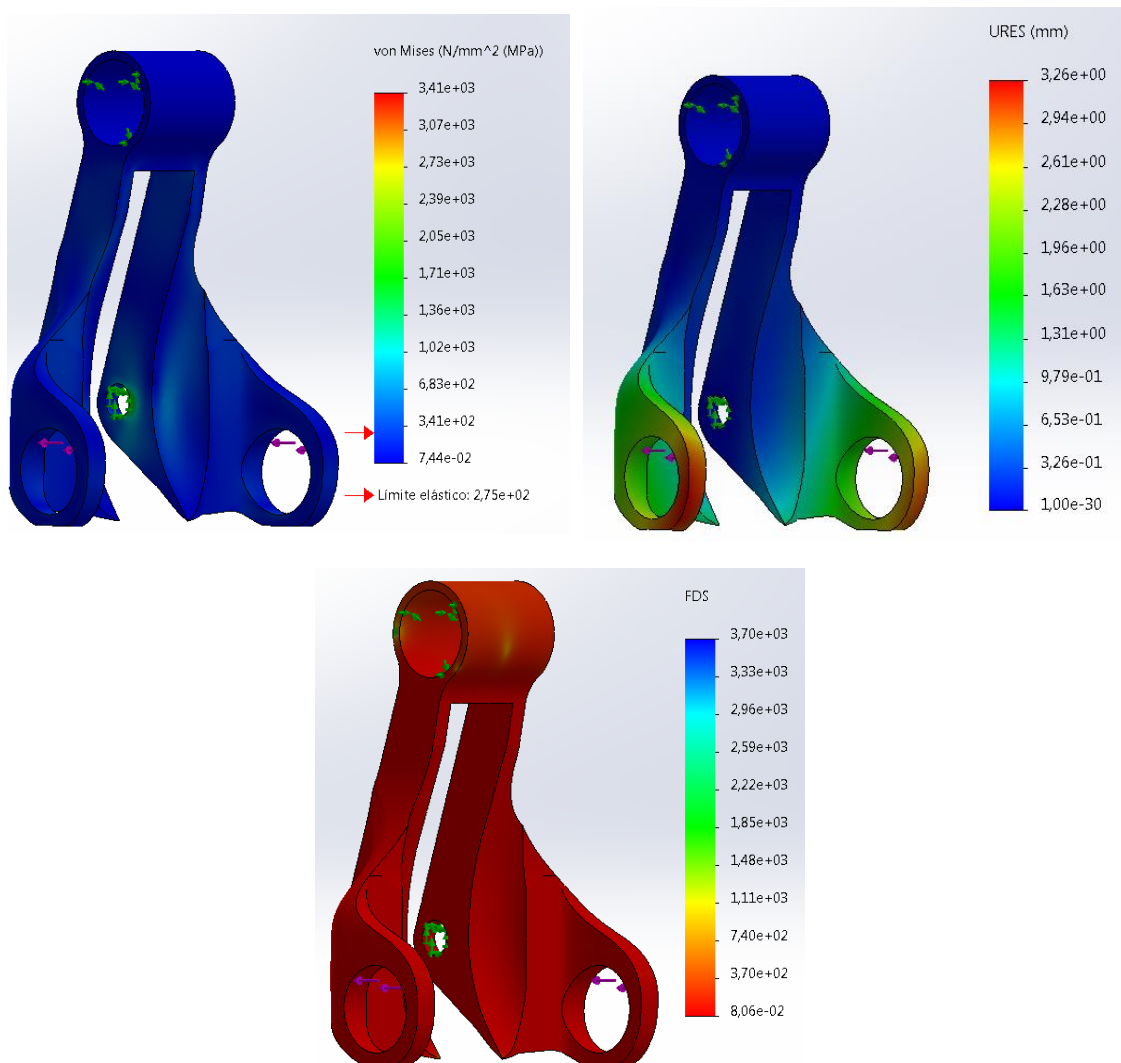


Figura 45. Resultados obtenidos del estudio de carga estática con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño n°1.

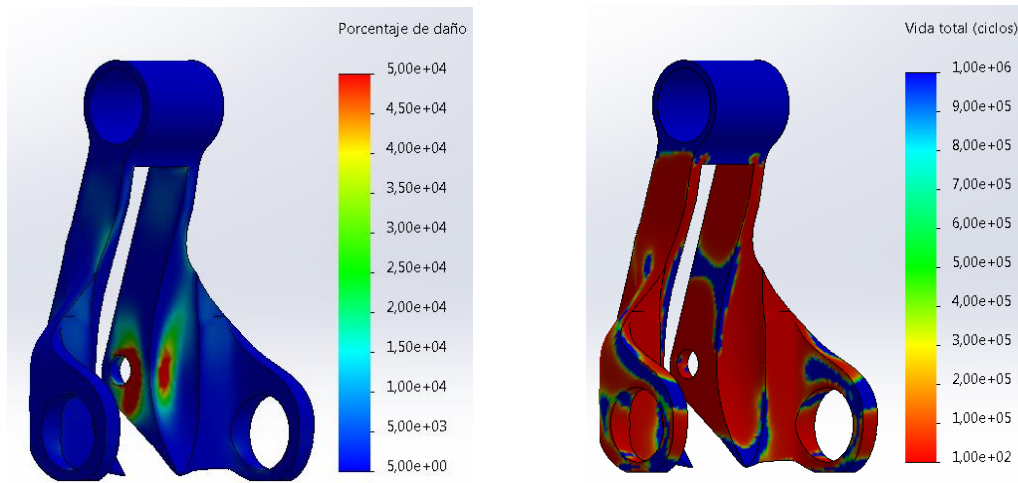


Figura 46. Resultados obtenidos del estudio de fatiga con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño n^o1.

En la siguiente tabla se van a mostrar los datos obtenidos de estos estudios, además de los datos de la pieza original para poder realizar una comparación entre ambas piezas.

Tabla 4. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n^o1, con el material original aluminio 6061-T6.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	3.410	3,26	0,081	$5,00 \cdot 10^4$	100	91,30

En este primer rediseño con el material original se puede observar que los resultados son peores que los obtenidos en la pieza original. En lo referente al estudio de carga estática las tensiones son muy superiores, además de producirse deformación plástica; en cuanto a los desplazamientos se produce una deformación extremadamente grande y el factor de seguridad se ve reducido sustancialmente, obteniendo valores por debajo de 1, lo que nos indica que no cumple los requerimientos mínimos. Por otro lado, en el estudio a fatiga, se observa un aumento en el porcentaje de daño con respecto a la pieza original y la vida se ve reducida en más de 7.000 ciclos. Por lo que se puede determinar que el rediseño n^o1 con el material original no cumple con los mínimos

marcados, que en este caso son los datos de la pieza original y los marcados por la norma.

Con el objetivo de comprobar el comportamiento de la bieleta con diferentes materiales, se ha realizado el análisis estático y a fatiga con los materiales seleccionados para el presente proyecto que son el acero, el titanio y carbono, además del ya estudiado aluminio como material original de la pieza. Los estudios se han realizado según la norma, en el de carga estática se ha seguido la hipótesis expuesta en el apartado III.3.2 y en cuanto al estudio de fatiga se indica que se debe realizar con un mínimo de 50.000 ciclos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el rediseño nº1 con los diferentes materiales seleccionados:

Acero 4130 normalizado

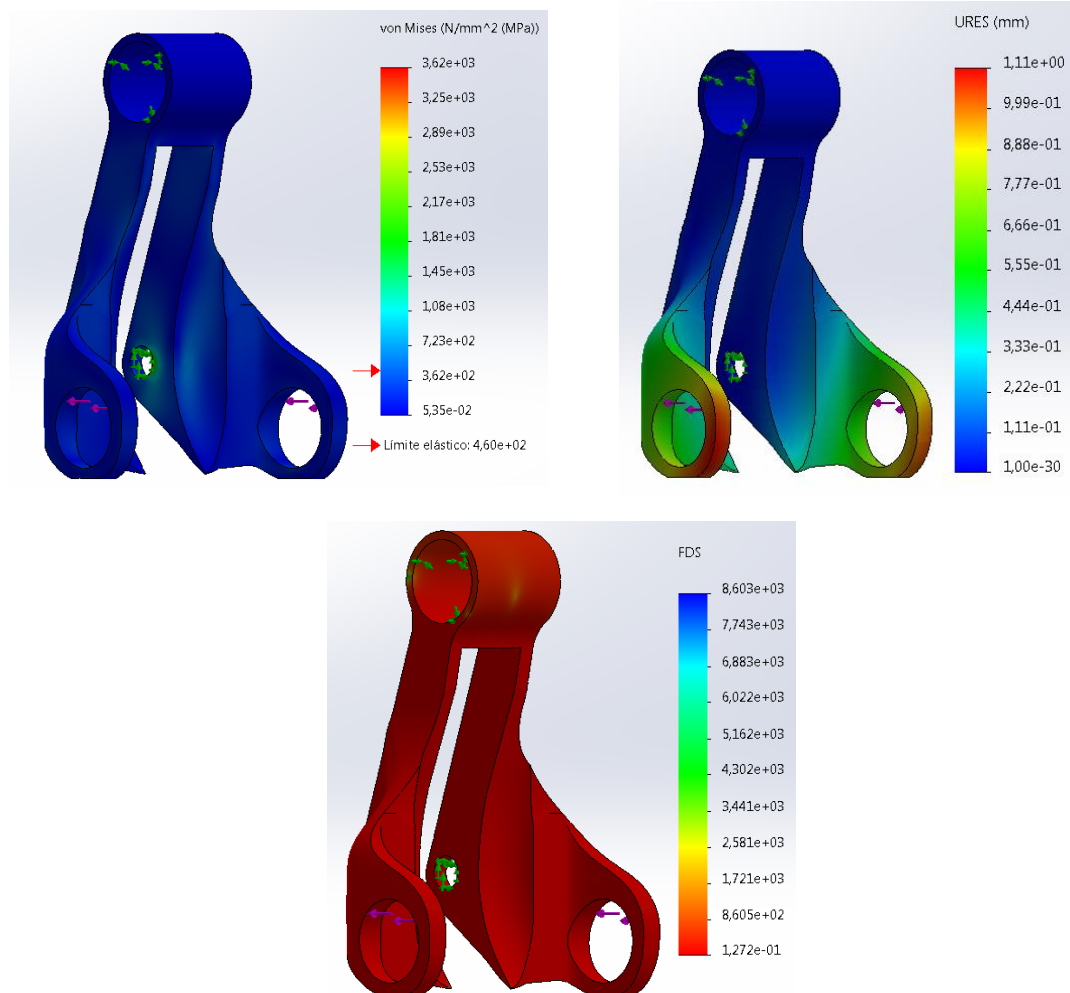


Figura 47. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº1 con Acero 4130.

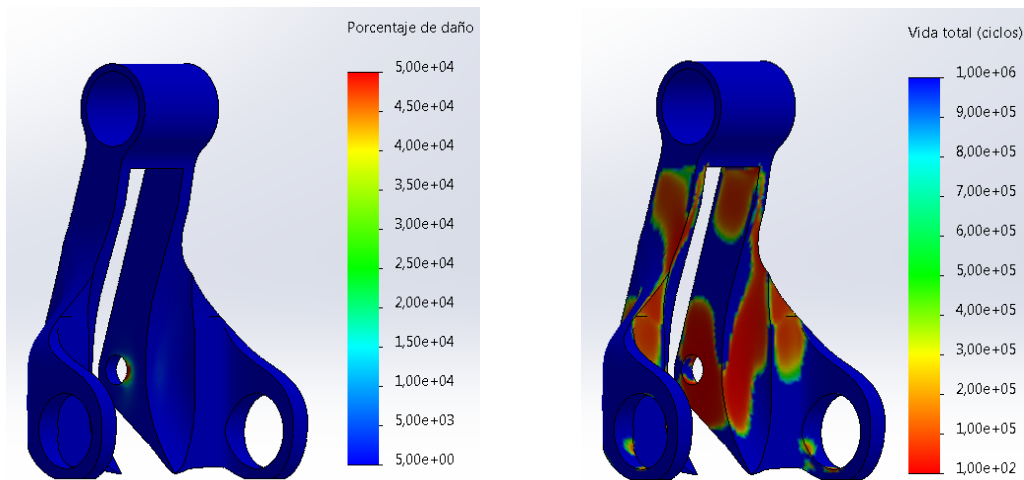


Figura 48. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño n°1 con Acero 4130.

Tabla 5. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°1 de acero 4130.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	3.620	1,11	0,13	$5,00 \cdot 10^4$	100	265,37

Los resultados obtenidos nos muestran que el rediseño de la bieleta en acero ha obtenido peores resultados que la pieza original. Las tensiones son mayores, además de superar el límite elástico lo que provoca deformación permanente; el desplazamiento sufrido es muy superior y el factor de seguridad se ha visto reducido, muy cercano a 0, lo que indica que la pieza no aguantará. En el estudio a fatiga se puede observar que los daños sufridos son muy superiores y que la vida se ha visto también reducida sustancialmente. Por último, si observamos el peso también ha aumentado, por lo que se puede determinar que esta pieza fabricada en acero tiene menor rendimiento que la pieza original, además de no cumplir con la norma.

Titanio Ti-6Al-4V

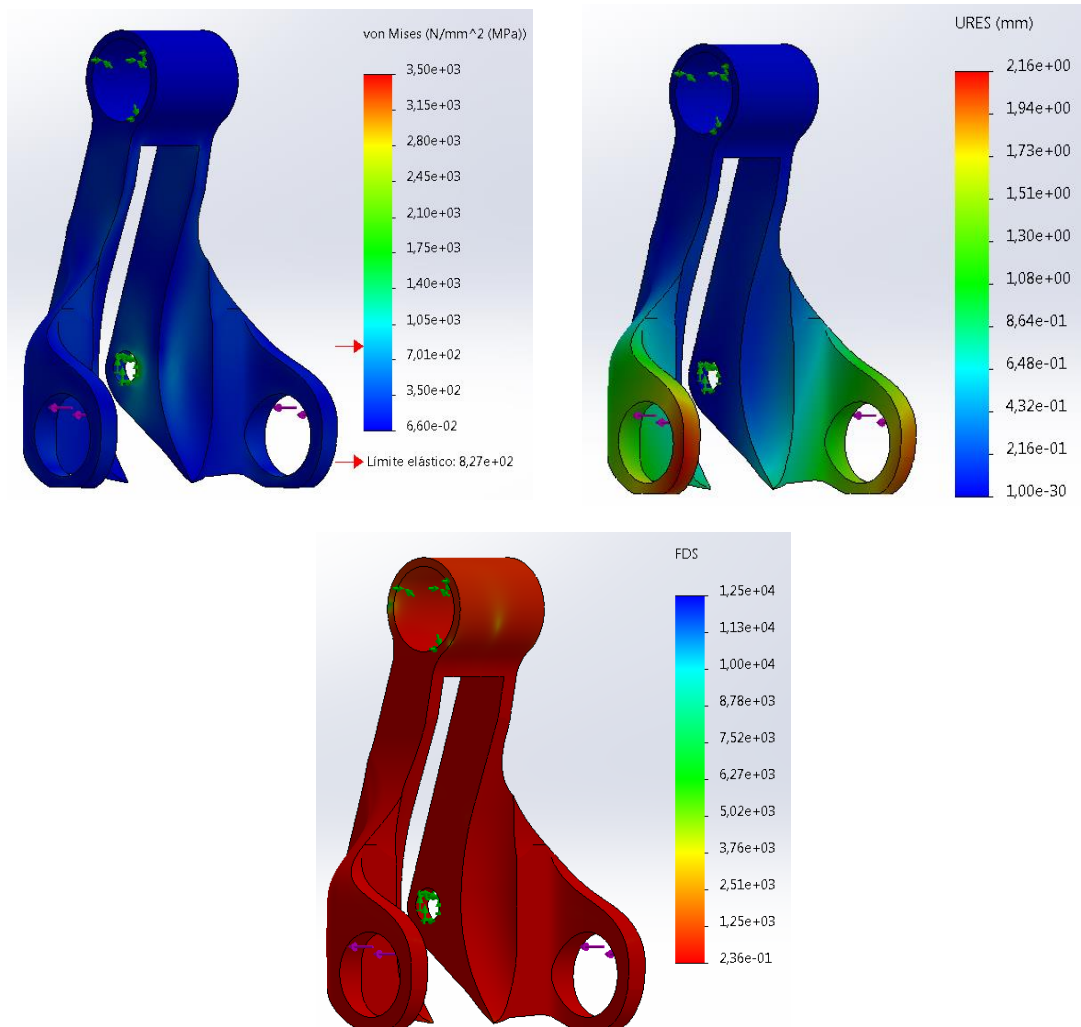


Figura 49. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño n°1 con Titanio Ti-6Al-4V.

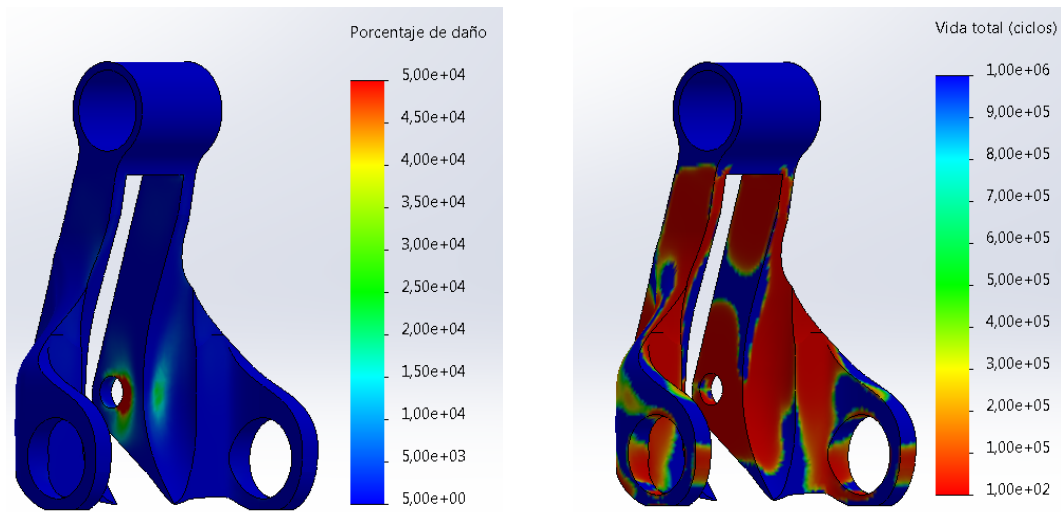


Figura 50. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº1 con Titanio Ti-6Al-4V.

Tabla 6. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº1 de titanio Ti-6Al-4V.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	3.500	2,16	0,24	$5,00 \cdot 10^4$	100	149,72

Observando los datos obtenidos de los ensayos estáticos y de fatiga, se puede determinar, al igual que en el material anterior, que los datos obtenidos son peores que los datos originales. Tensiones de mayor magnitud, desplazamientos muy grandes, factor de seguridad muy bajo y cercano a 0, daños muy superiores, una vida reducida de 200 ciclos en la mayoría de la superficie y un aumento de peso. Por lo que se puede concluir que este rediseño fabricado en titanio no mejora el diseño original, además de no cumplir con la norma.

Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi

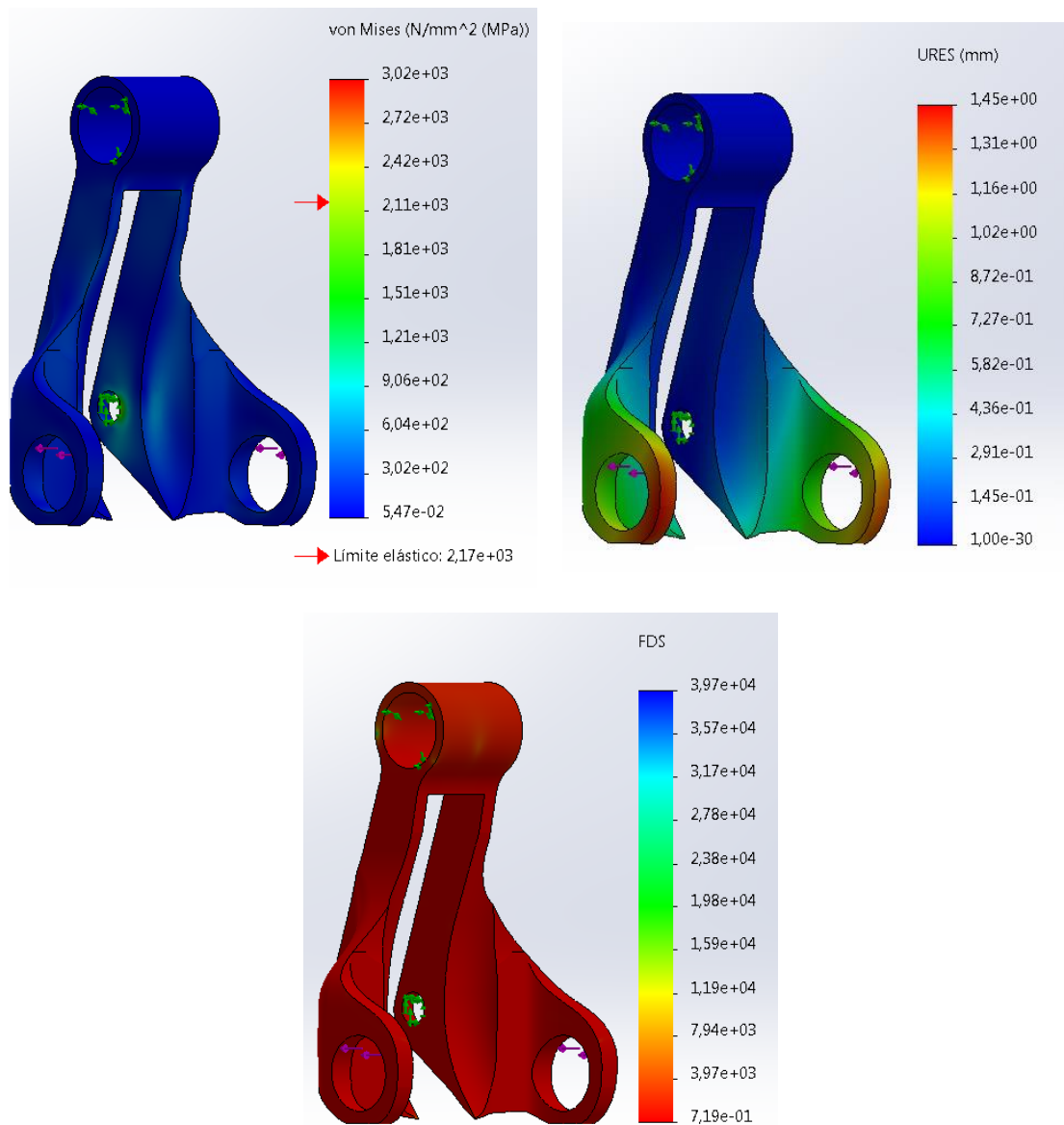


Figura 51. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº1 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

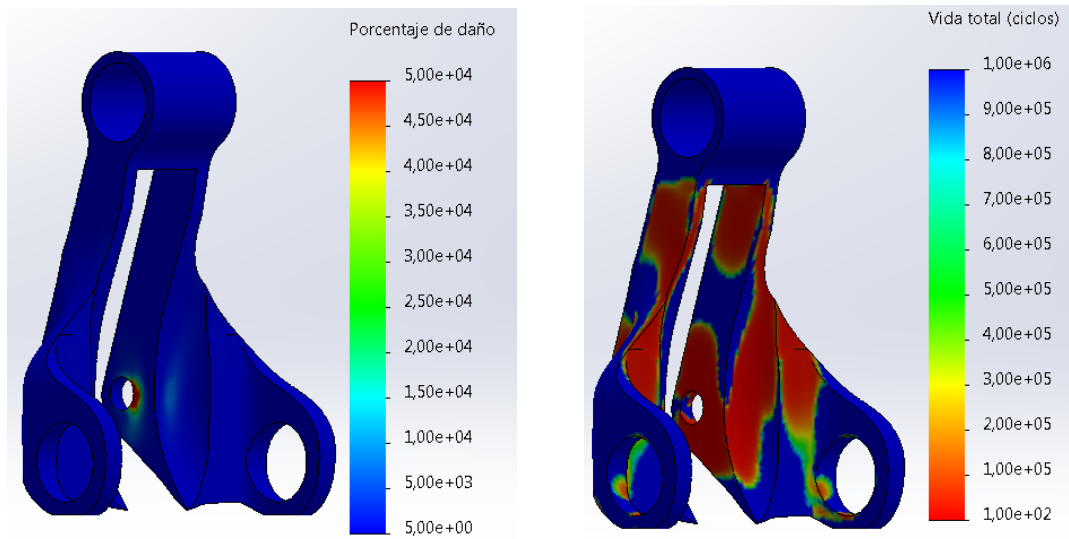


Figura 52. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº1 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

Tabla 7. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº1 de Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	3.020	1,45	0,72	$5,00 \cdot 10^4$	100	54,24

En este caso, revisando los datos de la **Tabla 12**, se puede determinar que los resultados obtenidos de los ensayos son peores que los de la pieza original. En este caso, el único que mejora es el peso, ya que se reduce, pero en conclusión este rediseño fabricado en carbono no cumple con la norma ni mejora los datos originales.

