



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

UNIVERSIDAD DE VALLADOLID

ESCUELA DE INGENIERIAS INDUSTRIALES

Grado en Ingeniería en Diseño Industrial y Desarrollo de Producto

**Análisis de viabilidad de la aplicación de aceros microaleados al
diseño de un cuadro de bicicleta obtenido por hidroconformado**

Autor:

Blanco Márquez, Elena

Tutor:

Martín Pedrosa, Fernando

Departamento:

**Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica,
Expresión Gráfica en la Ingeniería, Ingeniería
Cartográfica, Fotogrametría, Ingeniería Mecánica e
Ingeniería de los Procesos de Fabricación**

Valladolid, Junio 2018.



Universidad de Valladolid



**ESCUELA DE INGENIERÍAS
INDUSTRIALES**

Análisis de viabilidad de la aplicación de aceros microaleados al diseño de un cuadro de bicicleta obtenido por hidroconformado

Elena Blanco Márquez

Valladolid, Junio 2018

RESUMEN

El acero ha sido tradicionalmente el material empleado en la fabricación de bicicletas pero, en la actualidad, está siendo sustituido por otros como el aluminio. Se plantea el estudio de la aplicación de los aceros microaleados, caracterizados por su elevado límite elástico, en el diseño del cuadro de una bicicleta, pudiendo aplicar espesores bajos y obtener un peso total reducido debido a sus buenas características mecánicas. Así, se podrán aprovechar las ventajas que presenta el acero respecto a los otros materiales. Para su fabricación, se recurrirá a la técnica del hidroconformado que, por el momento, solo se emplea en los cuadros de aluminio y permite obtener formas mucho más complejas que las técnicas que se utilizan convencionalmente para procesar el acero. De este modo, se analizará el comportamiento del cuadro y se tratará de optimizar su espesor para comprobar su validez.

Palabras clave: acero microaleado, hidroconformado, bicicleta, análisis de elementos finitos, límite elástico

INDICE

1. Justificación del proyecto.....	15
1.1. Introducción.....	15
1.2. Objetivos	15
2. Cuadro de bicicleta.....	17
2.1. Partes del cuadro.....	17
2.2. Materiales empleados	17
2.3. Geometría y ergonomía.....	20
3. Estudio de mercado.....	22
4. Aceros microaleados	25
4.1. Características.....	25
4.2. Selección	25
5. Proceso de hidroconformado	28
5.1. Bases del hidroconformado.....	28
5.2. Hidroconformado en bicicletas	30
6. Propuesta de diseño del cuadro de bicicleta.....	32
6.1. Primeras ideas	32
6.2. Justificación del diseño	33
6.3. Descripción de la geometría del cuadro	34
6.4. Tipos de uniones.....	35
7. Estudio de viabilidad del cuadro diseñado	37
7.1. Análisis de elementos finitos	37
7.1.1. Introducción al MEF	37
7.1.2. Hipótesis de carga	37
7.1.3. Condiciones de contorno	45
7.1.3.1. Definición del material (acero)	45
7.1.3.2. Restricciones	45
7.1.3.3. Fuerzas	46
7.1.3.4. Definición del mallado	48

7.1.4. Resultados del análisis de espesor 1,5 mm	50
7.1.5. Resultados del análisis de espesor 1 mm	53
7.1.6. Resultados del análisis de espesor 0,8 mm	55
7.1.7. Resultados del análisis de espesor 0,9 mm	57
7.1.8. Resultados del análisis de espesores combinados	59
7.2. Cálculo del peso	62
7.3. Análisis de los resultados obtenidos	64
8. Diseño final	65
9. Conclusiones	67
10. Bibliografía	69
ANEXO. Dimensiones generales	73

INDICE DE IMÁGENES

Figura 1. Partes del cuadro de la bicicleta. Fuente: http://bikespain.es/recambios/index.php?main_page=product_info&products_id=664	17
Figura 2. Cuadro de bicicleta de acero. Fuente: https://www.santafixie.com/cuadro-pista-clasico-negro.html	18
Figura 3. Cuadro de bicicleta de aluminio. Fuente : http://xyzdistribution.com/producto/cuadro-aluminio-mtb-26/	18
Figura 4. Cuadro de bicicleta de fibra de carbono. Fuente: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-559345169-giant-xtc-hard-tail-cuadro-bicicleta-en-fibra-de-carbono-_JM	19
Figura 5. Cuadro de bicicleta de titanio. Fuente: http://www.chainreactioncycles.com/ru/ru/%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-lynskey-mt-29-titanium-2017/rp-prod157030	19
Figura 6. Altura de referencia para la selección de la talla. Fuente: https://www.atomika.mx/blog/guias-de-compra/guia-de-tallas-de-bicicletas/	20
Figura 7. Bicicleta de acero de NS Bikes. https://www.bikester.es/ns-bikes-metropolis-3-bmx-26-negro-736282.html	22
Figura 8. Bicicleta de acero VSF T-Randonneur Shimano. http://www.recicleta.com/tienda/bicicletas-nuevas/t-randonneur-shimano-105-2x11-disc/	22
Figura 9. Bicicleta de acero Reid Classic. http://www.recicleta.com/tienda/bicicletas-nuevas/reid-classic-7-speed/	23
Figura 10. Bicicleta de aluminio. http://www.solostocks.com/venta-productos/bicicletas-accesorios/bicis-urbanas/bicicleta-paseo-26-aluminio-shimano-18v-6633782	24
Figura 11. Bicicleta de fibra de carbono. http://carbonexperts.scott-sports.com/es/index.html	24
Figura 12. Selección del tipo de material en CES EduPack	26
Figura 13. Carta de propiedades Densidad-Límite elástico.....	26
Figura 14. Propiedades mecánicas del acero 22MnB5	27
Figura 15. Composición del acero elegido.....	27

Figura 16. Tipo de formas que se obtienen por hidroconformado. http://www.httube.com/custom-hydroforming.html	29
Figura 17. Fases del proceso de hidroconformado de tubos http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio_oportunidades/Aproximacion_al_Hidroconformado.pdf	29
Figura 18. Cuadro de aluminio hidroconformado. http://www.biket3ch.com/2014/05/como-se-fabrica-un-cuadro-de-bicicleta.html	30
Figura 19. Bicicleta Venturi. http://bicycletimesmag.com/review-breezer-venturi/ .	31
Figura 20. Evolución de los diseños hasta llegar al resultado final.....	32
Figura 21. Vista general del cuadro diseñado.....	33
Figura 22. Vista superior Figura 23. Vista trasera.....	34
Figura 24. Dimensiones generales del cuadro.....	34
Figura 25. Vista de explosión del cuadro	35
Figura 26. Esquema de la soldadura TIG. Fuente: https://www.pinterest.es/pin/291397038380596173/?lp=true	36
Figura 27. Detalle del aspecto de las soldaduras	36
Figura 28. Sistema de coordenadas en el que se situa el cuadro	38
Figura 29. Conjunto cadena-piñón-plato-biela-pedal. Fuente: https://www.dreamstime.com/stock-illustration-bicycle-chain-pedals-front-view-isolated-white-background-d-render-image-image52017734	40
Figura 30. Ángulo de la cadena con la horizontal. Elaboración propia.....	40
Figura 31. Fuerzas finales sobre el eje de la caja del pedalier. Fuente: https://www.bicimarket.com/Liquidacion-Transmision-Shimano-Deore-FC-M610-OFERTA-p20900.html	41
Figura 32. Eje de pedalier. Fuente: https://www.santafixie.com/eje-pedalier-miche-team-107.html	42
Figura 33. Esquema eje del pedalier (YZ). Elaboración propia.....	42
Figura 34. Esquema eje del pedalier (XY). Elaboración propia.....	43
Figura 35. Esquema del buje trasero. Elaboración propia.....	44
Figura 36. Esquema de las fuerzas que actúan sobre el cuadro. Eje de coordenadas de Inventor	44
Figura 37. Definición del material en Inventor	45
Figura 38. Restricciones fija y de pasador en las patillas traseras	45
Figura 39. Restricciones fijas en el tubo de dirección	46

Figura 40. Cargas en las patillas traseras.....	46
Figura 41. División del eje del pedalier	47
Figura 42. Cargas en el eje del pedalier	47
Figura 43. Fuerzas sobre el manillar	48
Figura 44. Fuerzas que actúan sobre el cuadro	48
Figura 45. Configuración de malla	49
Figura 46. Configuración de convergencia.....	49
Figura 47. Aspecto del mallado del cuadro.....	49
Figura 48. Tensión de Von Mises máxima para 1,5 mm de espesor	50
Figura 49. Configuración de la barra de colores.....	51
Figura 50. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para 1,5 mm.....	51
Figura 51. Desplazamiento máximo para 1,5 mm de espesor	52
Figura 52. Tasa de convergencia para 1,5 mm de espesor	52
Figura 53. Tensión de Von Mises máxima para 1 mm de espesor	53
Figura 54. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para 1 mm.....	54
Figura 55. Desplazamiento máximo para 1 mm de espesor	54
Figura 56. Tasa de convergencia para 1 mm de espesor	55
Figura 57. Mensaje de precaución de Inventor.....	55
Figura 58. Tensión de Von Mises máxima para 0,8 mm de espesor	56
Figura 59. Visualización de las tensiones en el resto del cuadro de 0,8 mm.....	56
Figura 60. Tensión de Von Mises máxima para 0,9 mm de espesor	57
Figura 61. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para 0,9 mm.....	57
Figura 62. Zonas del cuadro con concentración de tensiones.....	58
Figura 63. Desplazamiento máximo para 0,9 mm de espesor	58
Figura 64. Tasa de convergencia para 0,9 mm	59
Figura 65. Tensión de Von Mises máxima para los espesores combinados	60
Figura 66. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para los espesores combinados	60
Figura 67. Desplazamiento máximo en el cuadro de espesores combinados.....	61
Figura 68. Otros desplazamientos en el cuadro con espesores combinados.....	61
Figura 69. Tasa de convergencia para el cuadro de espesores combinados	62
Figura 70. Cálculo de la masa del cuadro con Catia V5	62
Figura 71. Gráfica espesor-peso	63
Figura 72. Renders del cuadro en la bicicleta.....	65

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Medidas (en cm) del cuadro de una bicicleta según la talla. Fuente: https://www.atomika.mx/blog/guias-de-compra/guia-de-tallas-de-bicicletas/	21
Tabla 2. Coordenadas de las cargas remotas.....	48
Tabla 3. Pesos de los cuadros.....	63
Tabla 4. Resumen de los resultados.....	64

1. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

1.1. Introducción

Este Trabajo de Fin de Grado pretende hacer un análisis de viabilidad de la aplicación de los aceros microaleados o HSLA en la fabricación de un cuadro de bicicleta. Estos aceros se caracterizan por tener una resistencia mecánica muy elevada permitiendo, al mismo tiempo, obtener espesores muy reducidos. Estas dos características serán necesarias en el cuadro pues éste deberá ser capaz de resistir las fuerzas generadas por el ciclista al conducir la bicicleta pero su peso no podrá ser demasiado elevado para permitir un uso cómodo y adecuado.

Para obtener el cuadro se llevará a cabo una técnica de fabricación conocida como hidroconformado, basada en la utilización de un fluido a presión, generalmente agua o aceite, para moldear planchas o tubos de acero.

De este modo, será necesario diseñar el cuadro de acero de forma que pueda realizarse empleando este proceso de fabricación que, actualmente, ya se usa en bicicletas pero solo con el aluminio. Las propiedades de uno y otro material difieren en numerosos aspectos y ambos presentan tanto ventajas como desventajas en su utilización para la fabricación de cuadros de bicicleta.

El empleo del hidroconformado en la producción de cuadros de bicicleta de acero permitiría aprovechar los puntos fuertes de este material como son su resistencia, su durabilidad o su bajo precio pero adoptando formas más dinámicas y complejas distintas de los tubos rectos y uniformes que suelen caracterizar los cuadros de acero. Además, esta técnica posibilitaría obtener espesores menores, lo cual reduciría el peso del conjunto, que es uno de los principales inconvenientes que presenta el acero y por el cual se han elegido también los aceros microaleados.

