



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIERÍA
INDUSTRIAL VALENCIA

TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN ORGANIZACIÓN INDUSTRIAL

DISEÑO DE UN CUADRO DE BICICLETA Y ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

AUTOR: Solbes Francisco, Joaquín

TUTOR: Albert Gil, Francisco Eugenio

COTUTORA: Aleixos Borrás, Núria

Curso Académico: 2020-21

RESUMEN

El objetivo de este trabajo de fin de grado es el diseño de un cuadro de bicicleta comprobando la influencia que pueden tener parámetros de fabricación como el uso de distintos materiales (acero, aluminio, titanio), la forma de los tubos (sección circular o elíptica) o la posición de las soldaduras, entre otros, en los parámetros importantes como el peso, la absorción de vibraciones debidas al estado de la carretera o la resistencia a la flexión debida a las fuerzas de pedaleo (rigidez lateral), teniendo también en cuenta el coste. Para analizar el comportamiento del cuadro se empleará el método de elementos finitos.

Palabras clave: Cuadro de bicicleta, CAD 3D, Elementos finitos.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball de fi de grau és el diseny d'un quadre de bicicleta comprovant la influència que poden tindre paràmetres de fabricació com l'ús de diferents materials (acer, alumini, titani), la forma dels tubs (secció circular o elíptica) o la posició de les soldadures, entre altres, en els paràmetres importants com el pes, l'absorció de vibracions degudes a l'estat de la carretera o a la resistència a la flexió deguda a les forces de pedaleig (rigidesa lateral), tenint en compte també el cost. Per a analitzar el comportament del quadre s'utilitzarà el mètode d'elements finits.

Paraules clau: Quadre de bicicleta, CAD 3D, Elements finits.

ABSTRACT

The objective of this final degree project is the design of a bicycle frame, checking the influence that manufacturing parameters such as the use of different materials (steel, aluminum, titanium), the shape of the tubes (circular or elliptical) or the position of the welds, among others, in important parameters such as weight, absorption of vibrations due to road conditions or resistance to bending due to pedaling forces (lateral stiffness), also taking into account the cost, To analyze the behavior of the frame, the finite elements method will be used.

Keywords: Bicycle frame, CAD 3D, finite elements.

ÍNDICE DEL TFG

Documentos contenidos en el TFG

• MEMORIA	6
• PRESUPUESTOS.....	50
• PLANOS.....	53

Índice de la memoria

1. INTRODUCCIÓN	7
1.1. MOTIVACIÓN	7
1.2. ALCANCE DEL PROYECTO	7
1.3. MÉTODOS Y MATERIAL	8
2. LA BICICLETA, HISTORIA Y CARACTERÍSTICAS.....	8
2.1. COMPONENTES DE LA BICICLETA.....	11
2.2. MATERIALES	14
2.2.1. ACERO.....	15
2.2.2. TITANIO.....	15
2.2.3. ALUMINIO.....	16
2.2.4. FIBRA DE CARBONO.....	16
2.3. FABRICACIÓN.....	16
2.3.1. HIDROCONFORMADO.....	16
2.3.2. CONIFICACIÓ.....	17
2.3.3. SOLDADURAS.....	17
3. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO	19
3.1. NORMATIVA	19
3.2. GEOMETRÍA	19
4. MODELADO DE LOS CUADROS	20
4.1. ACERO Y TITANIO.....	21
4.2. ALUMINIO.....	26
5. ENSAMBLAJES.....	27
6. SIMULACIONES ESTÁTICAS Y ANÁLISIS.....	30
6.1. PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS MATERIALES	30
6.2. ENSAYOS PROPUESTOS	33
6.2.1. CAÍDA VERTICAL.....	33
6.2.2. CICLISTA SOBRE UN PEDAL.....	35

6.2.3. CHOQUE FRONTAL LEVE.....	37
7. RESULTADOS.....	38
7.1. TENSIONES.....	38
7.1.1. CAÍDA VERTICAL.....	39
7.1.2. CICLISTA SOBRE UN PEDAL.....	42
7.1.3. CHOQUE FRONTAL LEVE.....	43
7.1.4. CONIFICADO.....	44
7.2. PESO Y COSTE	45
8. CONCLUSIÓN	45
9. BIBLIOGRAFÍA	46
10. LISTA DE FIGURAS.....	47

MEMORIA

1. Introducción

El siguiente trabajo consiste en el diseño, modelización y análisis de cuadros de bicicleta utilizando elementos finitos con el programa de Autodesk Inventor.

1.1. Motivación

El interés y la idea para realizar este trabajo surge del interés que he tenido por el ciclismo desde que era pequeño y la curiosidad por el funcionamiento de las diferentes partes de una bicicleta.

Con el estudio de la carrera de ingeniería industrial he tenido la oportunidad de comprender mejor el funcionamiento de sus diferentes partes y los conocimientos necesarios para poder realizar este trabajo con modelado en 3D y análisis de elementos finitos.

1.2. Objetivos

Los objetivos perseguidos son el diseño del modelo de una bicicleta utilizando diferentes parámetros y analizarlo con elementos finitos. Para esto se modificará un diseño básico para comprender las ventajas en los diferentes métodos de fabricación de cuadros de bicicleta. A partir del resultado obtenido se espera poder sacar conclusiones en función a diferentes parámetros como son el coste, peso y materiales utilizados.

Finalmente se busca utilizar los conocimientos obtenidos a lo largo de la carrera para tomar conclusiones acerca del diseño de cuadros y su optimización.

1.3. Alcance

En este trabajo se tomará un modelo de cuadro de bicicleta de carretera ya existente como base para las dimensiones básicas. A partir de este elegirán los diferentes diámetros y espesores necesarios para que superen unos análisis que se realizarán posteriormente mediante elementos finitos. Además, se le incluirán soldaduras que también serán analizadas para detectar posibles puntos críticos. Para facilitar la modificación de la geometría del cuadro se realizará una parametrización.

Para el análisis por elementos finitos se crearán ensayos que generen esfuerzos habituales en la utilización de una bicicleta en las diferentes partes del cuadro. Los análisis se realizarán con materiales utilizados habitualmente en la industria.

Una vez realizado esto se investigará el efecto que producen la utilización de secciones elípticas y la variación de su forma a lo largo de un tubo para adaptarse a las solicitaciones generadas por los ensayos. Adicionalmente se comprobará el efecto de reducir el espesor de las secciones en su parte central en cuanto al peso y el factor de seguridad.

1.4. Métodos y material

La herramienta utilizada será principalmente Autodesk Inventor. El programa se basa en el modelado CAD 3D que permite la creación de piezas y ensamblajes a los que adicionalmente se les puede realizar un análisis por elementos finitos.

Finalmente se utilizará Microsoft Excel para facilitar la edición de parámetros del modelo y creación del presupuesto, Microsoft PowerPoint para la presentación del trabajo y Microsoft Word para la redacción de esta memoria.

La licencia ha sido facilitada por Autodesk y Microsoft por formar parte de la UPV de forma gratuita. EL modelado y ensamblaje CAD 3D se nos imparte en la asignatura de ingeniería gráfica durante la carrera al que se le ha tenido que añadir el análisis por elementos finitos y la creación de ensamblajes soldados. Además, también han sido útiles los conocimientos adquiridos en las asignaturas de materiales y resistencia de materiales para la comprensión de las propiedades de los materiales utilizados y sus límites al que hay que añadir las nociones básicas del método de elementos finitos adquiridos en la asignatura de métodos matemáticos.

2. La bicicleta, historia y características

Decidir cuál fue la primera bicicleta es una tarea difícil ya que en muchos casos han aparecido vehículos bastantes parecidos he incluso se le ha intentado atribuir el primer diseño a Leonardo Da Vinci. Para este caso se va a utilizar la definición moderna de bicicleta de donde en 1885 John Kemp Starley hizo la primera bicicleta patentada con pedales mostrada en la figura.



Figura 2-1: Bicicleta diseñada por John Kemp (Fuente:www.bicihome.com).

Al modelo de Kemp se le añadiría más tarde el avance de los neumáticos con cámara de aire de John Boyd Dunlop dejando ya unas bases para las bicicletas que aparecerían posteriormente.

Hoy en día el ciclismo ampliamente practicado con un gran número de competiciones conocidas como el Giro de Italia O el Tour de Francia. Además, está ganando es los últimos años un gran peso en el transporte por ciudad al aportar una alternativa ecológica y rápida de desplazarse.

Gracias al avance de la tecnología y de las técnicas de fabricación existen diferentes tipos de bicicletas que se han adaptado para realizar su función de la mejor forma posible. A continuación se mencionan los diferentes tipos de bicicleta más utilizados.

- **Bicicletas de montaña:** Es un tipo de bicicleta que permite recorrer terrenos irregulares lo que la hace un modelo ampliamente utilizado. Suele llevar suspensiones delanteras y en menor frecuencia traseras. A partir de este tipo de bicicleta se han desarrollado modelos adaptados para diferentes modalidades como el descenso el cual el peso queda en un segundo plano y se busca una mejor amortiguación.



Figura 2-2: Bicicleta de montaña (Fuente: www.giantbicycles.com).

- **Bicicletas de carretera:** Pensadas para recorrer terrenos asfaltados a gran velocidad cuentan con ruedas de mayor diámetro y más delgadas. En su diseño es muy importante la aerodinámica y el peso por lo que no utiliza suspensiones. De este modelo ha surgido la bicicleta de pista cuya principal diferencia es la ausencia de marchas por lo que su principal uso es en velódromos y en competiciones.



Figura 2-3: Bicicleta de carretera (Fuente: www.orbea.com).

- **Bicicletas urbanas:** Son las bicicletas que se suelen usar en el día a día con un diseño simple que busca un mejor aspecto y funcionalidad antes que características como el peso. De su uso ciudades aparecen diferentes variaciones según su origen. Un ejemplo de estas es la bicicleta holandesa caracterizado por tener un tubo inferior posicionado a una menor altura.



Figura 2-4: Bicicleta holandesa (www.homify.com).

- **Bicicletas BMX:** Utilizada en deportes callejeros se caracterizan por ser más pequeñas permitiendo una mejor manejabilidad. Junto con el uso de un sillín bajo (o incluso sin él) es ideal para la modalidad de freestyle.



Figura 2-5: Bicicleta BMX (Fuente: www.labicicleta.com).

2.1. Componentes de la bicicleta

La bicicleta está compuesta por varios elementos. Aunque este trabajo se centra en el cuadro también se realizara una pequeña explicación de las otras partes que lo componen.

- **Cuadro:** Es la pieza que forma la base de la bicicleta donde van unidas todas las demás y que soporta la mayor parte de los esfuerzos. Va a ser el principal elemento a tener en cuenta de una bici ya que su geometría y material va a definir la mayor parte de las características de la bicicleta. Este está formado por diferentes tubos que a continuación se describen:
 - **Tubo de dirección:** Es el más corto del cuadro y se une al tubo superior e inferior. Realiza la función de eje de la dirección.
 - **Tubo superior:** La distancia de este tubo es uno de los factores más importantes a la hora de elegir la talla. Esta unido al tubo de dirección y al tubo de sillín.
 - **Tubo inferior:** Une el tubo de dirección al eje de pedalier.
 - **Tubo de sillín:** Va desde el eje de pedalier hasta el sillín. Esta unido los tubos inferior y superior y a las vainas. La longitud de este tubo es el utilizado para definir las tallas, siendo un valor importante a la hora de su elección
 - **Vainas:** Están formadas por dos juegos de tubos más delgados que el resto del cuadro. Están unidos al tubo del sillín y se encargan de sujetar la rueda trasera.
 - **Eje de pedalier:** Tubo que contine el eje de los pedales.

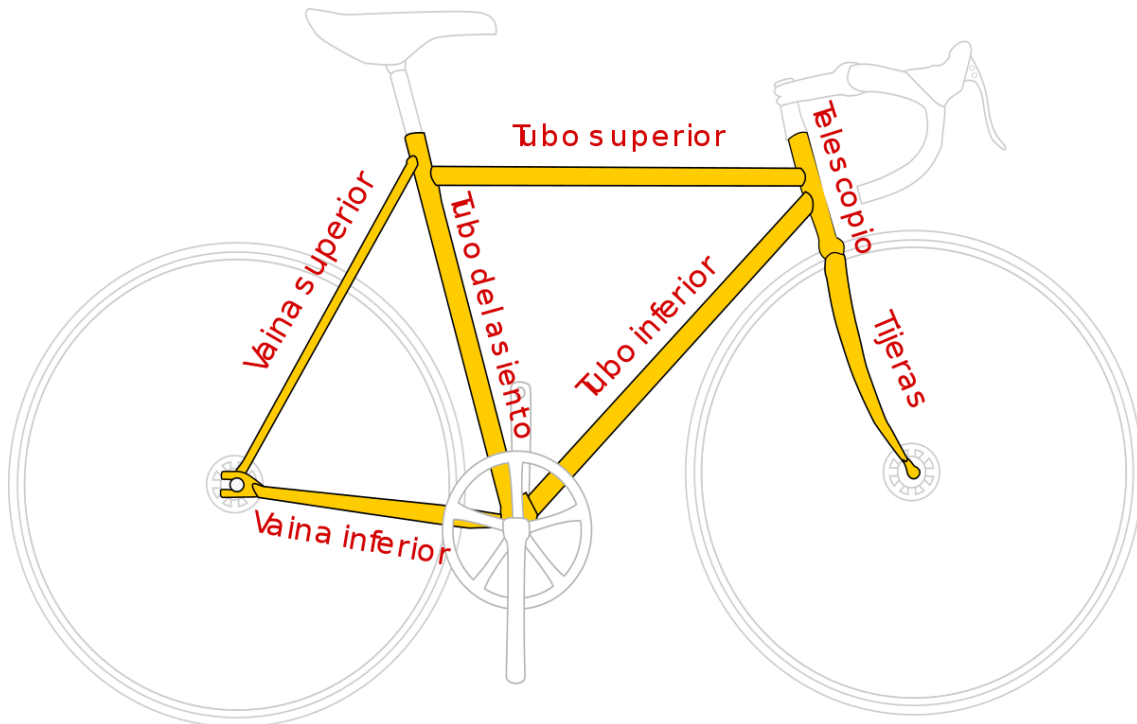


Figura 2-6: Dibujo con las diferentes partes de la bicicleta (Fuente: www.wikipedia.com).

- **Horquilla o tijera:** Se encarga de unir la rueda delantera al cuadro. Puede tener diferentes tipos de amortiguación para mejorar la comodidad al absorber las irregularidades del terreno.



Figura 2-7: Horquilla con suspensión (Fuente: www.Mountainbike.es).

- **Dirección:** Realiza la unión entre el cuadro y la horquilla y esta alojada dentro del tubo de dirección. Su función es necesaria para un buen control de la dirección. Cuenta con diversos sistemas de instalación cuya nomenclatura está estandarizada por SHIS o en español sistema estandarizado de identificación de direcciones.



Figura 2-8: Diferentes tipos y medidas de direcciones (Fuente: www.biciblog.com).

- **Manillar y potencia:** Son los elementos que dan movimiento a la dirección. La potencia une el manillar a la horquilla y el manillar se encarga de guiar a la rueda delantera. Existen de varias formas para poder adaptarse a las necesidades del ciclista.



Figura 2-9: Manillar y potencia (Fuente: www.mimundoenbici.com).

- **Tija:** Une el sillín al cuadro y este se introduce por dentro del tubo del sillín y permite regular su altura.



Figura 2-10: Tija y sillín de una bicicleta (Fuente: www.tuvalum.com).

- **Ruedas:** Transmite al suelo las fuerzas del ciclista permitiendo el movimiento. Están compuestas por diferentes elementos como son las llantas, cámara, tubo, cubierta, y el buje.



Figura 2-11: Rueda de bicicleta de montaña (Fuente: www.brujulabike.com).

- **Conjunto de transmisión:** Esta formado por varias piezas y es el encargado de transformar la fuerza del ciclista en la capacidad de movimiento transmitiéndola a las ruedas. Está formado por la biela, la cadena, el desviador, los platos, los piñones, el cambio y la patilla de cambio.



Figura 2-12: Conjunto de transmisión

2.2. Materiales

En los inicios de la bicicleta al material empleado para su fabricación era el acero, pero poco a poco han ido apareciendo nuevos materiales y aleaciones que han perseguido principalmente el objetivo de crear un cuadro más ligero.

Aunque en la actualidad se está investigando con nuevos materiales, prácticamente todo el mercado está ocupado por cuatro materiales: Acero, Titanio, Aluminio y Fibra de carbono.

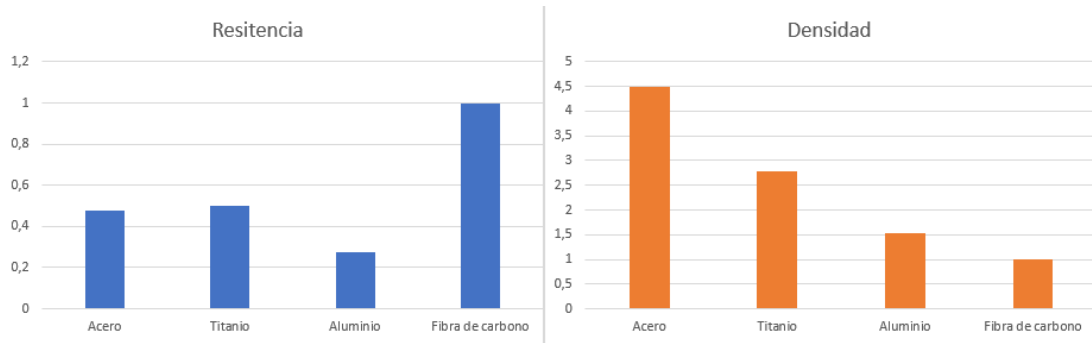


Figura 2-13: Gráficas comparativa de los valores habituales del acero, titanio, aluminio y fibra de carbono utilizando como referencia la fibra de carbono.

2.2.1. Acero

El acero ha dominado durante mucho tiempo la fabricación de bicicletas debido a su bajo precio, resistencia y facilidad para trabajarlo, pero su elevado peso ha hecho que nuevos materiales aparezcan como una mejor alternativa dejándolo en un segundo plano. Otro inconveniente de este material es la necesidad de pintarlo debido a que es frecuente su oxidación.

Pese a todo esto, actualmente sigue siendo un material viable en uso de donde sigue apareciendo algún modelo nuevo. Esto es debido a su alta resistencia que permite la creación de cuadros con diámetros de menor diámetro y completamente rectos, aunque dicho espesor queda limitado por la necesidad de realizar soldaduras con seguridad. Gracias a esto se consigue una estética diferente que ha generado un mercado de “bicicletas a la carta” donde el acero es el material principalmente utilizado.

La aleación más utilizada en la actualidad es el acero 4130. Esta presenta cromo y molibdeno de donde se deriva cromoly, el nombre con el que habitualmente es llamado. Sus ventajas respecto a aceros convencionales son un menor peso y una mayor facilidad para realizar soldaduras debido a su menor contenido en carbono.

2.2.2. Titanio

Si se observan únicamente las propiedades del titanio, se observa que este puede ser un material idóneo para los cuadros de bicicleta. Esto se debe a que tiene una resistencia similar al acero, pero al mismo tiempo, una densidad mucho menor. Además, tiene una buena resistencia a la corrosión a temperatura ambiente.

La realidad es que una vez se tienen en cuenta sus inconvenientes lo convierten en un material poco común. Sus principales desventajas son su alto coste, difícil mecanización y complejo proceso de soldadura lo que lo convierten en una opción más cara que el resto. Otro inconveniente es, en comparación al acero, una baja resistencia al impacto.

La aleación que se suele utilizar para la fabricación de cuadros está compuesta por 3% aluminio y 2,5% vanadio. Esta aleación consigue un proceso de mecanización y soldadura más sencillo que la convierte en la más elegida.