I.7.1.3 Conclusiones.

En resumen, los datos obtenidos de todos los estudios realizados con los diferentes materiales en el rediseño nº1 muestran como las tensiones en todos los casos han superado el límite elástico, lo que nos indica que se produce una deformación permanente en las zonas donde se ha sobrepasado el límite. En cuanto a los desplazamientos, se puede comentar que la que más ha sufrido ha sido la pieza de aluminio y la que menos la de acero. Por último, se observa que el factor de seguridad

de todas las piezas está por debajo de 1 lo que nos indica que fallarán. Con los datos extraídos de los estudios de fatiga se puede observar que la vida en todos los ensayos es menor de la indicada por la norma. Por tanto, se puede concluir que este rediseño n°1 no es válido, ya que no soporta los mínimos requeridos por la norma.

Tabla 8. Resumen de los datos obtenidos de los estudios de la pieza original y el rediseño n°1 con los materiales seleccionados.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original						
Aluminio	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño						
Aluminio	3.410	3,26	0,081	$5,00 \cdot 10^4$	100	91,30
Acero	3.620	1,11	0,13	$5,00 \cdot 10^4$	100	265,37
Titanio	3.500	2,16	0,24	$5,00 \cdot 10^4$	100	149,72
Carbono	3.020	1,45	0,72	$5,00 \cdot 10^4$	100	54,24

I.7.2 Rediseño n°2.

En este segundo rediseño, también se ha buscado reducir la masa de la pieza, utilizando en este caso perfiles tubulares para su fabricación, respetando los orificios ya que son la geometría de referencia.

I.7.2.1 Modificaciones.

En este segundo rediseño, como se ha indicado anteriormente, se han sustituido todas las partes por perfiles tubulares. Para copiar la geometría de la bieleta el primer paso ha sido utilizar la herramienta, croquis con imagen del programa *SolidWorks* para replicar las geometrías de referencia.



Figura 53. Croquis con imágenes de referencia de la bieleta original.

El segundo paso ha sido crear la geometría de referencia, que en este caso son los orificios de anclaje. Gracias a la herramienta de extrusión saliente/base del programa *SolidWorks*.

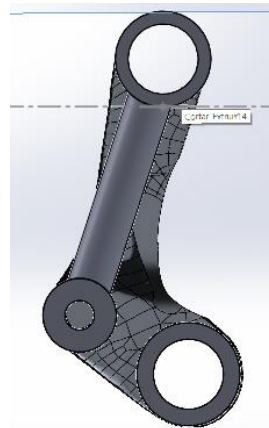


Figura 54. Extrusión de los orificios como geometría de referencia.

El tercer paso ha sido extruir las uniones entre los orificios con perfiles tubulares, con ayuda de la herramienta de *SolidWorks*, extruir saliente/base.

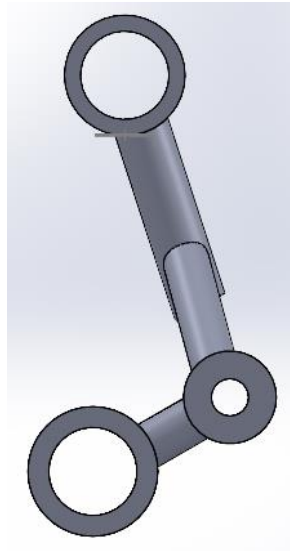


Figura 55. Extrusión de las uniones entre orificios con perfiles tubulares.

En el último de los pasos se ha creado una simetría, ya que tiene ambos lados iguales. Con la herramienta de *SolidWorks*, simetría, se ha podido completar la pieza en su totalidad.

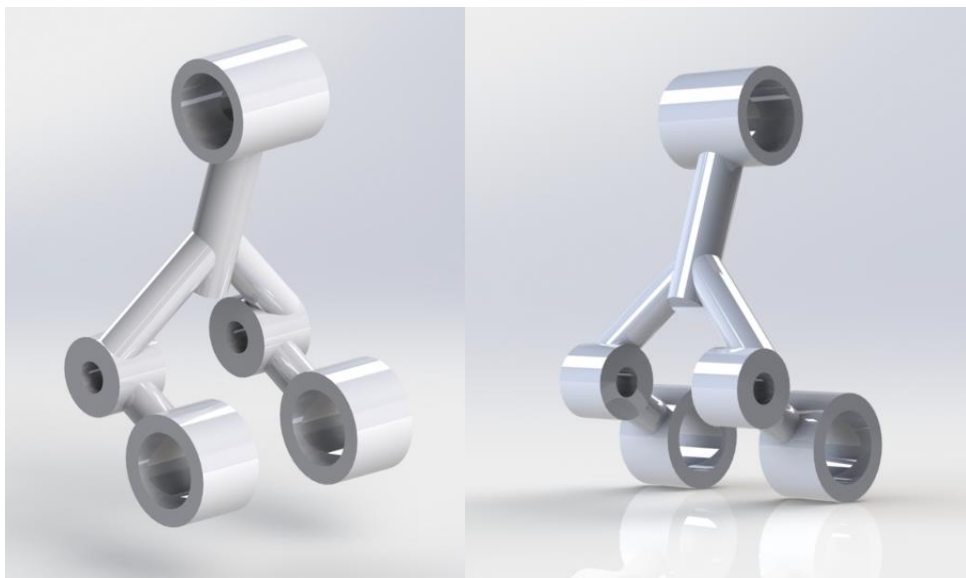


Figura 56. Render del rediseño nº2 de la bieleta.

I.7.2.2 Simulaciones.

A continuación, al igual que en el rediseño nº1, para validar la pieza obtenida se han realizado los mismos estudios que se realizaron a la pieza original.

En primer lugar, como en el anterior rediseño, se ha realizado el análisis estático y de fatiga del rediseño nº2 con el material original, aluminio 6061-T6. En la **Figura 60** y **Figura 61** se presentan los resultados obtenidos de estos estudios.

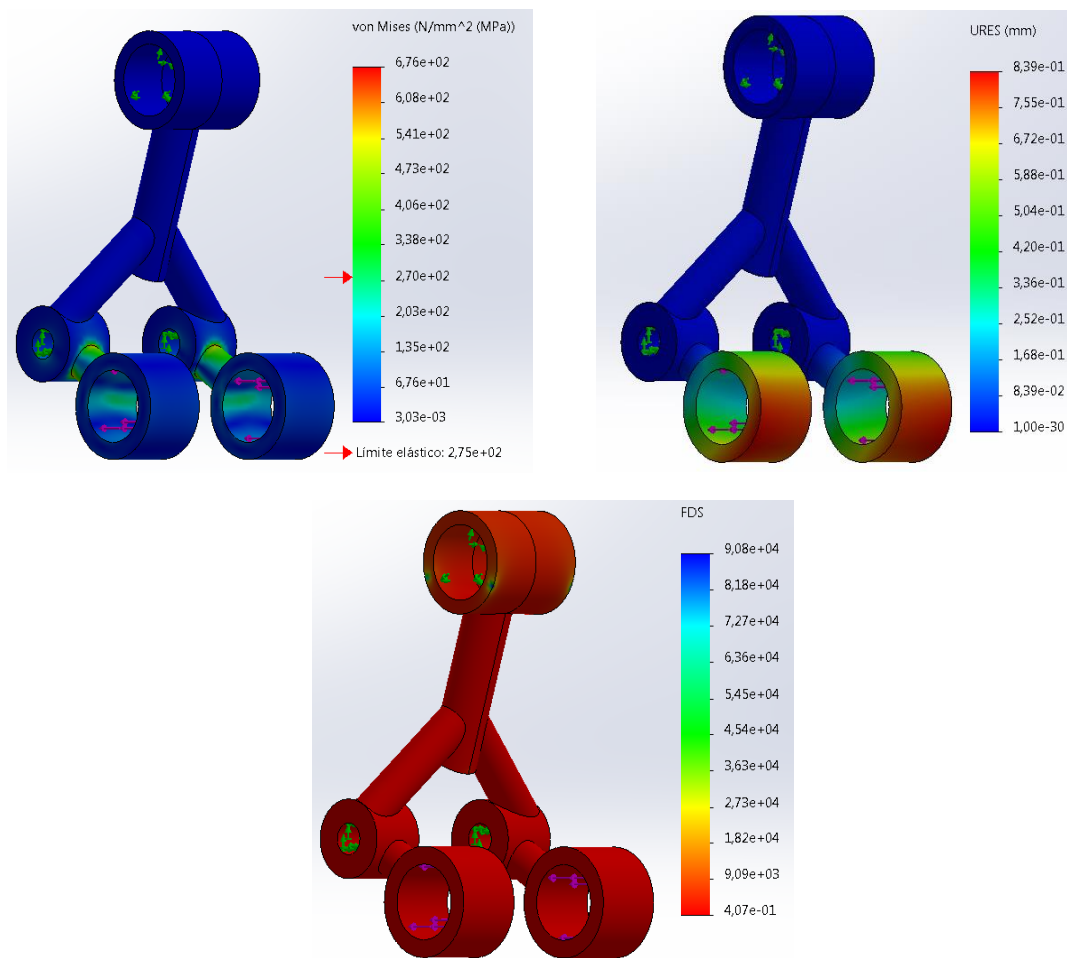


Figura 57. Resultados obtenidos del estudio de carga estática con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº2.

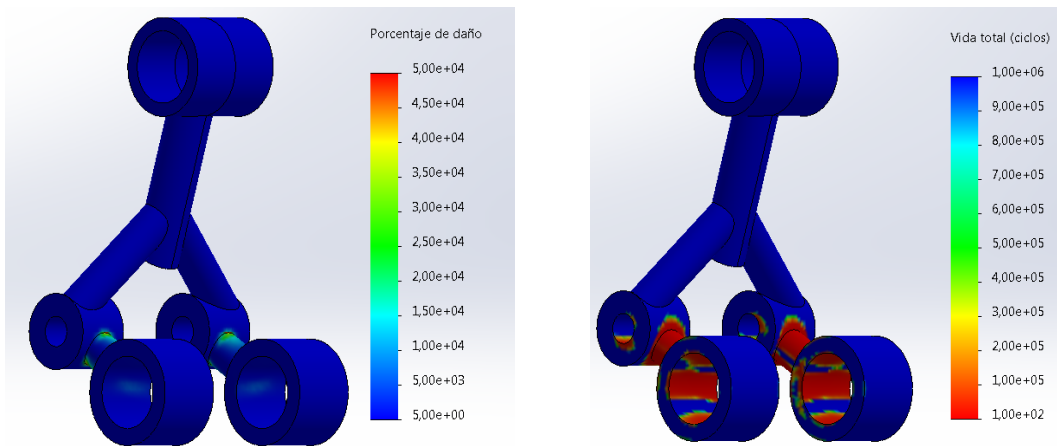


Figura 58. Resultados obtenidos del estudio de fatiga con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño n°2.

En la siguiente tabla se muestran un resumen de los resultados de los estudios realizados, además de los datos de la pieza original para poder realizar una comparación entre ambas piezas.

Tabla 9. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°2, con el material original, aluminio 6061-T6.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	676	0,84	0,41	$5,00 \cdot 10^4$	100	34,55

En este rediseño con el material original se observa que los resultados son más desfavorables que los obtenidos en la pieza original. En lo referente al estudio de carga estática, las tensiones son muy superiores, además de producirse deformación plástica. En este caso las mayores tensiones se encuentran en las zonas de unión de los perfiles. En cuanto a los desplazamientos se produce una deformación cercana a la de la pieza original y el factor de seguridad se ve reducido sustancialmente y cercano a 0, lo que nos indica que no cumple los requerimientos. Por otro lado, en el estudio a fatiga, se observa que el porcentaje de daño también ha aumentado y la vida se ha reducido en más de 7.000 ciclos. Por tanto, se puede determinar que el rediseño n°2 con el material

original no cumple con los mínimos marcados, que en este caso son los datos de la pieza original y los marcados por la norma.

Al igual que en el rediseño anterior, con el objetivo de comprobar el comportamiento de la bieleta con diferentes materiales, se ha realizado el análisis estático y a fatiga con los materiales seleccionados para el presente proyecto que son el acero, el titanio y carbono, además del ya estudiado aluminio como material original de la pieza. Los estudios se han realizado según la norma, en el de carga estática se ha seguido la hipótesis expuesta en el apartado III.3.2 y en cuanto al estudio de fatiga se indica que se debe realizar con un mínimo de 50.000 ciclos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el rediseño nº2 con los diferentes materiales seleccionados:

Acero 4130 normalizado

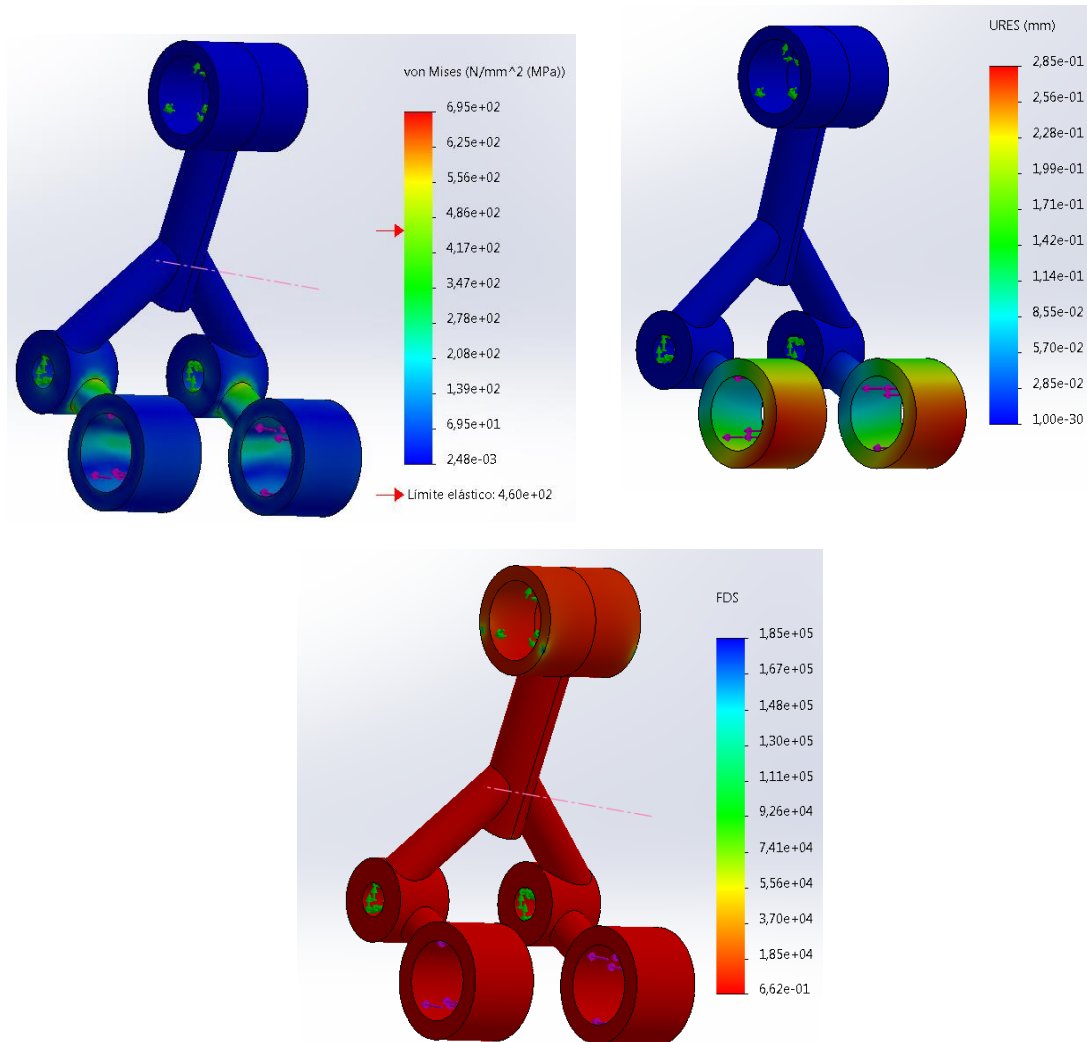


Figura 59. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº2 con Acero 4130.

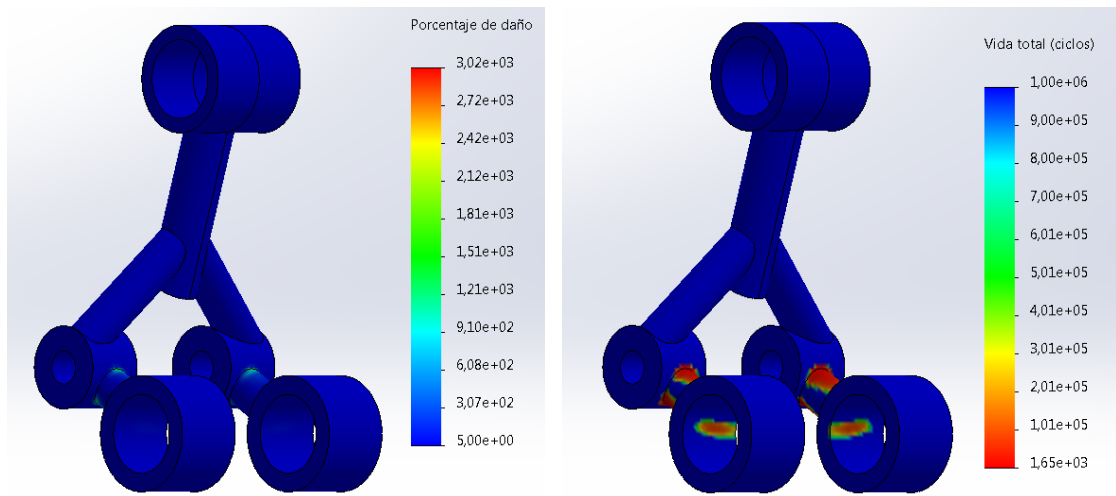


Figura 60. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño n°2 con Acero 4130.

Tabla 10. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°2 de acero 4130.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	695	0,29	0,66	$3,02 \cdot 10^3$	1.650	100,45

Los resultados obtenidos nos muestran que el rediseño de acero ha obtenido peores resultados que la pieza original, pero no tan desfavorables como en el caso del aluminio. Las tensiones son mayores, superan el límite elástico, lo que provoca deformación permanente. Por otro lado, el desplazamiento sufrido es superior, pero cercano al de la pieza original y el factor de seguridad se ha visto reducido por debajo de 1, lo que indica que la pieza fallará. En el estudio a fatiga se puede observar que los daños sufridos son inferiores a los de la pieza original, pero la vida se ha visto también reducida sustancialmente en las zonas de mayores tensiones que son las zonas de unión entre perfiles. Por último, se ha conseguido una reducción del peso, pero observando los datos se puede concluir que este rediseño fabricado en acero no ha cumplido con la norma, y por tanto no es válido.