Para realizar este análisis se procederá a realizar el diseño de un cuadro de bicicleta, tratando también de obtener una estética atractiva e innovadora y se realizará su representación en tres dimensiones utilizando el software de modelado Catia V5. Posteriormente, se procederá a realizar un análisis de elementos finitos del mismo utilizando Autodesk Inventor para comprobar si el diseño es adecuado y resistirá al ser sometido a las fuerzas que se ejercen sobre él al andar en bicicleta. Al mismo tiempo, se tratará de hallar el mínimo espesor posible con el que puede funcionar para reducir al máximo el peso total del cuadro.

1.2. Objetivos

Los objetivos que se persiguen con este estudio del hidroconformado y su aplicación a los cuadros de bicicleta de acero microaleado son los siguientes:

- Diseñar un cuadro de acero con una estética atractiva que pueda ser realizado mediante hidroconformado. El cuadro es uno de los elementos que más destacan en cualquier bicicleta pues define la apariencia global de la misma y constituye su estructura fundamental. Deberá presentar una geometría que se pueda conseguir con esta técnica de fabricación a partir de tubos de acero.
- Confirmar que el acero microaleado es un material adecuado y apto para la fabricación de cuadros de bicicleta y que sus propiedades favorecen las características y prestaciones de los mismos.
- Comprobar, a través del análisis de elementos finitos, si el diseño resiste las fuerzas ejercidas sobre el cuadro en la conducción de una bicicleta, para confirmar que es un diseño óptimo que se podría llevar a cabo en la realidad.
- Obtener el mínimo espesor posible que pueden tener los tubos de acero para minimizar el peso total del cuadro, probando con distintos espesores y viendo el mínimo de ellos con el cual resiste los esfuerzos a los que es sometido.
- Comprobar que, a pesar de la aparición y difusión de otros nuevos materiales como el aluminio o la fibra de carbono el acero, en sus distintas variedades, sigue siendo una buena alternativa para el diseño de cuadros de bicicleta.

2. CUADRO DE BICICLETA

2.1. Partes del cuadro

En los cuadros de bicicleta se pueden distinguir una serie de partes individuales que, al ser unidas, constituyen un único elemento continuo para formar el cuadro. Los principales tubos que componen el mismo son:

1. Tubo de dirección: de longitud inferior al resto, sobre él se monta la horquilla, la cual sujeta el buje de la rueda delantera. Además, este tubo conecta los tubos superior e inferior.
2. Tubo horizontal o superior: une el tubo de dirección con el tubo del asiento. Puede ser tanto horizontal como inclinado.
3. Tubo inferior: une diagonalmente el tubo de dirección con el eje del pedalier.
4. Caja de pedalier: en ella se montan el eje del pedalier y las bielas.
5. Tubo vertical o del asiento: se extiende desde el pedalier, donde van los pedales, hasta el asiento y en él se inserta el poste de este último.
6. Vainas inferiores o tirantes: se encargan de conectar la rueda trasera con la caja del pedalier.
7. Vainas superiores: unen el tubo del asiento con los terminales que sujetan la rueda trasera.



Figura 1. Partes del cuadro de la bicicleta. Fuente: http://bikespain.es/recambios/index.php?main_page=product_info&products_id=664

2.2. Materiales empleados

Los materiales más comunes empleados en todo tipo de bicicletas son principalmente cuatro: acero, aluminio, fibra de carbono y titanio. Cada uno de ellos presenta una serie de ventajas e inconvenientes en comparación con el resto. Algunos de los principales factores que caracterizan cada material son el precio, el peso o su tiempo de duración.

El **acero** es el material con el que tradicionalmente se hacían los cuadros pero, actualmente, se ha quedado un poco anticuado. Uno de sus principales inconvenientes es su elevado peso, que dio lugar a la aparición de los cuadros hechos en aluminio, un material más ligero. Además, tiene una mayor sensibilidad a la oxidación. No obstante, todavía se siguen fabricando bicicletas hechas en acero. Entre sus principales ventajas se encuentran su reducido precio, su durabilidad, mayor que la del aluminio, y su facilidad para ser reparadas. El acero se caracteriza por su gran resistencia a la fatiga, lo que asegura una larga duración y también presenta una elevada resistencia a la tracción.

Este material se suele emplear aleado con otros materiales como el zinc, magnesio, etc. Uno de los más empleados es el llamado CroMo (aleación de Cromo y Molibdeno) que es un tipo de acero más ligero y resistente que el convencional.



Figura 2. Cuadro de bicicleta de acero. Fuente: <https://www.santafixie.com/cuadro-pista-clasico-negro.html>

Por su parte, el **aluminio** es probablemente el material más usado en la actualidad en el diseño de cuadros de bicicletas. Una de sus principales ventajas frente al acero es su ligereza debido a su baja densidad. Además, es más maleable por lo que permite la realización de geometrías más complejas y combinar distintos espesores. También es más resistente a la corrosión. Por otro lado, es más sensible a la fatiga que el acero lo cual afecta a su duración debido al desgaste que se produce con el uso. Los cuadros de este material resisten peor los golpes y son más difíciles de reparar que el acero en caso de roturas.



Figura 3. Cuadro de bicicleta de aluminio. Fuente : <http://xyzdistribution.com/producto/cuadro-aluminio-mtb-26/>

En cuanto a la **fibra de carbono**, es el material que mejor relación rigidez-peso ofrece siendo, a priori, el de mayor calidad. Sus propiedades permiten diseñar casi cualquier tipo de geometría y, al tratarse de una fibra, es un material que también ofrece una gran ligereza. No presenta problemas de corrosión y tiene una mayor durabilidad que el acero y el aluminio. Además, los cuadros de este material no requieren de soldaduras ya que se realizan en un molde del que se extrae una sola pieza (monocasco). El nivel de rigidez del cuadro dependerá del grosor y de la colocación de las fibras.

No obstante también presenta algunas desventajas, como su elevado precio (dado que los moldes necesarios para la fabricación son muy caros) o su fractura en caso de golpes, con una reparación bastante complicada.



Figura 4. Cuadro de bicicleta de fibra de carbono. Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-559345169-giant-xtc-hard-tail-cuadro-bicicleta-en-fibra-de-carbono-JM>

Por último, el **titanio** es un material tan fuerte como el acero pero más ligero y duradero y con mejor resistencia a la corrosión. Presenta también una elevada capacidad para absorber los impactos y una relación rigidez-flexión muy buena, proporcionando una gran comodidad. Sin embargo, el proceso de fabricación resulta complicado debido a que el titanio apenas reacciona con el oxígeno, lo que dificulta la soldadura y, además, su precio es muy elevado.



Figura 5. Cuadro de bicicleta de titanio. Fuente: <http://www.chainreactioncycles.com/ru/ru/%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%B0-lanskey-mt-29-titanium-2017/rp-prod157030>

2.3. Geometría y ergonomía

Las dimensiones de cada uno de los tubos que conforman el cuadro de la bicicleta varían en función de una serie de medidas del cuerpo del ciclista que la va a conducir. Una de las dimensiones más importantes es la altura de la cadera, es decir, la longitud de las piernas y ella se suele tomar como referencia a la hora de escoger la talla de una bicicleta.

Los tres puntos de contacto entre el ciclista y la máquina son el sillín, el manillar y el pedal y su disposición influirá en la postura adoptada por el conductor a lo largo de su uso. Sobre el sillín recae casi todo el peso del cuerpo. Se puede ajustar en altura, en función de la longitud de las piernas del ciclista. En general, cuando el pedal se encuentra en el punto más alto, el ángulo formado entre el fémur y la tibia y el peroné debe ser de unos 80° y, en el punto más bajo, entre 155-160° para evitar molestias en las articulaciones. Generalmente se aplica la relación:

$$0,885 \times \text{altura entrepierna} = \text{altura sillín desde el eje del pedalier hasta su base superior}$$

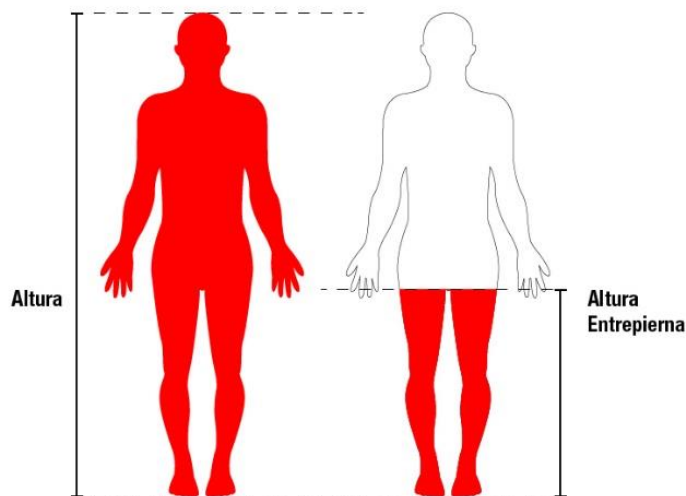


Figura 6. Altura de referencia para la selección de la talla. Fuente: <https://www.atomika.mx/blog/quias-de-compra/quia-de-tallas-de-bicicletas/>

También es conveniente nivelar el sillín de forma totalmente horizontal y regular adecuadamente su retroceso o desviación respecto al eje del pedalier.

Para definir la geometría del cuadro de la bicicleta es necesario establecer las dimensiones de los tubos que lo forman y los ángulos que estos forman en la dirección y en el tubo del sillín. El **ángulo de dirección** afecta a la estabilidad de la bicicleta y a la velocidad de giro, así como a la seguridad y la absorción de impactos. Suele estar entre 66° y 70°. El **ángulo del sillín** determina la posición en la que el

ciclista se sienta, lo que influye en el reparto de pesos sobre la bicicleta y en el manejo de la misma. Suele variar entre los 72° y los 75°.

Respecto a las dimensiones de los distintos tubos, es fundamental que tanto el tubo superior como las vainas, el eje del pedalier y el resto de elementos tengan una posición y longitud adecuadas, tanto por la comodidad del ciclista como por el correcto funcionamiento de la bicicleta.

En la actualidad, se intentan diseñar cuadros lo más compactos posible para reducir el material y el peso y, al mismo tiempo, aumentar su rigidez.

La talla de las bicicletas varía según el fabricante. En el diseño de este cuadro se han tomado como referencia las medidas de una talla mediana (M) para un ciclista de una altura comprendida entre los 169 y los 178 cm. La longitud de cada tubo para esta talla se puede ver en la tabla 1.

Size	XXS*	XS*	S*	M*	L*	XL*
Classic	43-46	47-50	51-53	54-55	57-59	60-62
A cm	41	46	51	54	57	60
B deg	75.5	75	74	73.5	73	72.5
C deg	71	72	72.7	72.7	72.7	73
D cm	50	52	54	55.5	57.5	59.5
E cm	40.6	40.6	40.6	40.8	41	41
F cm	96.1	96.7	97.2	98.5	100	100.7
G cm	7	7	7	7	7	7
H cm	9.8	10.8	12.8	15.6	18.2	21
I cm	66.4	69.4	74.5	77	80	82

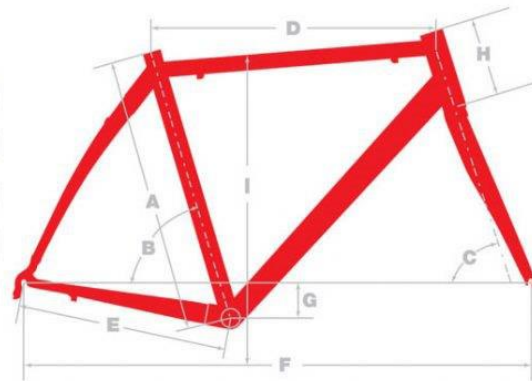


Tabla 1. Medidas (en cm) del cuadro de una bicicleta según la talla. Fuente: <https://www.atomika.mx/blog/guias-de-compra/guia-de-tallas-de-bicicletas/>

Estas medidas se tendrán en cuenta a modo orientativo en el dimensionamiento de los distintos tubos que conforman el cuadro, sin pretender utilizarlas de manera exacta.