2.2.3. Aluminio

Desde hace un par de décadas el aluminio se ha convertido en el principal material utilizado. Aunque no presenta una elevada resistencia comparado con el acero o el titanio, esta es suficiente para sus aplicaciones ya que las ventajas superan a los inconvenientes, siendo su densidad la principal ventaja. Esto resulta en tubos de mayor diámetro con diferentes geometrías para contrarrestar su menor resistencia.

Aunque su peso final resulte similar al del acero, su bajo coste, mecanizado y soldado lo convierten en un muy buen material.

La principal aleación para la fabricación es el aluminio 6061 formado por magnesio y silicio. La mejora más significativa es el aumento de resistencia a fatiga, uno de los puntos débiles de este material. Otra aleación menos común es el aluminio 7005 utilizada por su facilidad de fabricación pese a su menor resistencia.

2.2.4. Fibra de carbono

A diferencia de los materiales metálicos anteriores la fibra de carbono está formada por diferentes fibras de carbono entrelazadas entre ellas que posteriormente son recubiertas por una resina epoxi. Para dar la forma deseada al material este se coloca sobre unos moldes con la forma deseada.

La fibra de carbono se clasifica según sus propiedades. Para la fabricación de cuadros se utilizan las llamadas de alto modulo que son las que cuentan con una mayor resistencia.

Las principales ventajas de este compuesto son su resistencia a la corrosión, rotura y fatiga combinado con un menor peso que los materiales ya vistos. Por otro lado, su elevado coste y tiempo de fabricación hacen de este material una opción cara. Además, pequeños daños generados por un golpe pueden generar una fisura que termine en la rotura grave.

2.3. Técnicas de fabricación

Uno de los principales factores limitantes a la hora de diseñar un cuadro es su fabricación. Actualmente hay diversas técnicas utilizadas, esto se debe principalmente a la aparición de nuevos materiales, ya que la fibra de carbono utiliza técnicas muy diferentes a los de los metales.

Como este trabajo se centra en los metales debido a la complejidad de trabajar con las fibras, se expondrán las técnicas utilizadas en la fabricación de cuadros metálicos.

2.3.1. Hidroconformado

A la hora de trabajar con materiales como el aluminio surge la necesidad de trabajar con secciones diferentes para poder absorber los esfuerzos a los que el material es expuesto. Esto permite reducir la cantidad de material. La técnica usada para conseguir este efecto es el hidroconformado.

En la figura 5 se observa este proceso donde en el primer paso (a) se coloca un tubo en una matriz con la forma deseada y se cierra hidráulicamente como se muestra en la parte (b). A continuación, en la parte (c), se aplica una fuerza y se inicia un llenado a presión de agua o aceite provocando la expansión del tubo que se adapta a la forma de la matriz. Durante el proceso se pueden ejercer fuerzas en diversos sitios para poder dar la forma deseada. Finalmente abre la matriz y se obtiene el tubo con la forma deseada.

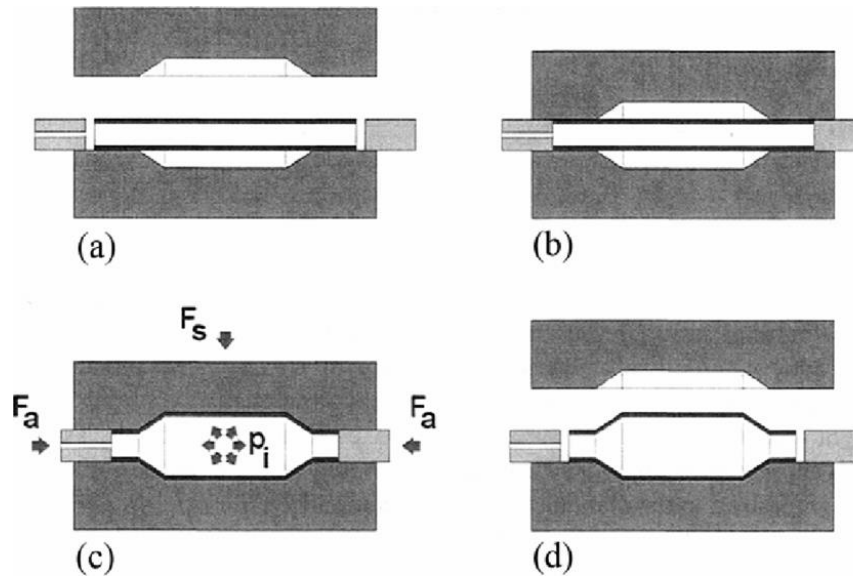


Figura 2-14: Dibujo esquemático del proceso de hidroconformado (Fuente: www.researchgate.net).

Pese a las ventajas que presenta el hidronconformado supone un gasto adicional a la hora de fabricar los diferentes tubos y puede acarrear problemas a la hora de soldar el tubo. Por este motivo solo se suele usar a la hora de fabricar tubos de aluminio, aunque su uso en acero también resulta viable.

2.3.2. Conificación

Para poder realizar una soldadura adecuada se suele necesitar según el material entre 1 y 2 mm. Esto hace que una forma de reducir el peso se crear tubos con mayores secciones en los extremos de forma que se puede realizar la soldadura sin tener que aumentar la sección a lo largo de todo el tubo.

Esta operación se realiza mediante el martillado mecánico en frío de los tubos utilizando unos moldes específicos que den la forma deseada.

2.3.3. Soldadura

Una vez estén listos los tubos son soldados entre ellos. La técnica más utilizada actualmente es la TIG, o por sus siglas en inglés Tungsten Inert Gas. El método consiste en generar dentro de una atmosfera de gas inerte un arco eléctrico. El gas más utilizado actualmente es el argón, pero también son utilizados frecuentemente el helio u otros gases más económicos.

El arco generado va desde la pieza hasta el electrodo de tungsteno. El uso de este material es debido a su alto punto de fusión necesario para soportar el calor de los metales a licuar. Por otro lado, es necesario limpiar la superficie a soldar y la aportación del gas inerte para evitar reacciones generadas entre el metal y el oxígeno del ambiente.

Para realizar la soldadura se utiliza un material de aporte, que como mínimo tendrá las mismas propiedades que el material a soldar. Las uniones suelen tener espesores entre 1 y 5 mm y la zona afectada por el calor suele ser mínimas reduciendo el riesgo de afectar al material.

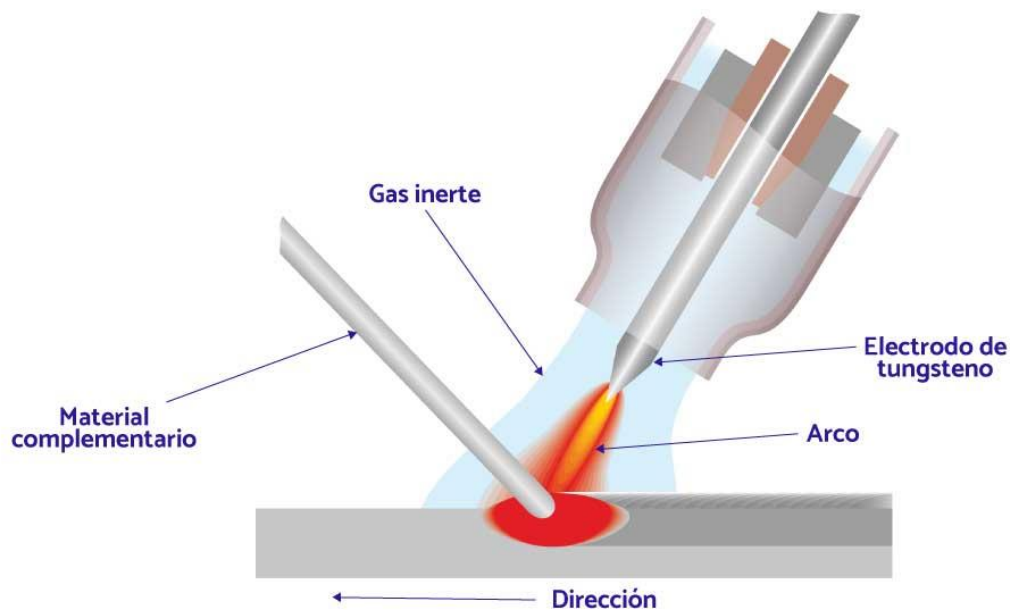


Figura 2-15: Dibujo esquemático del proceso de soldadura TIG (Fuente: www.metaltechgroup.es).

Las principales ventajas de este método son que no genera escoria, cordones de soldadura lisos y regulares, variabilidad del espesor y la no necesidad de limpiar la superficie después de la soldadura. Pese a las diversas ventajas el método requiere de precaución de las corrientes de aire que pueden desviar el gas inerte y una gran habilidad del soldador respecto a otros métodos.

Aunque se ha hablado más detalladamente del método TIG, también es viable el soldado Fillet Brazing, utilizado frecuentemente en el pasado. Las desventajas que lo hacen menos común actualmente son que es menos seguro a la hora de soldar aluminio (el material más usado), requiere una mayor preparación y dificultad a la hora de realizar la soldadura y una mayor habilidad por parte del soldador que la soldadura TIG.

3. Especificaciones del diseño

3.1. Normativa

La normativa que establece los diferentes ensayos a realizar sobre un cuadro de bicicleta están definidos en la UNE-EN ISO 4210-2:2015 con el nombre “Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas”.

Debido a las limitaciones de Autodesk Inventor no será posible realizar los ensayos a fatiga ya que todavía no vienen incorporados en el software. Por este motivo se realizarán ensayos nuevos que provoquen esfuerzos en las diferentes partes del cuadro y se acerquen a en la medida posible a los definidos por la norma.

3.2. Geometría

Los diferentes fabricantes a la hora de diseñar una bicicleta tienen en cuenta las diferentes medidas biomecánicas para garantizar la comodidad del ciclista. Debido a la gran posibilidad de tamaños a los que se podrían fabricar los cuadros, las marcas han creado un sistema de tallas propio para cada una de ellas.

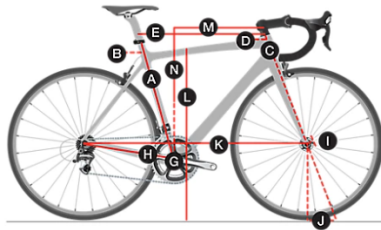


Figura 3-1: Cuadro 520 Disc. (Fuente: “www.trekbikes.com”)

Para este trabajo se utilizará como referencia la geometría del “Cuadro 520 Disc” de la marca Trek. Se trata de uno de sus primeros modelos de carretera con tubos completamente cilíndricos a excepción de las vainas hecho para soportar grandes cargas. A partir de esta geometría se

definirán nuevas secciones y se modificarán a lo largo de su longitud para cumplir los ensayos según su material. La talla elegida será la de 60cm cuyas medidas se presentan a continuación.

	48	51	54	57	60	63
Altura del ciclista	158.0 - 163.0 cm 52.2° - 54.2°	162.0 - 168.0 cm 53.8° - 56.1°	168.0 - 174.0 cm 56.1° - 58.5°	173.0 - 184.0 cm 58.1° - 60.4°	185.0 - 190.0 cm 60.8° - 62.8°	190.0 - 197.0 cm 62.8° - 65.6°
Pierna	74.0 - 77.0 cm 29.1° - 30.3°	76.0 - 79.0 cm 29.9° - 31.1°	78.0 - 82.0 cm 30.7° - 32.3°	81.0 - 86.0 cm 31.9° - 33.9°	86.0 - 90.0 cm 33.9° - 35.4°	89.0 - 93.0 cm 35.0° - 36.6°



Todas las medidas se proporcionan en cm, salvo cuando se indique lo contrario.

Número de talla del cuadro	48 cm	51 cm	54 cm	57 cm	60 cm	63 cm
Dimensiones de la rueda	700c	700c	700c	700c	700c	700c
A – Tubo del sillín	44.0	48.2	51.2	54.3	57.5	60.5
B – Ángulo del tubo del sillín	74.3°	74.0°	73.8°	73.5°	73.0°	72.8°
C – Longitud del tubo de dirección	11.5	12.5	14.0	16.0	20.0	23.0
D – Ángulo de la dirección	69.5°	70.0°	71.0°	71.8°	71.8°	72.3°
E – Tubo superior efectivo	52.0	53.1	54.3	55.7	58.3	60.3
F – Altura del eje de pedalier	27.4	27.4	27.8	27.8	27.8	27.8
G – Altura del eje de pedalier	7.5	7.5	7.0	7.0	7.0	7.0
H – Longitud de la vaina	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0	45.0
I – Retroceso	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2	5.2
J – Trail	7.4	7.1	6.5	5.9	5.9	5.6
K – Distancia entre ejes	104.1	104.5	104.8	105.2	107.4	108.6
L – Standover	71.3	74.1	76.8	79.4	82.6	85.4
M – Alcance del cuadro	36.8	37.3	37.8	38.3	39.2	40.0
N – Altura del cuadro	54.0	55.1	56.5	58.7	62.5	65.5

Figura 3-2: Tabla con las tallas del modelo elegido. (Fuente: “www.trekbikes.com”)

4. Modelado de los cuadros

Partiendo de la geometría definida por el cuadro elegido se ha creado un modelo alámbrico. Para este modelo se han cambiado las diferentes cotas para que resulte más fácil trabajar con ellas ya que el objetivo de los fabricantes es que estas aporten información sobre la talla y características de la persona y del análisis se centra en esfuerzos.

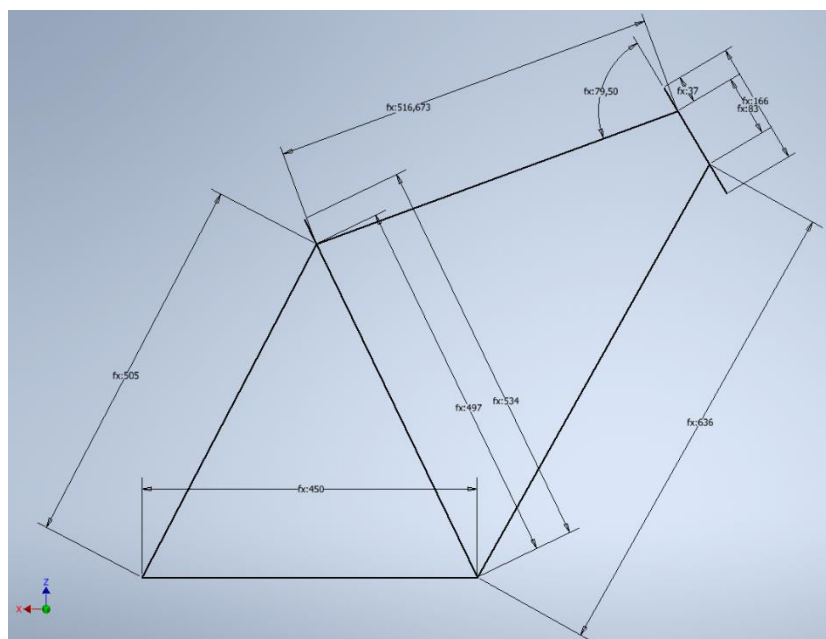


Figura 4-1: Modelo alámbrico.

Como para el análisis se van a modificar frecuentemente las dimensiones, se van a parametrizar las diferentes medidas a través de un fichero de Excel. Esto permitirá cambiar rápidamente parámetros sin necesidad de acceder uno a uno a los diferentes tubos que componen el cuadro. En la figura 4-1 se puede observar que delante de los valores aparece "fx:", lo que significa que están parametrizados.

Debido a las propiedades y ventajas de cada material se realizarán dos modelos distintos. El primero de estos se utilizará para el acero y titanio por su mayor resistencia que permiten diseñar un cuadro con tubos totalmente cilíndricos. Una vez vistos los resultados del primer modelo, para el de aluminio se utilizan diferentes secciones a lo largo de los tubos para mejorar la geometría en los puntos críticos.

El diseño se realizará tubo por tubo y posteriormente se ensamblará y se irán modificando las geometrías incluidas en el fichero de Excel hasta conseguir un modelo óptimo.

Para poder realizar los análisis se genera un tubo sólido que se utilizara para poder imponer restricciones que simulen el funcionamiento habitual de la bicicleta.

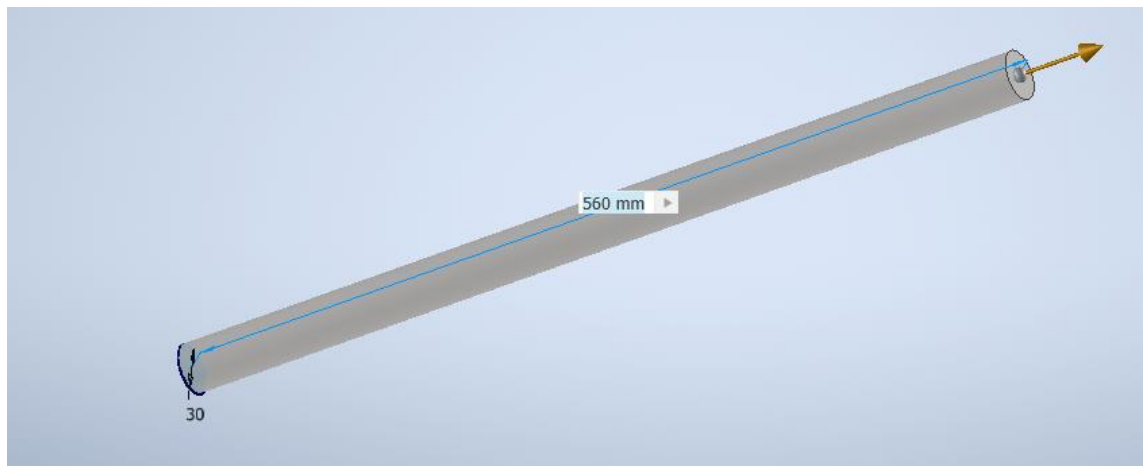


Figura 4-2: Tubo Auxiliar.

4.1. Acero y titanio

Para el modelado de los diferentes tubos se introduce como base el boceto con las dimensiones básicas que ya están parametrizadas en un fichero Excel para poder acceder a las medidas a retocar cualquier valor. Al final de este apartado se muestran los valores resultantes de ajustar los diámetros a los requerimientos del ensayo.

En primer lugar, se crean el tubo del eje de pedalier y el de dirección, los cuales únicamente se trata de una extrusión. Estas piezas utilizan diámetros ya establecidos porque deberán contener el eje de los pedales y la dirección respectivamente. A continuación, se realiza la extrusión del tubo del sillín con ayuda de un plano auxiliar y se le resta la parte que corresponde al eje. La resta se realiza con la opción "pasante" para asegurarse de que en caso de cambiar algún parámetro se seguirá realizando la operación de forma correcta.

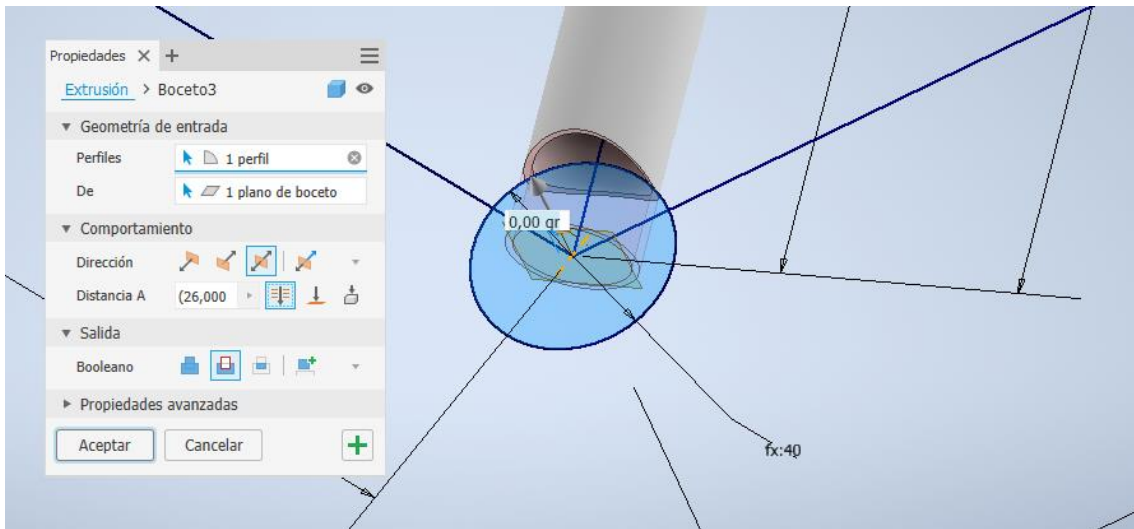


Figura 4-3: Creación del tubo sillín.