Titanio Ti-6Al-4V

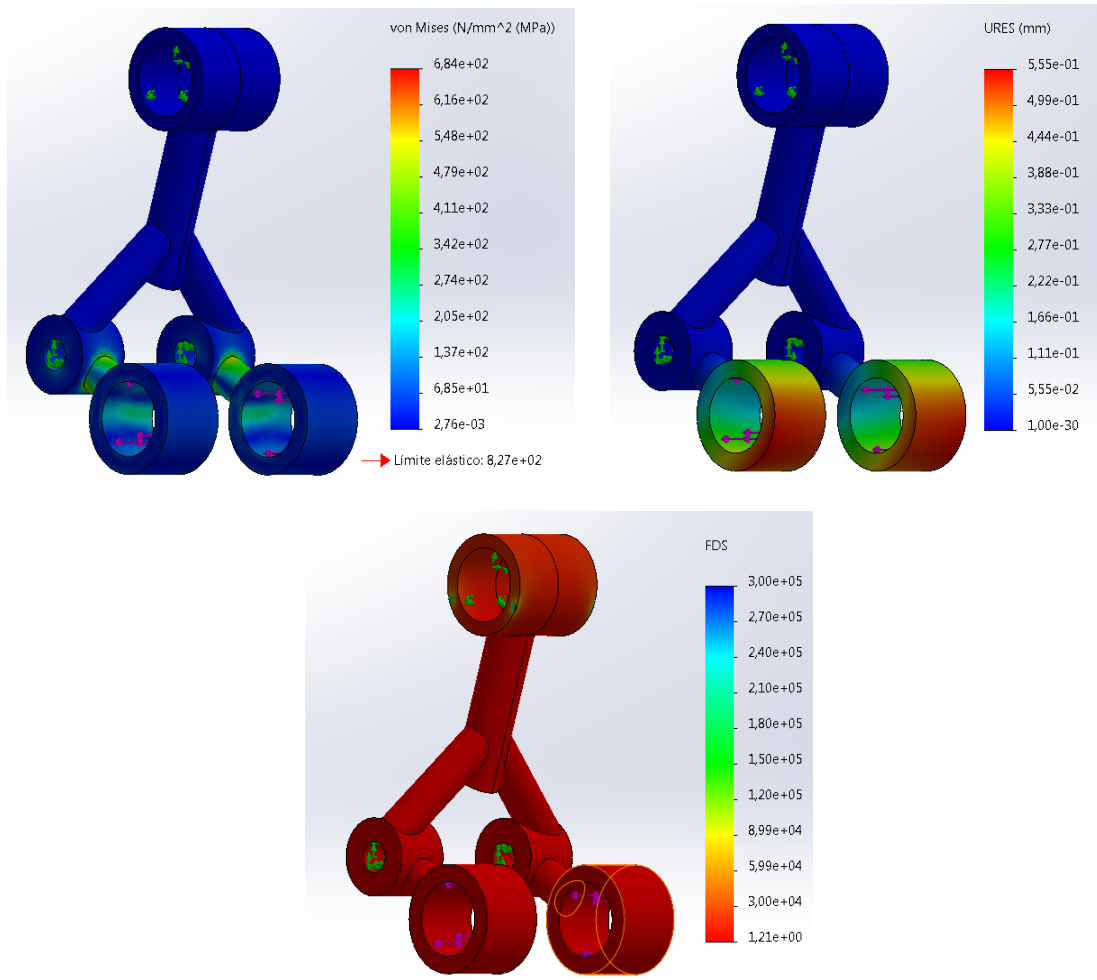


Figura 61. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº2 con Titanio Ti-6Al-4V.

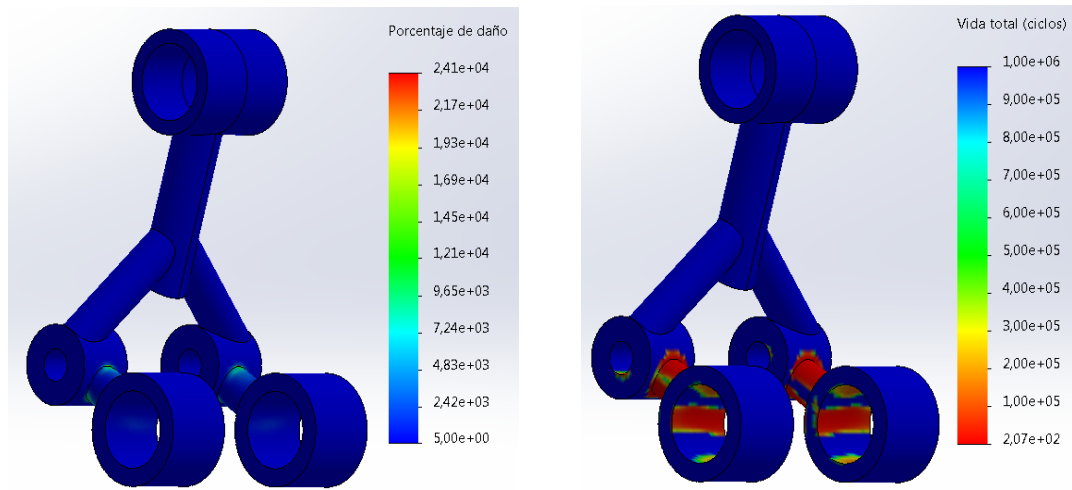


Figura 62. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño n°2 con Titanio Ti-6Al-4V.

Tabla 11. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°2 de titanio Ti-6Al-4V.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	684	0,56	1,20	$2,41 \cdot 10^4$	207	56,67

Observando los datos obtenidos de los ensayos estáticos y de fatiga, se puede determinar, al igual que en el material anterior, que los valores obtenidos son peores que los de la pieza original. En cambio, el peso se ha visto reducido lo cual es una mejora. Con respecto a las tensiones, se observa que las tensiones son mayores, sin embargo, éstas no superan el límite elástico por lo que no habrá deformación permanente. Por otro lado, se observa que los desplazamientos son grandes, pero cercanos a los originales y que el factor de seguridad es superior a 1, lo que nos indica que cumplirá con los requerimientos establecidos. En cuanto al estudio de fatiga, se puede ver que los daños son superiores a la pieza original y en lo referente a la vida se ve reducida en 7.000 ciclos. Por tanto, se puede concluir que este rediseño fabricado en titanio no mejora el diseño original y tampoco cumple con la norma.

Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi

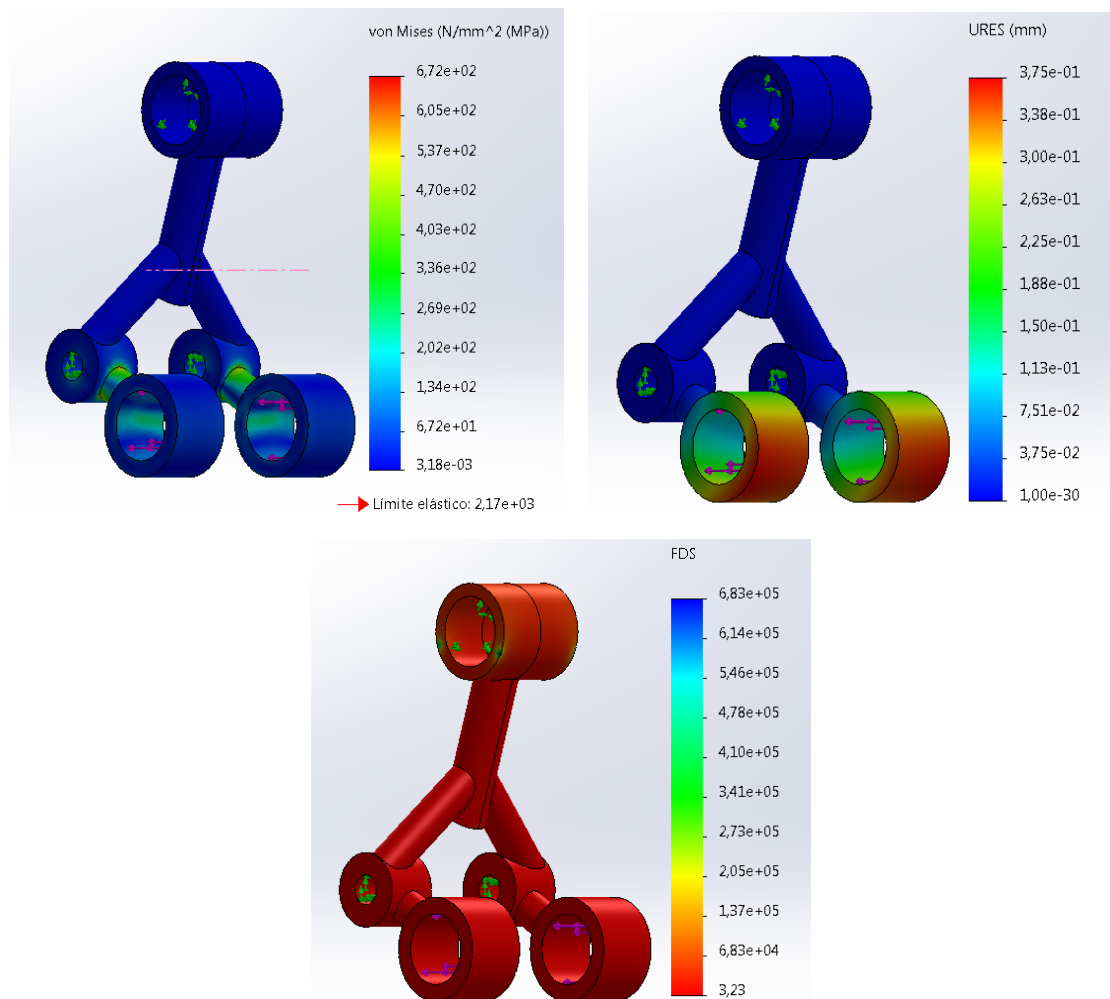


Figura 63. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño n°2 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

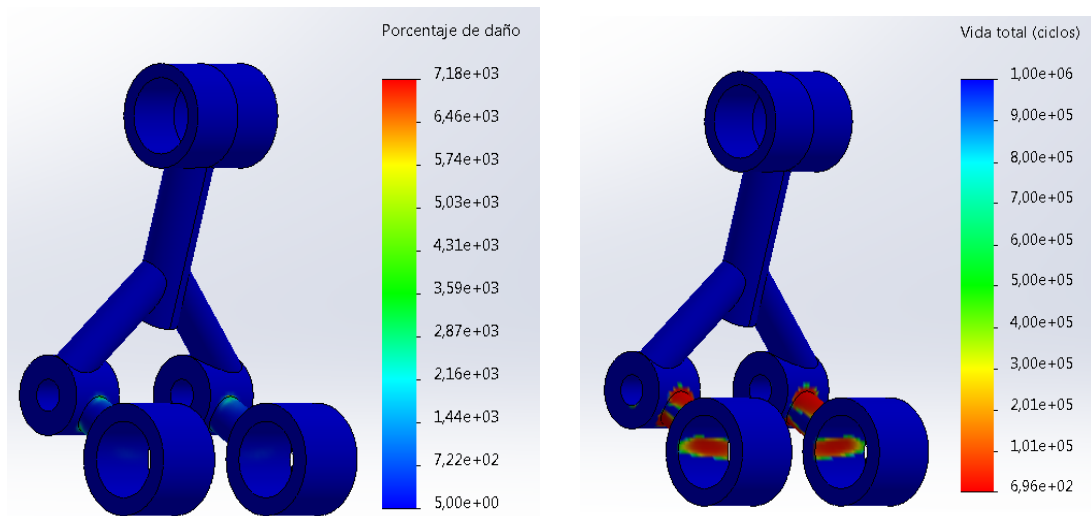


Figura 64. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño n°2 con Carbono y resina epoxi.

Tabla 12. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°2 de carbono y resina epoxi.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	672	0,38	3,23	$7,18 \cdot 10^3$	696	19,83

En este caso revisando los datos de la **Tabla 17**, se puede observar que algunos de los datos del nuevo rediseño han mejorado respecto de los datos de la pieza original. El factor de seguridad ha aumentado indicando que no fallará y el peso se ha visto reducido sustancialmente. Por otro lado, el resto de los datos no han mejorado, pero están cerca de los valores de la pieza original, menos la vida que se ha reducido casi en 7000 ciclos. En conclusión, este rediseño fabricado en carbono mejora algunos de los datos originales, pero no cumple con la norma por lo que es un diseño no válido.

I.7.2.3 Conclusiones.

Con respecto al rediseño nº2, observando las tensiones, podemos determinar que en el acero y el aluminio se supera el límite elástico por lo que en algunas zonas habrá deformación plástica, mientras que en el titanio y el carbono no se supera por lo que no se deformará plásticamente, además de no alcanzar niveles de tensión significativos. En cuanto a los desplazamientos, el que más deformación ha sufrido es el aluminio, mientras que el que menos ha sido el acero. La deformación del titanio y acero se ha situado entre ambos extremos. Por último, hay que comentar que el factor de seguridad en las piezas de acero y de aluminio es inferior a 1 lo que indica que la pieza fallará, por lo contrario, en las piezas de titanio y de carbono es superior a 1, indicando que no fallará.

En cuanto a los datos extraídos del estudio a fatiga, los daños de la pieza de aluminio han sido los mayores y la de acero los menores. En lo referente a los ciclos de vida de las piezas de aluminio y titanio han obtenido un número bastante reducido de ciclos, mientras que la de carbono y acero han alcanzado un mayor número de ciclos, pero ninguno de ellos cumple con la norma, ya que esta dice que debe aguantar 50.000 ciclos y ninguno de las piezas lo cumple. Por tanto, este rediseño tampoco resulta válido.

Tabla 13. Resumen de los datos obtenidos de los estudios de la pieza original y el rediseño nº2 con los materiales seleccionados.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original						
Aluminio	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño						
Aluminio	676	0,84	0,41	$5,00 \cdot 10^4$	100	34,55
Acero	695	0,29	0,66	$3,02 \cdot 10^3$	1.650	100,45
Titanio	684	0,56	1,20	$2,41 \cdot 10^4$	207	56,67
Carbono	672	0,38	3,23	$7,18 \cdot 10^3$	696	19,83

I.7.3 Rediseño nº3.

En este tercer rediseño, también se ha buscado reducir la masa de la pieza, pero en este caso en vez de reconstruir la pieza en su totalidad se ha modificado la pieza inicial retirando parte del material que había en exceso, para buscar una pieza más optimizada.

I.7.3.1 Modificaciones.

La primera y la más llamativa, al igual que en el rediseño nº1, se ha retirado la parte central, debajo de orificio superior. En este caso, dicha zona se ha reducido al máximo, ya que no soportaba una excesiva carga y casi no sufría deformación, al igual que en el rediseño nº1.

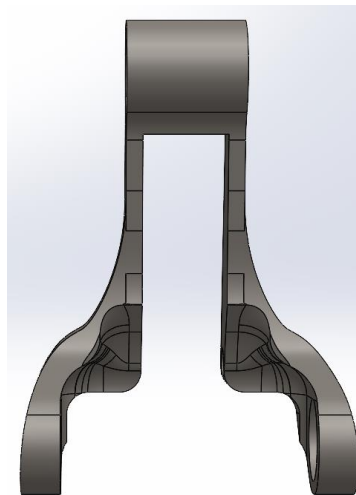


Figura 65. Recorte de la parte central debajo del orificio superior rediseño nº3.

La segunda modificación que se ha realizado es la reducción de la parte baja de la bieleta, ya que como se comprobó en la pieza original, esta no soportaba grandes tensiones. Por tanto, con la herramienta de *SolidWorks*, extruir corte, se ha realizado una retirada de material y posteriormente con la herramienta redondeo se han redondeado todas las aristas para no crear zonas de sobretensión.

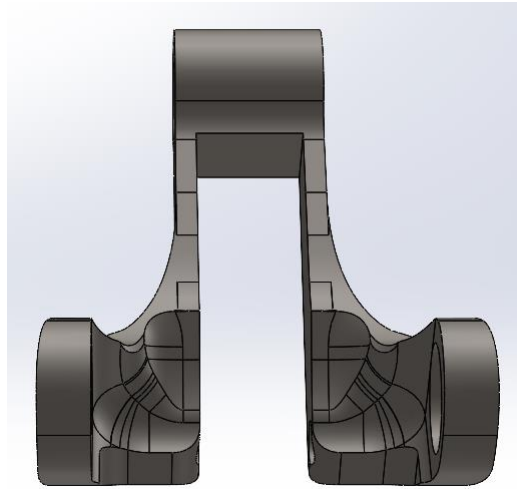


Figura 66. Rebaje de material en la parte baja de la bieleta.

En la siguiente imagen se puede observar el aspecto final del tercer rediseño realizado a la bieleta original.



Figura 67. Render del rediseño n°3 de la bieleta.

I.7.3.2 Simulaciones.

A continuación, al igual que en los demás rediseños, para validar la pieza obtenida se ha llevado a cabo las mismas simulaciones que se han realizado a la pieza original.

Al igual que en los demás rediseños, se ha realizado primero un estudio de carga estática y uno a fatiga de la pieza rediseñada con el material original, aluminio 6061-T6. En la **Figura 71** y **Figura 72** se representan los resultados obtenidos de los estudios comentados.

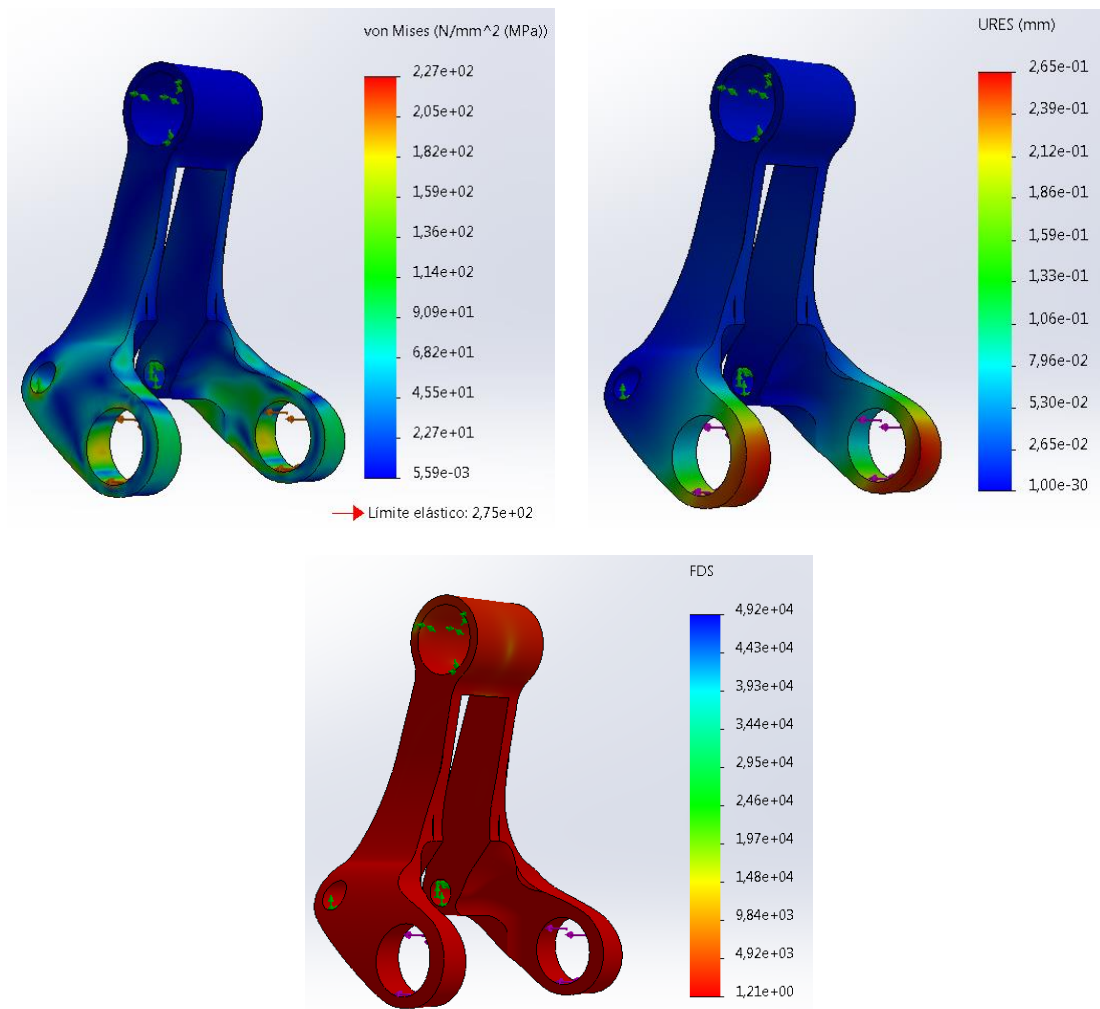


Figura 68. Resultados obtenidos del estudio de carga estática con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº3.

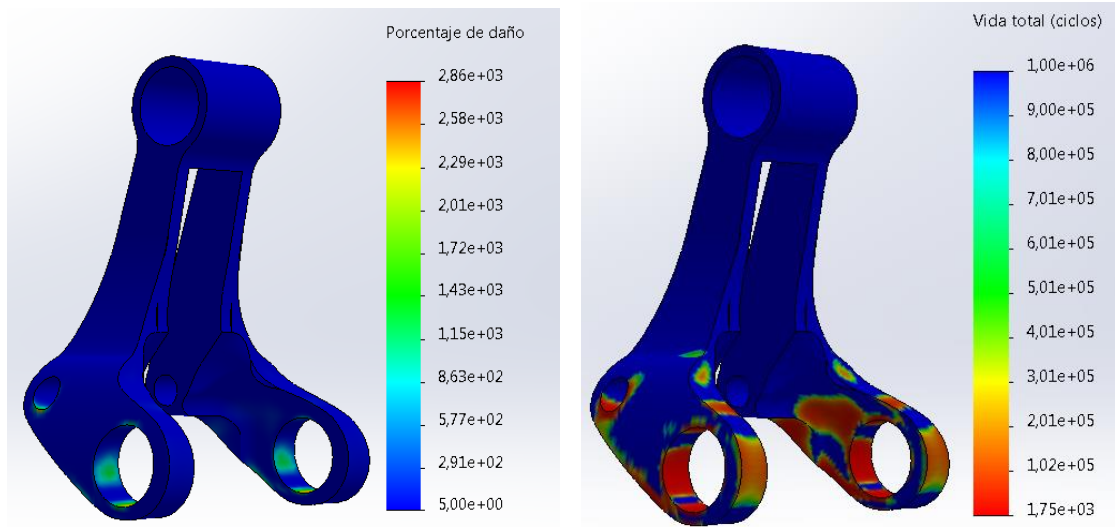


Figura 69. Resultados obtenidos del estudio de fatiga con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño n°3.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de los estudios realizados además de los datos de la pieza original para poder realizar una comparación entre ambas piezas.