3. ESTUDIO DE MERCADO

Dado que el propósito es realizar el **cuadro de acero**, se examinarán con más detalle los principales modelos de bicicletas hechos en este material, para ver qué clase de diseños son los que están presentes en el mercado en la actualidad.

Las bicicletas de acero se caracterizan por formas bastante simples, con cuadros constituídos principalmente por tubos rectos soldados entre sí, debido a las limitaciones del procesamiento de los tubos de acero. Este es uno de los motivos que llevó a plantear la posibilidad de someterlos a hidroconformado para obtener unas formas más dinámicas y atractivas.

A continuación, se muestran una serie de modelos que ejemplifican la estética general que presentan las bicicletas de acero en la actualidad.



Figura 7. Bicicleta de acero de NS Bikes. Fuente: <https://www.bikester.es/ns-bikes-metropolis-3-bmx-26-negro-736282.html>



Figura 8. Bicicleta de acero VSF T-Randonneur Shimano. Fuente: <http://www.recicleta.com/tienda/bicicletas-nuevas/t-randonneur-shimano-105-2x11-disc/>



Figura 8. Bicicleta de acero VSF Fahrradmanufaktur. Fuente: <http://www.recicleta.com/tienda/bicicletas-nuevas/vsf-fahrradmanufaktur-nuevos-modelos-2017/>



Figura 9. Bicicleta de acero Reid Classic. Fuente: <http://www.recicleta.com/tienda/bicicletas-nuevas/reid-classic-7-speed/>

Como se puede observar en las imágenes anteriores, en general, los cuadros de acero están formados por tubos rectos de sección constante y los diseños son bastante similares entre sí, sin encontrar ninguno que presente una estética más elaborada o fuera de los común.

En cambio, las bicicletas de aluminio o fibra de carbono presentan diseños más atractivos debido a que estos materiales se someten a procesos de fabricación que permiten obtener modelos más complejos y variados. A continuación, se muestran los ejemplos de una bicicleta de aluminio y otra de fibra de carbono en los que se pueden visualizar estas diferencias con las hechas en acero.



Figura 10. Bicicleta de aluminio. Fuente: <http://www.solostocks.com/venta-productos/bicicletas-accesorios/bicis-urbanas/bicicleta-paseo-26-aluminio-shimano-18v-6633782>



Figura 11. Bicicleta de fibra de carbono. Fuente: <http://carbonexperts.scott-sports.com/es/index.html>

Bajo esta premisa, el diseño realizado pretende conseguir unas formas similares a las que se pueden obtener con el aluminio o la fibra de carbono, pero aprovechándose de las ventajas que ofrece el acero como material para el cuadro.

4. ACEROS MICROALEADOS

4.1. Características

Los aceros microaleados, también conocidos como HSLA (High Strength Low Alloy), son aleaciones metálicas en las que las propiedades mecánicas prevalecen sobre la composición química. Este tipo de aceros son mucho más fuertes que los convencionales y, por ello, se pueden emplear con espesores mucho menores, siendo ideales para productos en los cuales se busca reducir el peso al máximo.

Los aceros HSLA tienen, generalmente, un bajo contenido en carbono (entre el 0,05 y 0,25%) para tener unas adecuadas formabilidad y soldabilidad y hasta un 1,5% de manganeso. Su resistencia se aumenta añadiendo pequeñas cantidades de otros elementos como cobre, vanadio o titanio y, a veces, aplicando técnicas especiales de enfriamiento o laminación. A pesar de contener estas pequeñas adiciones de aleación para obtener sus propiedades características, no se consideran aceros aleados, si no que están clasificados como una categoría independiente de aceros.

Los aceros microaleados están diseñados para obtener mejores propiedades mecánicas y una mayor resistencia a la corrosión atmosférica que los aceros convencionales. Su límite elástico es superior a los 275 Mpa y su composición química dependerá de las propiedades mecánicas requeridas.

Los HSLA se emplean en aplicaciones como oleoductos y gaseoductos, equipos industriales, maquinaria agrícola y de construcción, componentes de vehículos, etc. La elección de uno de estos aceros depende de los requerimientos de la aplicación que se le vaya a dar, como la reducción del espesor, la resistencia a la corrosión, la formabilidad y la soldabilidad. En muchos casos, el factor más importante para la selección del acero es la resistencia al peso en comparación con los aceros bajos en carbono convencionales. Esto ha hecho que los HSLA se estén usando de manera creciente en la industria del automóvil.

4.2. Selección

Para llevar a cabo la selección del acero microaleado más adecuado para el cuadro de bicicleta se empleó el software CES EduPack, que proporciona las propiedades de todo tipo de materiales, clasificándolos según su naturaleza. También representa cartas de propiedades con las características que el usuario quiera estudiar.

Para buscar el material, en el menú de *Selección*, dentro del apartado *Metales y aleaciones Ferreas*, se escogieron los *Aceros microaleados y de alta dureza*. De este modo, el resto de clases de materiales quedan automáticamente fuera de la búsqueda.

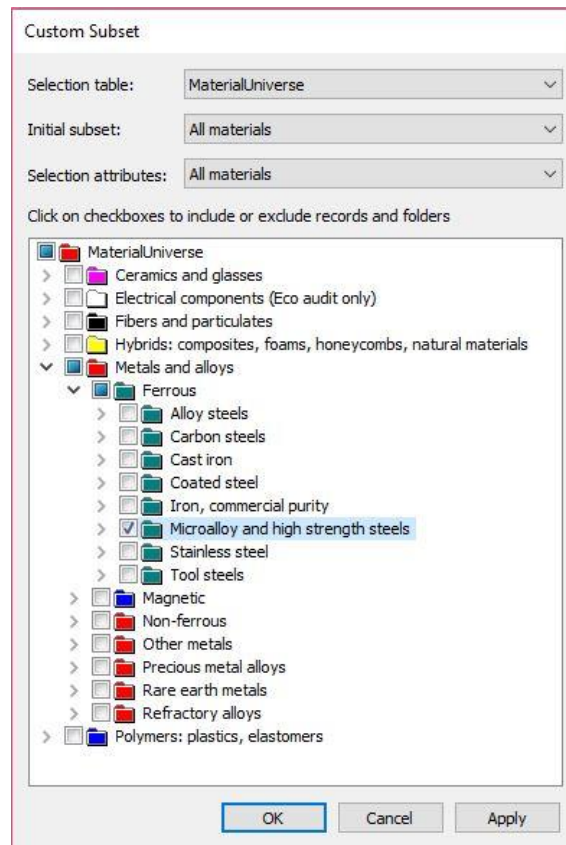


Figura 12. Selección del tipo de material en CES EduPack

A continuación, para seleccionar uno en concreto, se representó la carta de propiedades de *Límite de elasticidad* frente a *Densidad*, para ver cual de todos ellos presentaba un mayor límite elástico.

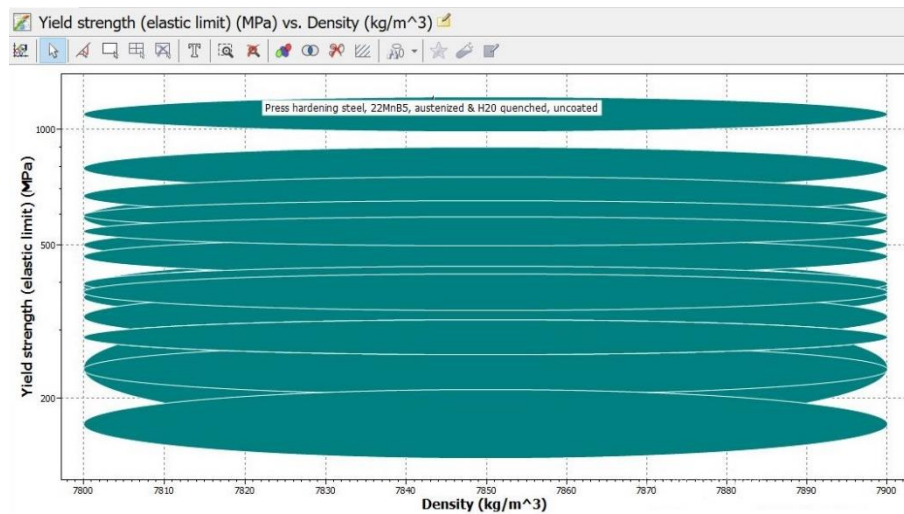


Figura 13. Carta de propiedades Densidad-Límite elástico

Las cartas de propiedades relacionan gráficamente dos propiedades de los materiales a través de burbujas que representan el intervalo de valores que pueden tener dichas propiedades. De este modo, se puede observar y comparar los distintos tipos de materiales entre sí, revelando también correlaciones entre las propiedades. Por tanto, constituyen una herramienta de gran utilidad en la selección de materiales. En la figura 13, se puede observar la carta de propiedades obtenida para los aceros microaleados.

En ella se puede ver que, mientras que todos los aceros tienen un rango de valores de densidad similar, el límite elástico entre ellos varía de forma notable. Seleccionando la burbuja con el mayor, se comprueba que se trata del acero endurecido en prensa, 22MnB5. Este será, por tanto, el acero que se escogerá para el cuadro de bicicleta. Su límite elástico varía entre los 990 y los 1210 MPa. Seleccionando este material, el programa proporciona una lista con todas sus propiedades más importantes:

Mechanical properties			
Young's modulus	200	- 221	GPa
Flexural modulus	* 200	- 221	GPa
Shear modulus	* 77.5	- 83.5	GPa
Bulk modulus	* 159	- 204	GPa
Poisson's ratio	0.29	- 0.32	
Shape factor	22		
Yield strength (elastic limit)	990	- 1.21e3	MPa
Tensile strength	1.5e3	- 1.65e3	MPa
Compressive strength	* 990	- 1.21e3	MPa
Flexural strength (modulus of rupture)	* 990	- 1.21e3	MPa
Elongation	5	- 8	% strain
Hardness - Vickers	450	- 520	HV
Fatigue strength at 10 ⁷ cycles	* 427	- 494	MPa
Fracture toughness	* 122	- 176	MPa.m ^{0.5}
Mechanical loss coefficient (tan delta)	* 2.71e-4	- 3.02e-4	

Figura 14. Propiedades mecánicas del acero 22MnB5

Respecto a su composición, en la figura 15 se puede observar su descripción detallada:

Composition detail (metals, ceramics and glasses)			
B (boron)	0.0015	- 0.005	%
C (carbon)	0.2	- 0.25	%
Cr (chromium)	0.14	- 0.26	%
Fe (iron)	97	- 98.5	%
Mn (manganese)	1	- 1.45	%
Mo (molybdenum)	0	- 0.5	%
P (phosphorus)	0	- 0.03	%
S (sulfur)	0	- 0.01	%
Si (silicon)	0.2	- 0.4	%
Ti (titanium)	0	- 0.05	%

Figura 15. Composición del acero elegido

Según la descripción ofrecida por CES EduPack, se trata de un acero que combina una buena formabilidad con una gran resistencia mecánica. La gran resistencia de los productos de este acero permite una alta reducción del peso en comparación con los aceros de gran resistencia convencionales, lo cual hace este acero microaleado muy recomendable para los componentes estructurales y de seguridad del automóvil. Además de esta gran resistencia, se caracteriza por ofrecer una mínima recuperación elástica y poder adquirir geometrías complejas.

5. PROCESO DE HIDROCONFORMADO

5.1. Bases del hidroconformado

El hidroconformado es una técnica de fabricación de conformado **en frío** mediante la cual, a través de un fluido hidráulico a alta presión que suele ser agua o aceite, se produce una forma hueca a partir de un tubo, un perfil o dos chapas.