El siguiente tubo es el superior en el cual se procede de forma similar realizando la extrusión y restando en este caso el tubo del sillín y el de dirección. Para el tubo inferior se le resta el tubo de dirección el del eje de pedalier y el del sillín.

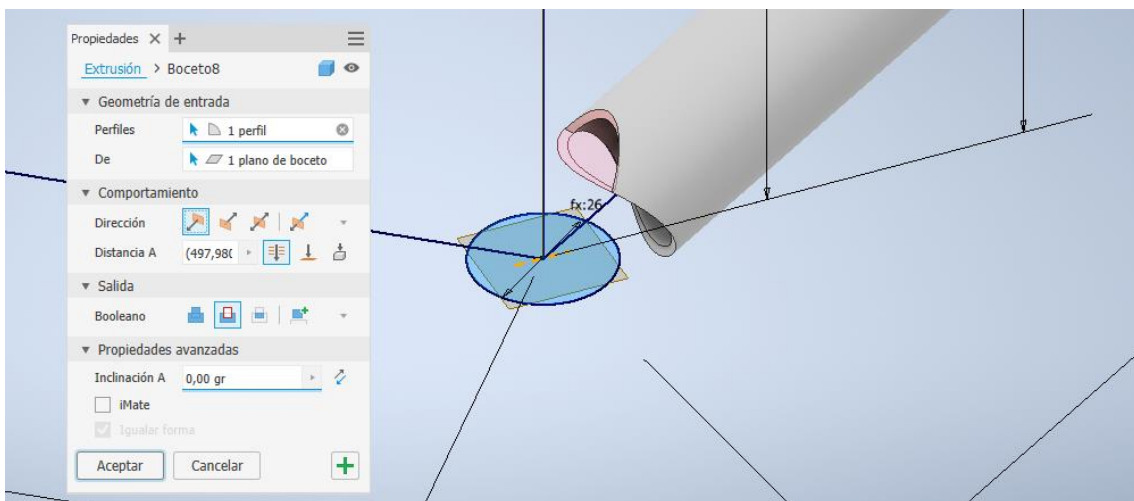


Figura 4-4: Extremo del tubo inferior.

Por ultimo se realiza el modelo de las vainas, el más complicado. Primero se generan de base los tubos del sillín y del eje utilizando los parámetros guardados en Excel para tener una base donde realizar el resto de los bocetos.

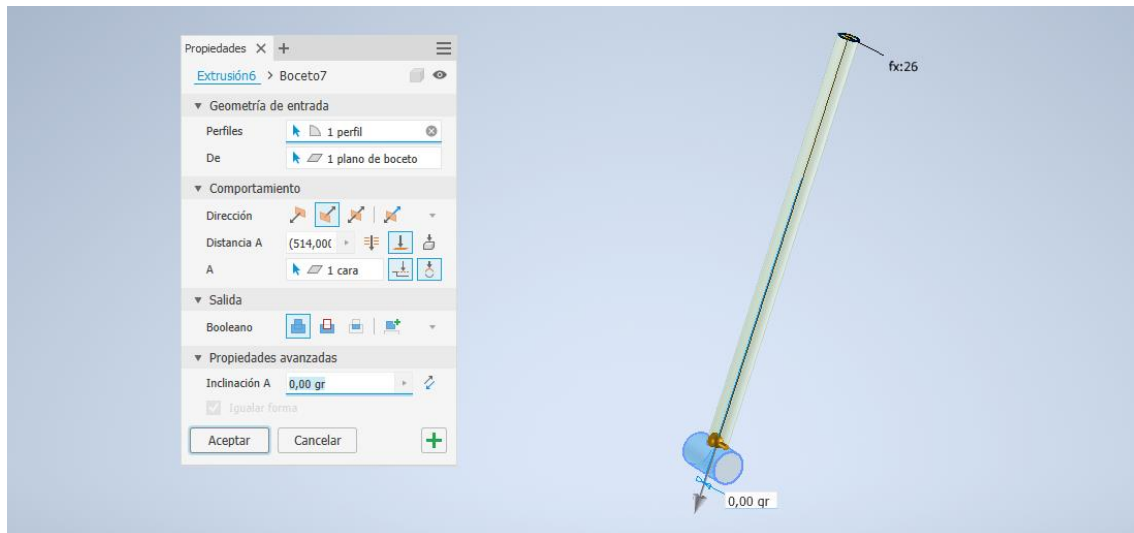


Figura 4-5: Elementos utilizados de base para las vainas.

A continuación, se crea el eje trasero y se dibuja el boceto de la pieza que lo sujetará y se realiza su extrusión quedando de la siguiente forma.

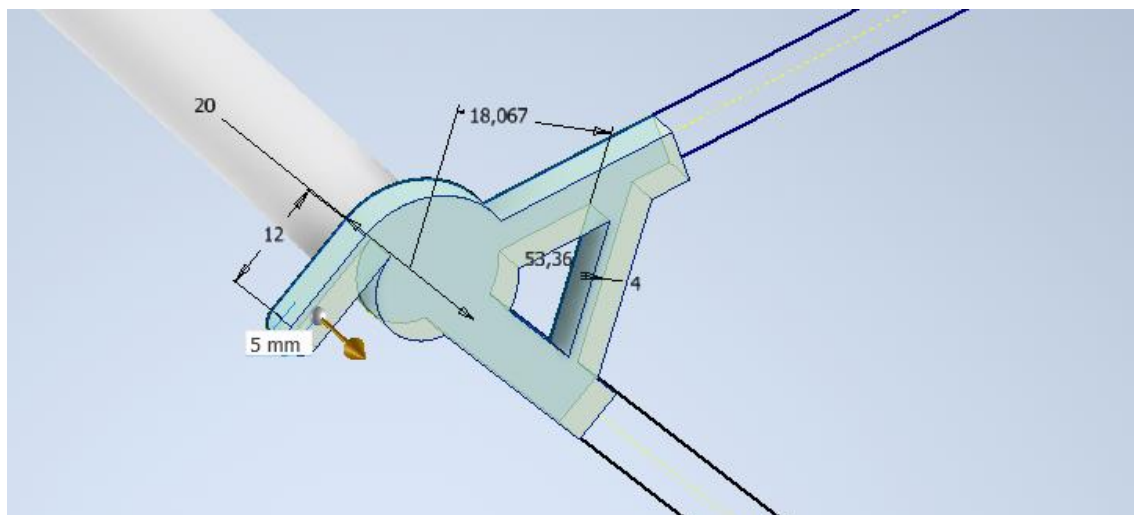


Figura 4-6: Extrusión de la unión entre las vainas.

Desde la cara superior de donde saldrá el tubo se crea un plano desfasado 10 mm y se dibuja en un boceto contenido en el plano una circunferencia. Con la operación de elevación se crea un cuerpo entre la cara anteriormente mencionada y la circunferencia.

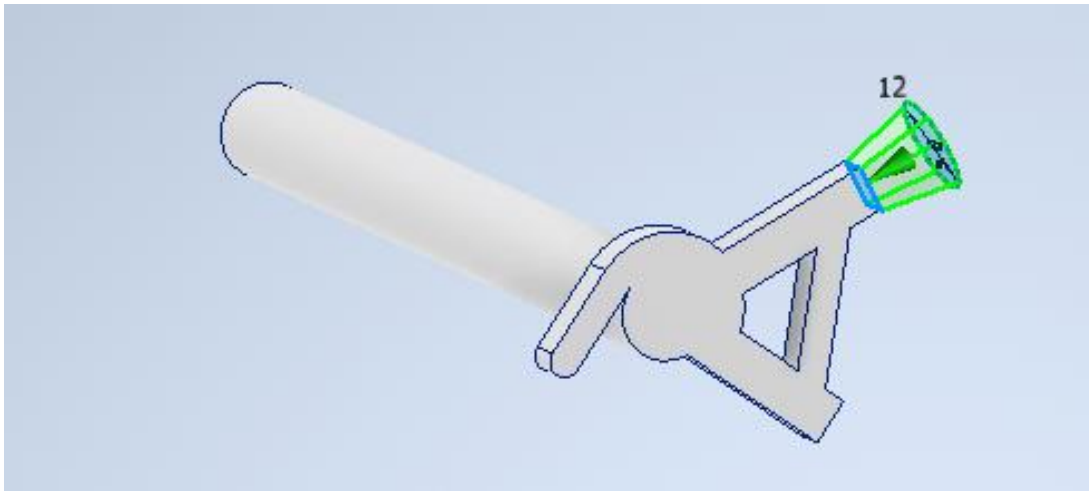


Figura 4-7: solevación de la pieza de unión entre vainas.

Para generar la vaina superior se necesita un plano auxiliar que se creará utilizando el boceto alámbrico inicial. Se genera un boceto en este plano con el recorrido que seguirá la vaina. Con la operación de barrido se crea el tubo que conectará con el tubo del sillín en su parte superior.

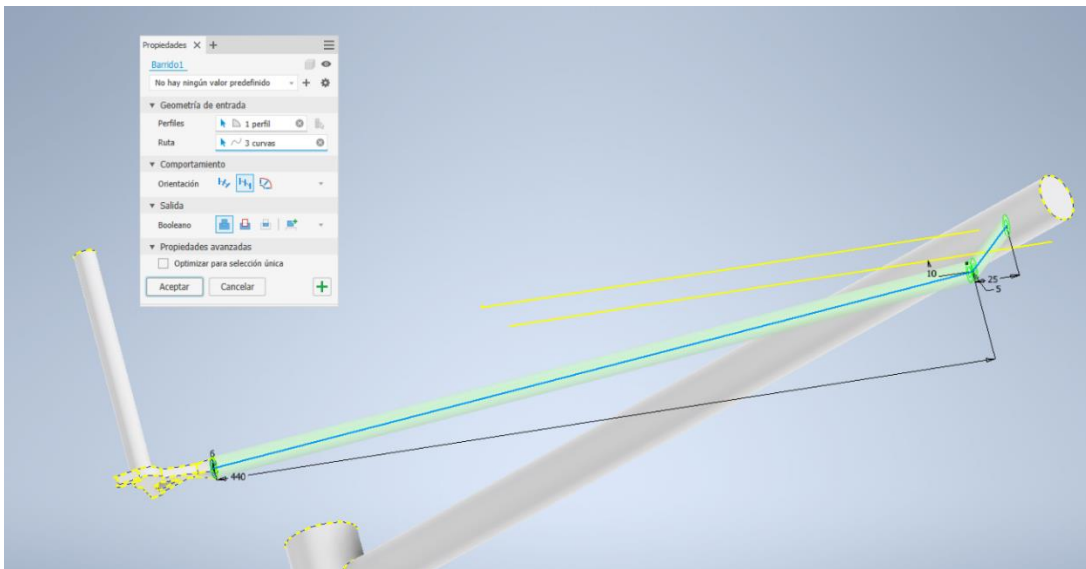


Figura 4-8: Generación de la vaina superior.

Para la vaina inferior se vuelve a crear un plano desfasado per esta vez se dibuja una elipse para mejorar la resistencia en el tubo que se generará a partir de esta. De nuevo se crea un plano contenido en el recorrido que seguirá hasta llegar al tubo del eje. Se crea el recorrido en el plano y se crean bocetos en distintos puntos del recorrido que formaran la operación de solevación.

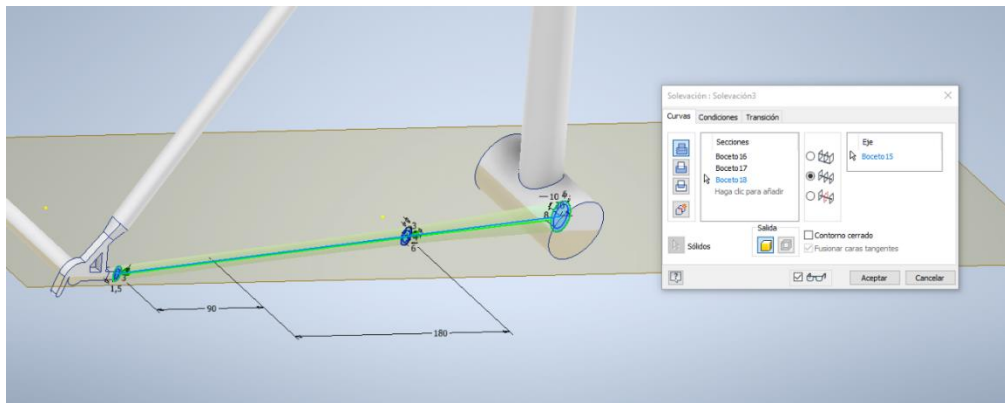


Figura 4-9: Generación de la vaina inferior.

Para terminar las vainas se eliminan los tubos de apoyo creados al principio y se realiza una simetría respecto al plano XZ para crear las vainas del otro lado. Utilizando el plano creado para las vainas superiores se dibuja el recorrido de los tubos que unirán las vainas. Con un plano auxiliar se dibuja la sección que se utilizará.

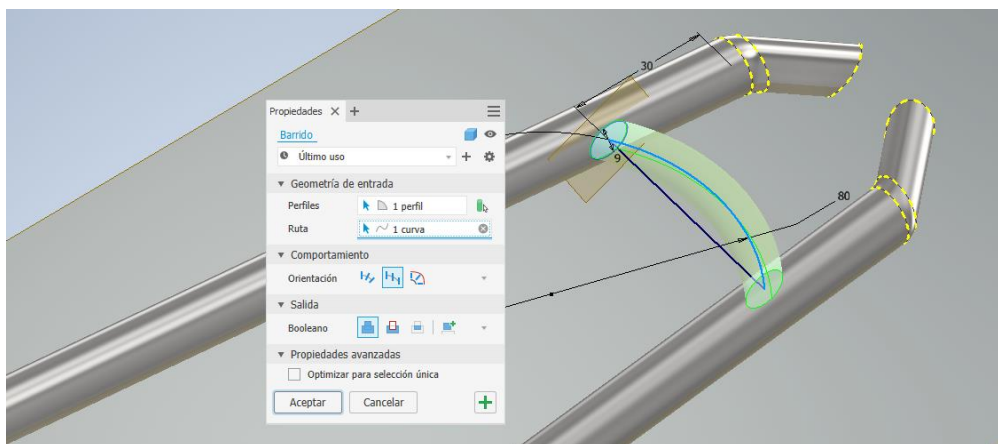


Figura 4-10: Pieza de unión entre vainas.



Figura 4-11: Resultado del modelo de las vainas.

En la siguiente tabla se muestran los espesores obtenidos después de comprobar que cumplen con los análisis propuestos.

Dirección	1,5	mm	Inferior	1	mm
Superior	1	mm	Sillín	1,5	mm

Figura 4-12: Tabla con los valores de los espesores obtenidos.

4.2. Aluminio

Para el modelado de esta parte se utilizarán los mismos procedimientos descritos en el apartado anterior para los tubos del eje de pedalier, dirección, sillín y vainas. Como este modelo se ha realizado después de saber los resultados del primer modelo, se introducen mejoras en las secciones de los tubos superior e inferior al ser los más solicitados.

La modificación realizada en el tubo inferior es el cambio de sección a una elipse para absorber mejor los esfuerzos que se realizan en este tubo. Por otro lado, al tubo superior se le ha añadido una sección en forma de elipse con radio variable a lo largo de su longitud ya que el extremo delantero está más solicitado. La operación se ha realizado con una elevación.

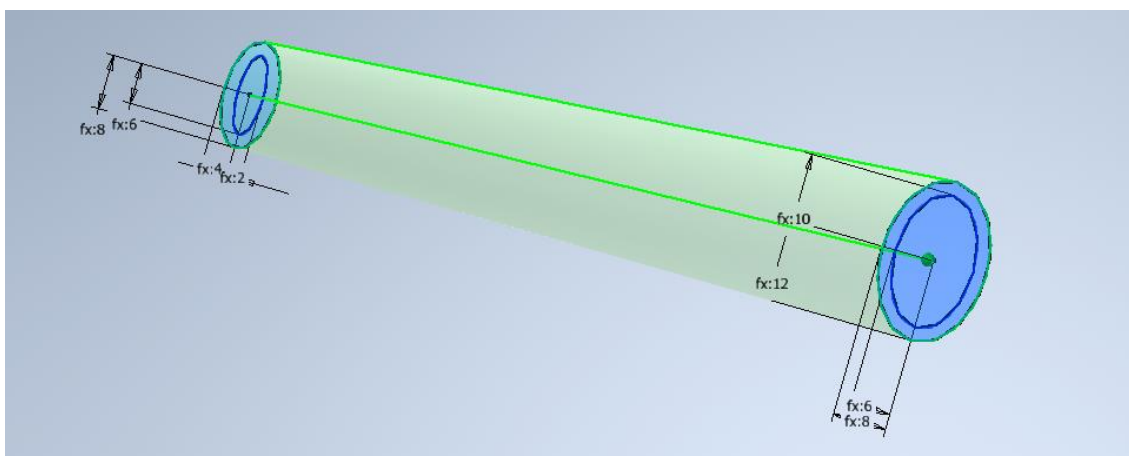


Figura 4-13: Tubo superior del modelo de aluminio.

Con el cambio de material se han ajustado los valores de los diferentes radios a través de su parametrización. El resultado final es el siguiente:

D_sillin	18	mm	RMi_superior	8	mm
d_sillin	14	mm	Rmi_superior	4	mm
D_direccion	40	mm	rMi_superior	6	mm
d_direccion	32	mm	rmi_superior	2	mm
RM_inferior	16	mm	RMf_superior	12	mm
Rm_inferior	8	mm	Rmf_superior	8	mm
rM_inferior	14	mm	rMf_superior	10	mm
rm_inferior	4	mm	rmf_superior	6	mm

Figura 4-14: Tabla con los valores parametrizados de aluminio. Se utiliza D mayúscula para radios exteriores y minúscula para interiores. En las elipses M mayúscula es para el radio mayor y minúscula para los interiores.

4.3. Conificado de acero

Para el primer modelo se le modificaran los tubos del sillín, inferior y superior reduciendo su espesor en el centro de estos para conseguir una reducción de peso. Esto se realiza con una solevación añadiendo en planos intermedios unas secciones menores como se muestra a continuación.