Tabla 14. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°3, con el material original aluminio 6061-T6.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	227	0,27	1,2	$2,86 \cdot 10^3$	1.750	96,34

En este rediseño, con el material original, los resultados son más desfavorables que los obtenidos en la pieza original. En cuanto al estudio de carga estática, las tensiones son superiores, además de producirse deformación plástica. En este caso, las mayores tensiones se encuentran en las zonas de unión con el basculante trasero. En cuanto a los desplazamientos se produce una deformación cercana a la de la pieza original y el factor de seguridad se ve reducido, pero siendo superior a 1, lo que nos indica que cumple los requerimientos. Por otro lado, en el estudio a fatiga el porcentaje de daño también se ve aumentado y la vida se ve reducida en casi 6.000 ciclos. Por

tanto, se puede determinar que el rediseño nº3 con el material original no cumple, es decir, no se produce una mejora.

Al igual que en los rediseños anteriores con el objetivo de comprobar el comportamiento de la bieleta con diferentes materiales, se ha realizado el análisis estático y a fatiga con los materiales seleccionados para el presente proyecto que son el acero, el titanio y carbono, además del ya estudiado aluminio como material original de la pieza. Los estudios se han realizado según la norma, en el de carga estática se ha seguido la hipótesis expuesta en el apartado III.3.2 y en cuanto al estudio de fatiga se indica que se debe realizar con un mínimo de 50.000 ciclos.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en el rediseño nº3 con los diferentes materiales seleccionados:

Acero 4130 normalizado

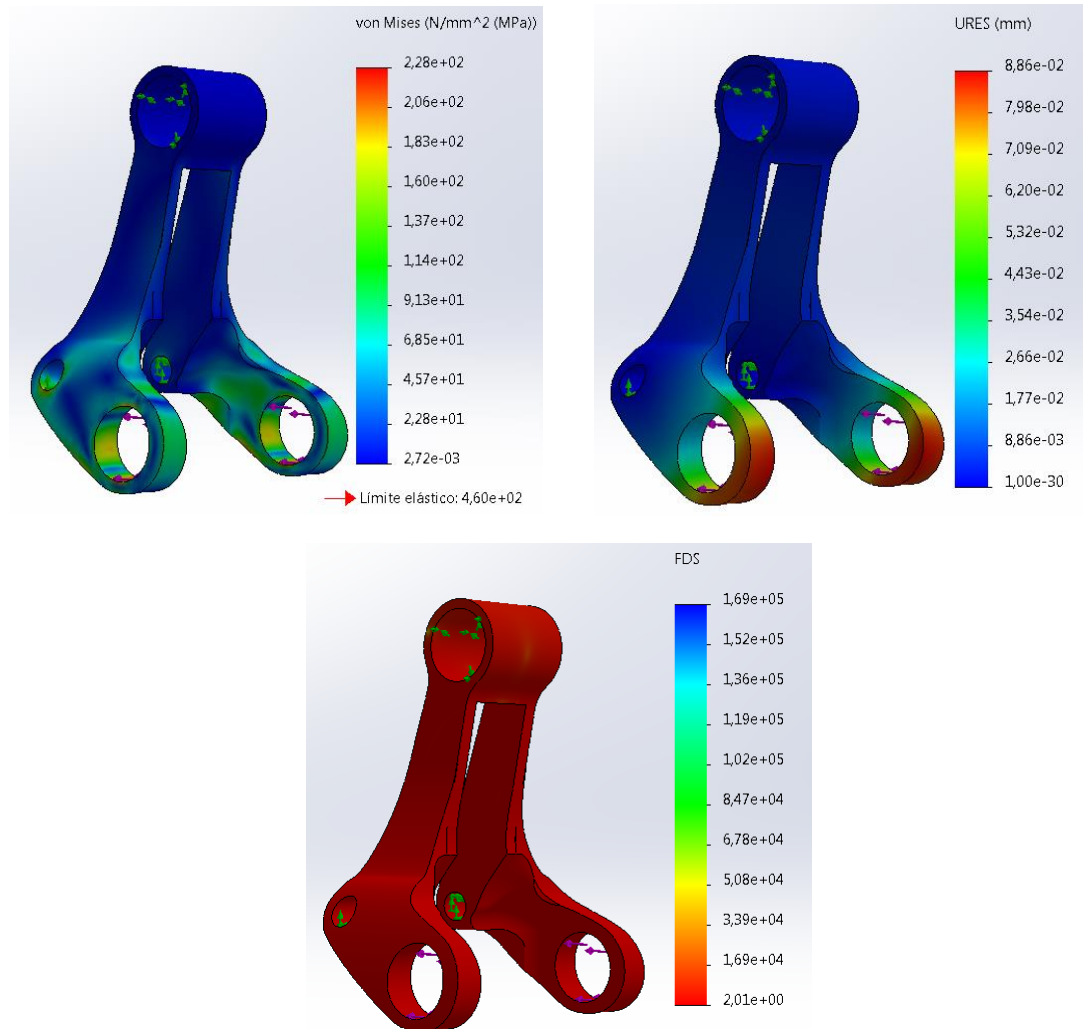


Figura 70. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº3 con Acero 4130.

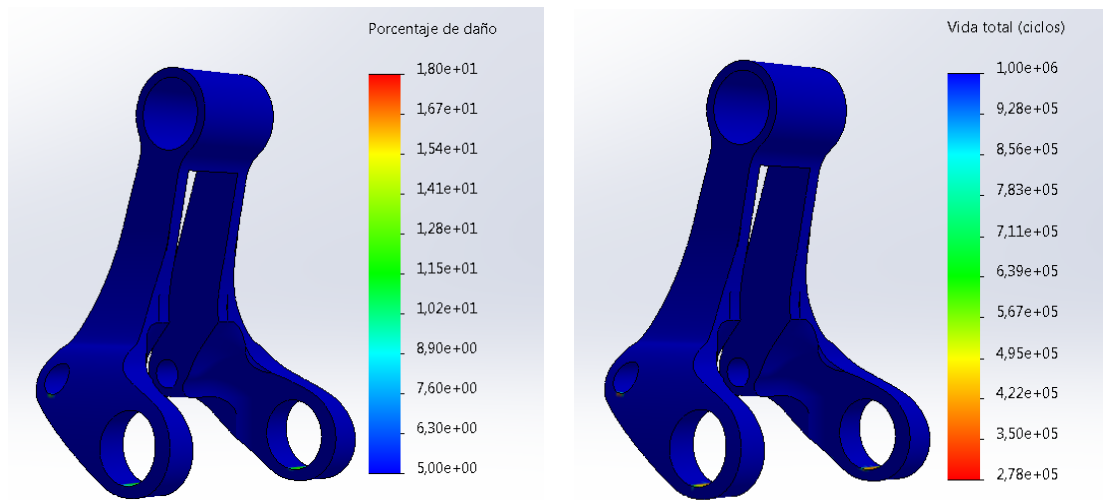


Figura 71. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño n°3 con Acero 4130.

Tabla 15. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°3 de acero 4130.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	228	0,089	2,01	$1,8 \cdot 10^1$	278.000	280,11

Los resultados obtenidos nos muestran que el rediseño de acero ha obtenido mejores resultados que la pieza original. Las tensiones son mayores, pero no se supera el límite elástico; el desplazamiento sufrido es inferior al original y el factor de seguridad se ha visto aumentado hasta 2, lo que indica que la pieza aguantara. En el estudio a fatiga se puede observar que los daños sufridos son inferiores a los de la pieza original y en lo referente a la vida se ha visto también aumentada considerablemente hasta los casi 280.000 ciclos. Se puede determinar que este rediseño fabricado en acero es válido, aunque el peso ha aumentado considerablemente respecto al de la pieza original.

Titanio Ti-6Al-4V

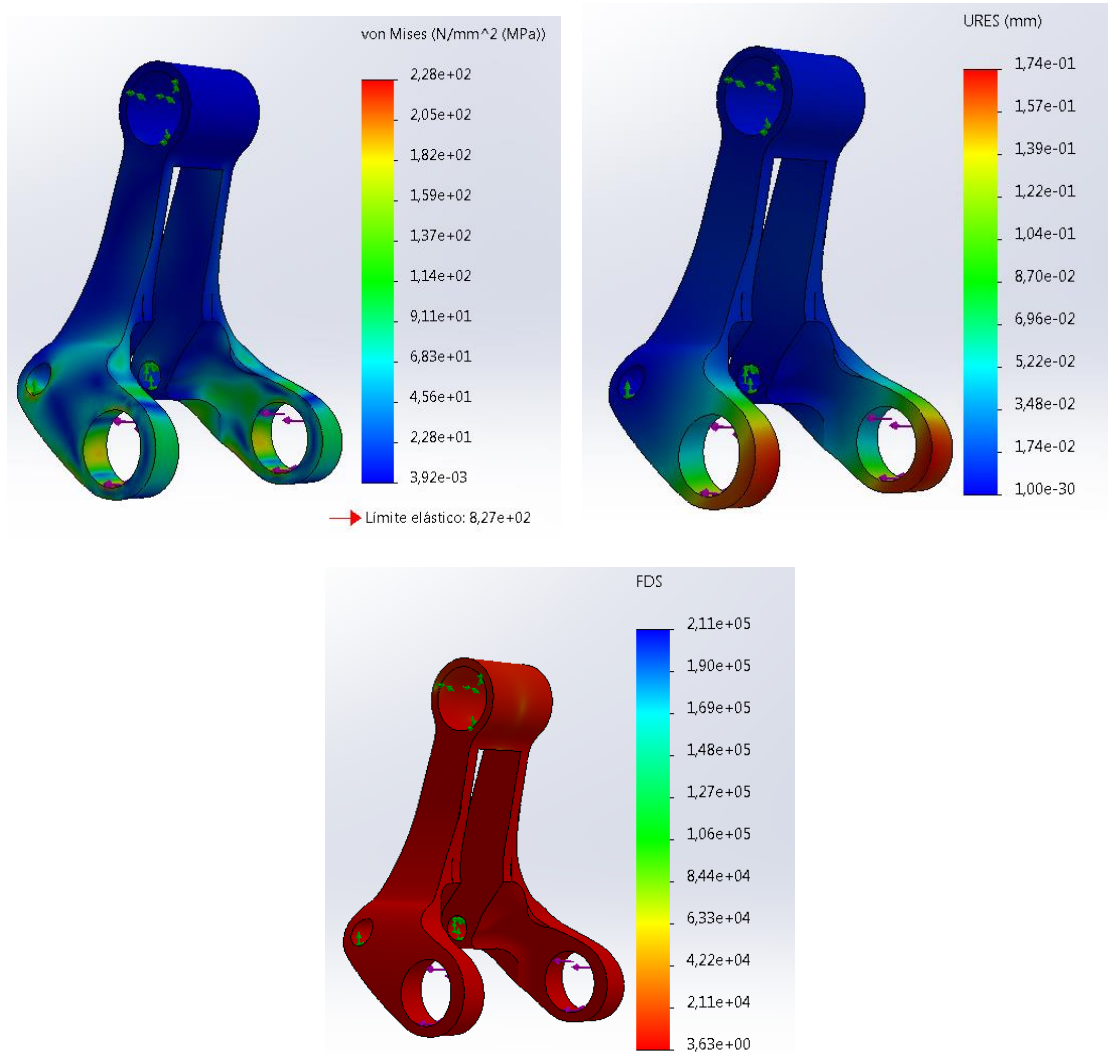


Figura 72. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº3 con Titanio Ti-6Al-4V.

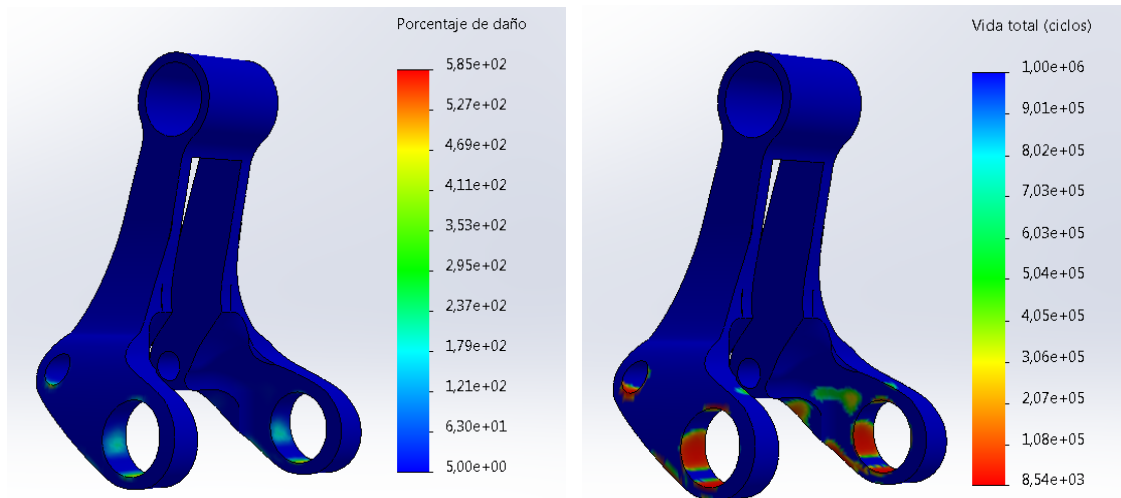


Figura 73. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño n°3 con Titanio Ti-6Al-4V.

Tabla 16. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño n°3 de titanio Ti-6Al-4V.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	228	0,17	3,6	$5,82 \cdot 10^2$	8.540	158,03

Observando los datos obtenidos de los ensayos estáticos y de fatiga, se puede determinar, que algunos de los datos obtenidos son peores que los datos originales como, las tensiones, los desplazamientos y el peso de la pieza. Con respecto al ensayo de fatiga se observa que los daños son inferiores a la original y en lo referente a la vida se ve aumentada hasta los en 8.540 ciclos. En este caso se puede concluir que este rediseño fabricado en titanio mejora en algunos aspectos el diseño original, pero no cumple la norma.

Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi

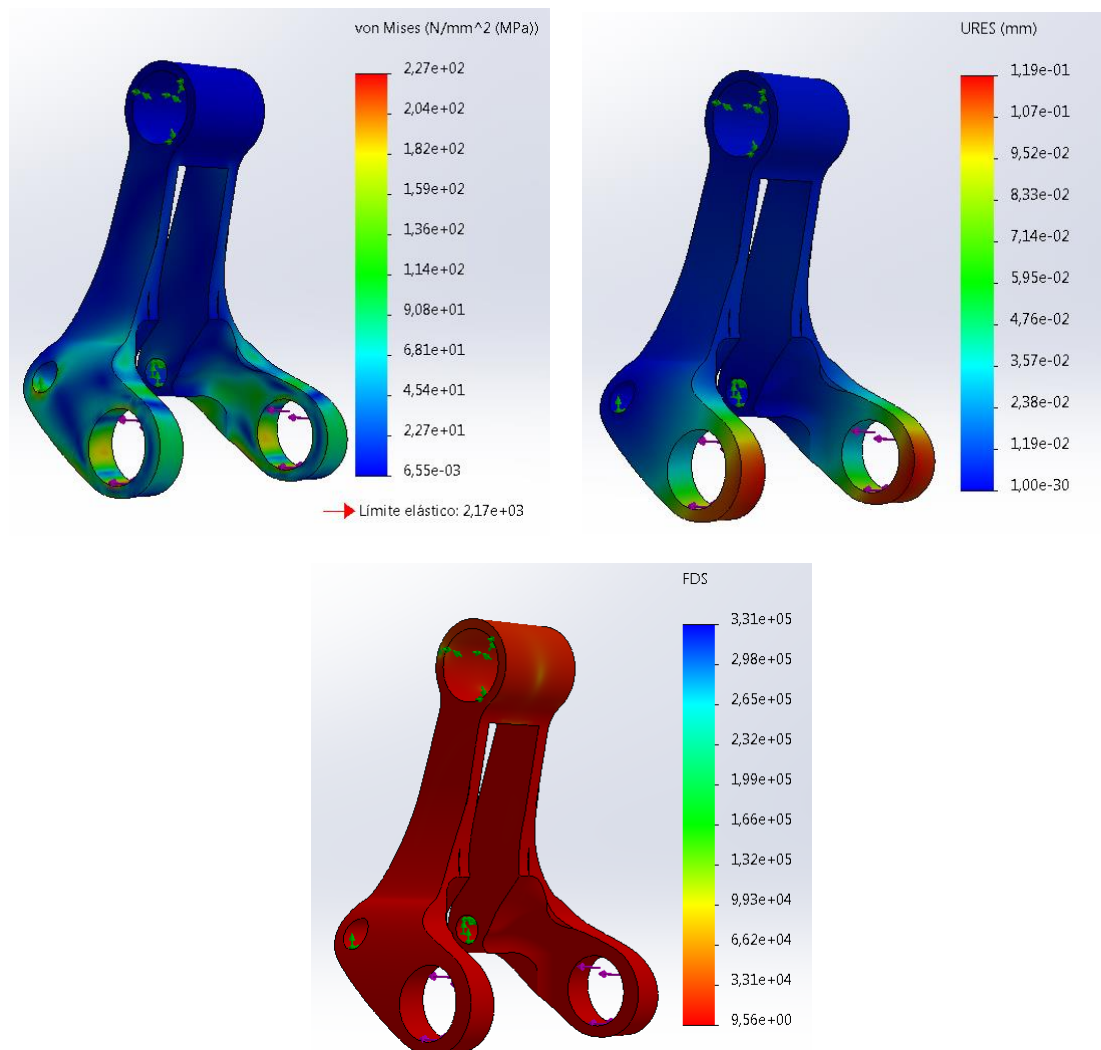


Figura 74. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº3 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

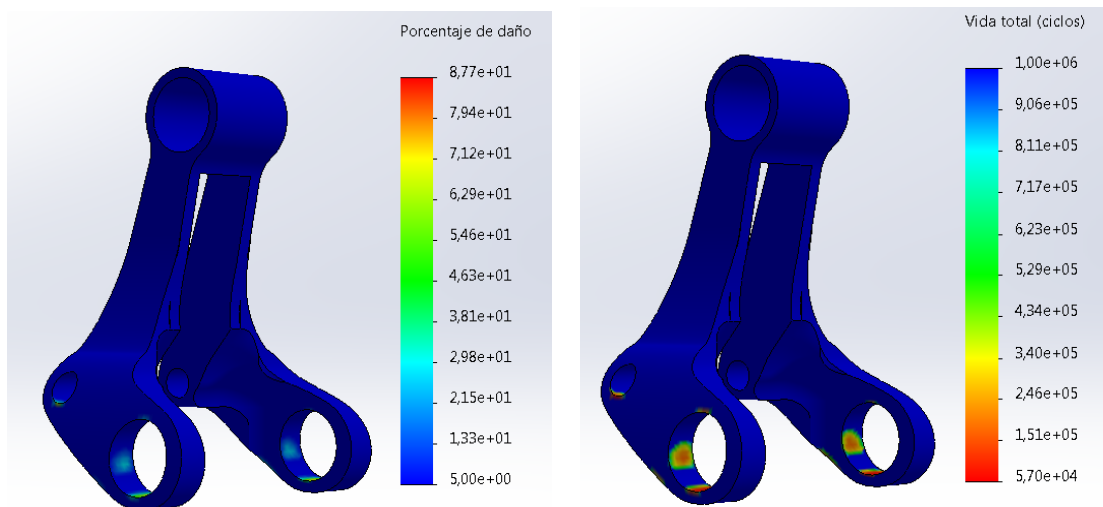


Figura 75. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº3 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

Tabla 17. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº3 de carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño	227	0,12	9,6	$8,77 \cdot 10^1$	57.000	55,31

En este caso revisando los datos se puede observar, que el presente rediseño fabricado en carbono ha mejorado respecto a la pieza original. Los datos que han mejorado son los desplazamientos, el factor de seguridad, los daños, la vida y el peso. Por otro lado, las tensiones son mayores, pero no se supera el límite elástico, por lo que no sufrirá deformación. En conclusión, este rediseño cumple con la norma y mejora los datos originales, por lo que el rediseño fabricado en fibra de carbono es apto.

I.7.3.3 Conclusiones.

En resumen, en el rediseño nº3 se ha podido observar que las tensiones no superan el límite elástico en ninguno de los materiales, por lo que no se deformará plásticamente in ningún caso. En cuanto a los desplazamientos la pieza que más deformación ha sufrido es la de aluminio mientras que la que menos ha sido la de acero.

En lo referente al factor de seguridad todas las piezas presentan un factor de seguridad superior a 1, indicando que no fallará, siendo el mayor el del carbono que es 9,6. En cuanto a los daños se ha de comentar que los sufridos en la pieza de aluminio son los mayores y la pieza que menos ha sufrido ha sido la de acero. Los daños en todas las piezas se sitúan en la misma zona, en los orificios de unión con el basculante. Con respecto a la vida se puede observar que fallan las piezas de aluminio y titanio, en cambio la de carbono y acero cumplen con la norma, exigiendo esta solo 50.000 ciclos. En lo referente al peso se puede determinar que la pieza más pesada es la de acero superando el de la original, mientras que las más ligera es la de carbono reduciendo el original. Por tanto, se puede concluir que el rediseño nº3 fabricado en fibra de carbono y acero cumplen con la norma, pero el único que mejora en todos los aspectos el diseño original es del rediseño de fibra de carbono.

Tabla 18. Resumen de los datos obtenidos de los estudios de la pieza original y el rediseño nº3 con los materiales seleccionados.

	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad	Porcentaje Daño	Vida (ciclos)	Peso (g)
Pieza original						
Aluminio	155	0,13	1,8	$6,59 \cdot 10^3$	7.586	136,95
Rediseño						
Aluminio	227	0,27	1,2	$2,86 \cdot 10^3$	1.750	96,34
Acero	228	0,089	2,01	$1,8 \cdot 10^1$	278.000	280,11
Titanio	228	0,17	3,6	$5,82 \cdot 10^2$	8.540	158,03
Carbono	227	0,12	9,6	$8,77 \cdot 10^1$	57.000	55,31

I.8 RESULTADO FINAL.

A la vista de los datos que se han obtenido de los estudios anteriores, se puede determinar que el **rediseño nº3 fabricado en fibra de carbono** es el óptimo, ya que cumple con la norma y mejora los datos de la pieza original. En la siguiente tabla podemos comparar los datos más relevantes de la pieza original y el rediseño.

Tabla 19. Comparación de los datos originales con los del rediseño seleccionado.