Para llevar a cabo este proceso se sitúa el material de carga, que será generalmente acero, en una matriz y luego se aplica esta presión interna que hará que el material adopte la forma de la matriz. La presión necesaria dependerá del material empleado, del grosor requerido y del menor radio formado. Esta técnica es especialmente empleada en la automoción y en otros sectores industriales como fontanería, electrodomésticos, etc.

Algunas de las ventajas que presenta el hidroconformado frente a otros procesos de fabricación son:

- Reducción del peso y del material por la disminución de las soldaduras para realizar uniones y por la posibilidad de obtener espesores más pequeños.
- Diseño de piezas más complejas y obtención de formas más suaves y precisas.
- Reducción de ensamblajes y operaciones secundarias, lo que supone una reducción de los costes.
- Mejor resistencia a la fatiga por la reducción de las soldaduras y mayor resistencia mecánica y durabilidad.
- Reducción de la recuperación elástica de las piezas.

El hidroconformado se puede llevar a cabo a partir de un perfil, de chapas o de tubos pero, en este caso, nos centraremos en el hidroconformado de tubos pues es el que se emplearía para el cuadro de la bicicleta.

El **hidroconformado de tubos** es la aplicación más común de esta técnica de fabricación. Mediante la introducción del fluido a presión en el interior del tubo este se expande hacia las paredes de la matriz en la que se encuentra, adoptando su forma. También se puede ejercer una compresión axial para evitar una reducción excesiva del espesor del tubo. De este modo, el tubo puede experimentar cambios de sección a lo largo de su longitud con formas suaves lo cual implica una mayor rigidez que será útil a la hora de realizar taladros posteriores en la pieza. Se obtienen piezas con concavidades y formas que, con la estampación clásica, serían imposibles de conseguir.



Figura 16. Tipo de formas que se obtienen por hidroconformado. Fuente: <http://www.h-tube.com/custom-hydroforming.html>

En la figura 12, se pueden observar las cuatro fases del hidroconformado de tubos. Primero, se introduce el tubo en la matriz. A continuación, se cierra la matriz hidráulicamente. Después, se cierran los extremos del tubo con los punzones de sellado y comienza el llenado del mismo y, por último, el tubo se expande debido a la presión interna del líquido a la vez que los punzones avanzan, obteniéndose la forma final deseada.

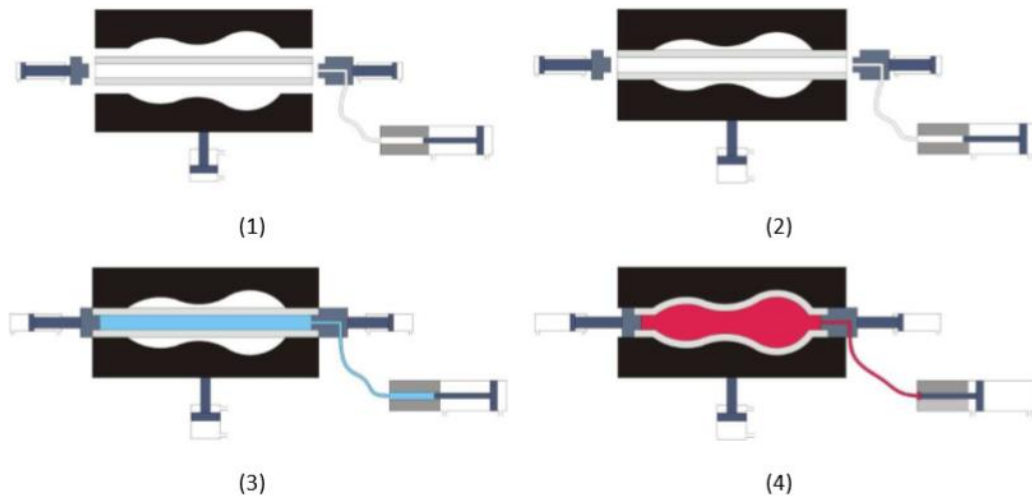


Figura 17. Fases del proceso de hidroconformado de tubos. Fuente: http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio_oportunidades/Aproximacion_al_Hidroconformado.pdf

5.2. Hidroconformado en bicicletas

En la actualidad, el hidroconformado ya se emplea en la fabricación de cuadros de bicicleta pero solo en los de **aluminio**, lo cual ha permitido que estos adquieran formas mucho más atractivas y una mayor rigidez.



Figura 18. Cuadro de aluminio hidroconformado. Fuente: <http://www.biket3ch.com/2014/05/como-se-fabrica-un-cuadro-de-bicicleta.html>

Además, está surgiendo una nueva técnica llamada **hidroconformado triple** que se está empleando en la fabricación de algunas bicicletas y consiste en volver a dar forma a los tubos una vez que estos ya han sido soldados, obteniendo un cuadro con menos material y menor peso. Con ello, también se reducen las vibraciones en el tubo del asiento.

Por tanto, el hidroconformado permite crear bicicletas que aceleran más rápido, suben cuestas con mayor facilidad y giran mejor. Además, permite un mejor manejo. Esta técnica también se está empleando en bicicletas eléctricas.

El único ejemplo encontrado de una bicicleta hecha de acero hidroconformado es la *Venturi*. En esta bicicleta se encuentra el primer cuadro de acero cromado hidroconformado y tratado con calor. En ella, la sección de los tubos cambia de forma y de espesor en diferentes partes, dando lugar a un cuadro rígido pero flexible al mismo tiempo.



Figura 19. Bicicleta Venturi. <http://bicycletimesmag.com/review-breezer-venturi/>

En esta bicicleta, el acero absorbe los impactos de las imperfecciones de la carretera, con rigidez en los lugares en los que es necesaria y transmitiendo de forma eficaz la energía. Este cuadro no da la sensación de estar sobrecargado o de ser pesado, ni produce traqueteo de los dientes pero, al mismo tiempo, tampoco es flexible. Este ejemplo muestra que al combinar un material tradicional como el acero con una técnica actual como el hidroconformado se obtienen unos resultados muy satisfactorios.

Exceptuando el caso de la Venturi, el resto de ejemplos de uso del hidroconformado para cuadros de bicicletas se reduce a aquellos hechos en aluminio. Por tanto, la aplicación de esta técnica al acero es algo posible pero que, al mismo tiempo, en la actualidad no se ha puesto en práctica de forma generalizada todavía.

6. PROPUESTA DE DISEÑO DEL CUADRO DE BICICLETA

6.1. Primeras ideas

A la hora de llevar a cabo el diseño del cuadro se trató de conseguir unas formas atractivas que pudieran ser obtenidas mediante hidroconformado.

Se jugó con líneas dinámicas y curvas, realizando diversos diseños que, poco a poco, fueron desembocando en el resultado final.

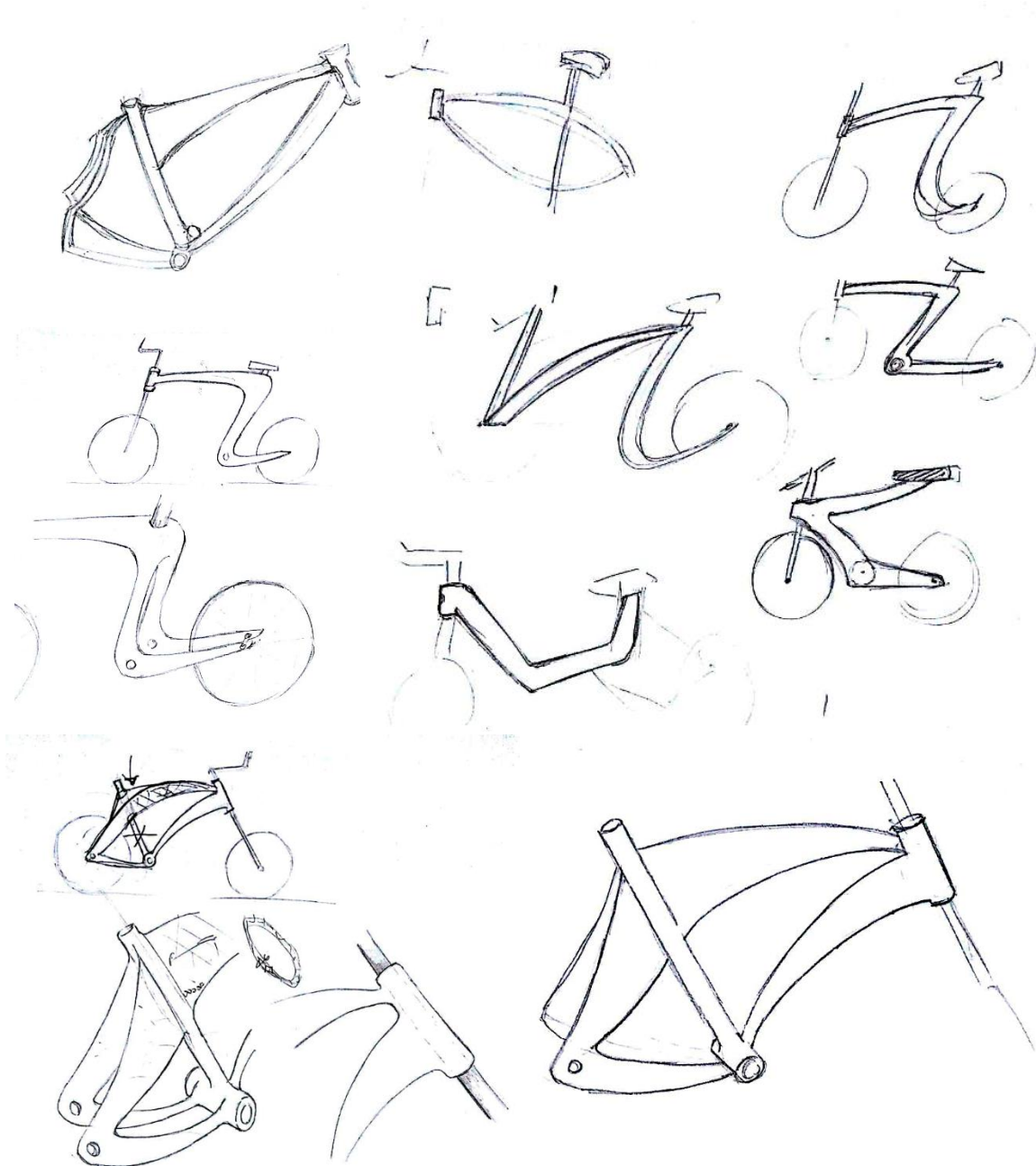


Figura 20. Evolución de los diseños hasta llegar al resultado final

6.2. Justificación del diseño

Tras el estudio del hidroconformado y una vez conocidas el tipo de geometrías que se pueden obtener con este proceso de fabricación, se procedió a plantear el diseño de un cuadro de bicicleta que fuera realizable con esta técnica y, posteriormente, a comprobar su resistencia a las cargas generadas al ser usado.

Al realizar el estudio de mercado se comprobó que, por lo general, las bicicletas de acero presentan formas muy simples que normalmente se basan en tubos de espesor y sección constantes. Por ello, este diseño pretende alejarse de esta estética para conseguir una más parecida a la de los cuadros de aluminio o fibra de carbono, con formas más dinámicas, curvas y atractivas.

El diseño realizado está formado por siete piezas distintas que se unirán entre sí mediante soldadura, como se explicará con más detalle en el siguiente apartado. En la figura 21 se ve la apariencia general del mismo.