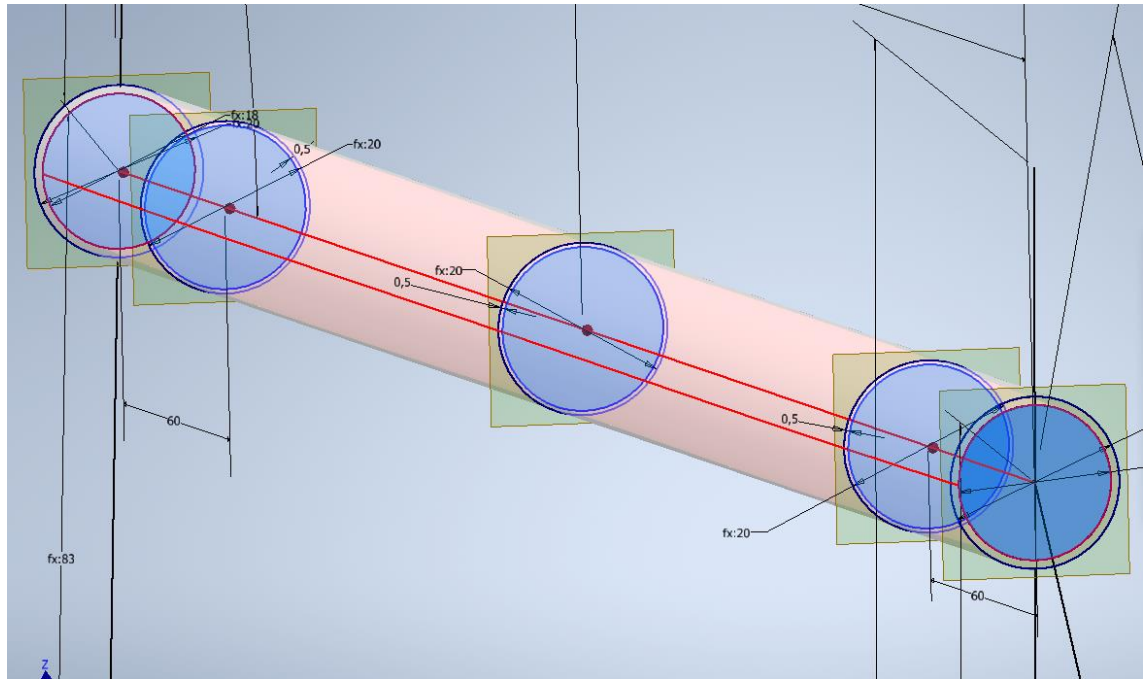


Figura 4-15: Proceso de creación del tubo superior conificado

Para el caso del tubo del sillín la solevación empezará a una mayor distancia para tener en cuenta que la tija del propio sillín deberá ir contenida dentro del tubo. Si no se hiciera esto el sillín no quedaría fijo al no hacer contacto con el resto de las paredes.

5. Ensamblajes

El ensamblaje de ambos modelos se realizará de la misma forma. Para poder realizar soldaduras en el ensamblaje se selecciona a la hora de crear el archivo la opción de conjunto soldado.

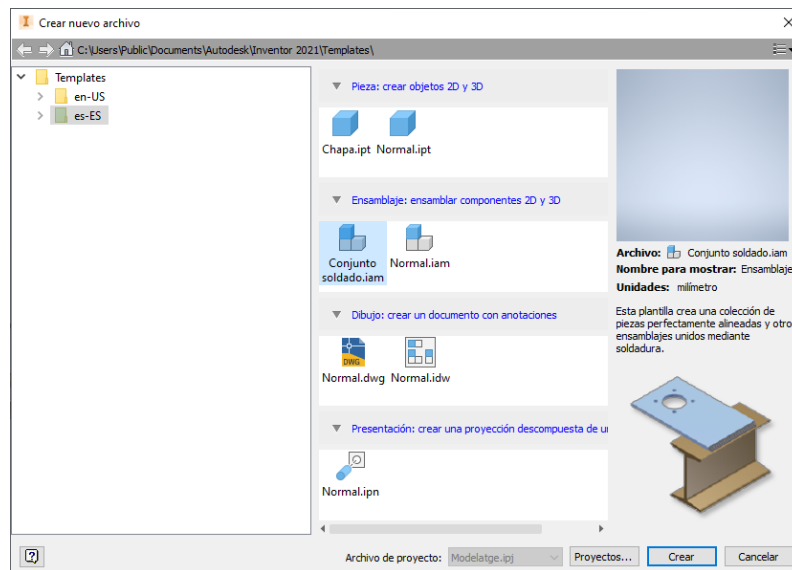


Figura 5-1: Ventana con la selección de conjunto soldado.

Una vez creado el archivo se inserta el modelo alámbrico para que sirva de base para colocar las partes del cuadro. Además, se fija este a los ejes para poder utilizar más tarde coordenadas para las fuerzas de los ensayos.

La primera pieza será el eje de pedalier que quedará fijada al modelo alámbrico. A continuación, se inserta el tubo del sillín y se restringe su base con el sillín para añadir inmediatamente las vainas que irán restringidas en su parte inferior al eje y en la superior al tubo del sillín. Adicionalmente las vainas quedan fijadas al plano del modelo alámbrico para que no puedan desplazarse lateralmente.

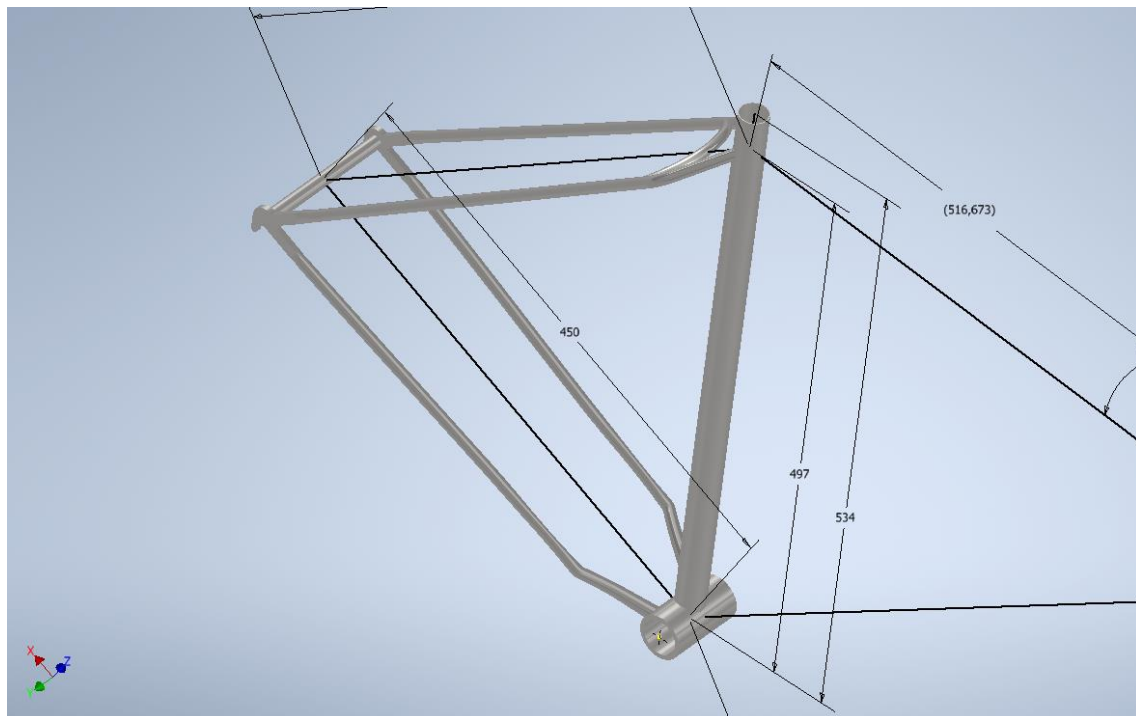


Figura 5-2: Acoplamiento de las partes al ensamblaje.

Una vez hecho esto se insertan los tubos superior e inferior de forma que queden unidos al tubo de sillín y al eje de pedalier respectivamente. Finalmente se introduce el tubo de dirección restringiéndolo de forma adecuada para que quede en la posición correcta ya que con solo restringirlo a los tubos no bastará. Para poder realizar los ensayos se introduce por último el tubo que servirá para simular la horquilla.

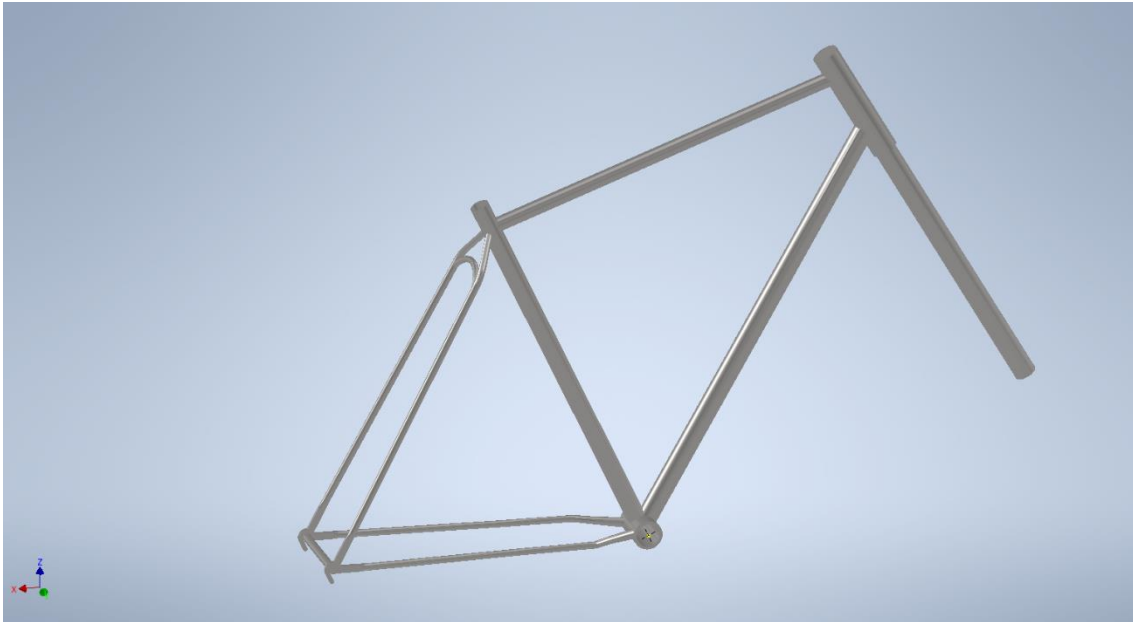


Figura 5-3: Modelo completo de acero.

El siguiente paso una vez completado el modelo es introducir las soldaduras. Para esto se utiliza la herramienta incluida en Inventor que se accede a ella en el apartado de “Soldadura” y se selecciona la opción de “Empalme”. Una vez hecho esto se abrirá una ventana como la mostrada a continuación donde se introduce un valor típico de 3 mm de altura que más tarde se comprobará si es suficiente.

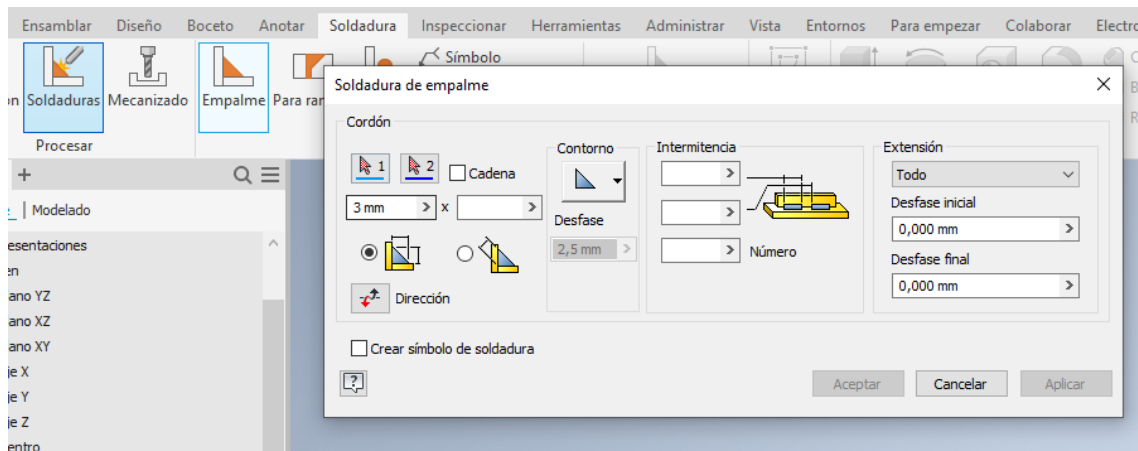


Figura 5-4: Procedimiento para añadir soldaduras.

El uso de soldaduras en Inventor está pensado para un uso estético ya que, de utilizarse en las simulaciones, estas producen valores en las tensiones de una magnitud mayor a las esperadas en casos comparables. Para evitar esto se utiliza un nuevo contorno simplificado del ensamblaje original. De esta forma se evitan los problemas generados por las uniones de soldadura de Inventor pudiendo realizar un análisis que las incluya. El modelo sustituto eliminara las restricciones con la creación de un nuevo solido que mantiene los interiores huecos de los tubos.

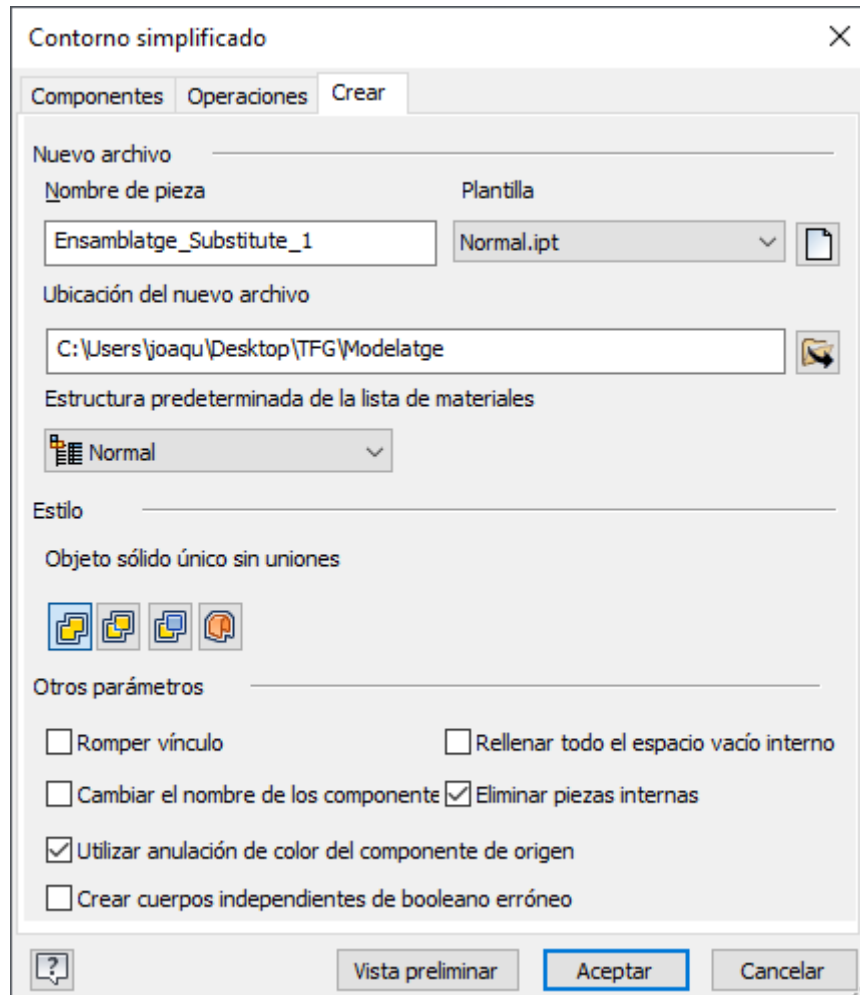


Figura 5-5: Ventana de la creación de un contorno sustituto.

Hecho esto se repite todo el proceso para poder analizar también el cuadro de aluminio.

6. Simulaciones estáticas y análisis

6.1. Propiedades físicas de los materiales

Para los ensayos se han elegido las aleaciones más utilizadas actualmente del acero, titanio y aluminio para la fabricación de cuadros.

El primer modelo será el mismo para el acero y el titanio debido a que ambos tienen prácticamente el mismo límite de elasticidad. Para el acero se utiliza la aleación 4130 obtenida

de la página del fabricante “Waldunsteel” y para el titanio la aleación Ti-Al-2.5V obtenida desde la página del fabricante “Acnis International”

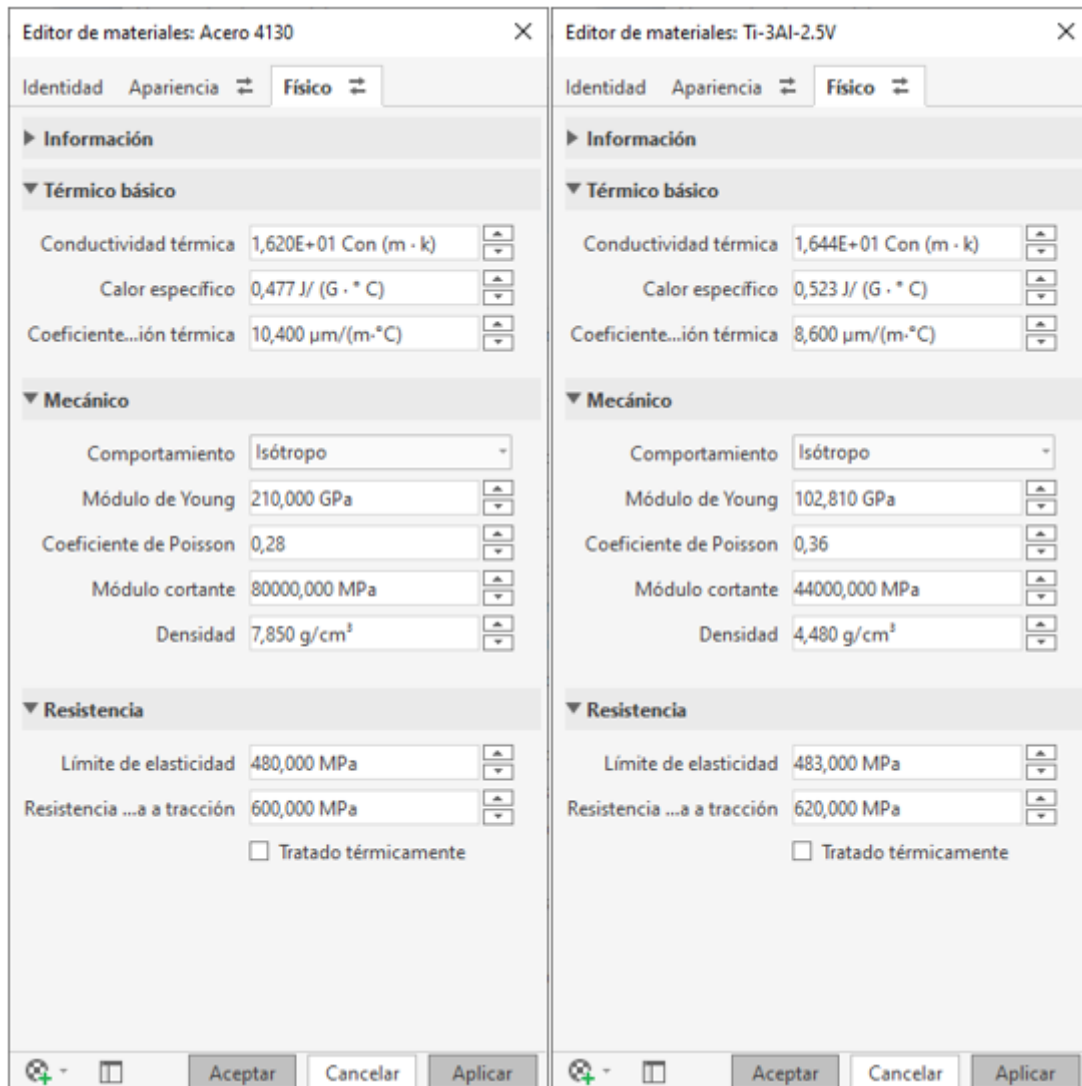


Figura 6-1: Características del acero y titanio elegidos.

Para el modelo del aluminio se utiliza la aleación 6061 obtenida de la página del fabricante “Gabrian International”.

Categoría	Propiedad	Valor	Unidad
Térmico básico	Conductividad térmica	1,670E+02	Con (m · k)
	Calor específico	0,897	J/ (G · ° C)
	Coefficiente...ión térmica	23,600	µm/(m·°C)
Mecánico	Comportamiento	Isótropo	
	Módulo de Young	68,900	GPa
	Coefficiente de Poisson	0,33	
	Módulo cortante	25864,000	MPa
	Densidad	2,700	g/cm ³
Resistencia	Límite de elasticidad	275,000	MPa
	Resistencia ...a a tracción	310,000	MPa

Figura 6-2: Características del aluminio elegido.