	Pieza original	Rediseño nº3
Material	Aluminio 6061-T6	Carbono de alta resistencia con matriz de resina epoxi.
Masa (g)	136,95	55,31
Factor de seguridad	1,80	9,60
Coste material (€/Kg)	1,86	35,40

El rediseño nº3 tiene un peso muy reducido, y como se ha nombrado anteriormente cumple con la norma, superando los 50.000 ciclos del ensayo de fatiga, posee un factor de seguridad muy alto, esto se debe para cumplimiento con la norma en la parte de fatiga, debe estar sobredimensionado para cumplir con los 50.000 ciclos. En lo referente al precio, es la pieza con el material más caro, pero este factor no ha sido relevante a la hora de elegir esta pieza, ya que en esta modalidad de bicicleta es más importante la reducción de peso que el precio de la pieza.

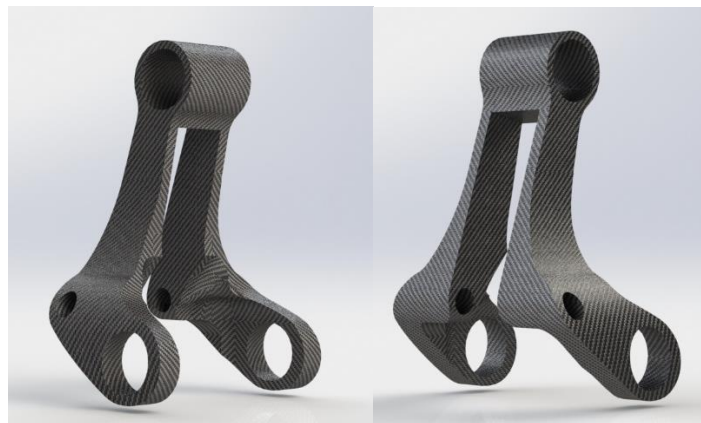


Figura 76. Rediseño nº3 elección final para la fabricación del prototipo.

I.9 CONCLUSIÓN.

A la vista de cómo se ha desarrollado el proyecto y basándonos en los objetivos marcados al comienzo de este, se ha podido observar que mientras transcurría ha habido una toma de decisiones que han variado el desarrollo inicial planteado. Esto nos ha enseñado que debemos ser versátiles y resolutivos con los problemas que van surgiendo durante el desarrollo. En cuanto al tema de los objetivos, han de estar bien definidos, ya que gracias a ellos podemos trazar la ruta del proyecto, además de que al finalizar el proyecto se ha de intentar completar todos y en este caso, se han cumplido, con la baza de lo comentado anteriormente de que la hoja de ruta del proyecto ha ido variando, pero como los objetivos estaban bien marcados ha sido fácil reconducirlo.

Los problemas surgidos durante el proyecto se han resuelto de manera eficiente, como el escaneo de la pieza original que a la hora de simular por la cantidad de puntos y tamaño de malla el programa no soportaba, por lo que la solución fue reconstruir la pieza a mano con el programa *SolidWorks*, que fue el primer objetivo en cumplirse, obtener un diseño CAD de la pieza. A partir de este momento los objetivos se fueron cumpliendo poco a poco.

Con el estudio dinámico realizado se ha podido conocer el funcionamiento de la bieleta sobre la bicicleta, con lo que posteriormente poder realizar un estudio como sólido libre y comprobar los datos de partida de la pieza original, para poder rediseñar y optimizarla. La pieza original obtuvo un factor de seguridad de 1,8 y una vida de 7.586 ciclos, con los ensayos marcados por la norma.

En la selección de materiales se han buscado los más utilizados en las últimas décadas para la fabricación de bicicletas de competición, tanto materiales que están cada vez usándose menos como los que están en auge. De esta manera se ha podido obtener una amplia visión de cómo puede variar el comportamiento de una pieza, según del material del cual se fabrica.

Con ayuda del estudio a carga estática y fatiga realizado a la pieza original se ha podido rediseñar, buscando nuevas geometrías, pero respetando las de referencia; cambiar el material, para optimizar, mejorar el comportamiento y la seguridad; además de intentar reducir el peso final de la pieza con estos rediseños. Se realizaron 3 rediseños de los cuales los 2 primeros resultaron no válidos, ya que no cumplían con la

norma. La gran mayoría tenían los factores de seguridad por debajo de 1 lo que indicaba que fallaban y por otro lado donde todos fallaban era a fatiga, no cumplían los 50.000 ciclos exigidos. El rediseño nº3 fue el que mejores resultados obtuvo.

Al final del proyecto el resultado ha sido un rediseño de la pieza original optimizado, con mejores prestaciones, peso reducido y con una nueva geometría, esto se ha obtenido gracias a los estudios y comparaciones realizadas durante todo el proyecto. El rediseño que mejor resultado obtuvo y cumplía con la norma fue el rediseño nº3 de fibra de carbono con un factor de seguridad de 9,6 y una vida de 57.000 ciclos.

Pensando en el futuro y las posibles mejoras que se podrían introducir a este proyecto serían:

- Tener un mayor abanico de materiales y sobre todo los *composites*, ya que están apareciendo materiales con altas prestaciones y baja densidad, lo que hace que sean materiales muy atractivos para este tipo de modalidad de ciclismo que prima la reducción de peso.
- Añadir más ensayos para comprobar la pieza en diferentes situaciones y ver su comportamiento.

Finalmente comentar, que este proyecto me ayudado aprender más e interesarme sobre este tema, además de querer seguir formándome.

II. ANEXOS

II. ANEXOS.

II.1 CÁLCULOS.

Se van a realizar los cálculos para conocer la geometría de la bicicleta “Orbea Oiz” y así poder posteriormente conocer la fuerza que le transmite el basculante a la bieleta para las diferentes hipótesis planteadas.

II.1.1 GEOMETRÍA.

Lo primero es seleccionar la geometría de la bicicleta, ya que se dispone del manual de montaje en el cual se especifican las diferentes geometrías que se pueden encontrar en la siguiente imagen, podemos observar todas las disponibles.

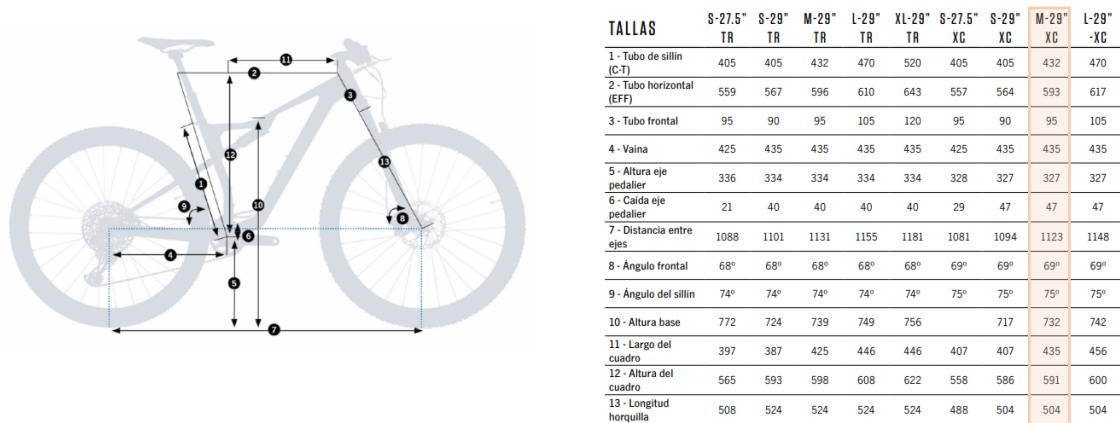


Figura 77. Geometría seleccionada de la bicicleta “Orbea Oiz”.

La geometría seleccionada para este estudio es la M 29"-XC, ya que se trata de una de las tallas más vendidas. Hay que comentar que aun así falta algunos datos de la geometría de la bicicleta, en específico el ángulo que forma el tirante inferior con el superior del basculante, ya que se trata de un basculante rígido y no varía su geometría podemos extraer el ángulo que forman entre ellos, con los datos que tenemos aplicando trigonometría.

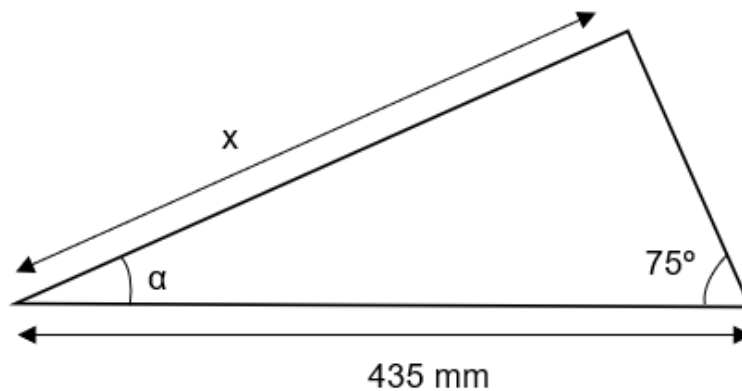


Figura 78. Geometría a determinar del basculante de la “Orbea Oiz”.

Aplicando trigonometría podemos obtener el valor del ángulo que buscamos.

$$\sin \beta = \frac{\text{cateto opuesto}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \sin 75 = \frac{x}{435} \rightarrow x = 420,18 \text{ mm}$$

$$\cos \alpha = \frac{\text{cateto contiguo}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \cos \alpha = \frac{420,175}{435} \rightarrow \alpha = 15^\circ$$

Una vez conocida toda la geometría de la bicicleta podemos realizar los cálculos de las fuerzas que recibe la bieleta en las diferentes hipótesis.

II.1.2 FUERZAS.

Se van a calcular diferentes hipótesis para conocer la fuerza que recibe la bieleta.

II.1.2.1 HIPÓTESIS 1.

La primera hipótesis se realizará según la norma **UNE-EN ISO 4210**, Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla, apartado 4. Cuadros; y subapartado 4.5. Cuadro, ensayo de fatiga con una fuerza vertical; teniendo en cuenta de que esta parte de la norma se utiliza para comprobar la integridad del cuadro sometido a una carga vertical, en nuestro caso se utilizara para comprobar si la bieleta es capaz de soportar esta carga especificada.

En este caso se van a realizar los cálculos con la hipótesis más extrema, es decir, la rueda trasera va a recibir la fuerza de 1.200 N, de esta forma se asegura la seguridad de la pieza a estudiar, maximizando la carga en el tren trasero de la bicicleta.

En el apartado anterior se ha calculado la geometría por lo que mediante trigonometría se puede conocer la fuerza ejercida en el tirante superior, que este transmite a la bieleta y es la que se quiere conocer.

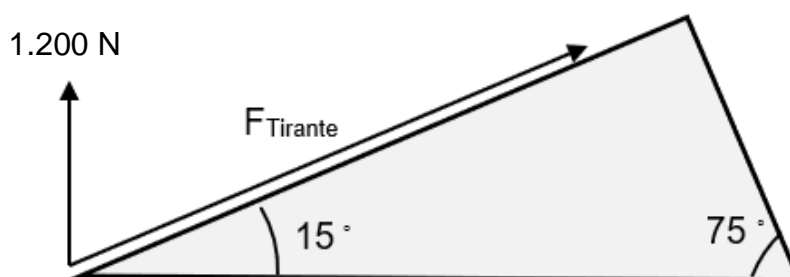


Figura 79. Triángulo trasero de la “Orbea Oiz” con la carga según la norma aplicada en el eje de a la rueda.

$$\cos \alpha = \frac{\text{cateto contiguo}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \cos 75 = \frac{1.200}{F_{Tirante}} \rightarrow F_{Tirante} = 4.636,44 \text{ N}$$

La fuerza ejercida en el tirante superior es de 4.636,44 N, es decir, esta es la fuerza que recibe la bieleta y es contrarrestada por el amortiguador

Esta hipótesis se aplicará a todos los diseños realizados en este proyecto, para realizar una comparación de estos y encontrar la pieza optimizada idónea.

II.1.2.2 HIPÓTESIS 2

La segunda hipótesis se realizará según la norma **UNE-EN ISO 4210**, Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla, Anexo C (Informativo), apartado C.1 Cuadros suspendidos. Ensayo juego del neumático; teniendo en cuenta de que esta parte de la norma se utiliza para comprobar que el neumático u otro componente, no

entran en contacto con el cuadro ni se separa de ningún componente, en nuestro caso se utilizara para comprobar si la bieleta es capaz de soportar esta carga.

Como la geometría del basculante ha sido calculada en el apartado II.1.1, directamente pasamos al cálculo de la fuerza que recibirá la bieleta. En este caso la norma indica:

- La rueda debe estar inflada a su máxima presión.
- Si el elemento de suspensión se puede bloquear, dejarlo abierto.
- Colocar la presión mínima al amortiguador.
- Fuerza a aplicar según la norma es de 2.800 N.

Además de disponer el cuadro de la siguiente manera para ensayarlo.

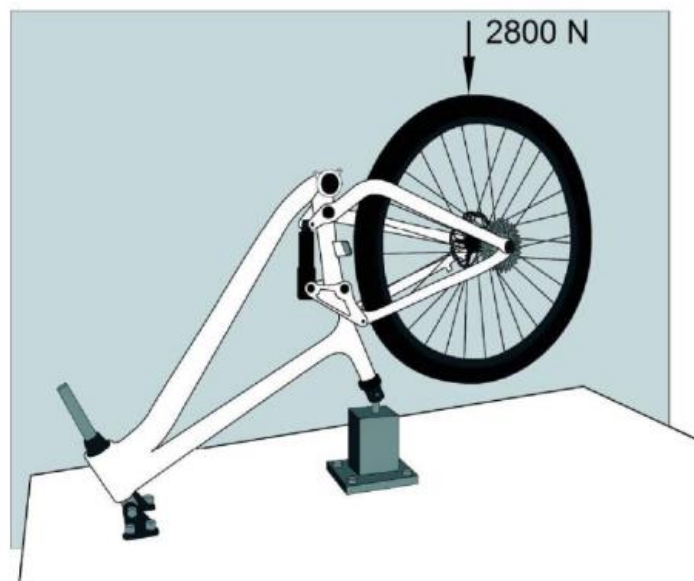


Figura 80. Ejemplo método de ensayo según la norma en el Anexo C.

En nuestro caso al conocer la geometría del basculante que es fijo podemos obtener la fuerza que reciben los tirantes superiores.

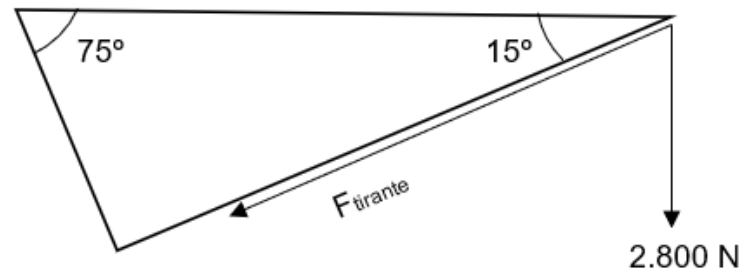


Figura 81. Geometría del basculante para calcular la fuerza que recibe el tirante superior.

$$\cos \alpha = \frac{\text{cateto contiguo}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \cos 75 = \frac{2.800}{F_{\text{Tirante}}} \rightarrow F_{\text{Tirante}} = 10.818,37 \text{ N}$$

Por lo que la fuerza que transmite el tirante hasta la bieleta en este tipo de ensayo es de 10.818,37 N. Esta hipótesis solo se aplicará al rediseño nº3 de fibra de carbono, es cual es el diseño definitivo.

II.1.2.3 HIPÓTESIS 3.

En esta tercera hipótesis supondremos que se realiza un salto con la bicicleta para representar el ensayo que comenta la norma **UNE-EN ISO 4210**, Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla, apartado 4. Cuadros; y subapartado 4.1. Cuadro, ensayo de choque; pero en este caso se va a llevar al extremo suponiendo una situación más extrema de la que marca la norma. Este caso se realizará con los siguientes datos:

- Altura de salto $\rightarrow h = 1 \text{ m}$
- Amortiguador bloqueado
- Peso ciclista $\rightarrow m_c = 73 \text{ Kg}$
- Peso bicicleta $\rightarrow m_b = 11 \text{ Kg}$
- Peso total $\rightarrow m = 74 \text{ kg}$
- Distancia recorrida en el impacto (Deformación) $\rightarrow d = 0,08 \text{ m}$
- Velocidad inicial $\rightarrow v_o = 0 \text{ m/s}$

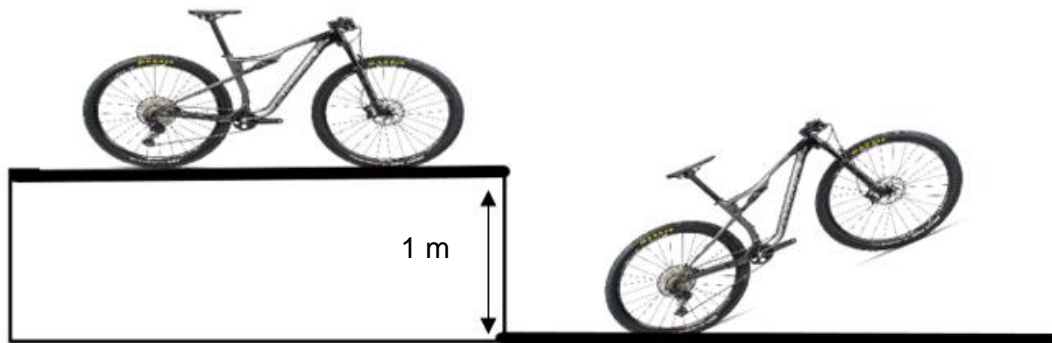


Figura 82. Imagen de la hipótesis 3 del salto de la bicicleta.

El ensayo se va a realizar dejando caer la bicicleta de la altura especificada anteriormente, la recepción será sobre la rueda trasera con el amortiguador bloqueado. En este caso se está llevando el ensayo al límite en un caso extremo, para verificar la que la pieza cumple.

Los pasos a seguir para conocer la fuerza que recibe la bicicleta en esta hipótesis son los siguientes.

El primer paso es determinar la energía que tiene el conjunto bicicleta-ciclista en lo alto del salto, por lo que se va a utilizar la fórmula de la energía potencial y energía cinética.

$$\text{Energía potencial} \rightarrow E_p = m \cdot g \cdot h = 92 \cdot 9,81 \cdot 1 = 824,04 \text{ J}$$

$$\text{Energía cinética} \rightarrow E_c = 0,5 \cdot m \cdot v^2 = 0,5 \cdot 92 \cdot 0^2 = 0 \text{ J}$$

$$\text{Energía mecánica} \rightarrow E_m = E_p + E_c = 824,04 + 0 = 824,04 \text{ J}$$

La energía que posee en lo alto del cortado es de 824,04 J, el siguiente paso es determinar la velocidad de impacto con la que llegara al suelo y así de esta manera poder determinar posteriormente la energía que tiene el conjunto bicicleta-ciclista en el suelo.

$$\text{Velocidad de impacto} \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1} = 4,43 \text{ m/s}$$

La velocidad de impacto de la rueda trasera contra el suelo es de 4,43 m/s, por lo que ahora se puede determinar la energía volviendo a aplicar las ecuaciones de la energía.

$$\text{Energía potencial} \rightarrow E_p = m \cdot g \cdot h = 92 \cdot 9,81 \cdot 0 = 0 \text{ J}$$

$$\text{Energía cinética} \rightarrow E_c = 0,5 \cdot m \cdot v^2 = 0,5 \cdot 92 \cdot 4,43^2 = 824,25 \text{ J}$$

$$\text{Energía mecánica} \rightarrow E_m = E_p + E_c = 0 + 824,25 = 824,25 \text{ J}$$

La energía tras el impacto es de 824,25 J, en este punto se puede comprobar que se cumple la ley de Conservación de la Energía, ya que en el punto más alto tiene la misma energía que tras el impacto de esta, pero en este caso interesa conocer la fuerza con la que impacta la rueda con el suelo. Aplicando el Principio Trabajo-Energía donde se relaciona el trabajo con la energía y a partir del trabajo conocer la fuerza de impacto con el suelo.

$$\text{Variación Energía cinética} \rightarrow \Delta E_c = E_{cf} - E_{c0}$$

$$\text{Trabajo neto} \rightarrow W = F \cdot d$$

$$\text{Principio Trabajo-Energía} \rightarrow W = \Delta E_c \rightarrow F \cdot d = E_f - E_0$$

Para un objeto en movimiento colisionando, el trabajo neto realizado es la fuerza promedio por la distancia que se ha recorrido en el impacto, en este caso conocemos el trabajo realizado y la distancia recorrida, que sería la deformación sufrida por la rueda y el basculante, por lo que se podría obtener la fuerza de impacto.

El tamaño de llanta es de 29" y con un ancho de llanta interior de 30 mm, cuenta con un neumático de 29 x 2,35 pulgadas lo que hace que la rueda en su conjunto tenga mucho perfil como se puede observar en la **Figura 83**.



Figura 83. Perfil de la rueda de la “Orbea Oiz”.

La deformación viene dada por la rueda en su totalidad, ya que el neumático está inflado con aire el cual al aplicar una presión se deforma, además de deformarse la llanta, en este caso el basculante al recibir el impacto también se deforma, pero muy poco. Tener en cuenta que el suelo se deformará. Por lo comentado anteriormente el conjunto al recibir el impacto se deformará 8 cm.

$$\text{Fuerza de impacto} \rightarrow F = \frac{E_{cf} - E_{c0}}{d} = \frac{824,25 - 0}{0,08} = 10.303,13 \text{ N}$$

Por lo tanto, la fuerza recibida en la rueda trasera por el impacto es 10.303,13 N. Al igual que en las otras hipótesis se busca la fuerza recibida en la bieleta y se va a obtener mediante la aplicación de fórmulas trigonométricas. Ya que se conoce la geometría se puede calcular directamente la fuerza.

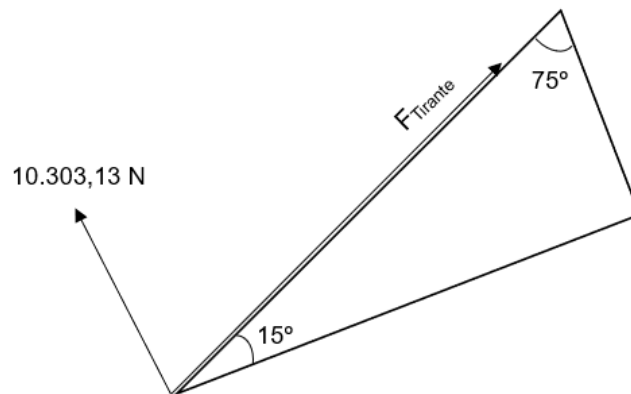


Figura 84. Posición basculante de la hipótesis 3 en la recepción de la caída.

$$\cos \alpha = \frac{\text{cateto contiguo}}{\text{hipotenusa}} \rightarrow \cos 75 = \frac{10.303,13}{F_{Tirante}} \rightarrow F_{Tirante} = 39.808,22 \text{ N}$$

La fuerza que recibe la bieleta del tirante superior en esta hipótesis sería de 39.808,22 N. Esta hipótesis solo se aplicará al rediseño nº3 de fibra de carbono, es cual es el diseño definitivo.