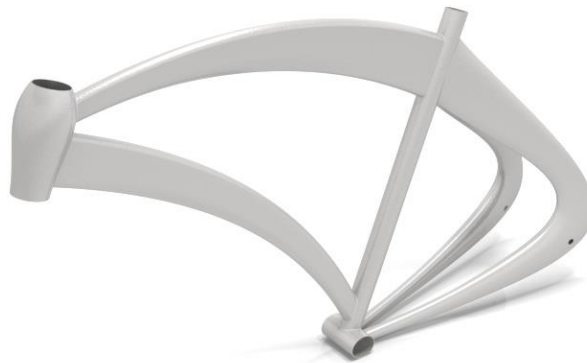


Figura 21. Vista general del cuadro diseñado

Los tubos superior e inferior tienen una forma que comienza con una sección mayor que se va estrechando, con sus extremos mayor y menor situados alternativamente en el conjunto del cuadro para conseguir un aspecto más armónico. El tubo de dirección y las vainas continúan con este tipo de geometrías con secciones que varían en forma y dimensiones. El tubo del sillín y el del eje del pedalier se han mantenido con diámetros constantes como cilindros rectos para compensar el resto de formas curvas.

Para reducir el número de soldaduras, las vainas superior e inferior se han realizado en una sola pieza, pues su geometría es alcanzable con un único tubo plegado formando el ángulo necesario y sometido a hidroconformado posteriormente.

Como se comentó anteriormente, las medidas de los tubos y sus ángulos se establecieron teniendo en cuenta de manera orientativa las de una talla M que se indican en la tabla de dimensiones. Con ello, este cuadro podría incorporarse al resto de elementos que constituyen una bicicleta para formar un conjunto eficaz.

6.3. Descripción de la geometría del cuadro



Figura 22. Vista superior



Figura 23. Vista trasera

El dimensionado general del cuadro según lo establecido por las tablas de tallas se puede observar en figura 24.

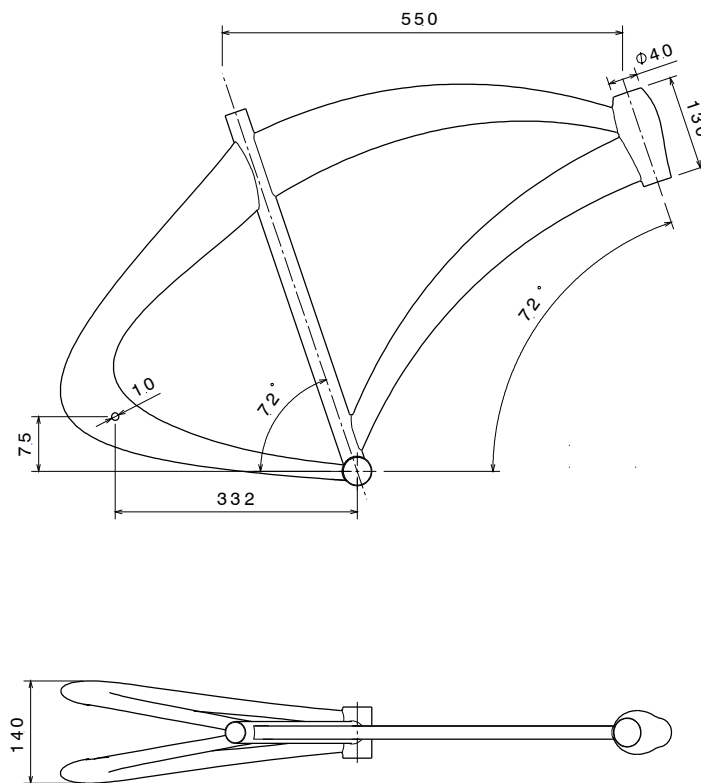


Figura 24. Dimensiones generales del cuadro

6.4. Tipos de uniones

Tal y como se explicó, el cuadro está compuesto por siete tubos independientes entre sí.



Figura 25. Vista de explosión del cuadro

En las bicicletas de acero, las uniones entre las partes se realizan a través de la soldadura. En concreto, el tipo de soldadura que se suele aplicar es la denominada soldadura TIG. Por ser este el método convencional de soldadura de los cuadros de bicicleta, será el que se aplicará al modelo diseñado.

Las siglas TIG proceden del inglés y significan Tungsten Inert Gas, aunque a veces también es conocida como soldadura GTAW o Gas Tungsten Arc Welding. Como su nombre indica, este tipo de soldadura se realiza con un electrodo permanente de **tungsteno** bajo atmósfera gaseosa. En ella, se forma un arco entre el tungsteno no consumible y la pieza que se va a soldar, pudiéndose emplear o no metal de aportación.

El **gas inerte** que se suele utilizar es el argón, por sí solo o combinado con helio o hidrógeno, el cual aísla el material fundido de la atmósfera para evitar su contaminación y envuelve el electrodo para impedir su oxidación.

Con este proceso se obtienen soldaduras de alta calidad, pues la soldadura TIG permite soldar en cualquier posición y controlar las penetraciones. Por ello, se suele aplicar en las tuberías.

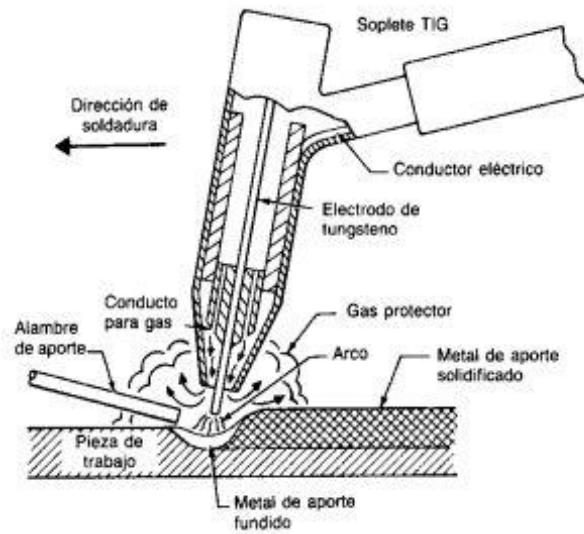


Figura 26. Esquema de la soldadura TIG. Fuente: <https://www.pinterest.es/pin/291397038380596173/?!p=true>

El cordón de soldadura empleado en este cuadro será también de acero para que exista continuidad con el resto del cuadro y las propiedades se mantengan. Las soldaduras presentan una forma cóncava, con un radio de curvatura que variará entre 1 y 3 mm, para adaptarse lo mejor posible a las formas de las uniones entre los tubos.



Figura 27. Detalle del aspecto de las soldaduras

7. ESTUDIO DE VIABILIDAD DEL CUADRO DISEÑADO

7.1. Análisis de Elementos Finitos

7.1.1. Introducción al MEF

Para realizar el análisis de elementos finitos del modelo constituido por superficies realizado en Catia V5, lo importaremos en el software Inventor Professional 2018.

Inventor es un software destinado al modelado 3D y a la resolución de problemas a través del método de los elementos finitos. Así, con este programa se puede simular y analizar el **comportamiento mecánico** de un ensamblaje bajo distintas condiciones de carga, permitiendo validar prototipos y modelos mediante una simulación estática o dinámica sin falta de realizarlos físicamente.

El Método de Elementos Finitos o MEF es una de las técnicas de simulación más empleadas en aplicaciones industriales para estudiar el comportamiento físico de los cuerpos. Este método consiste en la reducción de un problema continuo a uno discreto con un número finito de variables asociadas a ciertos puntos característicos, los nodos.

El MEF supone que el comportamiento de cada parte en que se divide una estructura queda definida por un número finito de parámetros (grados de libertad) que están asociados a los puntos en que estas partes se unen entre sí, llamados nodos. Por tanto, el comportamiento de cada uno de estos elementos queda definido a partir de lo que sucede en los nodos, a través de una función de interpolación.

De lo explicado se puede deducir que el MEF es un método aproximado debido a los siguientes motivos:

- La **discretización** o mallado que se realiza, que consiste en transformar una realidad continua en un modelo discreto aproximado.
- La **interpolación** o aproximación de los valores de funciones a partir de un número discreto de puntos.

Se trata, por tanto, de una representación aproximada de la realidad a través de un modelo numérico. No obstante, no hay que olvidar que es el usuario el que debe valorar si la discretización del modelo representa correctamente el comportamiento de la estructura que se está estudiando.

7.1.2. Hipótesis de carga

Para realizar el análisis del cuadro de la bicicleta se van a llevar a cabo ensayos con las cargas que actuarían durante su uso. Hay que recordar que se va a emplear un modelo simplificado que está constituido únicamente por el cuadro, sin incluir la horquilla, los bujes, el manillar, los pedales y el resto de elementos que constituyen la bicicleta. Por ello, los resultados obtenidos no representarán exactamente el comportamiento de todo el conjunto, pero constituirán una buena aproximación y se

plantearán las situaciones más críticas para que el resultado de los ensayos sea más fiable y seguro.

Cuando una bicicleta está en contacto con el suelo sus puntos de apoyo son las dos ruedas. Las cargas se transmiten a través de ellas a los bujes (ejes centrales de las ruedas) los cuales, a su vez, las transmiten al cuadro de la bicicleta.

Al conducir una bicicleta, el usuario puede estar situado en diferentes posiciones (sentado, de pie, con o sin las manos en el manillar, etc.) que den lugar a distintas cargas sobre la misma.

Entre estas situaciones, la más crítica a simple vista es cuando el conductor está de pie en la bicicleta ya que todo su peso recae en los pedales, con excepción del apoyo en el manillar y, por este motivo, con estudiar ésta será suficiente ya que si el cuadro soporta las cargas generadas en este caso, lo hará también en el resto.

De este modo, en el análisis de elementos finitos del cuadro de bicicleta se planteará la situación de un individuo pedaleando de pie y con las manos en el manillar de la bicicleta y se representarán las fuerzas y condiciones de contorno correspondientes a esta situación.

En primer lugar, será necesario analizar y calcular las fuerzas resultantes ejercidas en cada parte del cuadro derivadas de la situación comentada anteriormente. Si situamos nuestro cuadro en unos ejes de coordenadas se puede hacer un análisis de los desplazamientos y giros permitidos para la bicicleta.

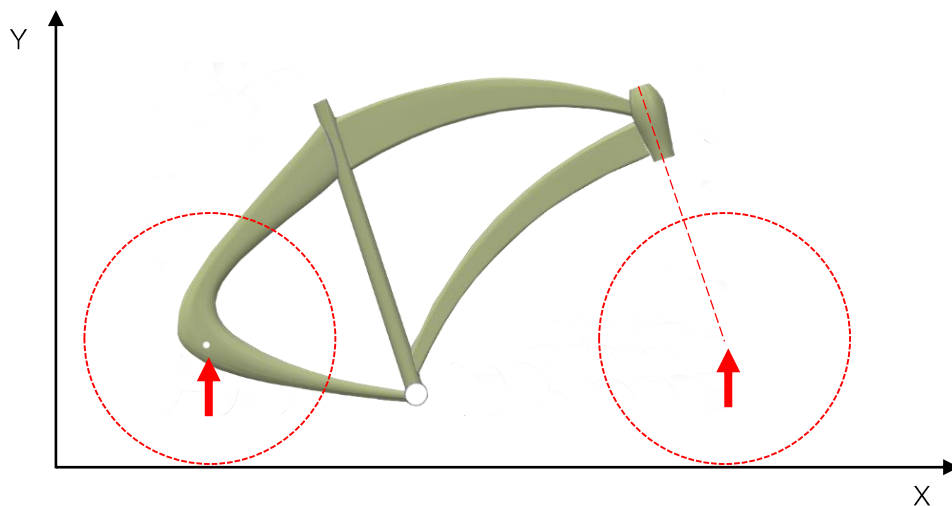


Figura 28. Sistema de coordenadas en el que se sitúa el cuadro

En esta situación, el pedaleo que realiza el conductor de la bicicleta va a suponer una transmisión de esfuerzos entre el pedalier y las patillas traseras que se realizará a través del conjunto biela-plato-cadena-piñón. De este modo, el desplazamiento en X

del buje trasero debe estar permitido. Sin embargo, en la parte delantera este desplazamiento estará impedido para poder realizar un cálculo estático.

Por otro lado, se supondrá que las ruedas y los radios son indeformables para simplificar el análisis y también que la bicicleta está en contacto continuo con el suelo.