6.2. Ensayos propuestos

Para todos los ensayos se reduce el valor por defecto del mallado medio a 0,01 mm ya que a partir de este valor no se modifica el resultado obtenido en el análisis de elementos finitos al haberse alcanzado un nivel de detalle suficiente. Adicionalmente se utiliza el contorno sustituto para poder analizar el modelo completo sin incidencias causadas por las soldaduras.

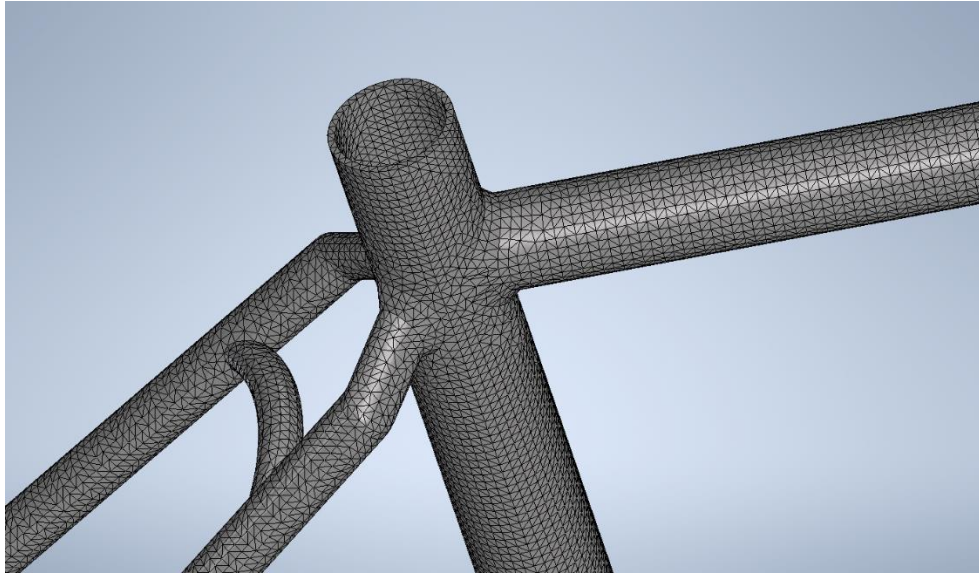


Figura 6-3: Visualización del mallado en la parte superior del tubo de sillín.

6.2.1. Caída vertical

El primer ensayo que se va a realizar consiste en simular una caída en vertical de la bicicleta. Para esto se necesita calcular la fuerza que se generara en la caída. Esto se consigue igualando la fórmula del trabajo a la izquierda y la fórmula de la energía cinética quedando de la siguiente forma:

$$F \cdot d = m \cdot g \cdot h$$

Figura 6-4: Fórmula utilizada para el cálculo de la fuerza de caída.

Para el caso a estudiar se escoge un valor de 80 kg para el peso del ciclista y del cuadro, una caída de medio metro de altura y la deformación total producida por el neumático será de 0,04 m sin tener en cuenta la deformación del cuadro que únicamente podría reducir el valor de la fuerza. El valor de la deformación puede variar de forma significativa según la presión del neumático siendo el 0,04 m un valor que queda dentro de un grosor habitual de neumáticos de 0,05 m. Sustituyendo estos valores se obtiene una fuerza total de 9800 N que se reparte un 70% en los pedales y la fuerza restante en el manillar.

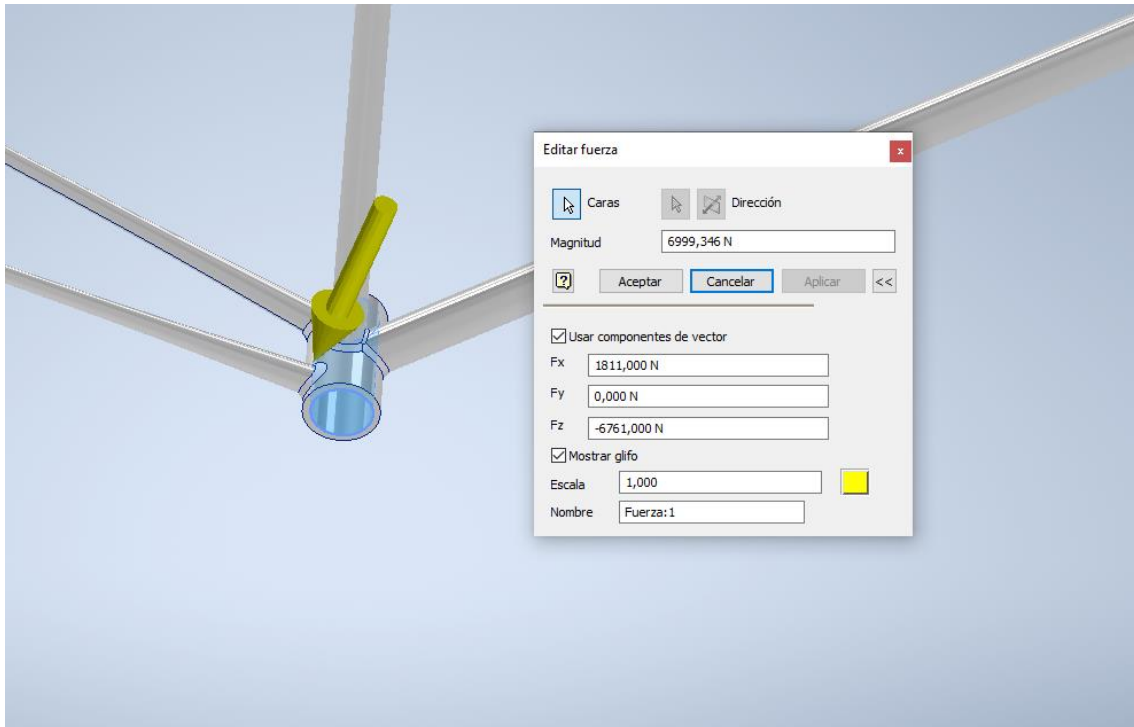


Figura 6-5: Fuerza sobre el eje en el ensayo 1.

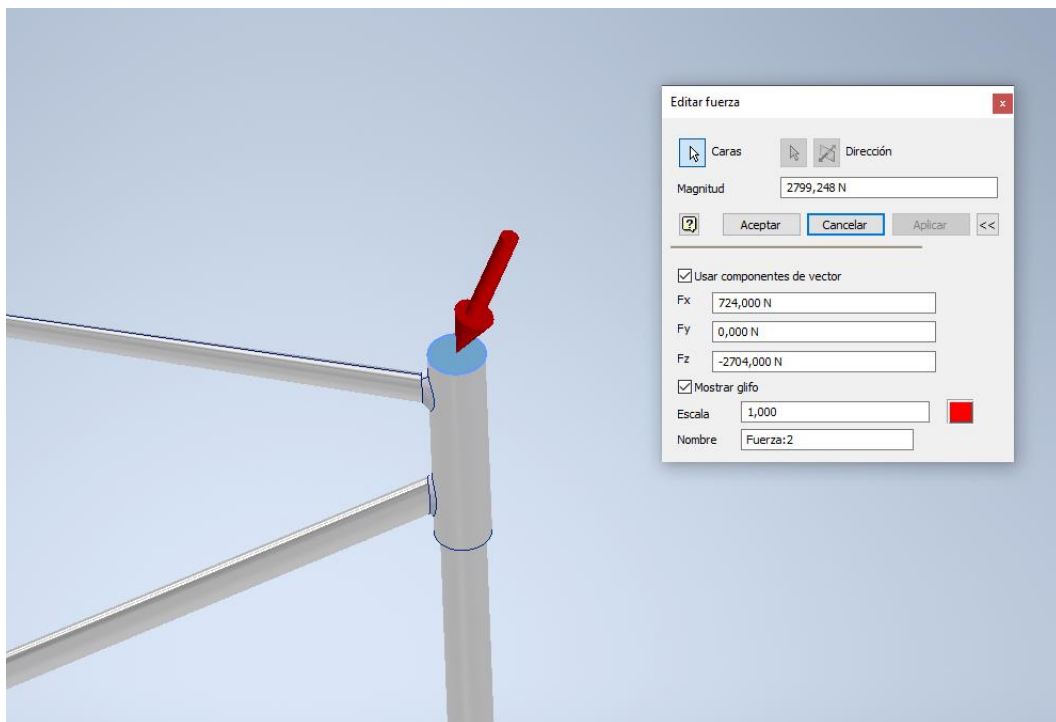


Figura 6-6: Fuerza sobre el manillar en el ensayo 2

Finalmente se añaden las restricciones. La primera de ellas restringirá el movimiento completamente en el eje de la rueda trasera para fijar el modelo y la segunda de ellas permitirá únicamente el movimiento en el plano que correspondería al suelo colocada en la base de la

barra que imita a la horquilla para poder simular el desplazamiento que sufriría al estar sobre sus ruedas.

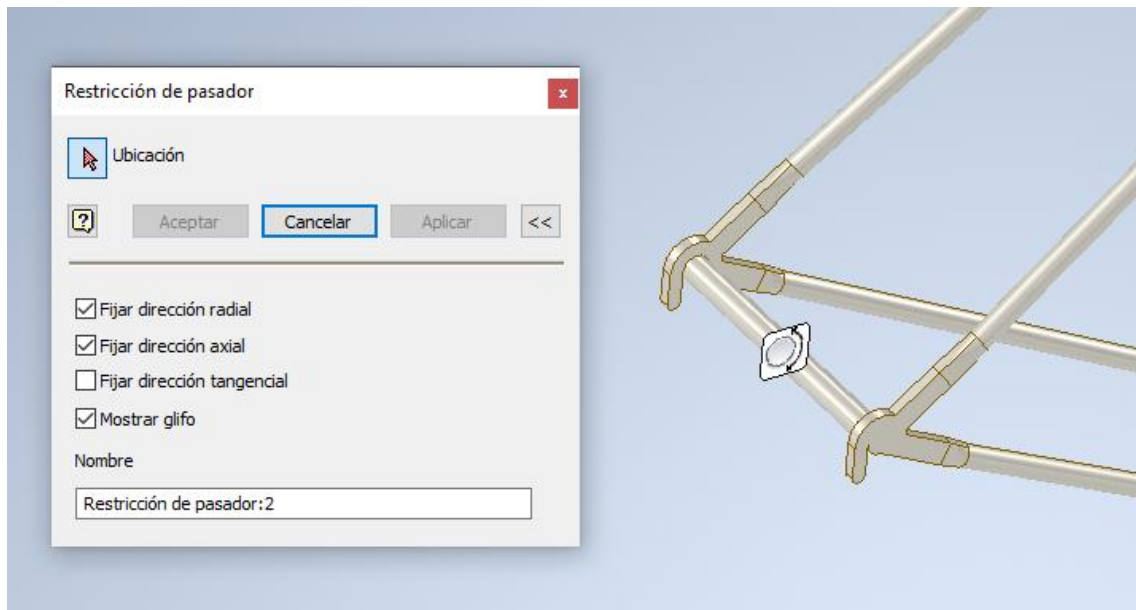


Figura 6-7: Restricción de pasador en la parte trasera.

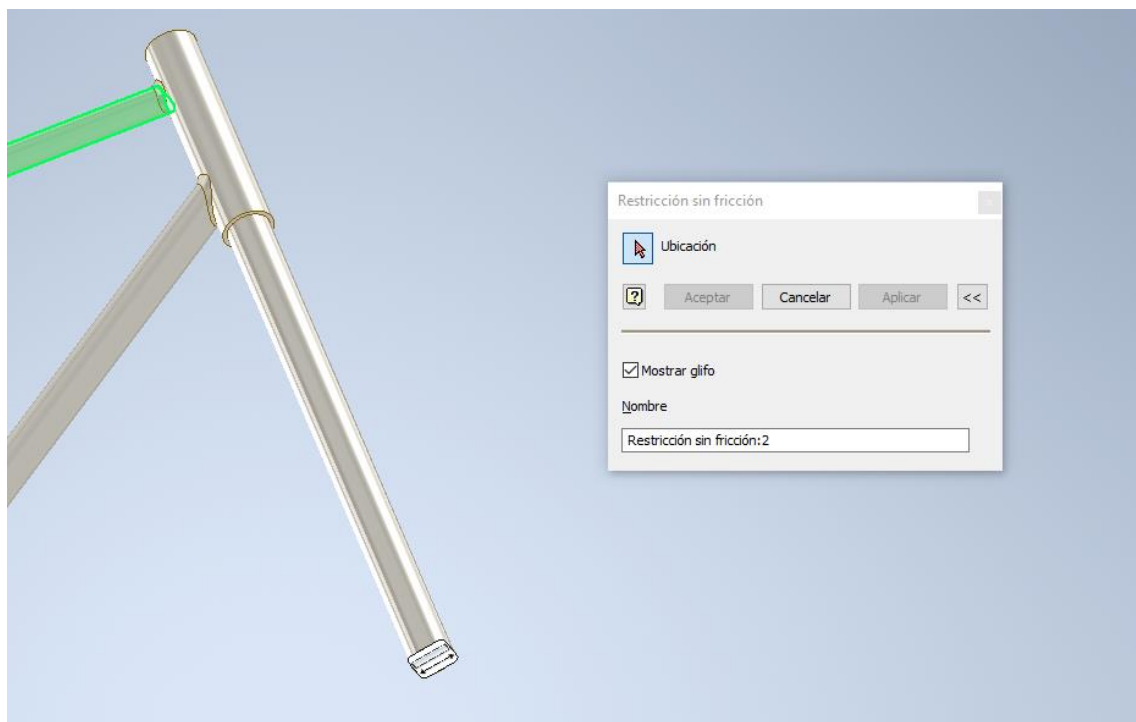


Figura 6-8: Restricción sin fricción en el tubo auxiliar.

6.2.2. Ciclista sobre un pedal

En este ensayo se simula el caso de un ciclista de 80 kg apoyado sobre el pedal con una posición de 45° respecto al suelo de forma que se generen fuerzas laterales en la estructura.

Para este ensayo se impondrá la misma restricción en el eje trasero, pero en lugar de la restricción sin fricción en la parte delantera, se coloca una restricción total para evitar un desplazamiento lateral que no sería posible debido al efecto de las ruedas.

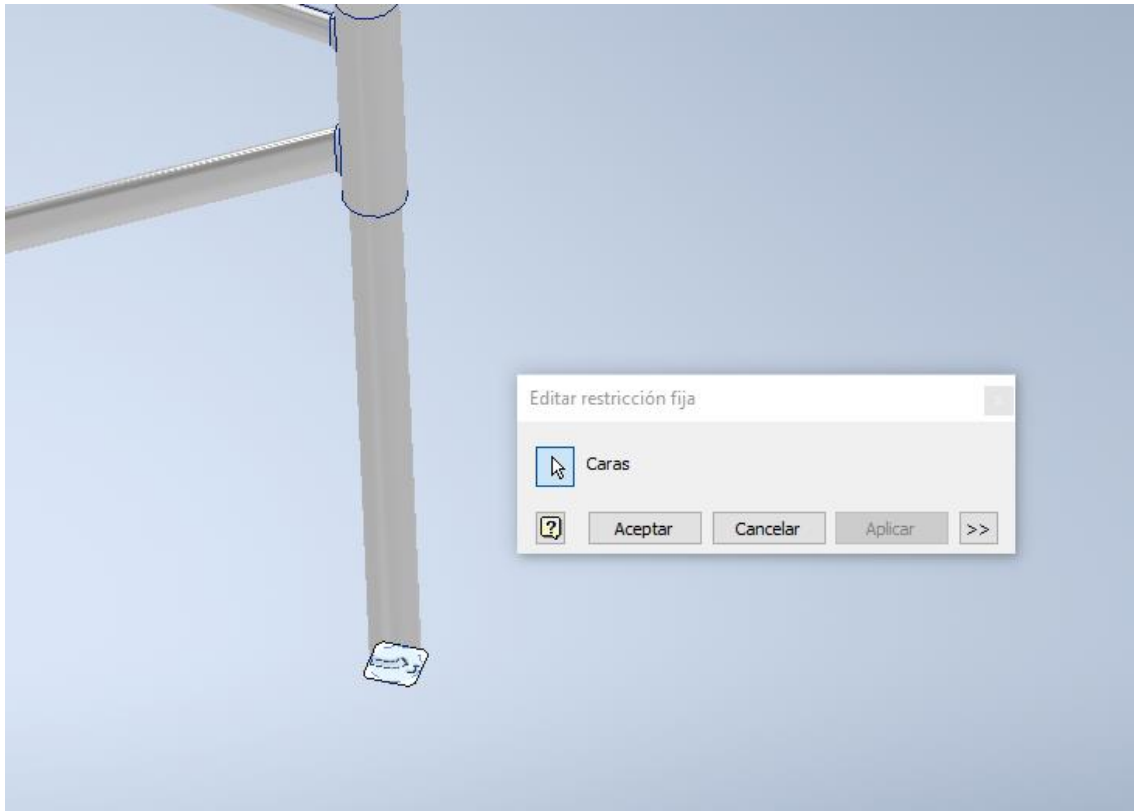


Figura 6-9: Restricción fija en el tubo auxiliar.

A continuación, para el peso del ciclista se introduce una fuerza remota situada en el interior del eje de pedalier. La fuerza quedará descompuesta en dos componentes de forma que quede perpendicular a el plano que ocuparía el suelo. Además, se introducen las coordenadas que corresponderían a situar el pedal a 45º del suelo y el pie alejado a 80 cm del centro, es decir, la distancia del pedalier.

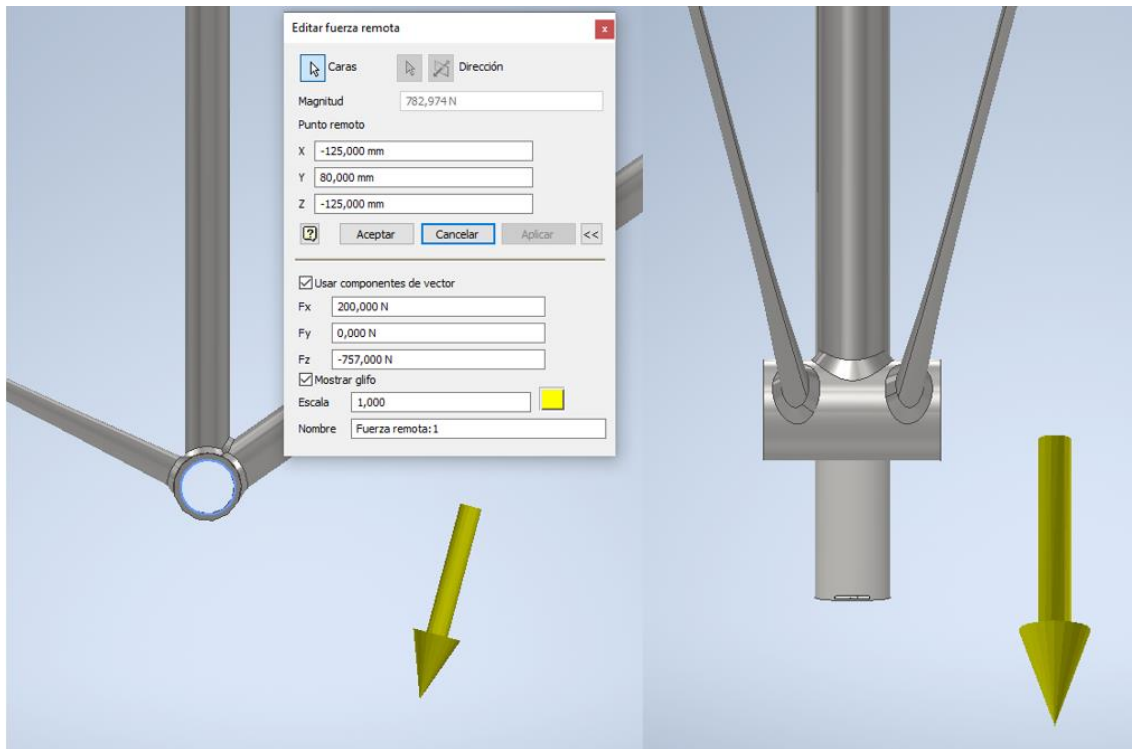


Figura 6-10: Fuerza remota sobre el eje de pedalier.