II.2. SELECCIÓN DE MATERIALES.

Los materiales que se expondrán a continuación han sido seleccionados tras una búsqueda de los materiales más utilizados en la actualidad en la fabricación de bicicletas. Alguno de ellos ha disminuido su uso debido a sus características, mientras que otros han aumentado de forma exponencial gracias a sus excelentes propiedades, las cuales permiten cumplir el objetivo principal que busca la industria ciclista como es el de reducir el peso de la bicicleta al mínimo. Los materiales seleccionados son los siguientes:

Acero

El acero ha sido el material por excelencia para la construcción de los cuadros de bicicletas durante el último siglo, pero hoy en día su uso se ha visto reducido drásticamente. Sin embargo, es un material a tener en cuenta a la hora de realizar este proyecto.

El acero seleccionado es el Acero aleado 4130 normalizado, el cual es el más usado para la construcción de bicicletas y sus componentes. Es un acero de baja aleación que contiene 0,2%Mo y 1%Cr como elementos de refuerzo. Posee una buena resistencia, tenacidad, resistencia a la corrosión y maquinabilidad.

Tabla 20. Propiedades del Acero Aleado 4130 normalizado.

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	$2,05 \cdot 10^5$	MPa
Coefficiente de Poisson	0,29	N/D
Límite de tracción	731	MPa
Límite elástico	460	MPa
Densidad de masa	7.850	kg/m ³

Aluminio

Es el material más usado en la industria ciclista. Este material es tan popular gracias a las propiedades mecánicas que presenta y a su bajo coste comparado con el resto de los materiales. Actualmente se usan varios tipos de aluminios en la industria ciclista:

- Al 6061-T6
- Al 7075

En este caso, el material seleccionado es el Aluminio 6061-T6, ya que es el más utilizado actualmente debido a sus buenas propiedades mecánicas y su bajo coste.

Tabla 21. Propiedades Aluminio 6061-T6.

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	$6,9 \cdot 10^4$	MPa
Coefficiente de Poisson	0,33	N/D
Límite de tracción	310	MPa
Límite elástico	275	MPa
Densidad de masa	2.700	kg/m ³

Titanio

El titanio es uno de los materiales con mejores prestaciones que hay en el mercado actualmente. Algunas bicicletas de competición están hechas de este material, especialmente aquellas destinadas a terrenos montañosos, puesto que tiene gran resistencia a los impactos y a la torsión. La principal desventaja de este material es su elevado coste. El material seleccionado para nuestro estudio es el Ti-6Al-4V.

Tabla 22. Propiedades del Ti-6Al-4V.

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	$1,048 \cdot 10^5$	MPa
Coefficiente de Poisson	0,31	N/D
Límite de tracción	1.050	MPa
Límite elástico	827,37	MPa
Densidad de masa	4.428,78	kg/m ³

Fibra de carbono

La fibra de carbono presenta características mecánicas equiparable a la de los metales y además también tiene una densidad mucho menor a la mayoría de estos, lo que proporciona un bajo peso, que es el objetivo que buscan actualmente las marcas de bicicletas.

Podemos encontrar 2 familias principales de fibra de carbono y luego dentro de estas familias existen diferentes tipos de fibras. Estas familias son: las de alto módulo y las de alta resistencia. Mediante el programa *informático Ansys Granta EduPack*, se realizó una búsqueda de los diferentes tipos de fibra de carbono, la fibra de carbono seleccionada es de alta resistencia con matriz de resina epoxi, con una relación 30 % resina epoxi y 70% de fibra de carbono.

Tabla 23. Propiedades de la Fibra de carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.

Propiedades	Valor	Unidades
Módulo elástico	$1,54 \cdot 10^5$	MPa
Coefficiente de Poisson	0,34	N/D
Límite de tracción	2.170	MPa
Límite elástico	2.170	MPa
Densidad de masa	1.550	kg/m ³

II.2.1. Comparativa de los materiales.

En la siguiente tabla podremos encontrar un resumen de las principales características de los materiales seleccionados para ensayar la pieza en concreto.

Tabla 24. Tabla comparativa de los diferentes materiales, sus propiedades y el coste por kilo.

Propiedades	Acero	Aluminio	Titanio	Fibra de carbono
E (MPa)	$2,05 \cdot 10^5$	$6,90 \cdot 10^4$	$1,05 \cdot 10^5$	$1,54 \cdot 10^5$
ν	0,29	0,33	0,31	0,34
σ_{\max} (MPa)	731	310	1.050	2.170
σ (MPa)	460	275	827,37	2.170
ρ (kg/m ³)	7.850	2.700	4.428,78	1.550
Precio (€/Kg)	0,84	1,86	22,30	35,40

II.3. SIMULACIONES.

Se van a mostrar los resultados obtenidos de las simulaciones realizadas con el programa *SolidWorks* para la pieza definitiva, es decir, el rediseño nº3 de fibra de carbono, para comprobar si es capaz de cumplir unas sollicitaciones más estrictas que la norma y además también se va a simular la pieza original para comparar los datos. Las hipótesis a simular son la 2 y 3 del apartado anterior II.1.2.

La pieza se va a tratar como un sólido rígido, por lo que añadir una bisagra fija en el orificio superior, el cual se ancla al cuadro, y en el anclaje del amortiguador un anclaje fijo obtenemos un modelo hiperestático. Y la carga se va a aplicar en los orificios inferiores donde se conecta el basculante.

Comentar que en este caso solo se mostraran los datos obtenidos de un ensayo a carga estática, por lo tanto, se van a mostrar los datos: tensiones de Von Mises, Desplazamientos y Factor de seguridad; ya que como se ha comentado anteriormente se va a comprobar la pieza definitiva con hipótesis más estrictas que las marcadas por la norma y compararla con la pieza original.

II.3.1 HIPÓTESIS 2.

En esta hipótesis la carga estática a aplicar es de 10.818,37 N, el material del diseño definitivo es Fibra de carbono de alto módulo con matriz de resina Epoxi y el material de la pieza original es de Aluminio 6061-T6.

Los datos obtenidos para esta segunda hipótesis para la pieza con el diseño final a carga estática son:

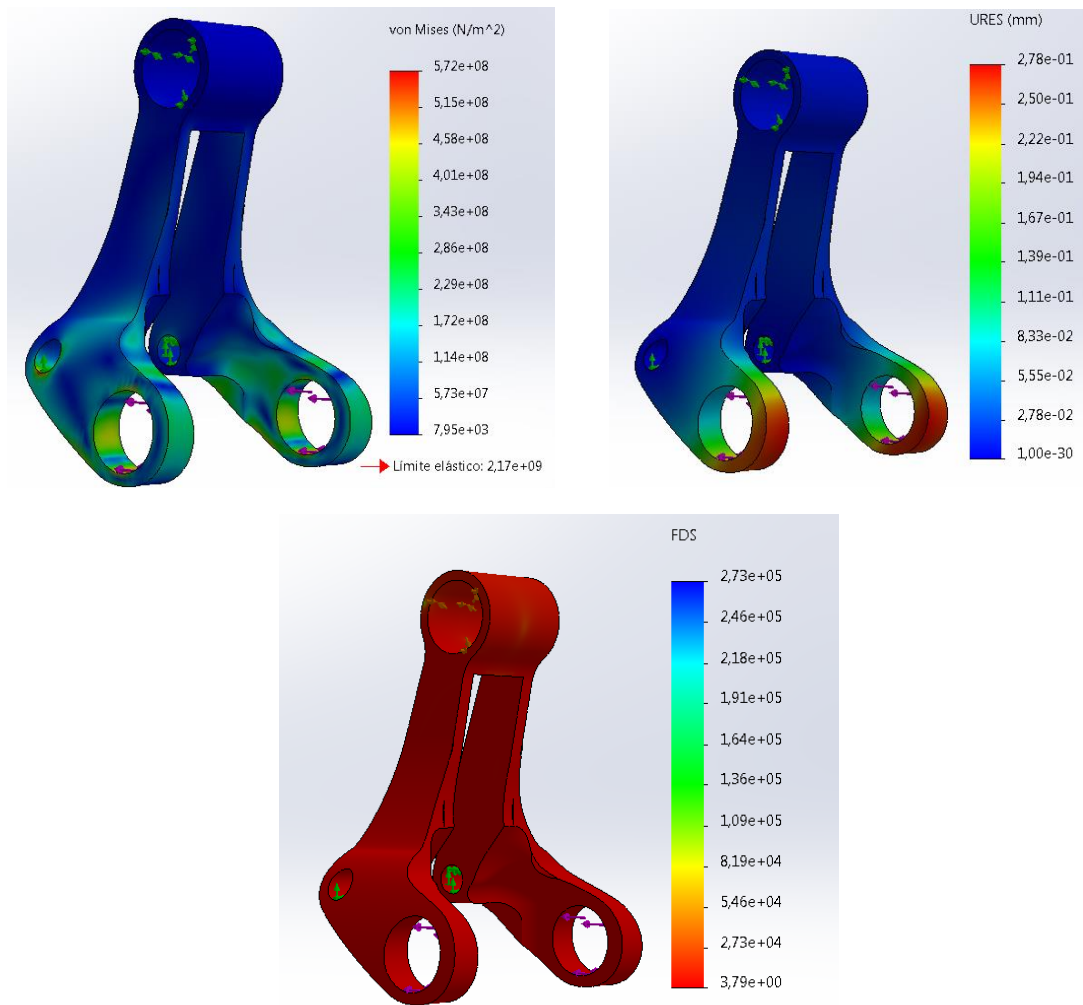


Figura 85. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 3 para el rediseño nº3 de fibra de carbono.

Los datos obtenidos para esta segunda hipótesis para la pieza original a carga estática son:

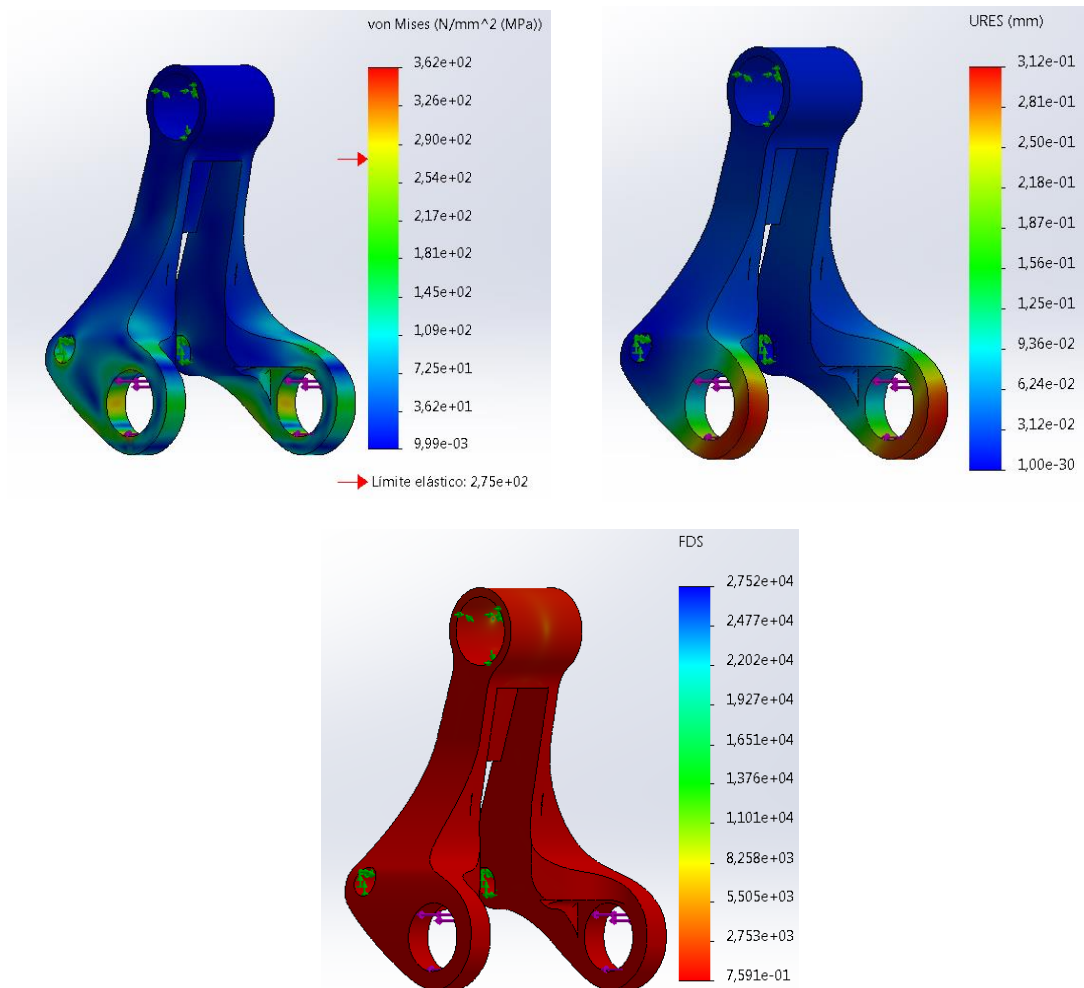


Figura 86. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 2 para el diseño original de aluminio.

Tabla 25. Comparativa de los resultados obtenidos del estudio a carga estática de la hipótesis 2.

	Material	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
Rediseño nº3	Fibra de carbono	572	0,28	3,80
Diseño Original	Al 6061-T6	362	0,31	0,76

Si se compara la **Figura 85.** y la **Figura 86.** con ayuda de la **Tabla 25.** se puede observar que los datos obtenidos de la pieza definitiva son mejores que los de la pieza original. En lo referente a las tensiones la original sufre una menor tensión, pero se supera el límite elástico por lo que se deformará plásticamente, mientras que la definitiva no. En los desplazamientos la pieza definitiva ha sufrido un desplazamiento menor, aunque ambos desplazamientos son similares. Por último, hay que comentar que la pieza original tiene un factor de seguridad por debajo de 1 por lo que fallará, mientras que la final tiene un factor de 3,6 indicando que no fallará.

En conclusión, se puede determinar que la pieza definitiva es mejor que la pieza original y cumple con la hipótesis 2.

II.3.2 HIPÓTESIS 3.

En esta hipótesis la carga estática a aplicar es de 39.808,22 N, el material del diseño definitivo es Fibra de carbono de alto módulo con matriz de resina Epoxi y el material de la pieza original es de Aluminio 6061-T6.

Los datos obtenidos para esta tercera hipótesis para la pieza con el diseño final a carga estática son:

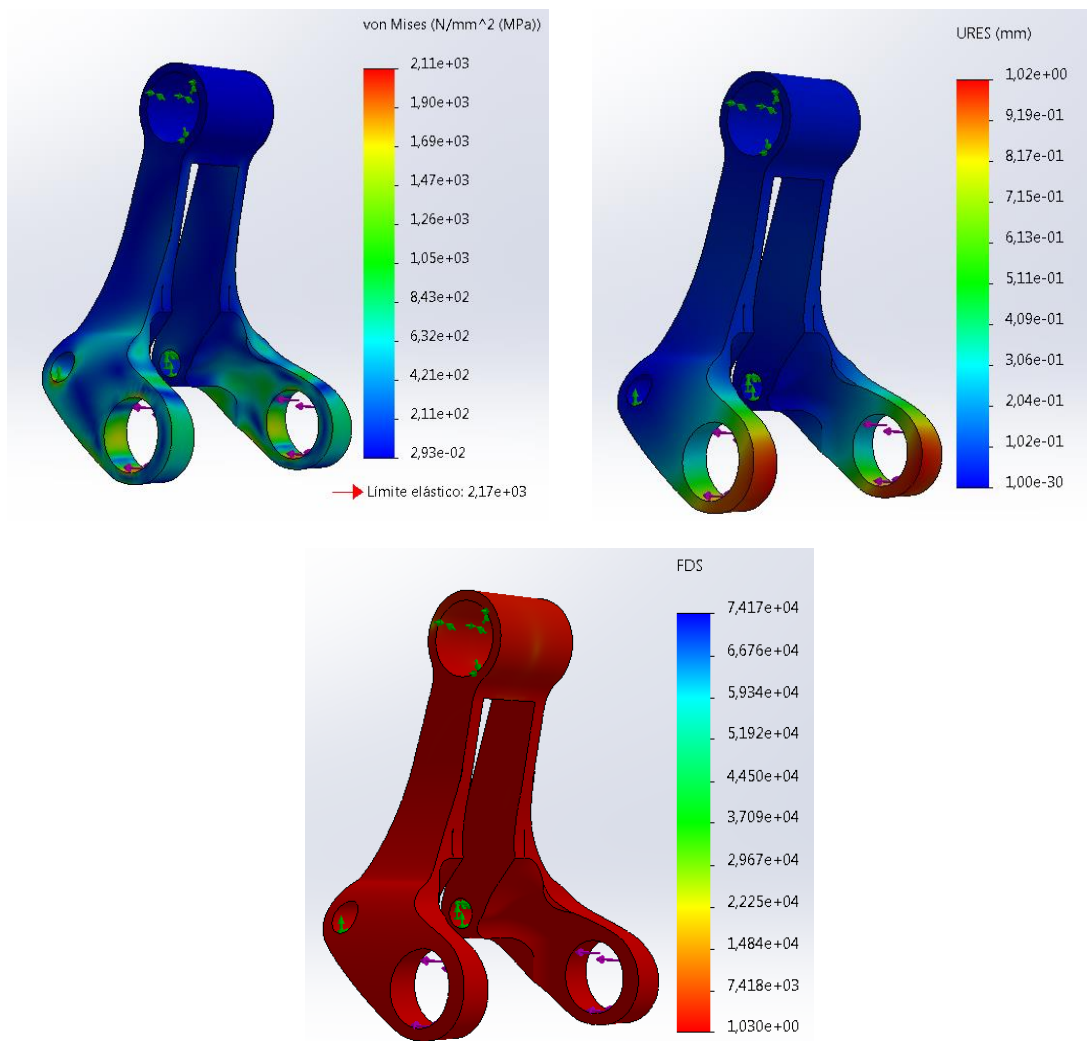


Figura 87. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 3 para el rediseño nº3 de fibra de carbono

Los datos obtenidos para esta tercera hipótesis para la pieza original a carga estática son:

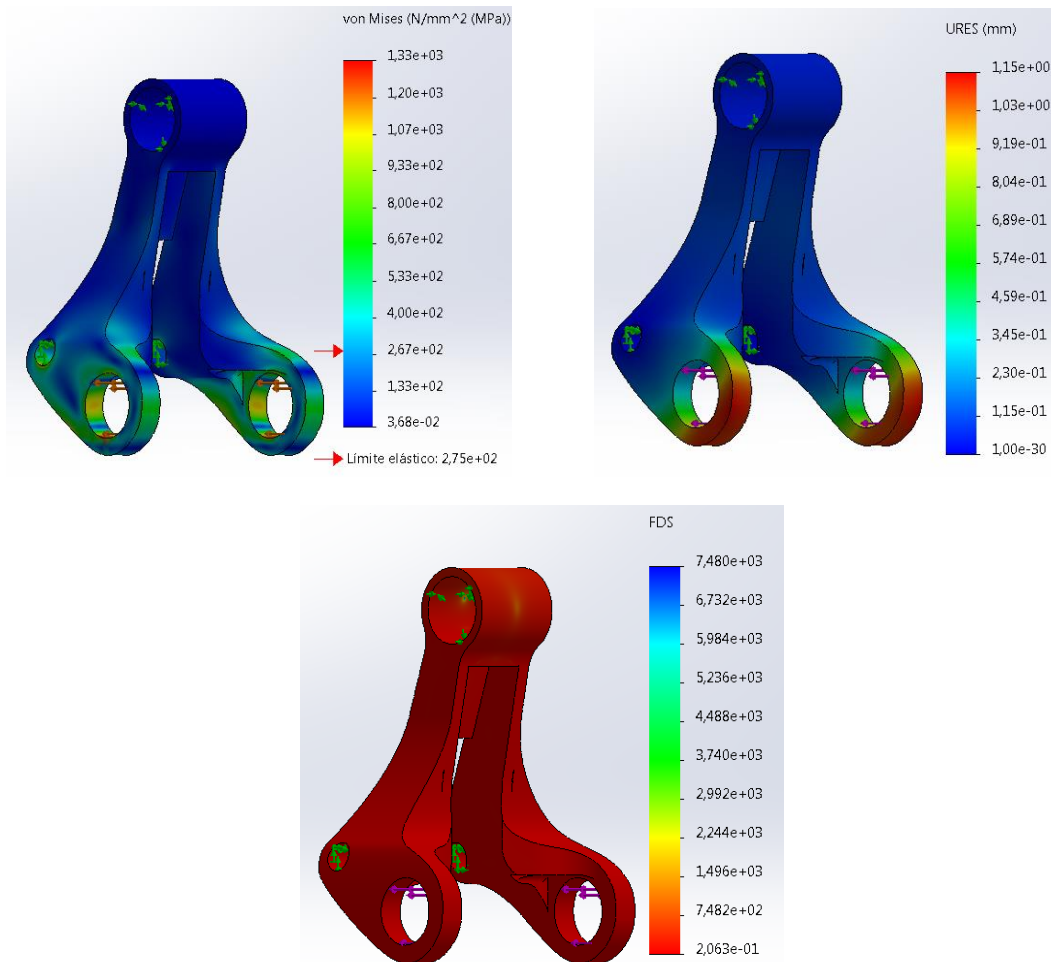


Figura 88. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 3 para el diseño original de aluminio.

Tabla 26. Comparativa de los resultados obtenidos del estudio a carga estática de la hipótesis 3.