De este modo, en el eje delantero los desplazamientos en X, Y y Z estarán impedidos, así como los giros en X y en Y, gracias al buje que mantiene unidas las dos patillas en cada eje. Por su parte, en el eje trasero solo estarán impedidos los desplazamientos en Y y en Z y, nuevamente, los giros en X y en Y.

Respecto a las fuerzas que actúan, los puntos de contacto entre el individuo y la bicicleta serán el manillar y los pedales y sobre estas zonas recaerán las mismas.

Se tomará para el análisis un individuo de 80 Kg. Dado que esta no es la situación más desfavorable que se puede producir, se aplicará un coeficiente de seguridad de 2 y, por tanto, la masa total que se aplicará será de 160 Kg. Por tanto, la fuerza que supondrá el peso del individuo sobre la bicicleta será de:

$$P_{\text{individuo}} = M_{\text{individuo}} \cdot \text{Gravedad} = 160 \text{ Kg} \cdot 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = 1568 \text{ N}$$

No obstante, habrá que tener en cuenta el efecto del apoyo de las manos en el manillar. De este modo, suponiendo que el individuo puede ejercer una fuerza de 15 Kg con cada brazo en el sentido del eje Y (despreciando su componente en X) que será igual en los dos lados del manillar podemos obtener la reacción en el mismo:

$$R_{\text{manillar}} = 2 \cdot 15 \text{ kg} \cdot 9,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2} = 294 \text{ N}$$

Por último, aplicando el equilibrio de fuerzas, podemos hallar la reacción en el pedal, que será la suma del peso del individuo y la fuerza sobre el manillar:

$$R_{\text{pedal}} = P_{\text{individuo}} + R_{\text{manillar}} = 1568 + 294 = 1862 \text{ N}$$

Una vez obtenida la fuerza que actúa sobre el pedal, se puede calcular el **momento torsor** que tiene lugar en el plato sabiendo que este es igual al producto de dicha fuerza por la longitud de la biela, que tomaremos como 170 mm. De este modo se tiene:

$$M_{\text{torsor}} = R_{\text{pedal}} \cdot L_{\text{biela}} = 1862 \text{ N} \cdot 0,17 \text{ m} = 316,54 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Para calcular la tensión que se produce en la cadena será necesario estudiar el mecanismo en detalle. En la Figura 29, se observa el conjunto que constituyen la biela, los piñones, el plato, la cadena y el pedal y las fuerzas y momentos que se producen en ellos.



Figura 29. Conjunto cadena-piñón-plato-biela-pedal. Fuente: <https://www.dreamstime.com/stock-illustration-bicycle-chain-pedals-front-view-isolated-white-background-d-render-image-image52017734>

La fuerza ejercida por el conductor de la bicicleta sobre los pedales se transmite al plato a través de la biela, generando un momento torsor M en el mismo que da lugar a una tensión T sobre la cadena. El valor de esta tensión será el cociente entre el momento torsor y el radio del plato. El diámetro del plato se tomará como 120 mm, un valor no excesivamente grande para obtener una tensión resultante elevada y plantear, con ello, una situación más crítica. Así, tenemos que el valor de la tensión es:

$$T = \frac{M_{\text{torsor}}}{D/2} = \frac{316,54 \text{ N}\cdot\text{m}}{0,06 \text{ m}} = 5275,67 \text{ N}$$

Dado que la cadena (sobre la que se produce la tensión) forma un ángulo con la horizontal, tendremos que calcularlo para descomponer la tensión en las componentes X e Y.

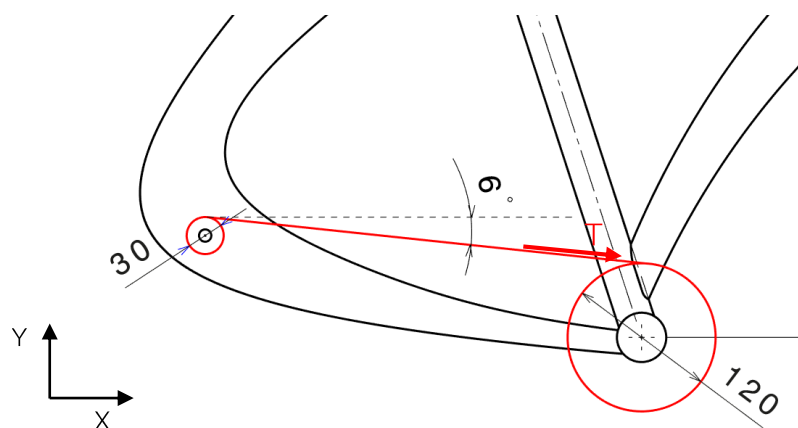


Figura 30. Ángulo de la cadena con la horizontal. Elaboración propia.

Como se comentó anteriormente, el plato tiene un diámetro de 120 mm y el piñón supondremos que mide 30 mm.

Sabiendo que el ángulo que forma la cadena con la horizontal es de 6° , se calculan las componentes en X y en Y de la tensión:

$$T_x = T \cdot \cos \alpha_H = 5275,67 \text{ N} \cdot \cos 6^\circ = 5246,77^\circ$$

$$T_y = T \cdot \sin \alpha_H = 5275,67 \text{ N} \cdot \sin 6^\circ = 551,46^\circ$$

Con estos resultados numéricos, se puede comprobar que la componente de la tensión en el eje Y es notablemente más pequeña que su componente en X. Por este motivo y para estudiar una situación más crítica, se va a desprestigiar su componente en Y y se va a suponer que toda ella se aplica en la dirección X y el ángulo con la horizontal es de 0° .

Con los valores de la fuerza ejercida en el pedal y de la tensión se pueden situar las cargas finales que afectan al conjunto. La fuerza del ciclista en el pedal se transmitirá directamente al eje de la caja del pedalier a través de la biela (F'), que se supone indeformable. Por su parte, la tensión ejercerá una fuerza en la dirección negativa del eje X sobre la caja del pedalier (T') pero también otra en el sentido positivo del eje X en el buje trasero, como se veía en la Figura 29.

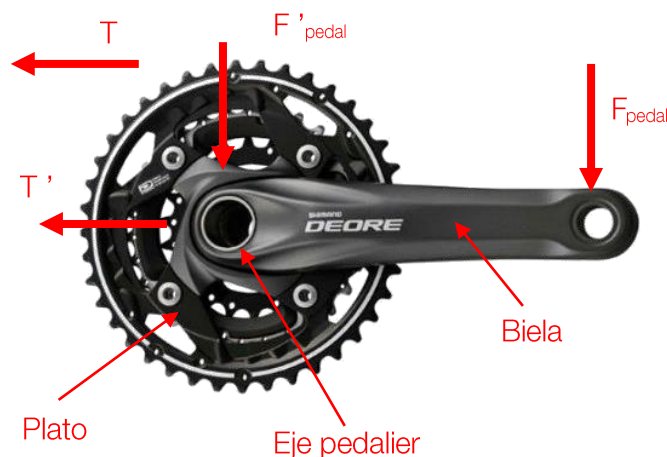


Figura 31. Fuerzas finales sobre el eje de la caja del pedalier. Fuente: <https://www.bicimarket.com/Liquidacion-Transmision-Shimano-Deore-FC-M610-OFERTA-p20900.html>

Además de estas fuerzas, hay que recordar la que tendrá lugar en el manillar que tendrá un valor total de 294 N e irá en el sentido negativo del eje Y.

Con la fuerza de pedaleo y la tensión ya calculadas, es necesario calcular ahora las fuerzas que se van a producir en el cuadro teniendo en cuenta la geometría del mismo.

El eje del pedalier está contenido en la caja del pedalier y gira sobre los rodamientos que se encuentran también dentro de ella. El eje cuenta con un cabezal en el que se unen las bielas y, a su vez, los platos y los pedales se anexionan a estas últimas.



Figura 32. Eje de pedalier. Fuente: <https://www.santafixie.com/eje-pedalier-miche-team-107.html>

En la Figura 33 se puede ver un esquema del eje del pedalier con los dos rodamientos, las dimensiones y las fuerzas que se producen en él al pedalear. Para poder estudiar los efectos de la fuerza ejercida en el pedal sobre el eje, será necesario posicionarse en el plano YZ.

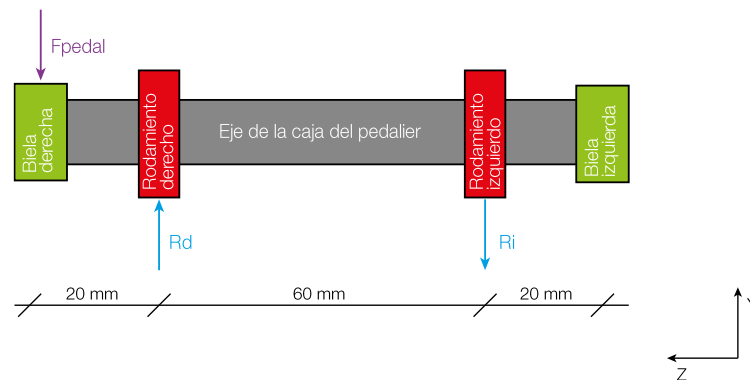


Figura 33. Esquema eje del pedalier (YZ). Elaboración propia.

Resolveremos el conjunto de fuerzas y reacciones para hallar el valor de las mismas:

$$\sum F_Z = 0$$

$$\sum M_Z = 0; \quad 80 \cdot F_{pedal} - 60 \cdot R_d = 0; \quad 80 \cdot 1862 - 60 \cdot R_d = 0; \quad R_d = 2482,67 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0; \quad F_{pedal} + R_i - R_d = 0; \quad 1862 + R_i - 2482,67 = 0; \quad R_i = 620,67 \text{ N}$$

Las reacciones calculadas anteriormente serán transmitidas a la caja del pedalier a través de los rodamientos en el sentido contrario:

$$F_d = - 2482,67 \text{ N}$$

$$F_i = 620,67 \text{ N}$$

Sin embargo, como ya se mencionó, sobre el eje del pedalier hay otra fuerza más a parte de la ejercida sobre el pedal: la tensión de la cadena. Para estudiarla será necesario posicionarse en el plano XZ.

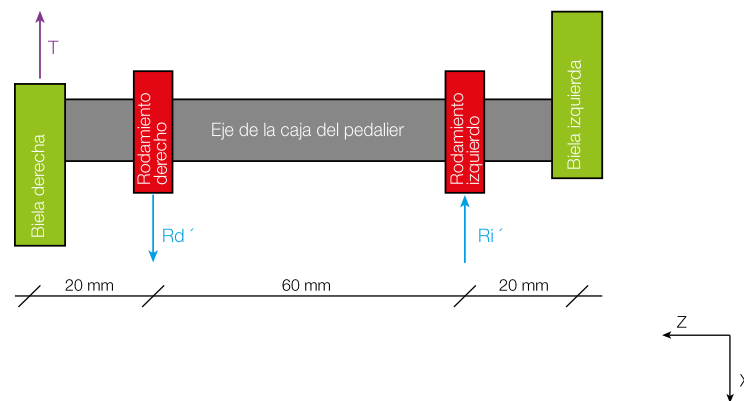


Figura 34. Esquema eje del pedalier (XY). Elaboración propia.

$$\sum F_z = 0$$

$$\sum M_z = 0; \quad -80 \cdot T + 60 \cdot R_d' = 0; \quad -80 \cdot 5275,67 + 60 \cdot R_d' = 0; \quad R_d' = 7034,23 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0; \quad T - R_d' + R_i' = 0; \quad 5275,67 - 7034,23 + R_i' = 0; \quad R_i' = 1758,56 \text{ N}$$

Como en el caso anterior, las fuerzas transmitidas a la caja del pedalier por los rodamientos tendrán el valor de las reacciones calculadas pero sentidos contrarios:

$$F_d' = - 7034,23 \text{ N}$$

$$F_i' = 1758,56 \text{ N}$$

Por último, se calcularán las fuerzas que se producen en el eje de las patillas traseras. En el buje, que será el eje en el cual se introducirán las dos patillas traseras, se encuentra también el cassette de piñones. La distancia entre las patillas está normalizada y, en este caso, es de 135 mm. La tensión producida por la cadena en el cassette dará lugar a unas resultantes en las patillas traseras las cuales se calculan a continuación:

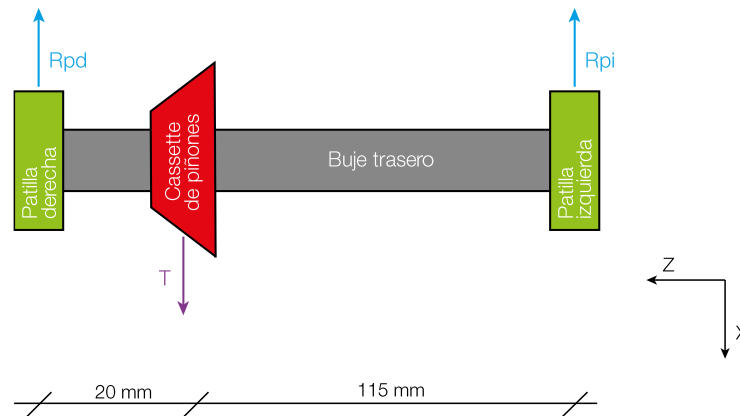


Figura 35. Esquema del buje trasero. Elaboración propia.

$$\sum F_z = 0$$

$$\sum M_z = 0; -135 \cdot R_{pd} + 115 \cdot T = 0; -135 \cdot R_{pd} + 115 \cdot 5275,67 = 0; R_{pd} = 4494,09 \text{ N}$$

$$\sum F_x = 0; R_{pd} + R_{pi} - T = 0; 4494,09 + R_{pi} - 5275,67 = 0; R_{pi} = 781,58 \text{ N}$$

Como en los casos anteriores, las fuerzas de las reacciones que se transmitirán a las patillas traseras serán de igual magnitud y de sentido contrario:

$$R_{pd} = 4494,09 \text{ N}$$

$$R_{pi} = 781,58 \text{ N}$$

De este modo, hemos calculado las fuerzas que actuarán en el eje del pedaliar, en el buje trasero y también las fuerzas ejercidas por los brazos del ciclista sobre el manillar. En el esquema de la figura 36 se pueden observar todas ellas sobre el cuadro de la bicicleta:

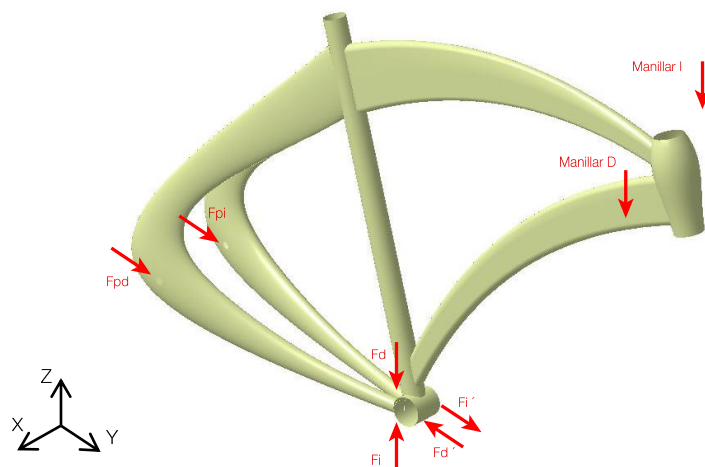


Figura 36. Esquema de las fuerzas que actúan sobre el cuadro. Eje de coordenadas de Inventor

7.1.3. Condiciones de contorno

7.1.3.1. Definición del material: acero

Dado que el acero elegido no es uno de los incluidos en la biblioteca de Autodesk Inventor, será necesario crear este material para especificar las propiedades mecánicas que, en este caso, son las que determinarán los resultados del análisis.

Para ello, en el editor de materiales se creó un *Nuevo material* al que se le asignaron las propiedades mecánicas marcadas por CES EduPack. Dado que éstas venían especificadas en un rango de valores, se tomó en todos los casos el valor máximo, para tener un mayor margen, especialmente necesario en el límite elástico.

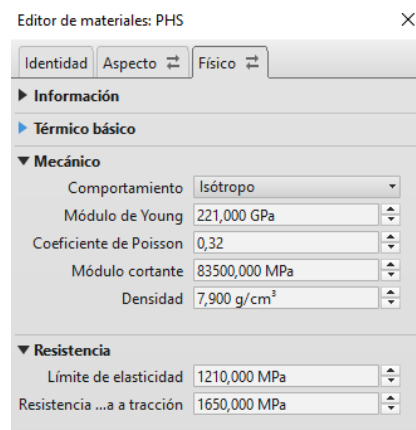


Figura 37. Definición del material en Inventor

7.1.3.2. Restricciones

Se pondrán restricciones en el tubo de dirección y en las patillas traseras, teniendo en cuenta lo explicado en el apartado 7.1.2.

En las patillas se impedirá el desplazamiento en los ejes X y Z, pero se permitirá el desplazamiento en el eje Y, por lo que se empleará la opción de Inventor de descomposición en vectores. Respecto a los giros, se permitirán solo en la dirección axial, lo cual se consigue a través de las restricciones de pasador.

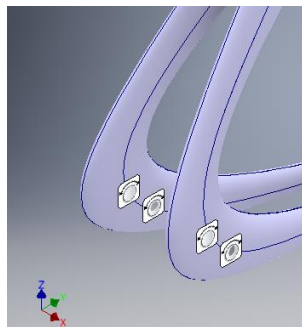


Figura 38. Restricciones fija y de pasador en las patillas traseras

Respecto al tubo de dirección, se impedirán los desplazamientos y los giros en los tres ejes mediante restricciones fijas.

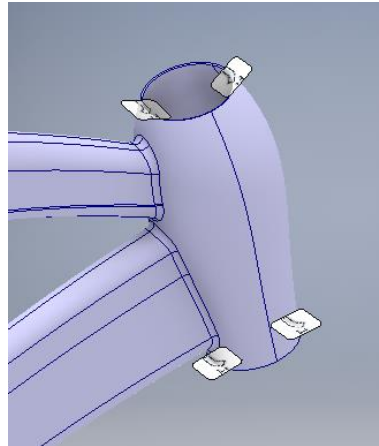


Figura 39. Restricciones fijas en el tubo de dirección

7.1.3.3. Fuerzas

Respecto a las fuerzas, estas se concentran en los tres puntos comentados anteriormente: las patillas traseras, el eje de la caja del pedalier y las fuerzas ejercidas por los brazos del ciclista sobre el manillar.

Las cargas en las patillas se aplicarán en el agujero de las dos mitades de cada patilla e irán en la dirección positiva del eje Y (teniendo en cuenta los ejes de coordenadas de Inventor).

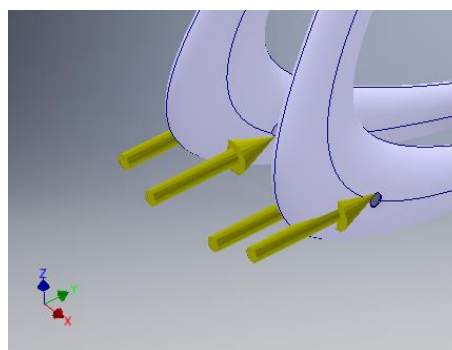


Figura 40. Cargas en las patillas traseras.

En cuanto al eje del pedalier, como se explicó en el apartado 7.1.2, tiene dos rodamientos situados a 20 mm de los extremos, por lo que se dividirá la cara interior del eje para situar las cargas solo en esta zona y no en toda su superficie.

Para ello, será necesario crear dos planos a 20 mm de los extremos y proceder a la división de la superficie cilíndrica utilizándolos como referencia.

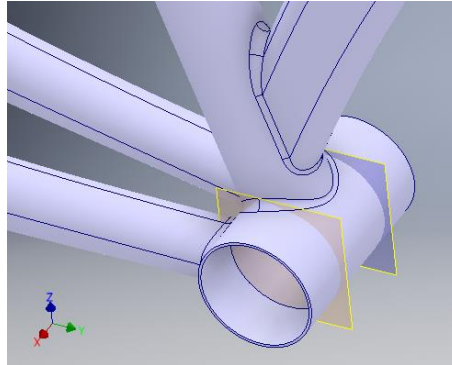


Figura 41. División del eje del pedalier

A continuación, se aplicarán las cargas calculadas en estas zonas del eje empleando el tipo de carga de rodamientos.

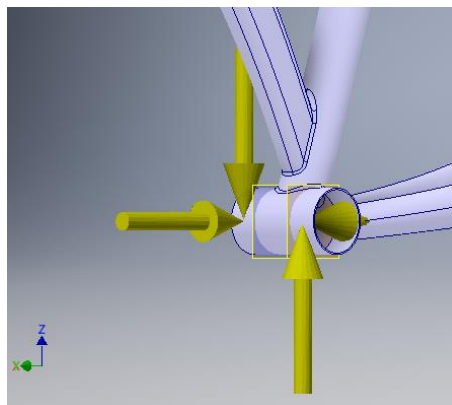


Figura 42. Cargas en el eje del pedalier

Por último, ya que el modelo 3D no incluye el manillar, para simular las cargas ejercidas sobre el mismo por el ciclista se utilizará la opción de *Cargas remotas*, que permite aplicar una fuerza a un punto que no pertenece al modelo y obtener la fuerza equivalente sobre una cara del mismo. Su magnitud será de 147 N en cada manillar, la mitad de la fuerza total calculada previamente.

Teniendo en cuenta las dimensiones habituales de un manillar de bicicleta, se dedujeron las coordenadas sobre las que se desarrollarán estas fuerzas. Se pueden observar en la tabla 2:

	X	Y	Z
Manillar izquierdo	- 250	430	550
Manillar derecho	250	430	550

Tabla 2. Coordenadas de las cargas remotas

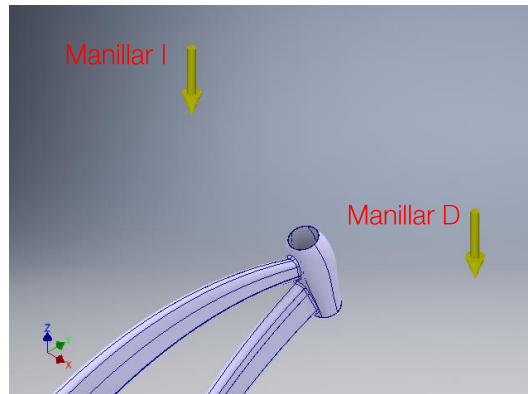


Figura 43. Fuerzas sobre el manillar

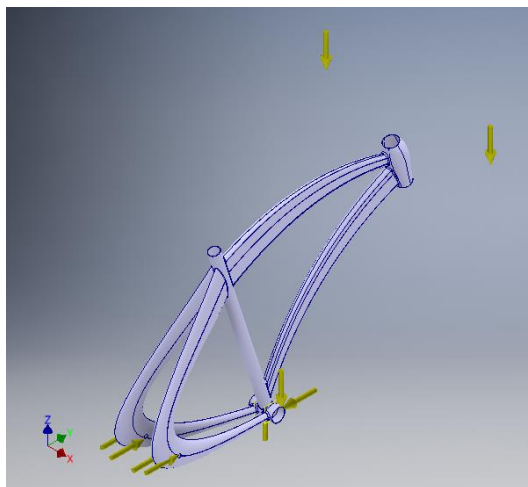


Figura 44. Fuerzas que actúan sobre el cuadro

7.1.3.4. Definición del mallado

Para el mallado del modelo se utilizará un tamaño medio de elemento de 0,100 y se activará la opción de *Crear elementos de malla curva* para que el mallado se adapte mejor a la geometría que presenta el cuadro.