6.2.3. Choque frontal leve

El último ensayo que se realizará consiste en simular el efecto de un impacto frontal leve. El cálculo de la fuerza que se generará en el choque se calculará de forma similar a la de la caída en vertical solo que en este caso se utiliza la fórmula de la energía cinética. Colocando la energía del trabajo a la izquierda y la de la energía cinética a la derecha, se obtiene la siguiente ecuación:

$$F \cdot d = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Figura 6-11: Fórmula para el cálculo de la fuerza del choque frontal.

Despejando la ecuación y sustituyendo por la masa de 80 kg de nuestro ciclista, una velocidad de 1,38 m/s equivalente a 5km/h, y asumiendo que entre el neumático y el cuadro sufre una deformación total de 0,05 m se obtiene un valor de 1523 N. No se utiliza una velocidad mayor para el cálculo de la fuerza ya que a mayores velocidades la rueda trasera se despegaría del suelo provocando que el ciclista saliera despedido complicando de forma excesiva el cálculo de la fuerza del choque.

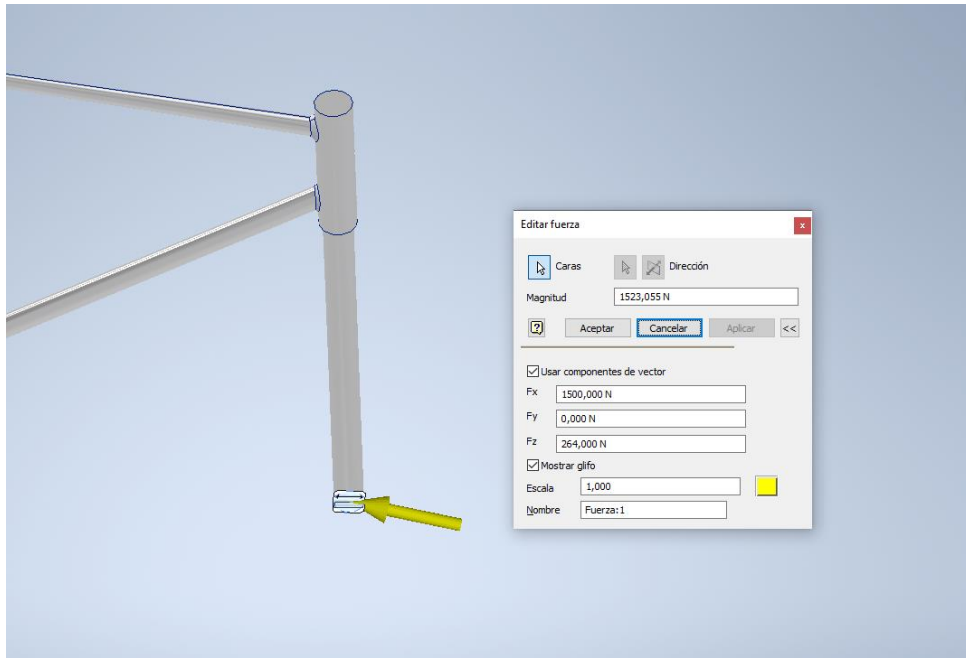


Figura 6-12: Fuerza sobre el tubo auxiliar.

Para este análisis se utilizan las mismas restricciones que en el primero, buscando el mismo efecto de forma que se permita deformar el cuadro en el plano de las ruedas.

7. Resultados

7.1. Tensiones

Los resultados a analizar del acero y titanio, debido a unas propiedades similares y un límite elástico prácticamente igual, provoca que se obtengan resultados equivalentes.

Con la realización de los análisis se ha observado que la unión del eje y principalmente la parte superior no transmitían correctamente los esfuerzos obteniendo un coeficiente de seguridad menor a la unidad en diversos casos. En la siguiente imagen se muestra el resultado del diseño original que ha sido descartado siendo el color rojo el valor máximo soportado por el material.

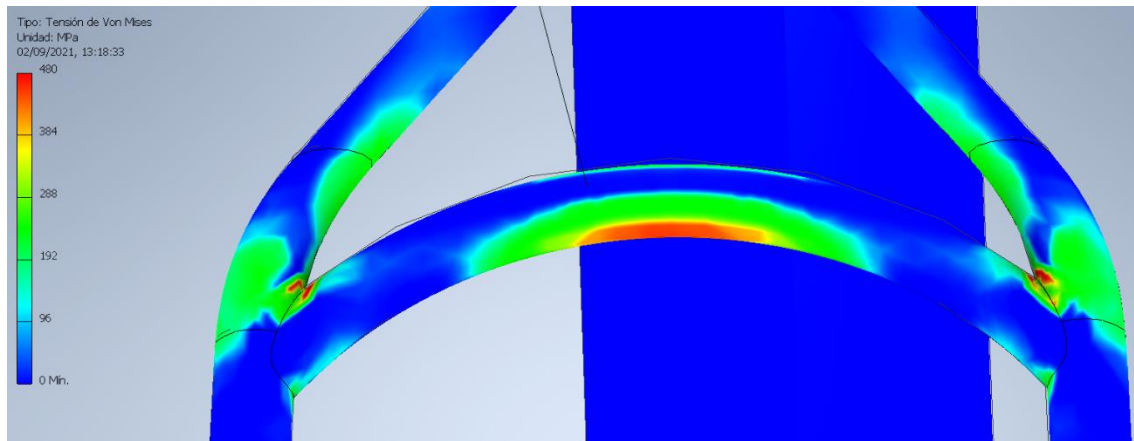


Figura 7-1: Tensiones en la parte superior de la vaina antes del rediseño.

En cuanto a los factores de seguridad se ha conseguido que no sean inferiores de 1,5 en los modelos de titanio y acero. Por otro lado, en el de aluminio se ha conseguido un mínimo de 1,28 debido al ensayo del choque. En la siguiente tabla se muestran los valores obtenidos según ensayo y material.

	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Acero	1,92	3,29	1,51
Titanio	1,95	3,34	1,51
Aluminio	1,34	1,77	1,28

Figura 7-2: Tabla con los valores de los coeficientes de seguridad.

En los siguientes apartados se analizan más detalladamente los diferentes modelos. En cada imagen se utiliza una escala de color con el valor máximo de la simulación en cuestión para facilitar la visualización de los puntos críticos. Por esto motivo que aparezca en color rojo no significa que se haya superado el valor máximo del material.

7.1.1. Caída vertical

En el ensayo de la caída aparece un punto crítico en el interior del tubo del sillín debido a las fuerzas de compresión generadas por las vainas y el tubo superior. Las soldaduras de las vainas y la curva de la parte superior generan el segundo y tercer punto crítico de este ensayo.

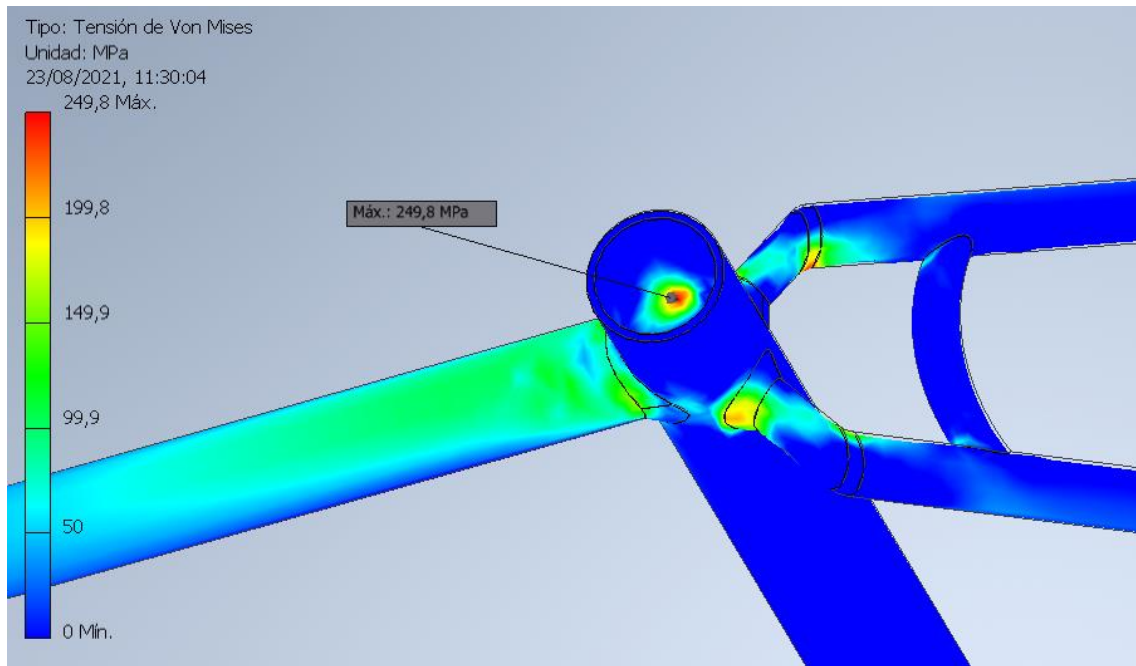


Figura 7-3: Ensayo de caída del material de acero vista superior.

Otro punto con grandes solicitaciones en la unión trasera de las vainas como es de esperar al ser un punto de apoyo.

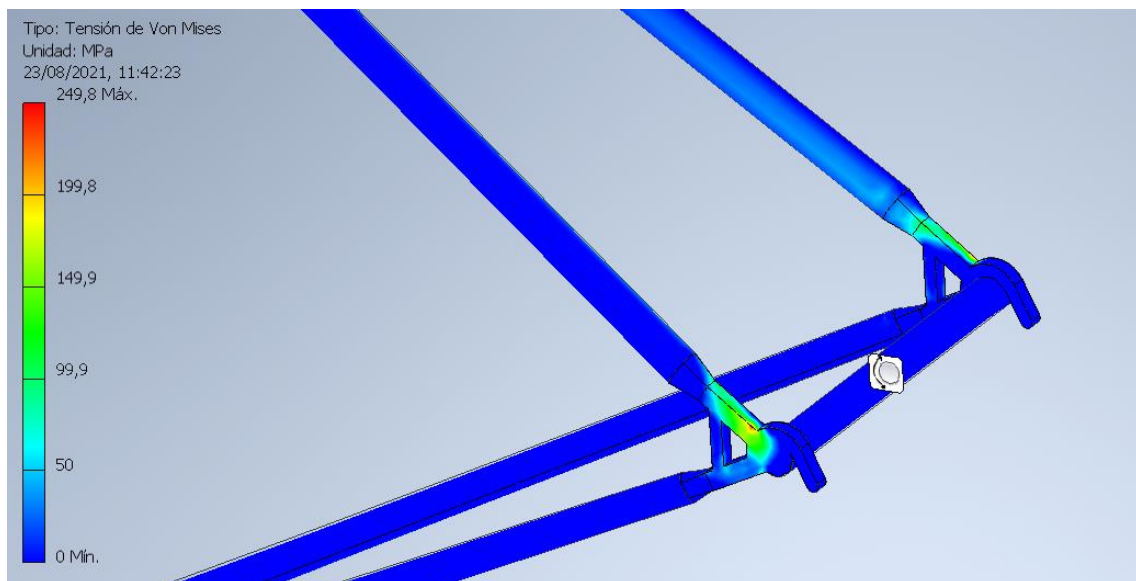


Figura 7-4: Ensayo de caída del material de acero en las vainas.

En la siguiente imagen se muestra el resultado del aluminio que pese al aumento de las medidas en las vainas aparece el punto crítico en esta parte.

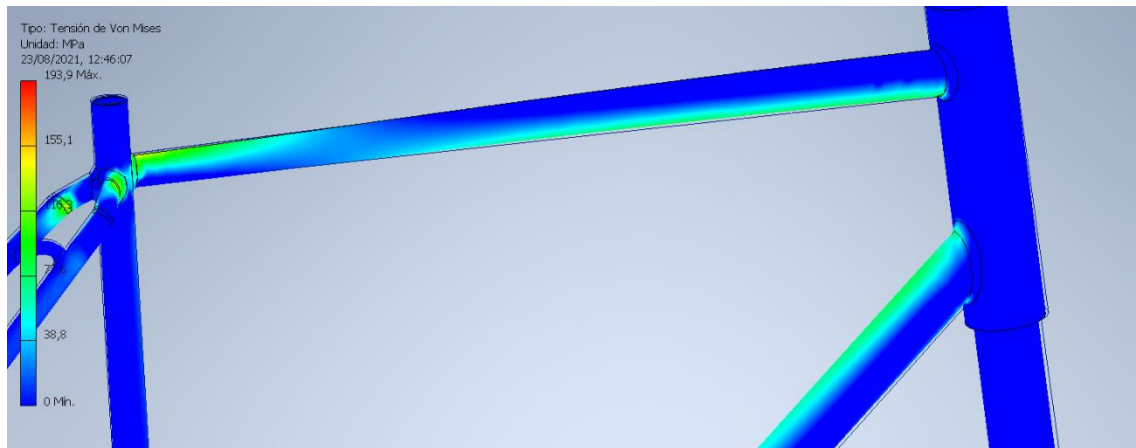


Figura 7-5: Ensayo de caída del material de aluminio vista de la parte superior.

Aunque la siguiente imagen corresponde al primer ensayo del acero se podrá observar en todos los ensayos que el extremo de los tubos inferior y superior que llega al tubo de dirección va a concentrar tensiones en todos ellos.

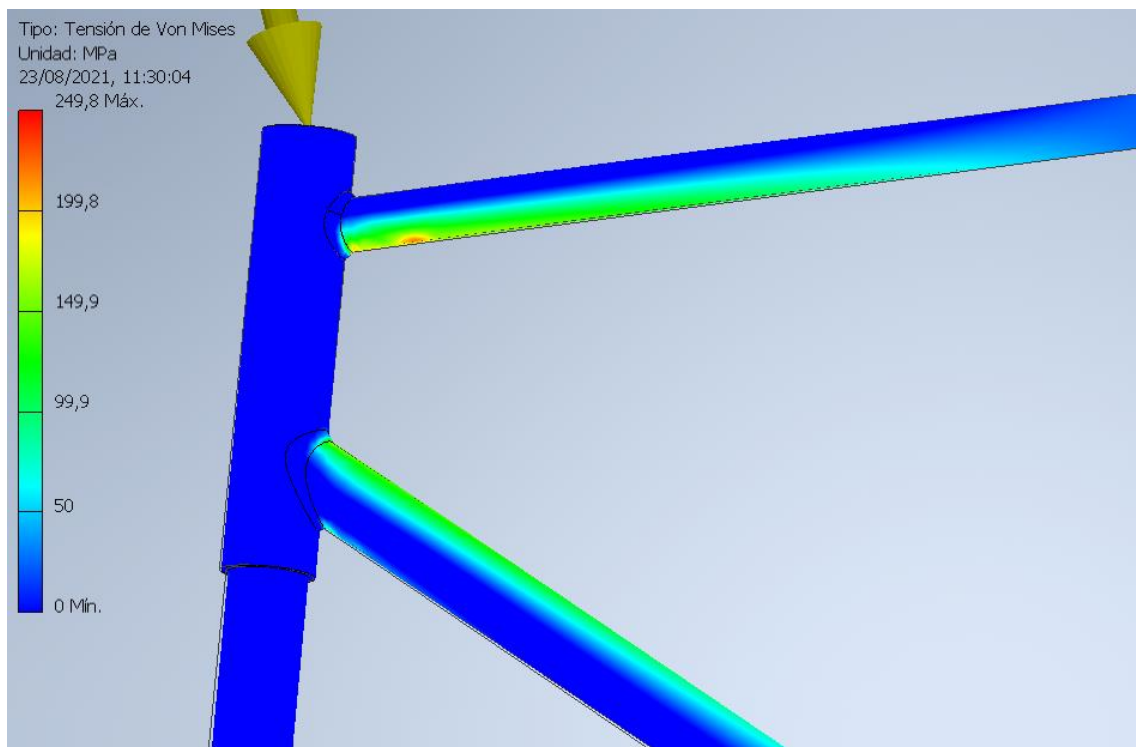


Figura 7-6: Ensayo de caída del material de acero parte delantera.

A la hora de analizar el modelo de aluminio se observa que la implementación de secciones elípticas ha eliminado los problemas habituales en los tubos superior e inferior cerca del tubo de dirección sin suponer un aumento excesivo de su diámetro. Esta medida también facilita la soldadura en estas partes ya que su diámetro no puede ser mayor que el tubo al que va unido pudiendo mantener al mínimo posible estas medidas.

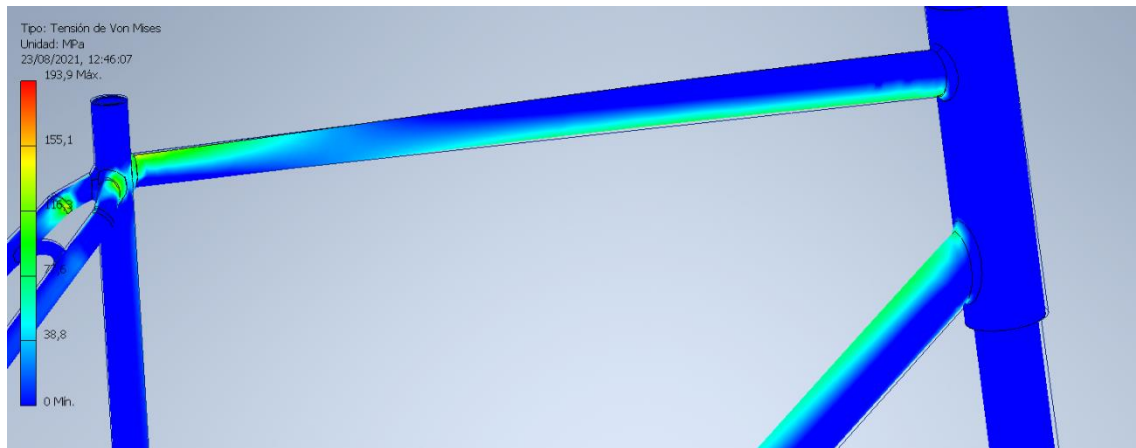


Figura 7-7: Ensayo caída del material de aluminio parte delantera y superior.

7.1.2. Ciclista sobre pedal

El siguiente ensayo es el del ciclista apoyado sobre un pedal. La imagen corresponde al titanio donde se observa que los puntos críticos se sitúan en la parte baja alrededor del eje de pedalier donde se situaría el mayor momento generado por la carga. Adicionalmente la unión de las vainas más cercana a la carga sufre de una mayor carga que la otra unión.

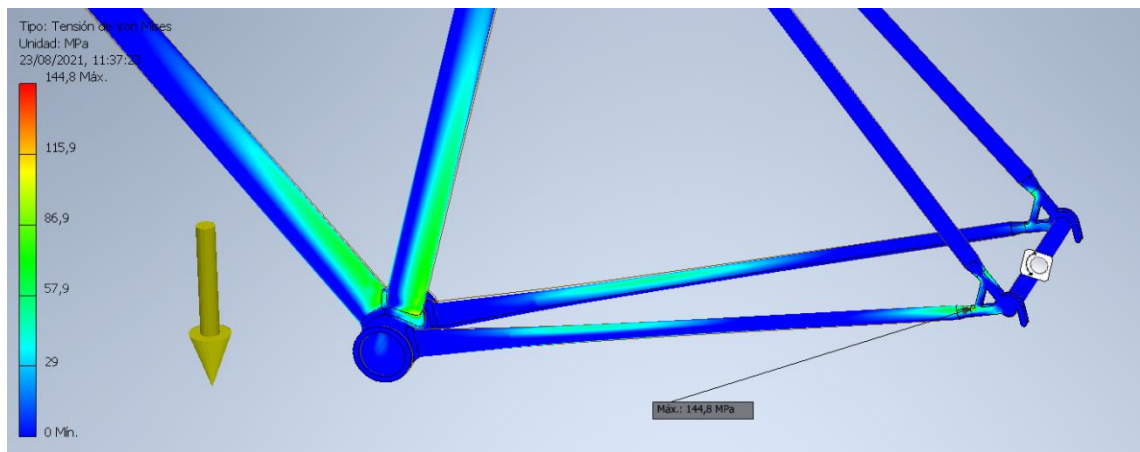


Figura 7-8: Ensayo sobre un pedal del material de titanio parte inferior trasera.