	Material	Tensiones Von Mises (MPa)	Desplazamiento (mm)	Factor de seguridad
Rediseño nº3	Fibra de carbono	2.110	1,02	1
Diseño Original	Al 6061-T6	1.330	1,15	0,21

Si se compara la **Figura 87.** y la **Figura 88.** con ayuda de la **Tabla 26.** se puede observar que los datos obtenidos de la pieza definitiva son mejores que los de la pieza original. En lo referente a las tensiones la original sufre una menor tensión, pero se supera el límite elástico por lo que se deformará plásticamente, mientras que la definitiva no. En los desplazamientos la pieza definitiva ha sufrido un desplazamiento menor, pero grandes en ambos casos por encima de 1 mm. Por último, hay que comentar que la pieza original tiene un factor de seguridad por debajo de 1 por lo que fallará, mientras que la final tiene un factor de 1 indicando que no fallará.

En conclusión, se puede determinar que la pieza definitiva es mejor que la pieza original y cumple con la hipótesis 3.

II.4 FABRICACIÓN.

En este apartado se hará uso de la herramienta *Ansys Granta Edupack*, para la elección del mejor modo de fabricación del prototipo siguiendo determinados criterios.

Para empezar, hay que definir la escala de fabricación a la cual se quiere llevar esta pieza. En este caso se pretende fabricar pocas unidades, un lote de 100 piezas, ya que se trata de una mejora únicamente para las bicicletas de competición, esto condiciona el método de fabricación.

La pieza se va a estar fabricada en fibra de carbono y existen gran variedad de métodos de fabricación, pero debido a lo comentado anteriormente de que va a ser un lote reducido de piezas, la manera más rápida y económica es mediante CNC. Para poder fabricar la pieza mediante este proceso se deben realizar una serie de pasos antes de mecanizar la pieza. Los pasos que seguir para la fabricación son:

Para comenzar un procesado primario, se ha de conformar un tocho de fibra de carbono, por lo que la manera más sencilla es mediante el método VARTM. El cual mediante la superposición de capas de fibra de carbono impregnadas de resina epoxi y con la ayuda de la máquina de vacío se crea un tocho de fibra de carbono.

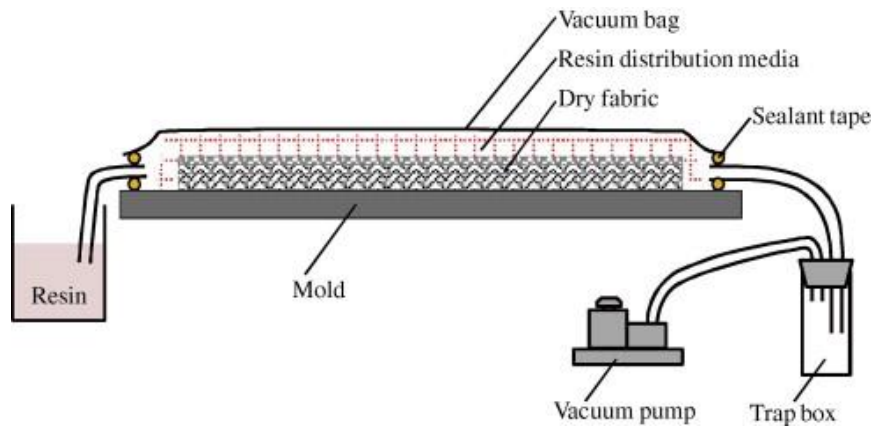


Figura 89. Método de fabricación VARTM para la primera parte de la fabricación.

Después de retirar la pieza del VARTM se introducirá en un autoclave con alta temperatura y presión para mejorar la interacción fibra-matriz.



Figura 90. Autoclave para la segunda parte de la fabricación.

El segundo procesado se ha de realizar un fresado para modelar la pieza en el tocho y posteriormente se ha de efectuar un taladrado para realizar los agujeros de los rodamientos y anclaje del amortiguador.



Figura 91. CNC para la tercera y cuarta parte de la fabricación.

Una vez realizados estos 4 pasos tendremos la pieza fabricada en su totalidad.

III. PLIEGO DE CONDICIONES

III. PLIEGO DE CONDICIONES.

III.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

Este proyecto está enfocado al estudio, optimización y rediseño de la bieleta de la bicicleta “Orbea Oiz” para la competición.

III.2 PLIEGO DE CONDICIONES GENERALES

III.2.1 NORMATIVA APLICABLE.

La normativa aplicable a este proyecto será la **UNE-EN ISO 4210**. Esta normativa es la utilizada para los requisitos de seguridad y puesta en funcionamiento para las bicicletas.

La cual cita “Esta norma internacional ha sido desarrollada como respuesta a una petición presente en todo el mundo y su objetivo es garantizar que las bicicletas producidas de conformidad con esta norma internacional sean tan seguras como sea posible. Los ensayos han sido concebidos para garantizar la resistencia y la durabilidad de los diferentes componentes y de la bicicleta en su conjunto, exigiendo una calidad elevada a todos los niveles y teniendo en cuenta los aspectos relacionados con la seguridad desde la etapa del diseño.

El campo de aplicación ha sido restringido a las cuestiones de seguridad y se ha evitado específicamente una normalización de los componentes.

Si la bicicleta está prevista para una utilización sobre la vía pública, se aplica la reglamentación nacional.”

La norma cuenta con 9 partes, pero se tendrán en cuenta las siguientes partes:

- **ISO 4210-2:2015.** Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 2: Requisitos para bicicletas de paseo, para adultos jóvenes, de montaña y carretera.
- **ISO 4210-6:2015.** Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla.

IV. PLANOS

IV. PLANOS DE DISEÑO.

IV.1 PLANO PIEZA ORIGINAL.

IV.2 REDISEÑOS.

IV.2.1 REDISEÑO 1.

IV.2.2 REDISEÑO 2.

IV.2.3 REDISEÑO 3.

6 5 4 3 2 1

D

D

C

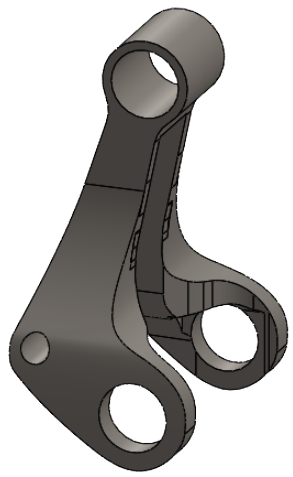
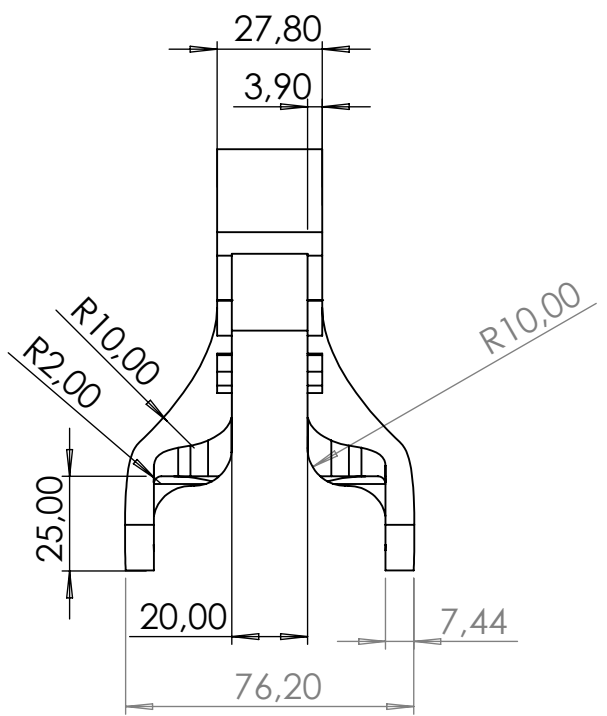
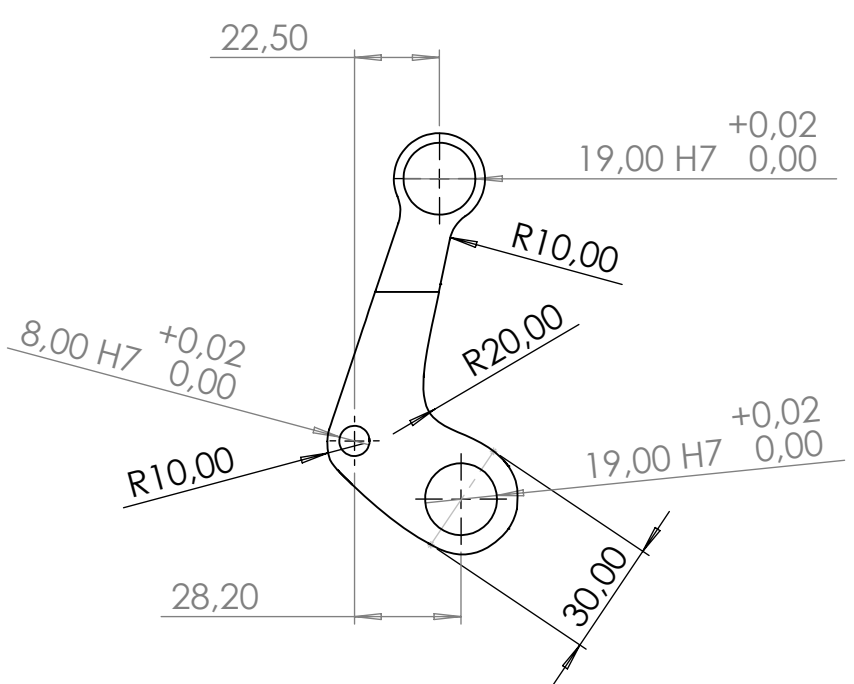
C

B

B

A

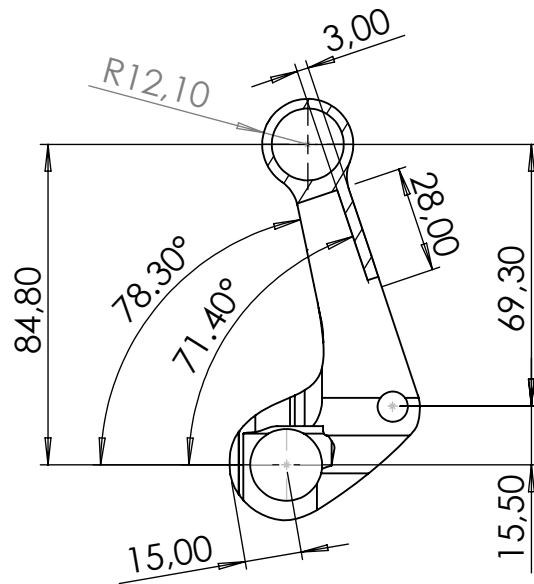
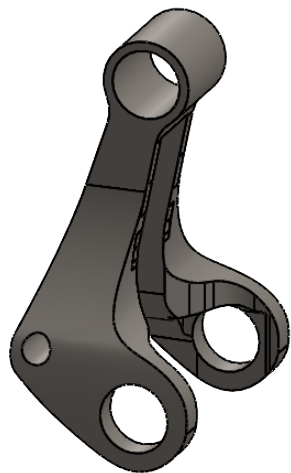
A



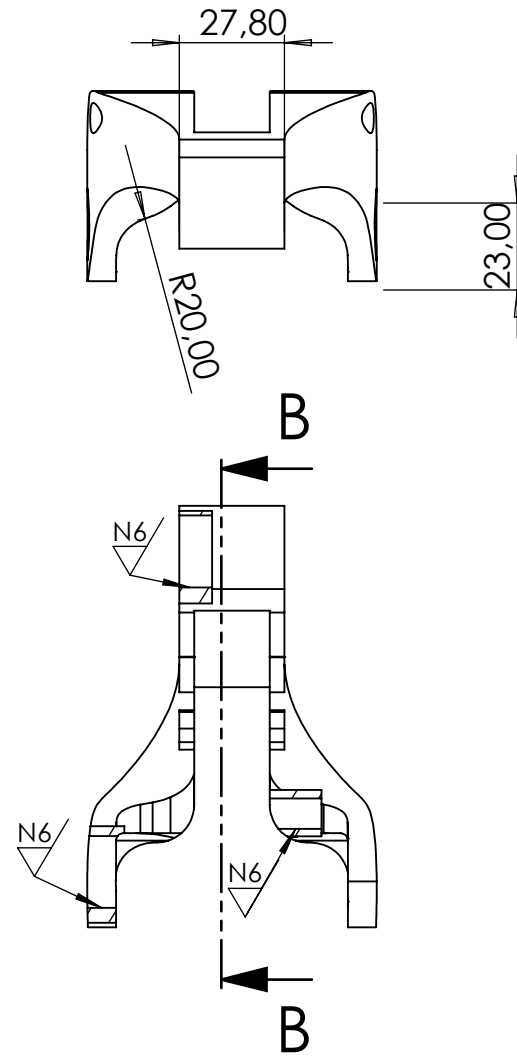
AUTOR Carlos Lázaro Hernandez	
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 µm) - TOLERANCIAS: ± 0,1 mm	
FECHA 23-05-2022	MATERIAL Al 6061-T6

TITULO DEL TFG Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.		
DENOMINACIÓN DEL PLANO Bieleta original	ESCALA 1:2	Nº PLANO IV.1.1

6 5 4 3 2 1



SECCIÓN B-B



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

AUTOR

Carlos Lázaro Hernandez

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:

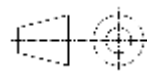
- LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
- ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 μm)
- TOLERANCIAS: ± 0,1 mm

FECHA

23-05-2022

MATERIAL

Al 6061-T6



TITULO DEL TFG

Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.

DENOMINACIÓN DEL PLANO

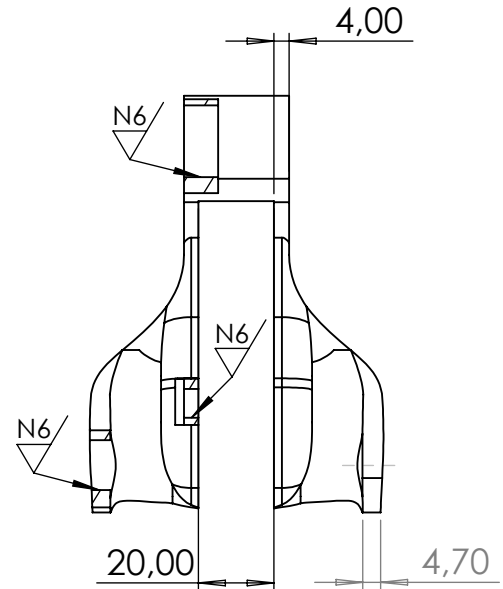
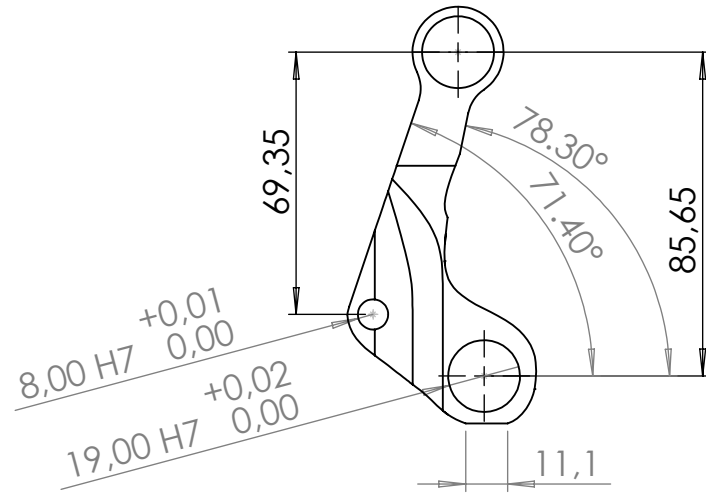
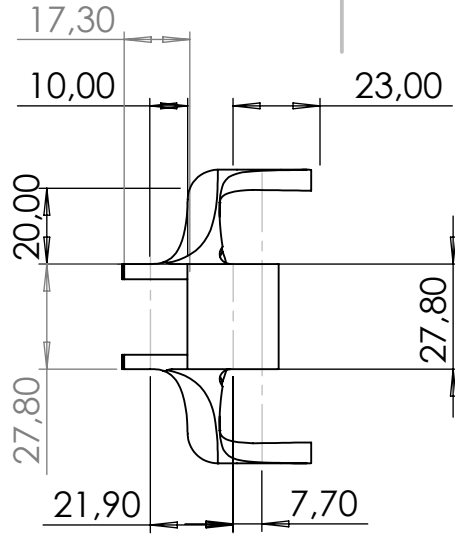
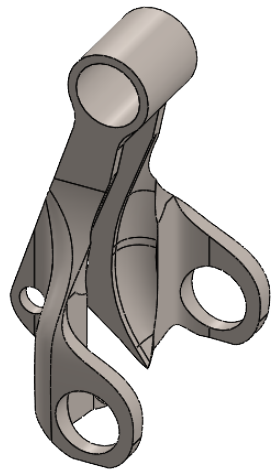
Bieleta original

ESCALA

1:2

Nº PLANO

IV.1.2



AUTOR Carlos Lázaro Hernandez	
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 µm) - TOLERANCIAS: ± 0,1 mm	
FECHA 23-05-2022	MATERIAL Al 6061-T6

TITULO DEL TFG Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.		
DENOMINACIÓN DEL PLANO Rediseño nº1	ESCALA 1:2	Nº PLANO IV.2.1.1

6 5 4 3 2 1

D

D

C

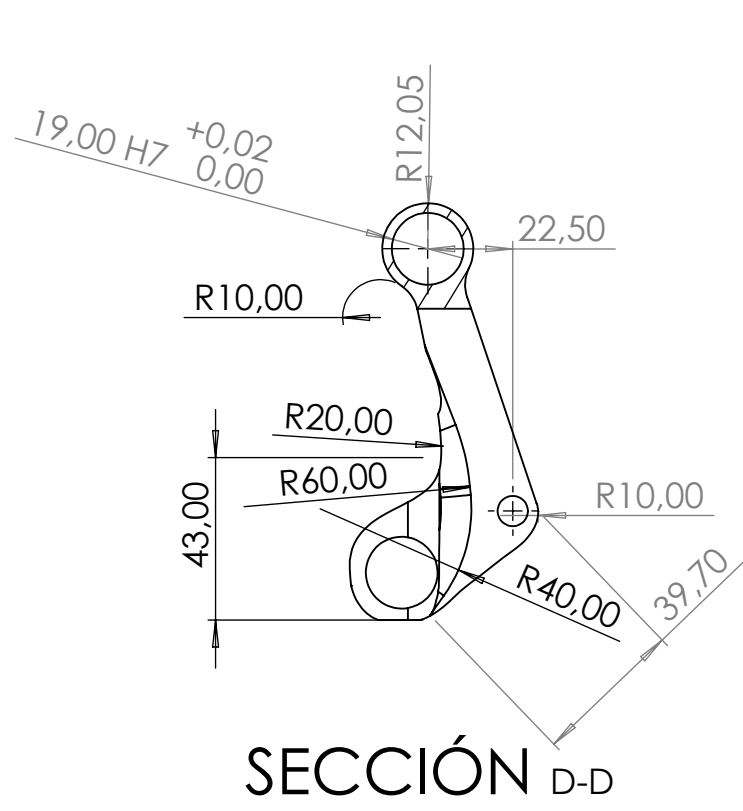
C

B

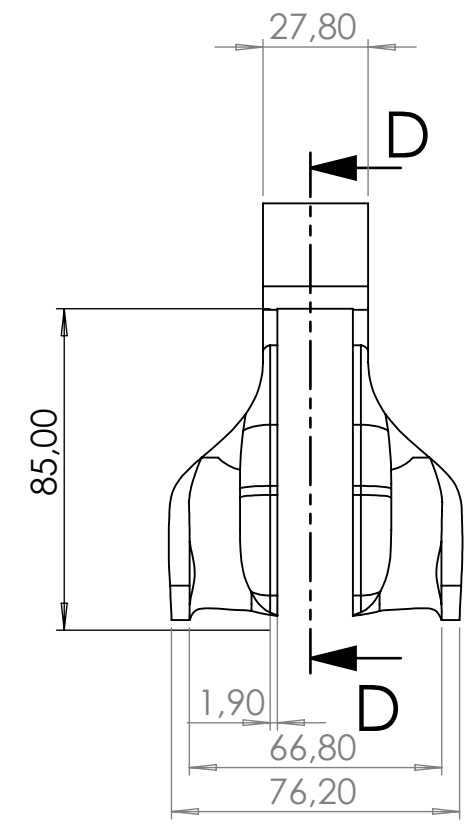
B

A

A



SECCIÓN D-D

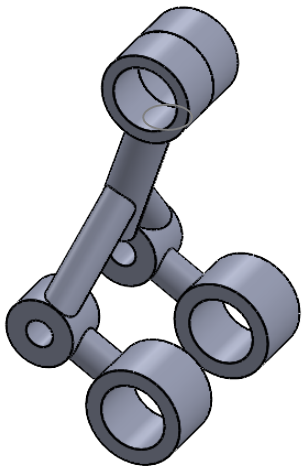
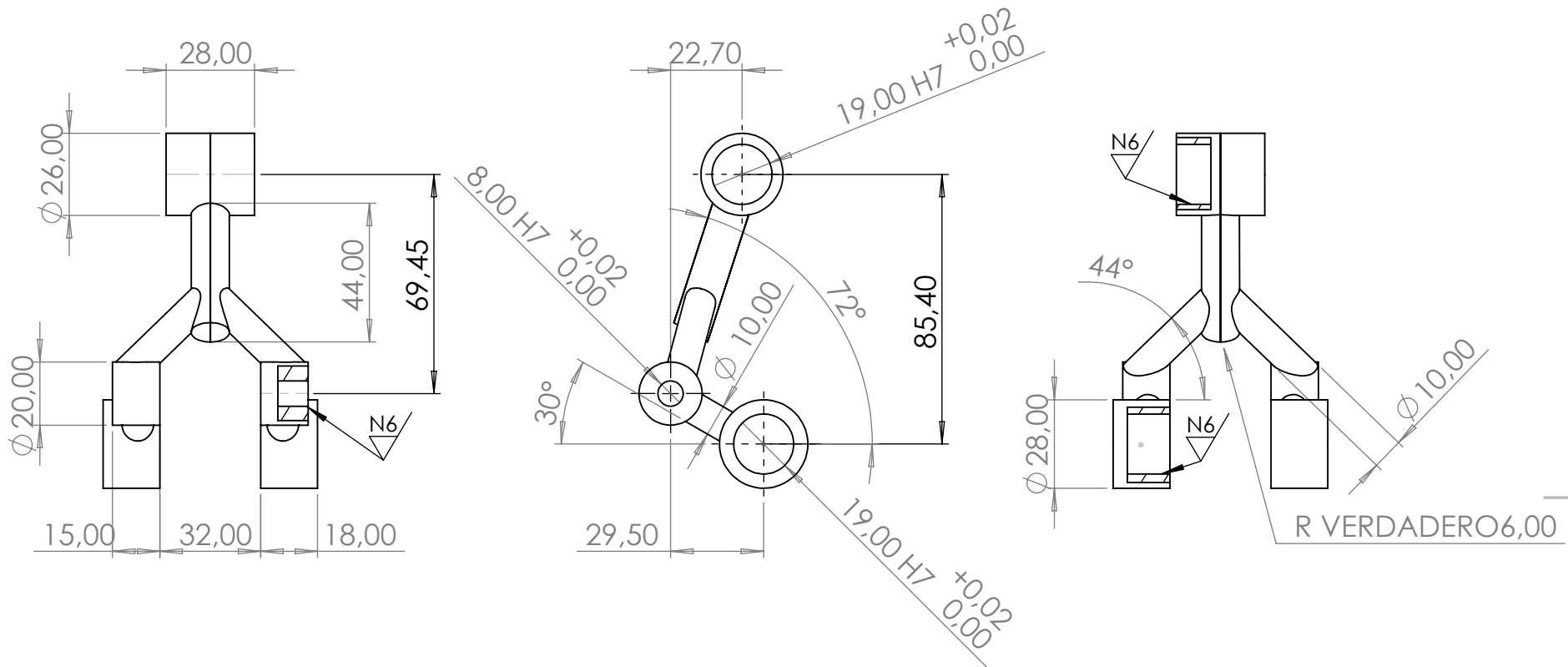


UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

AUTOR Carlos Lázaro Hernandez		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 μm) - TOLERANCIAS: ± 0,1 mm
FECHA 23-05-2022	MATERIAL Al 6061-T6	

TITULO DEL TFG Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.		
DENOMINACIÓN DEL PLANO Rediseño nº1	ESCALA 1:2	Nº PLANO IV.2.1.2

6 5 4 3 2 1



AUTOR
Carlos Lázaro Hernandez

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:

- LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
- ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 μ m)
- TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

FECHA
23-05-2022

MATERIAL
Al 6061-T6



TITULO DEL TFG

Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.

DENOMINACIÓN DEL PLANO

Rediseño nº2

ESCALA

1:2

Nº PLANO

IV.2.2

6

5

4

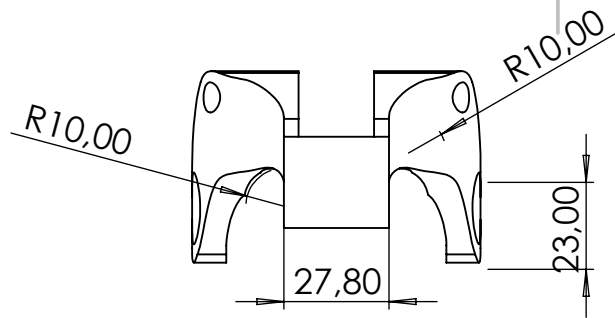
3

2

1

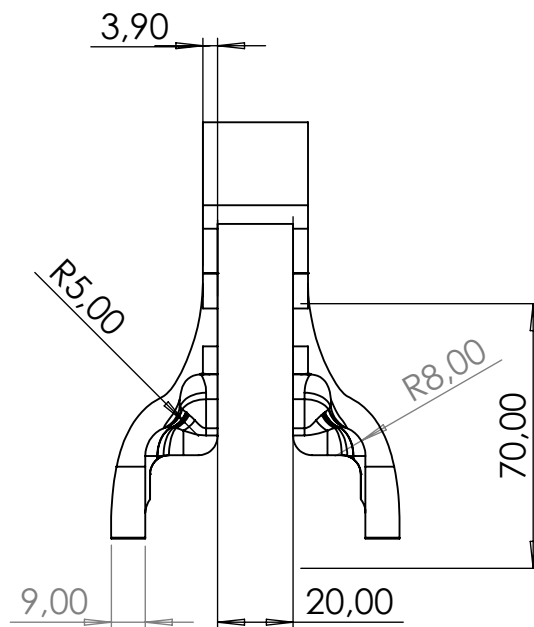
D

D



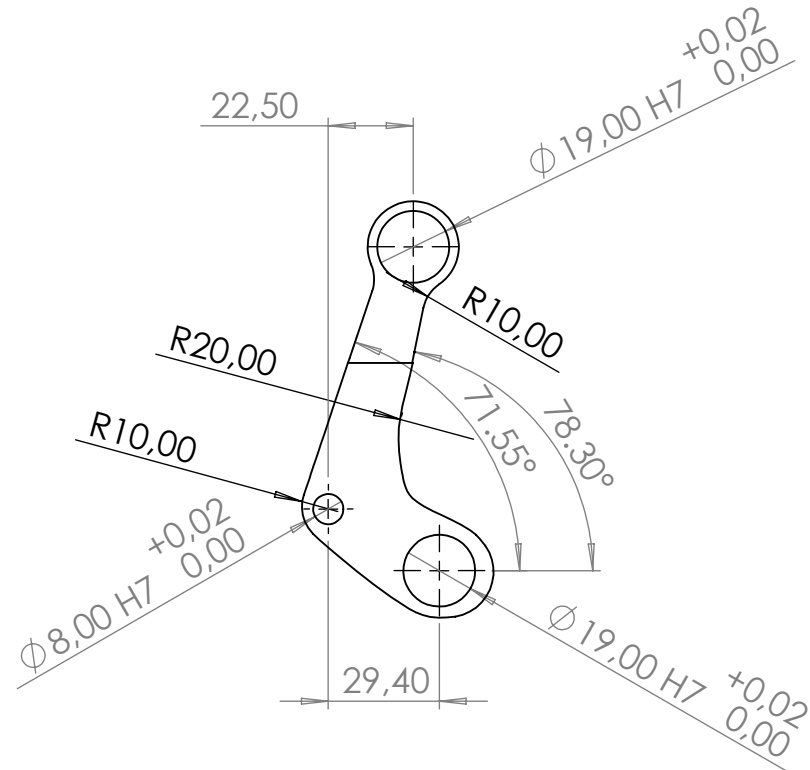
C

C



B

B



A

A



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA
CAMPUS D'ALCOI

AUTOR
Carlos Lázaro Hernandez

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
- LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
- ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 μ m)
- TOLERANCIAS: $\pm 0,1$ mm

FECHA
23-05-2022

MATERIAL
Carbon Fiber



TITULO DEL TFG
Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.

DENOMINACIÓN DEL PLANO Rediseño nº3	ESCALA 1:2	Nº PLANO IV.2.3.1
--	---------------	----------------------

6

5

4

3

2

1

6 5 4 3 2 1

D

D

C

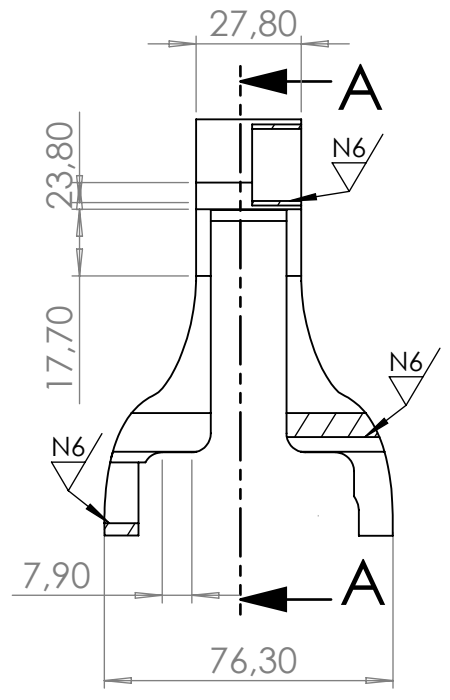
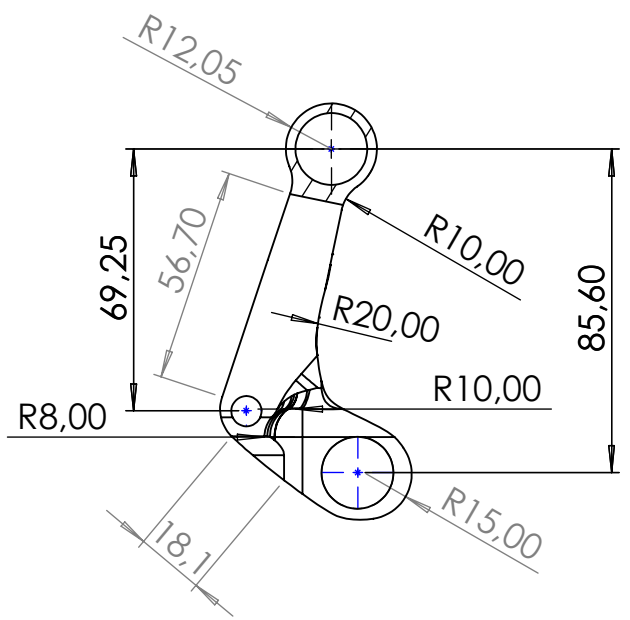
C

B

B


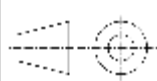
A

A



SECCIÓN A-A



 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA CAMPUS D'ALCOI	AUTOR Carlos Lázaro Hernandez		TÍTULO DEL TFG Estudio, cálculo y optimización de la bieleta de una bicicleta de doble suspensión.		
	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: - LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM - ACABADO SUPERFICIAL: N7 (Ra 1,6 μm) - TOLERANCIAS: ± 0,1 mm				
	FECHA 23-05-2022	MATERIAL Carbon Fiber		DENOMINACIÓN DEL PLANO Rediseño nº3	ESCALA 1:2

6 5 4 3 2 1

V. PRESUPUESTO

V. PRESUPUESTO.

V.1 Presupuesto.

En este apartado del proyecto se ha realizado un presupuesto completo del coste de fabricación de un lote de 100 piezas, como se ha comentado anteriormente se va a realizar para bicicletas de competición.

Al tratarse de un pedido de pocas unidades los precios de fabricación van a ser bastante elevados. Dichos costes podrían ser reducidos si se demandasen una mayor cantidad de piezas a fabricar. En las siguientes tablas se va a mostrar los diferentes costes del proceso.

V.1.1 Coste de material.

En cuanto al coste de material el precio unitario que se da es el de la masa del tocho de fibra de carbono para su posterior mecanizado, que se ha calculado gracias a la herramienta de *SolidWorks*, gestión de tocho. Este coste de material sirve para los dos métodos de fabricación.

Tabla 27. Costes del material para la fabricación de la pieza.

	Cantidad (piezas)	Precio (€/kg)	Precio unitario (€/unidad)	Precio total (€)
Fibra de carbono	100	35,40	34,52	3.451,50

V.1.2 Coste de fabricación.

En lo referente al coste de fabricación de la pieza del primer método, el fresado y el taladrado se realizan en la misma máquina, cambiando la herramienta, por eso el coste y tiempo engloban ambas operaciones, al tiempo en de CNC se ha obtenido con la herramienta de *SolidWorks*, *Costing*. El coste del VARTM se mantiene fijo, no varía con el tiempo, dentro de este está el coste del autoclave.

Tabla 28. Coste de fabricación de la pieza.

	Cantidad (operaciones)	Precio (€/h)	Tiempo procesado (min)	Precio unitario (€/unidad)	Precio total (€)
VARTM	100	-	-	50	5.000
Fresado	100	48,25	43,22	34,75	3.475,61
Taladrado					
Total					8.475,61

V.1.3 Coste de diseño.

En cuanto al coste de diseño representa el tiempo invertido por el ingeniero en diseñar y estudiar la pieza a fabricar.

Tabla 29. Costes de diseño de la pieza.

	Cantidad (horas)	Precio (€/h)	Precio total (€)
Diseño	300	15,38	4614

V.1.4 Coste total.

Finalmente, en la **Tabla 28.** se puede observar el presupuesto final de la fabricación del lote de piezas y el precio por unidad.

Tabla 30. Presupuesto total de la fabricación de la pieza.

Coste	Precio (€)	Precio (€/unidad)
Material	3.451,50	-
Fabricación	8.475,61	-
Diseño	4.614	-
TOTAL	16.541,11	165,41

El coste total del proyecto asciende a *dieciséis mil quinientos cuarenta y un euros con cuarenta y once céntimos*. Y con un coste por unidad de *ciento sesenta y cinco euros con cuarenta y un céntimos*.

VI. LISTADO DE FIGURAS

VI. LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Boceto de Leonardo Da Vinci de un biciclo [1].	16
Figura 2. Ilustración de la “Rover Safety Bicycle” [2].	17
Figura 3. Bicicleta “Scott Spark RC 2022”, bicicleta de montaña de doble suspensión.	17
Figura 4. “Schwinn Excelsior”, la primera bicicleta de gran robustez y llanta ancha [6].	18
Figura 5. Cuadro “MMR” doble suspensión, con el triángulo principal y basculante. ..	20
Figura 6. Horquilla “FOX RACING 32 FLOAT SC Factory Series Kashima”.	21
Figura 7. Ruedas delantera y trasera “CrossMax”.	21
Figura 8. Transmisión completa para bicicleta de montaña “Sram XX1”.	22
Figura 9. Manillar con potencia incorporada de la marca “Gemini”.	23
Figura 10. Tija telescópica “Fox Transfer Factory Kashima” y sillín “Ritchey WCS Carbon stream”.	23
Figura 11. Manetas y pinzas de freno disco “Magura MT Trail Sport” y “Disco Magura”.	24
Figura 12. Amortiguador trasero “Fox Float DPS Kashima” y “Fox DHx2 Factory Series”.	25
Figura 13. Elementos de un sistema de doble suspensión [8].	26
Figura 14. Cuadro de doble suspensión “Santa Cruz” con configuración monopivote y amortiguador de aire.	26
Figura 15. Cuadro de doble suspensión “Orbea Oiz” con configuración monopivote articulado.	27
Figura 16. Cuadro de doble suspensión “Cube” con configuración “Horst Link”.	28
Figura 17. Cuadro de doble suspensión “Giant Trance 29” con configuración Pivote virtual, sistema “MAESTRO” patentado por la propia marca.	29
Figura 18. Basculante “Orbea Oiz 2021”.	30
Figura 19. Amortiguador “Rockshox SIDLuxe Ultimate RL”.	30

Figura 20. Bieleta “Specialized Epic Pro”	31
Figura 21. “Specialized Epic Pro” con sistema monopivote articulado.....	32
Figura 22. “Scott Spark RC900” con sistema monopivote articulado.....	32
Figura 23. Orbea Oiz M-LDT 2021 con sistema monopivote articulado.....	33
Figura 24. Bieleta de la suspensión de la bicicleta de montaña “Orbea Oiz”	39
Figura 25. Cebralín quitamanchas utilizado para pintar la pieza y poder escanearla..	40
Figura 26. a) Primer escaneo realizado de la parte que está en contacto con el cuadro. b) Segundo escaneo de la parte delantera de la bieleta.	40
Figura 27. Reconstrucción de la pieza mediante “MeshLab”	41
Figura 28. Pieza reconstruida en su totalidad, gracias al programa “MeshLab” y su herramienta de reconstrucción de superficies.	42
Figura 29. Obtención de la pieza en sólido mediante el programa “SolidWorks”	42
Figura 30. Bieleta digitaliza y reconstruida en su totalidad.	43
Figura 31. Croquis con imágenes para la reconstrucción de la pieza.	43
Figura 32. Bieleta “Orbea Oiz” diseño final.....	44
Figura 33. Bieleta en la posición de trabajo correcta.	45
Figura 34. Montaje de la bieleta sobre el cuadro de la “Orbea Oiz” [16].	46
Figura 35. Kit bieleta para la sujeción del cuadro y basculante con la bieleta.	46
Figura 36. Kit hardware amortiguador para unir el amortiguador con la bieleta.	47
Figura 37. Cuadro. Ensayo de fatiga con una fuerza vertical. Según la norma UNE-EN ISO 4210.	48
Figura 38. Definición de parámetros para la simulación SolidWorks.	49
Figura 39. Valores de los estudios de carga estática para la pieza original.	51
Figura 40. Valores de los estudios de fatiga para la pieza original.	52
Figura 41. Modificación I rediseño nº1, recorte parte central bajo el orificio superior. .	54
Figura 42. Modificación II rediseño nº1, reducción de material en los anclajes del amortiguador.	54

Figura 43. Modificación III rediseño nº1, refuerzos en la zona baja de la bieleta. 55

Figura 44. Render del rediseño nº1 de la bieleta..... 55

Figura 45. Resultados obtenidos del estudio de carga estática con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº1..... 56

Figura 46. Resultados obtenidos del estudio de fatiga con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº1..... 57

Figura 47. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº1 con Acero 4130. 59

Figura 48. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº1 con Acero 4130. 60

Figura 49. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº1 con Titanio Ti-6Al-4V..... 61

Figura 50. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº1 con Titanio Ti-6Al-4V..... 62

Figura 51. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº1 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi. 63

Figura 52. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº1 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi..... 64

Figura 53. Croquis con imágenes de referencia de la bieleta original..... 66

Figura 54. Extrusión de los orificios como geometría de referencia..... 66

Figura 55. Extrusión de las uniones entre orificios con perfiles tubulares..... 67

Figura 56. Render del rediseño nº2 de la bieleta..... 67

Figura 57. Resultados obtenidos del estudio de carga estática con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº2..... 68

Figura 58. Resultados obtenidos del estudio de fatiga con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº2..... 69

Figura 59. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº2 con Acero 4130. 71

Figura 60. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº2 con Acero 4130. 72

Figura 61. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº2 con Titanio Ti-6Al-4V. 73

Figura 62. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº2 con Titanio Ti-6Al-4V..... 74

Figura 63. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº2 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi. 75

Figura 64. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº2 con Carbono y resina epoxi. 76

Figura 65. Recorte de la parte central debajo del orificio superior rediseño nº3. 78

Figura 66. Rebaje de material en la parte baja de la bieleta..... 79

Figura 67. Render del rediseño nº3 de la bieleta..... 79

Figura 68. Resultados obtenidos del estudio de carga estática con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº3..... 80

Figura 69. Resultados obtenidos del estudio de fatiga con el material original, aluminio 6061-T6, en el rediseño nº3..... 81

Figura 70. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº3 con Acero 4130. 83

Figura 71. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº3 con Acero 4130. 84

Figura 72. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº3 con Titanio Ti-6Al-4V..... 85

Figura 73. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº3 con Titanio Ti-6Al-4V..... 86

Figura 74. Resultados obtenidos del estudio de carga estática del rediseño nº3 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi. 87

Figura 75. Resultados obtenidos del estudio de fatiga del rediseño nº3 con Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi..... 88

Figura 76. Rediseño nº3 elección final para la fabricación del prototipo. 90

Figura 77. Geometría seleccionada de la bicicleta “Orbea Oiz”..... 95

Figura 78. Geometría a determinar del basculante de la “Orbea Oiz”. 96

Figura 79. Triangulo trasero de la “Orbea Oiz” con la carga según la norma aplicada en el eje de a la rueda. 97

Figura 80. Ejemplo método de ensayo según la norma en el Anexo C. 98

Figura 81. Geometría del basculante para calcular la fuerza que recibe el tirante superior..... 99

Figura 82. Imagen de la hipótesis 3 del salto de la bicicleta. 100

Figura 83. Perfil de la rueda de la “Orbea Oiz”. 102

Figura 84. Posición basculante de la hipótesis 3 en la recepción de la caída..... 103

Figura 85. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 3 para el rediseño nº3 de fibra de carbono. 108

Figura 86. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 2 para el diseño original de aluminio..... 109

Figura 87. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 3 para el rediseño nº3 de fibra de carbono 111

Figura 88. Resultados obtenidos del estudio de carga estática de la hipótesis 3 para el diseño original de aluminio..... 112

Figura 89. Método de fabricación VARTM para la primera parte de la fabricación. .. 114

Figura 90. Autoclave para la segunda parte de la fabricación. 114

Figura 91. CNC para la tercera y cuarta parte de la fabricación. 115

VII. LISTADO DE TABLAS

VII. LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Selección del rodamiento para la bieleta, las conexiones con el cuadro y basculante.	47
Tabla 2. Fuerzas que aplicar según la norma UNE-EN ISO 4210.....	48
Tabla 3. Datos obtenidos de los estudios de carga estática y de fatiga.	53
Tabla 4. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº1, con el material original aluminio 6061-T6.	57
Tabla 5. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº1 de acero 4130.	60
Tabla 6. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº1 de titanio Ti-6Al-4V.....	62
Tabla 7. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº1 de Carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.	64
Tabla 8. Resumen de los datos obtenidos de los estudios de la pieza original y el rediseño nº1 con los materiales seleccionados.....	65
Tabla 9. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº2, con el material original, aluminio 6061-T6.	69
Tabla 10. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº2 de acero 4130.	72
Tabla 11. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº2 de titanio Ti-6Al-4V.....	74
Tabla 12. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº2 de carbono y resina epoxi.	76
Tabla 13. Resumen de los datos obtenidos de los estudios de la pieza original y el rediseño nº2 con los materiales seleccionados.....	77
Tabla 14. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº3, con el material original aluminio 6061-T6.	81
Tabla 15. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº3 de acero 4130.	84
Tabla 16. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº3 de titanio Ti-6Al-4V.....	86

Tabla 17. Comparación de los datos extraídos de los estudios de la pieza original con el rediseño nº3 de carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.	88
Tabla 18. Resumen de los datos obtenidos de los estudios de la pieza original y el rediseño nº3 con los materiales seleccionados.	89
Tabla 19. Comparación de los datos originales con los del rediseño seleccionado. ...	90
Tabla 20. Propiedades del Acero Aleado 4130 normalizado.	104
Tabla 21. Propiedades Aluminio 6061-T6.	105
Tabla 22. Propiedades del Ti-6Al-4V.	105
Tabla 23. Propiedades de la Fibra de carbono de Alta Resistencia con matriz de resina epoxi.	106
Tabla 24. Tabla comparativa de los diferentes materiales, sus propiedades y el coste por kilo.	106
Tabla 25. Comparativa de los resultados obtenidos del estudio a carga estática de la hipótesis 2.	109
Tabla 26. Comparativa de los resultados obtenidos del estudio a carga estática de la hipótesis 3.	112
Tabla 27. Costes del material para la fabricación de la pieza.	126
Tabla 28. Coste de fabricación de la pieza.	127
Tabla 29. Costes de diseño de la pieza.	127
Tabla 30. Presupuesto total de la fabricación de la pieza.	127