El efecto del segundo ensayo en la parte baja del cuadro explica que se haya elegido una sección continua para el tubo inferior en el modelo de aluminio. La aparición del punto crítico en este punto muestra la necesidad de la forma del tubo inferior.

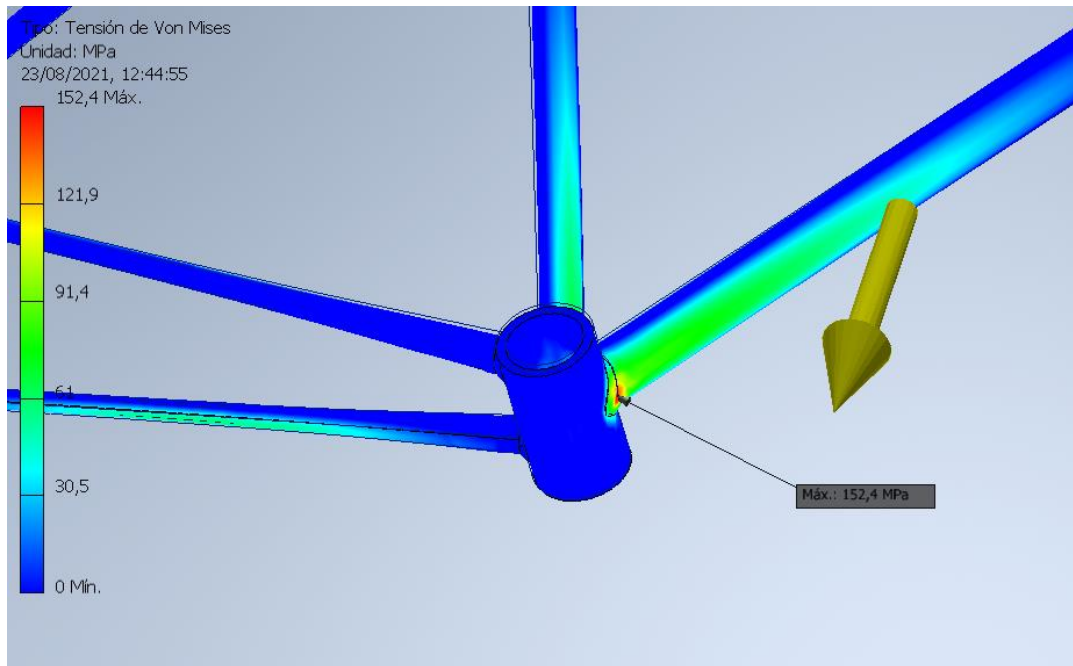


Figura 7-9: Ensayo sobre un pedal del material de aluminio parte inferior.

7.1.3. Choque frontal leve

En el tercer ensayo se observa de forma generalizada la aparición de un punto crítico debajo del tubo inferior. Esto se debe a que este tubo absorbe la mayor parte de la fuerza proveniente del choque. Para el modelo de aluminio genera el menor factor de seguridad de todos los modelos en la soldadura. Pese al aumento de la altura de la soldadura en esta unión y del diámetro del tubo, sigue apareciendo un alto valor que no varía de forma significativa. Una posible solución sería un aumento del ángulo que forman estos tubos de forma que el esfuerzo se reparta de forma más uniforme a lo largo de su sección.

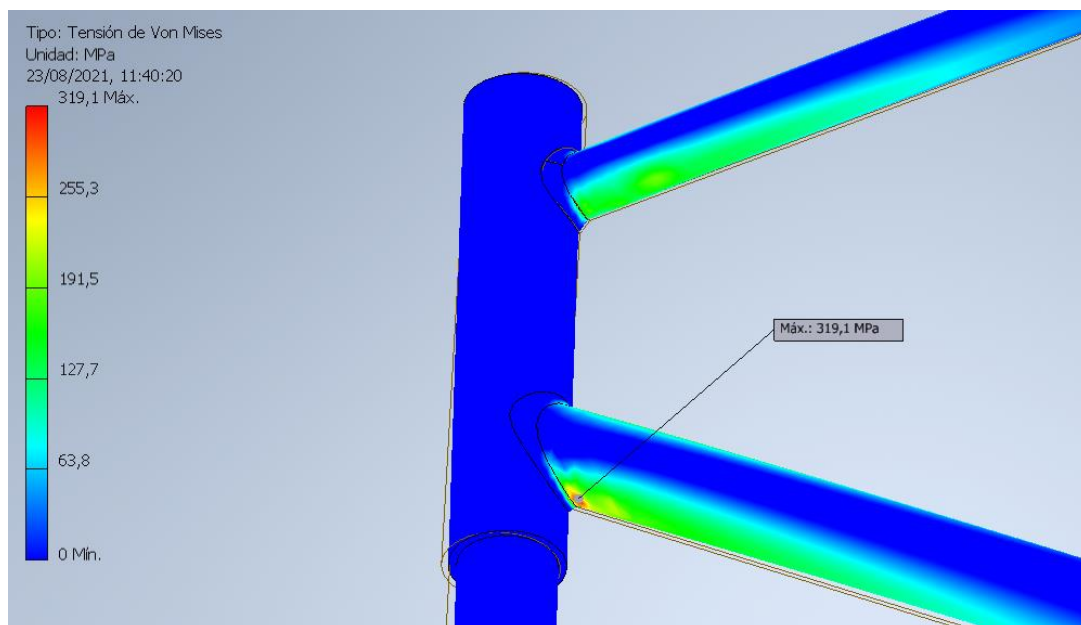


Figura 7-10: Ensayo del choque del material de titanio parte delantera.

7.1.4. Conificado

Por último, queda analizar el efecto de la reducción de la sección en el centro de los tubos de acero. Para el primer caso con los puntos críticos en las vainas y en la parte superior del tubo del sillín que ha mantenido su diámetro original en este punto se ha obtenido prácticamente el mismo resultado. Para el segundo ensayo si se observan cambios significativos donde el punto crítico se desplaza a la parte lateral del tubo inferior. Aun así, el valor queda dentro de unos valores más que aceptables con un coeficiente de seguridad de 2,64.

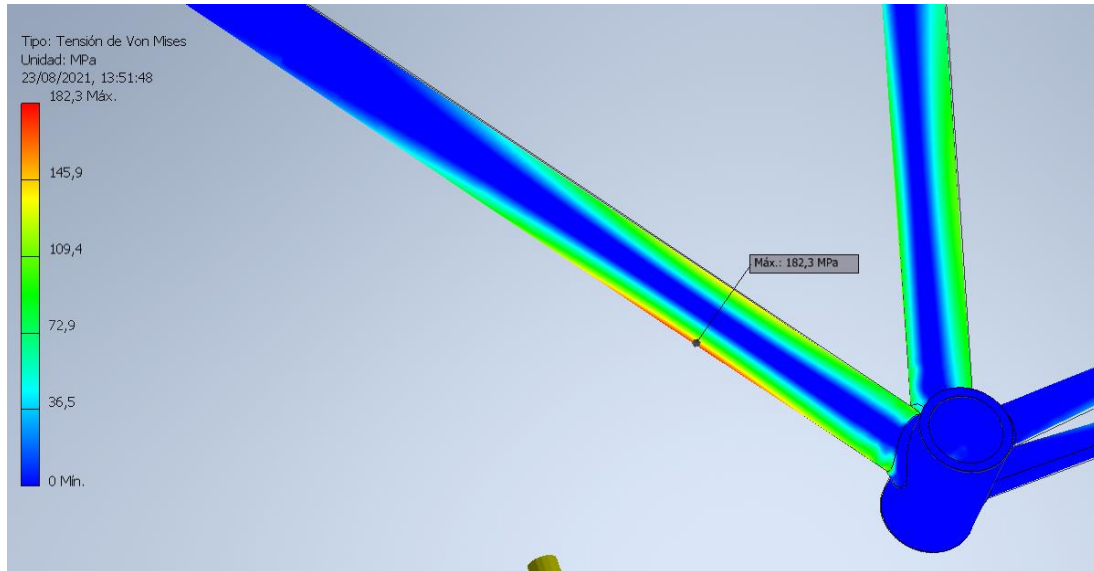


Figura 7-11: Ensayo ciclista sobre un pedal del acero conificado parte inferior.

En el tercer ensayo también se observa un cambio considerable esta vez un tanto peculiar ya que se obtiene un coeficiente de seguridad una décima mayor que en el caso sin conificar. Esto fenómeno puede estar producido por el efecto de una mayor deformación en su parte central que produzca el desplazamiento del punto crítico a este lugar.

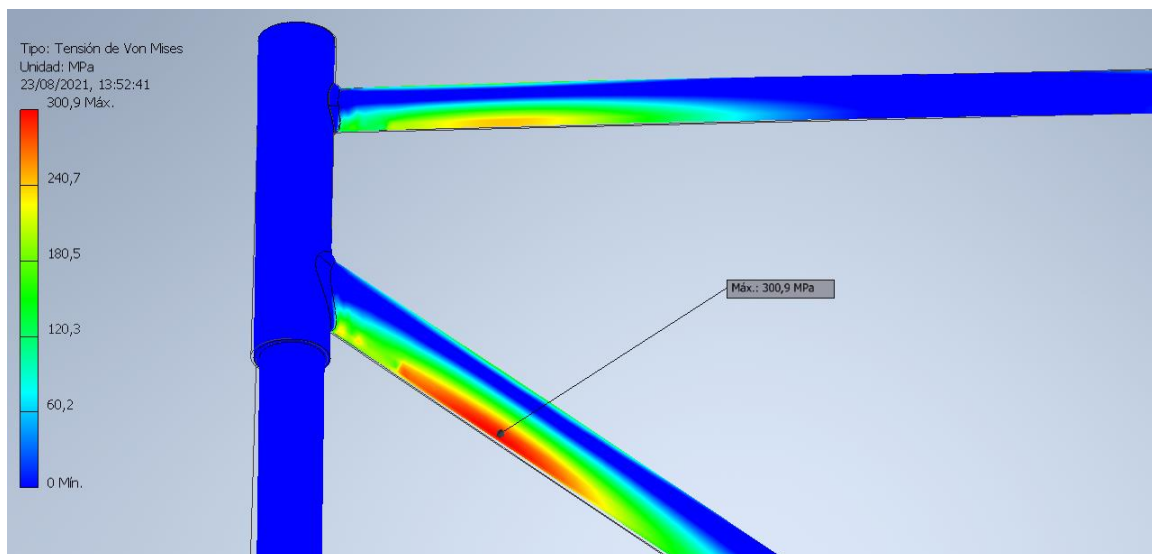


Figura 7-12: Ensayo del choque del acero conificado parte delantera.

7.2. Peso y Coste

Una de las dificultades en este apartado ha sido la obtención de los precios ya que los diferentes fabricantes y distribuidores mantienen cierto secretismo a la hora de la fabricación de sus productos. Por este motivo se mostrarán precios aproximados ya que los únicos datos que ha sido posible encontrar pertenecen a un mercado más artesanal que lejos queda de las grandes producciones en línea de las marcas más conocidas.

Utilizando la ventana de propiedades de inventor se obtienen de manera rápida el peso de cada uno de los cuadros. Comenzando por el acero se ha obtenido un peso habitual de 2,541 kg para el material con el que ha sido fabricado. En el caso del titanio se han utilizado los mismos dimensiones para todas sus partes, en la realidad el titanio hubiera necesitado unos diámetros ligeramente mayores porque el titanio tiene unas peores características para soportar fatiga e impactos. Incluso sabiendo esto el cuadro de titanio obtiene un peso de 1,450kg, bastante inferior al acero. Únicamente con estos datos el titanio parece más atractivo, pero cuando se tiene en cuenta el precio de la materia prima se empieza a entender por qué. Con la búsqueda de los precios se observa que el acero suele tener un precio de 15 €/Kg, valor bastante inferior al del titanio que suele ser unas 6 o 10 veces mayor al del acero, al que habrá que sumar unos tratamientos térmicos más complejos y una mayor dificultad de soldado.

Si se compara el precio del aluminio y acero se observa un precio ligeramente inferior de 10 €/Kg al que hay que sumarle un menor coste de moldeo y resistencia a la corrosión. Si se tiene en cuenta el peso de 2,408 se observa una mejora de más de 100 gramos que nos da a entender porque el aluminio es el material más utilizado actualmente pese a no conseguir un peso drásticamente diferente.

Para terminar, se tiene el análisis del conificado. Para los mismos diámetros se ha reducido la parte central de los tubos a 0,6 mm de espesor, dejando en los extremos un espesor suficiente para realizar la soldadura correctamente. Con la utilización de esta técnica se ha reducido en unos 500 gramos el peso del cuadro llegando a los 2,068 kg. Este resultado explica la popularidad de utilizar el conificado como opción para reducir el peso, que aplicado en zonas concretas no genera problemas en cuanto a la resistencia del cuadro.

8. Conclusión

Una vez realizado el análisis de la pieza por elementos finitos y optimizado los diferentes modelos se ha llegado al resultado esperado obteniendo valores de pesos habituales en la industria manteniendo el coeficiente de seguridad por encima de la unidad. Esto no ha permitido sacar conclusiones para cada material que se ha estudiado.

Además, se ha podido observar el beneficio de utilizar diferentes métodos de fabricación, principalmente a la hora de reducir el peso en el cuadro, uno de los principales objetivos en el diseño.

9. Bibliografía

- Apuntes de resistencia y elasticidad de materiales.
- Apuntes de tecnología de materiales.
- Apuntes de sistemas de producción y fabricación.
- Trek Bikes (ES). *Cuadro 520 Disc*.
<https://www.trekbikes.com/es/es_ES/bicicletas/bicicletas-de-turismo-y-bikepacking/520/cuadro-520-disc/p/34200/?colorCode=red> [Consulta:]
- Autoform. *Hidroconformado: conformado de tubos con alta presión interna*.
<<https://www.autoform.com/es/glosario/hidroconformado/>>[Consulta:]
- Gamma3. *Conificación redonda*.
<<http://www.gamma3conifica.com/es/elaboraciones/conificacion-redonda.html>>[Consulta:]
- Waldun Steel. *4130 STEEL | AISI 4130 | 1,7218 | 25CRMO4 | SCM430*.
<<https://waldunsteel.com/es/products/4130-steel/>> [Consulta:]
- ACNIS International. *TitanioTi-3Al-2.5V Grado 9*.
<<https://acnis-titanium.com/produit/ti3al-2-5v-grade-9-a-completer/?lang=es>>[Consulta:]
- GABRIAN. *Aluminio 6061. Conozco sus propiedades y usos*.
<<https://www.gabrian.com/es/aluminio-6061-conozca-sus-propiedades-y-usos/>>[Consulta:]
- Bicihome. *La historia de la bicicleta*.
<<https://bicihome.com/la-historia-de-las-bicicleta/>>[Consulta:]
- WeRbikes. *La historia de la bicicleta*.

<<https://www.werbikes.mx/blogs/werbikes-blog/la-historia-de-la-bicicleta/>>[Consulta:]

- Oxiacycles. *Tipos de soldadura para bicicletas.*

< <https://oxiacycles.com/soldadura-para-bicicletas/> > [Consulta:]

- Terranea. *Tipos de bicicleta- Modelos, estilos, clases...*

< <https://blog.terranea.es/principales-tipos-bicicletas/>>[Consulta:]

10. Lista de figuras

Capítulo 2:

Figura 2-1: Bicicleta diseñada por John Kemp (Fuente:www.bicihome.com).

Figura 2-2: Bicicleta de montaña (Fuente: www.giantbicycles.com).

Figura 2-3: Bicicleta de carretera (Fuente: www.orbea.com).

Figura 2-4: Bicicleta holandesa (www.homify.com).

Figura 2-5: Bicicleta BMX (Fuente: www.labicicleta.com).

Figura 2-6: Dibujo con las diferentes partes de la bicicleta (Fuente: www.wikipedia.com).

Figura 2-7: Horquilla con suspensión (Fuente: www.Mountainbike.es).

Figura 2-8: Diferentes tipos y medidas de direcciones (Fuente: www.biciblog.com).

Figura 2-9: Manillar y potencia (Fuente: www.mimundoenbici.com).

Figura 2-10: Tija y sillín de una bicicleta (Fuente: www.tuvalum.com).

Figura 2-11: Rueda de bicicleta de montaña (Fuente: www.brujulabike.com).

Figura 2-12: Conjunto de transmisión

Figura 2-13: Gráficas comparativa de los valores habituales del acero, titanio, aluminio y fibra de carbono utilizando

Figura 2-14: Dibujo esquemático del proceso de hidroconformado (Fuente: www.researchgate.net).

Figura 2-15: Dibujo esquemático del proceso de soldadura TIG (Fuente: www.metaltechgroup.es).

Capítulo 3:

Figura 3-1: Cuadro 520 Disc. (Fuente: "www.trekbikes.com")

Figura 3-2: Tabla con las tallas del modelo elegido. (Fuente: "www.trekbikes.com")

Capítulo 4:

Figura 4-1: Modelo alámbrico.

Figura 4-2: Tubo Auxiliar.

Figura 4-3: Creación del tubo sillín.

Figura 4-4: Extremo del tubo inferior.

Figura 4-5: Elementos utilizados de base para las vainas.

Figura 4-6: Extrusión de la unión entre las vainas.

Figura 4-7: solevación de la pieza de unión entre vainas.

Figura 4-8: Generación de la vaina superior.

Figura 4-9: Generación de la vaina inferior.

Figura 4-10: Pieza de unión entre vainas.

Figura 4-11: Resultado del modelo de las vainas.

Figura 4-12: Tabla con los valores de los espesores obtenidos.

Figura 4-13: Tubo superior del modelo de aluminio.

Figura 4-14: Tabla con los valores parametrizados de aluminio. Se utiliza D mayúscula para radios exteriores y minúscula para interiores. En las elipses M mayúscula es para el radio mayor y minúscula para los interiores.

Figura 4-15: Proceso de creación del tubo superior conificado

Capítulo 5:

Figura 5-1: Ventana con la selección de conjunto soldado.

Figura 5-2: Acoplamiento de las partes al ensamblaje.

Figura 5-3: Modelo completo de acero.

Figura 5-4: Procedimiento para añadir soldaduras.

Figura 5-5: Ventana de la creación de un contorno sustituto.

Capítulo 6:

Figura 6-1: Características del acero y titanio elegidos.

Figura 6-2: Características del aluminio elegido.

Figura 6-3: Visualización del mallado en la parte superior del tubo de sillín.

Figura 6-4: Fórmula utilizada para el cálculo de la fuerza de caída.

Figura 6-5: Fuerza sobre el eje en el ensayo 1.

Figura 6-6: Fuerza sobre el manillar en el ensayo 2

Figura 6-7: Restricción de pasador en la parte trasera.

Figura 6-8: Restricción sin fricción en el tubo auxiliar.

Figura 6-9: Restricción fija en el tubo auxiliar.

Figura 6-10: Fuerza remota sobre el eje de pedaliar.

Figura 6-11: Formula para el cálculo de la fuerza del choque frontal.

Figura 6-12: Fuerza sobre el tubo auxiliar.

Capítulo 7:

Figura 7-1: Tensiones en la parte superior de la vaina antes del rediseño.

Figura 7-2: Tabla con los valores de los coeficientes de seguridad.

Figura 7-3: Ensayo de caída del material de acero vista superior.

Figura 7-4: Ensayo de caída del material de acero en las vainas.

Figura 7-5: Ensayo de caída del material de aluminio vista de la parte superior.

Figura 7-6: Ensayo de caída del material de acero parte delantera.

Figura 7-7: Ensayo caída del material de aluminio parte delantera y superior.

Figura 7-8: Ensayo sobre un pedal del material de titanio parte inferior trasera.

Figura 7-9: Ensayo sobre un pedal del material de aluminio parte inferior.

Figura 7-10: Ensayo del choque del material de titanio parte delantera.

Figura 7-11: Ensayo ciclista sobre un pedal del acero conificado parte inferior.

Figura 7-12: Ensayo del choque del acero conificado parte delantera.

PRESUPUESTO

1. Precio material y mano de obra

El precio por hora de un graduado de ingeniería en Tecnologías Industriales es de 30€/h. A continuación, se muestra a el precio de las licencias y el material.

	Precio	Periodo de amortización	Precio unitario
Ordenador de sobremesa	1100 €	10560 h	0,104 €/h
Licencia de 3 años Autodesk Inventor	7418 €	5280 h	1,405 €/h
Licencia de 1 año Microsoft Office	80 €	1760 h	0,045 €/h

2. Precios descompuestos

N.º	Descripción	Cantidad	Precio	Importe
01	Planteamiento y búsqueda de información			
h	Graduado en Tecnologías Industriales	40	30€	1200,00€
%	Costes indirectos	2	1200€	24,00€
%	Costes directos complementarios	3	1224€	36,72€
	Total			1260,72€
02	Diseño, modelado y parametrización			
h	Graduado en Tecnologías Industriales	110	30€	3300,00€
%	Costes indirectos	2	3300€	66,00€
%	Costes directos complementarios	3	3366€	100,98€
	Total			3466,98€
03	Simulación y análisis por elementos finitos			
h	Graduado en Tecnologías Industriales	80	30€	2400,00€
%	Costes indirectos	2	2400€	48,00€
%	Costes directos complementarios	3	2448€	73,44€
	Total			2521,44€
04	Elaboración de los planos			
h	Graduado en Tecnologías Industriales	15	30€	450,00€
%	Costes indirectos	2	450€	9,00€
%	Costes directos complementarios	3	459€	13,77€
	Total			472,77€
05	Desarrollo de la memoria			
h	Graduado en Tecnologías Industriales	60	30€	1800,00€
%	Costes indirectos	2	1800€	36,00€
%	Costes directos complementarios	3	1836€	55,08€
	Total			1891,08€

06	Licencias y material			
h	Ordenador de sobremesa	305	0,104€	31,77€
h	Licencia de Inventor	205	1,405€	288,01€
h	Licencia de Microsoft Office	265	0,045€	12,05€
%	Costes indirectos	2	331,83€	6,64€
%	Costes directos complementarios	3	338,46€	10,15€
	Total			348,62€

3. Precios unitarios

<u>N.º</u>	<u>Descripción</u>	<u>Precio Unitario</u>
1	Planteamiento y búsqueda de información	1.260,72 €
2	Diseño, modelado y parametrización	3.466,98 €
3	Simulación y análisis por elementos finitos	2.521,44 €
4	Elaboración de los planos	472,77 €
5	Desarrollo de la memoria	1.891,08 €
6	Licencias y material	348,62 €

4. Presupuesto base de licitación

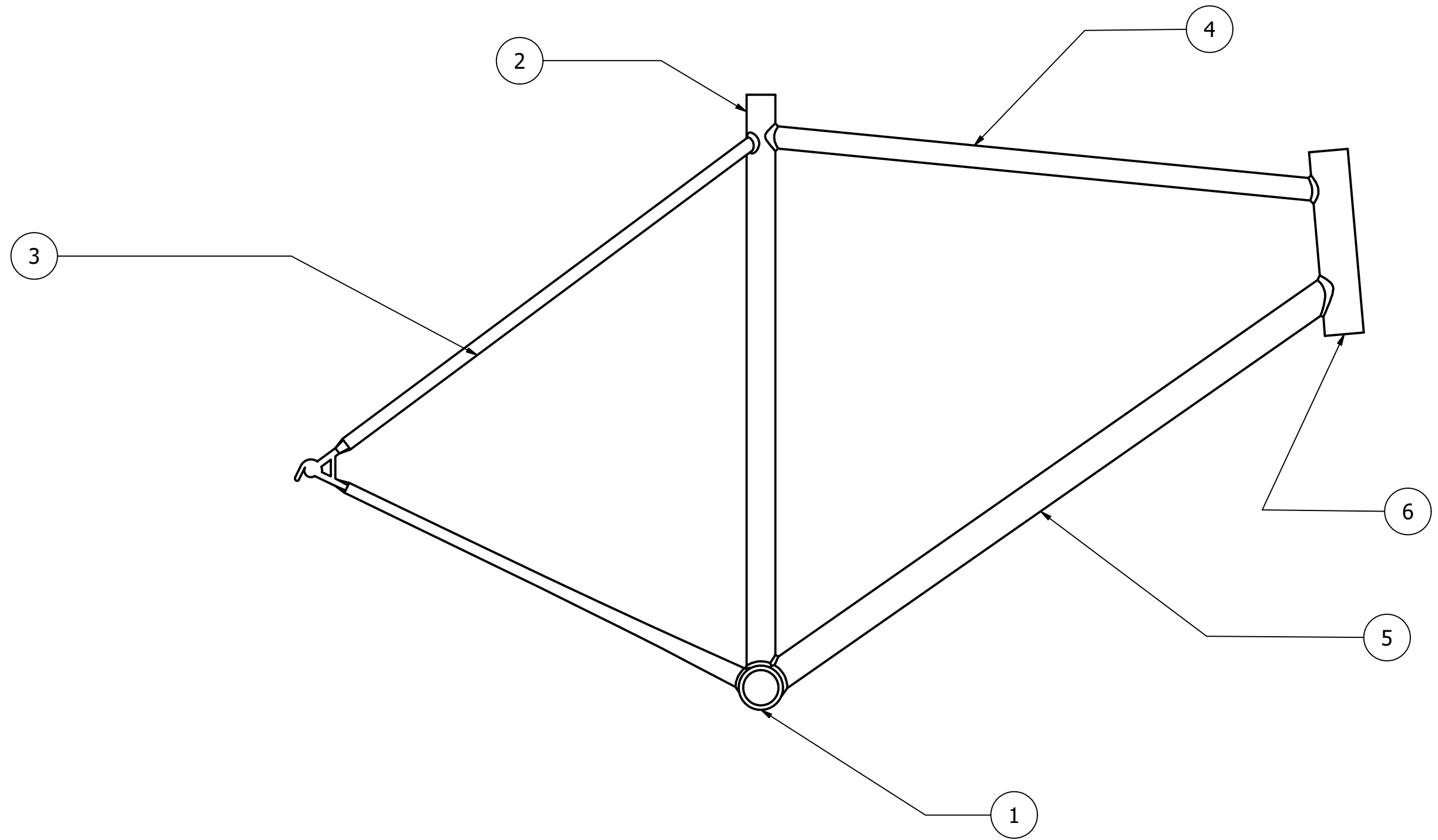
Presupuesto de ejecución material	9.961,61 €
Gastos generales (13%)	1.295,01 €
Beneficio Industrial (6%)	597,70 €
Presupuesto de ejecución por contrata	11.854,31 €
IVA (21%)	2.489,41 €
Presupuesto base de licitación	14.343,72 €

El presupuesto total asciende a una cantidad de CATORCE MIL TRESCIENTOS CUARENTA Y TRES EUROS Y SETENTA Y DOS CÉNTIMOS.

PLANOS

Índice de los planos

1. PLANO DE CONJUNTO
2. EJE DE PEDALIER, TUBO DE SILLÍN Y TUBO DE DIRECCIÓN
3. VAINAS
4. TUBO SUPERIOR E INFERIOR



LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	Eje pedalier	
2	1	Tubo sillin	
3	1	Vainas	
4	1	Tubo superior	
5	1	Tubo inferior	
6	1	Tubo de direcció	

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



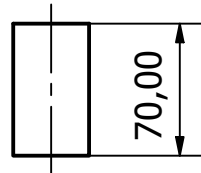
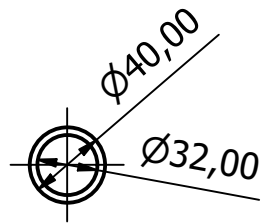
Proyecto: **DISEÑO DE UN CUADRO DE BICICLETA Y ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS**

Plano: **Partes del cuadro de bicicleta**
 Autor: **Joaquín Solbes Francisco**

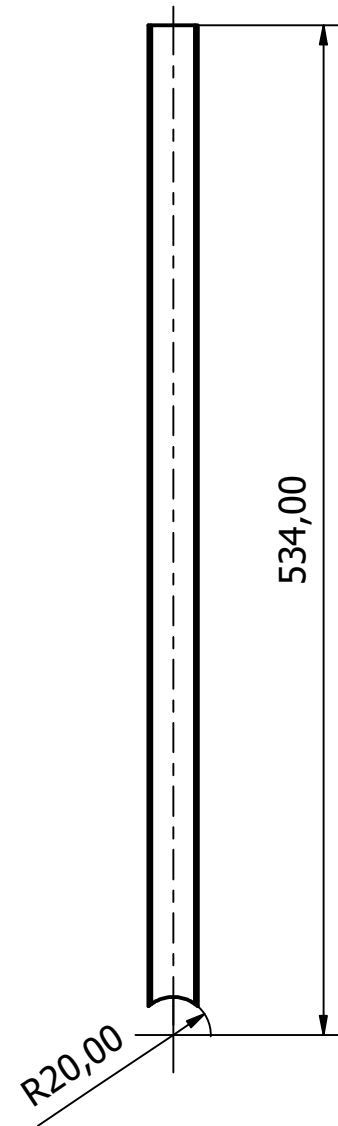
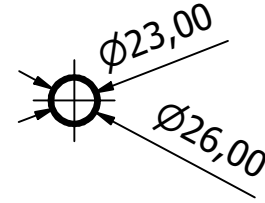
Fecha: **Julio 2021**
 Escala: **1/4**

Nº Plano: **1**

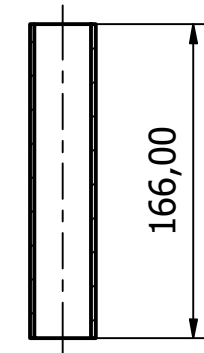
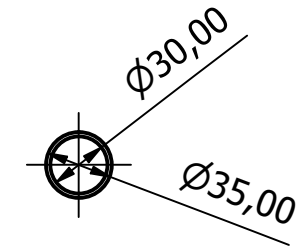
1



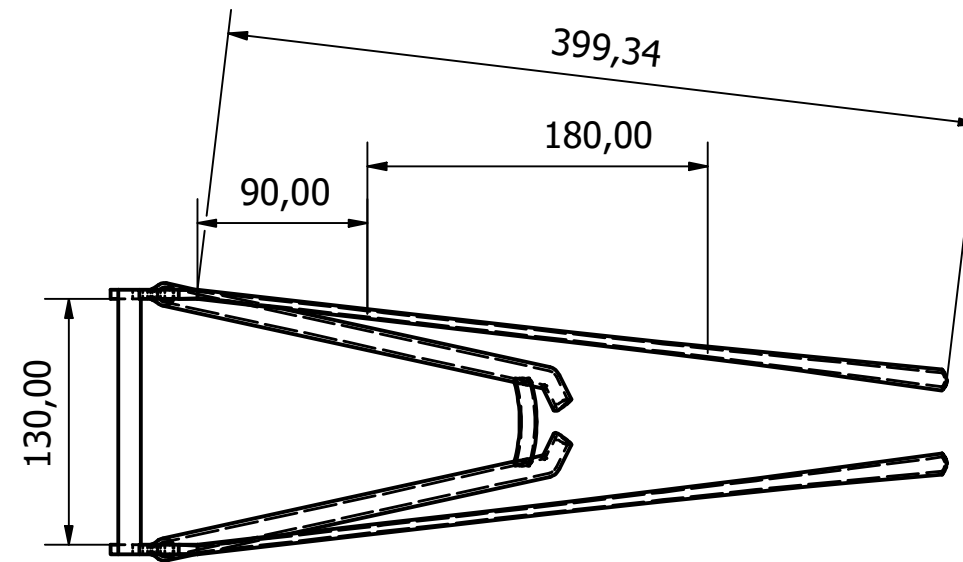
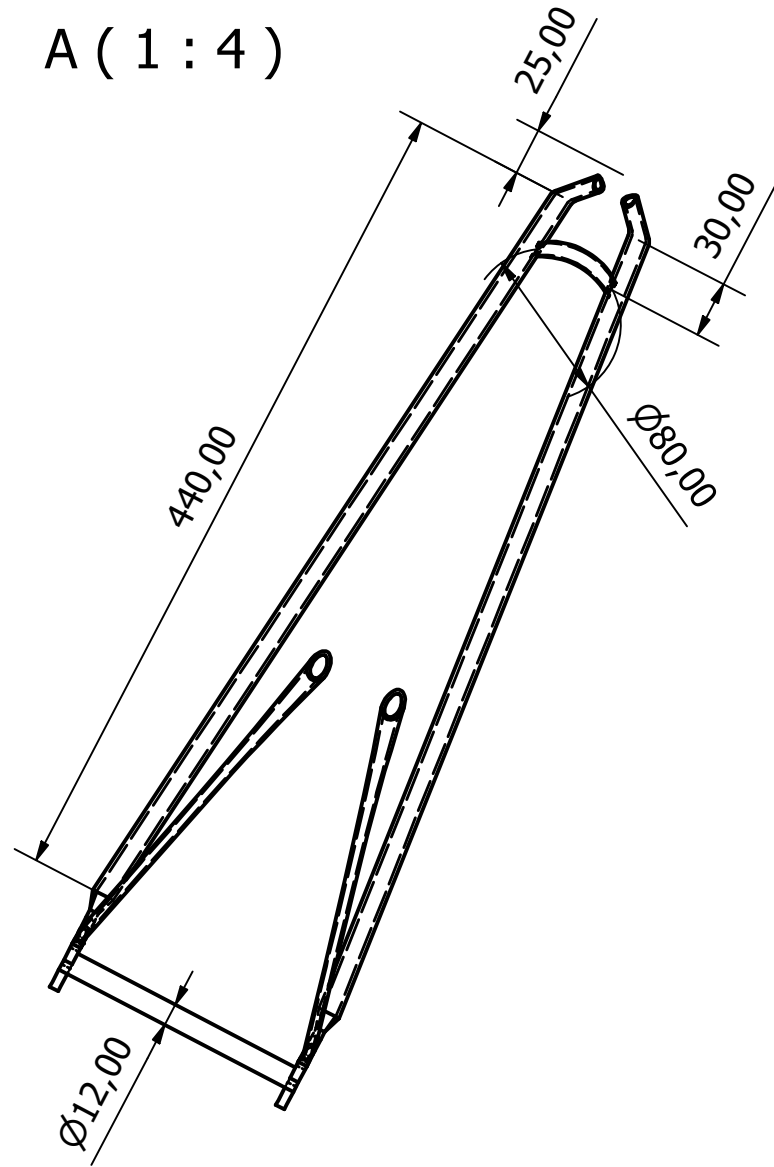
2



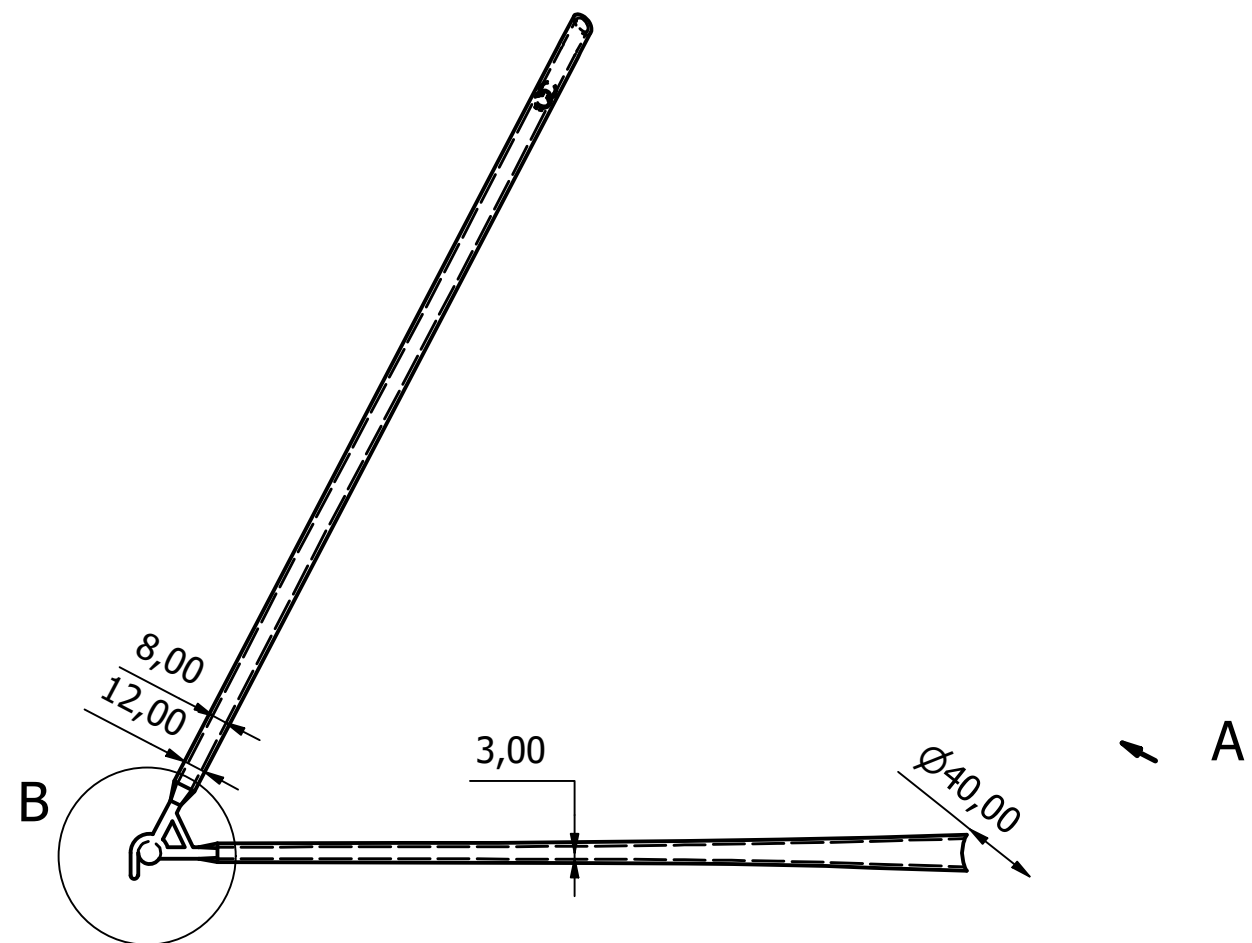
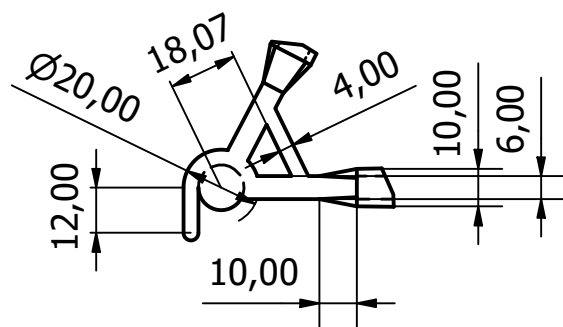
6



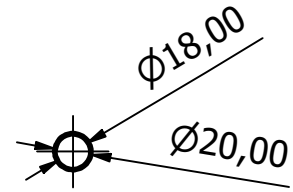
A (1:4)



B (1:2)



4



5