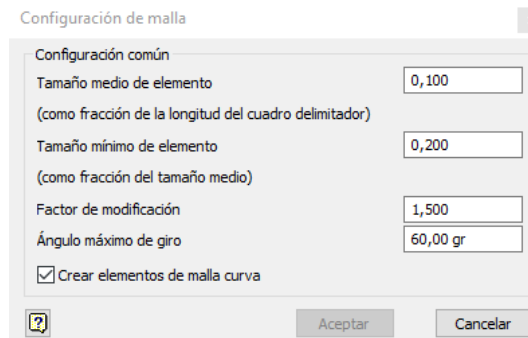


Figura 45. Configuración de malla

Al tratarse de un elemento con formas complejas, fue necesario hacer algún remallado local en las zonas más críticas para generar una malla más precisa y que se adaptara mejor a la forma del modelo y así obtener unos mejores resultados.

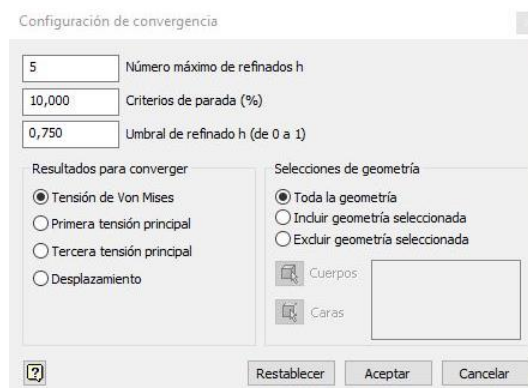


Figura 46. Configuración de convergencia

Respecto a la configuración de la convergencia, se pondrá un máximo de 5 refinados y como criterio de parada se pondrá un 10%, lo cual significa que si la diferencia entre los dos últimos resultados es inferior a ese porcentaje se suspenderá el refinado. También se especificará que la convergencia se busca en la Tensión de Von Mises.

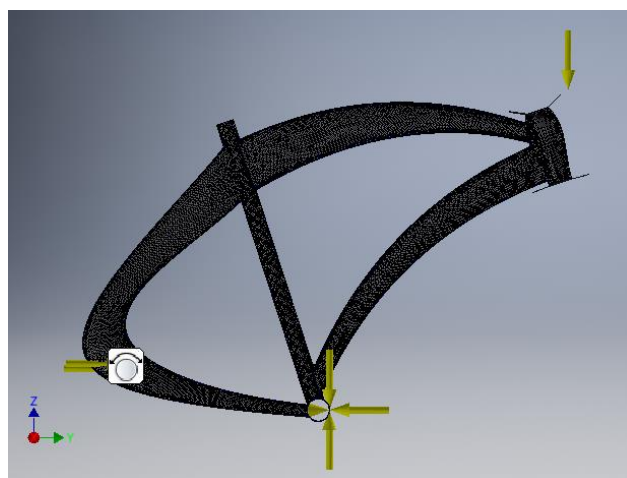


Figura 47. Aspecto del mallado del cuadro

7.1.4. Resultados del análisis de espesor 1,5 mm

Para el primer análisis, se le dio al conjunto un espesor de 1,5 mm para ver cómo funcionaba. En análisis posteriores se intentó reducir en la medida de lo posible este espesor para poder minimizar el peso total del cuadro.

Aplicando las condiciones de contorno especificadas anteriormente, se obtuvieron los siguientes resultados:

La máxima tensión de Von Mises se localiza en la soldadura de la vaina derecha con el eje del pedalier, con un valor de **523 MPa**.

Será el criterio de Von Mises el que se empleará para aceptar o descartar los resultados. Según esta teoría, el material será válido si la tensión de Von Mises máxima es inferior a su límite elástico. El límite elástico del acero elegido es de 1210 MPa por lo que los resultados de este ensayo demuestran que el cuadro de acero de 1,5 mm de espesor supera con creces esta prueba ($523 \text{ MPa} \ll 1210 \text{ MPa}$).

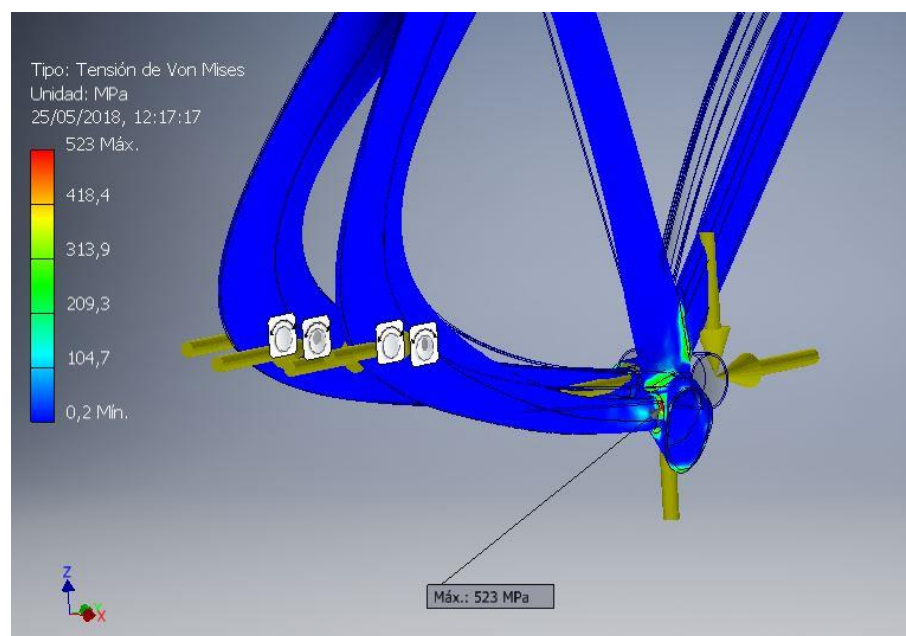


Figura 48. Tensión de Von Mises máxima para 1,5 mm de espesor

Regulando la escala de colores, podemos elegir un valor para que todas las zonas con tensiones superiores al mismo se muestren en color rojo y, de este modo, observar mejor las zonas del cuadro en las que se acumulan mayores tensiones.

En este caso, se reguló la escala con un valor máximo de 200 MPa de modo que, en la figura 50, se pueden ver las zonas del cuadro con tensiones superiores a este valor. No obstante, todas ellas están muy por debajo del límite elástico.

Estos resultados con valores tan bajos dan a entender que el cuadro podría funcionar bajo las mismas cargas con espesores menores pues, con 1,5 mm todavía queda mucho margen hasta alcanzar los valores límite permitidos (1210 MPa).

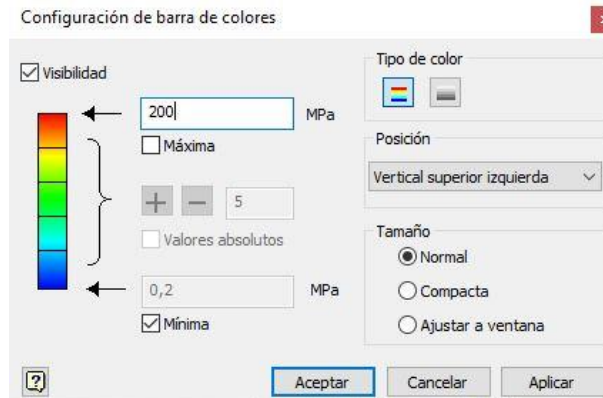


Figura 49. Configuración de la barra de colores

El resto de tensiones elevadas se producen también en la zona del eje del pedaliar, quedando el resto de tubos en azul oscuro pues sus tensiones son muy bajas.

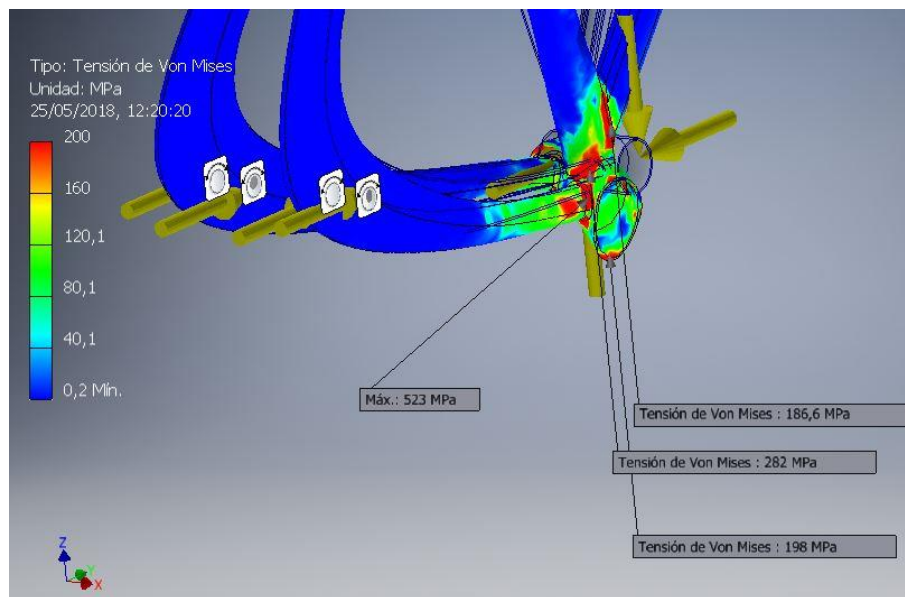


Figura 50. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para 1,5 mm

En cuanto al desplazamiento producido, su valor máximo se da en el extremo derecho del eje del pedaliar pero es inferior a 1 mm (0,655 mm) y, por ello, insignificante. En el resto del cuadro apenas se producen desplazamientos, exceptuando el tubo inferior, que se ve de color verde en la figura 51.

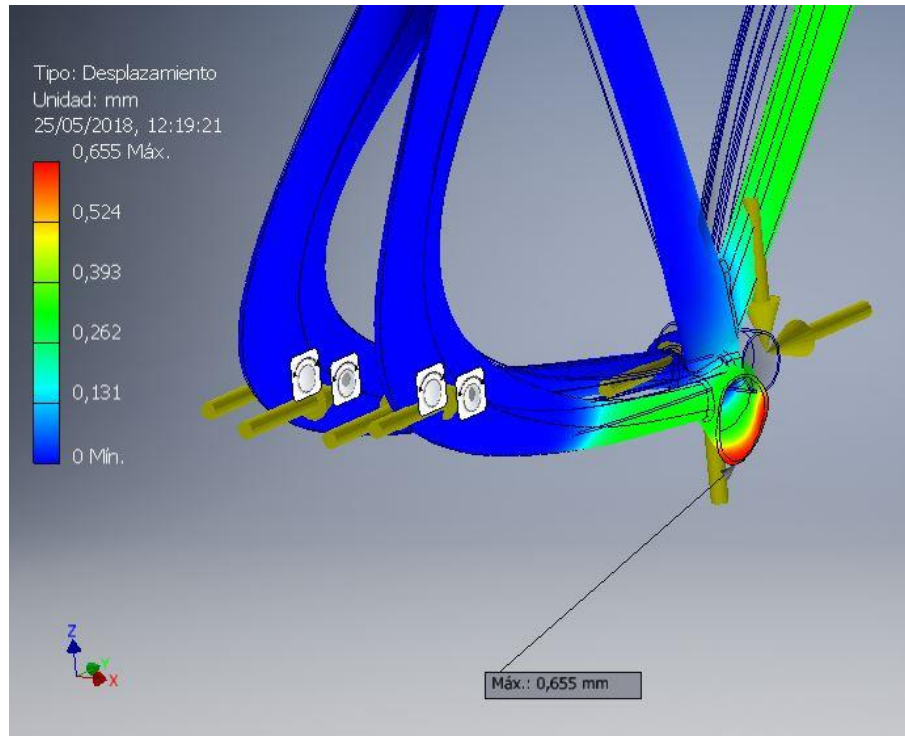


Figura 51. Desplazamiento máximo para 1,5 mm de espesor

En cuanto a la convergencia de la tensión de Von Mises, se obtiene un valor del 1,498 %, lo cual supone una tasa bastante buena que permite aceptar estos resultados.

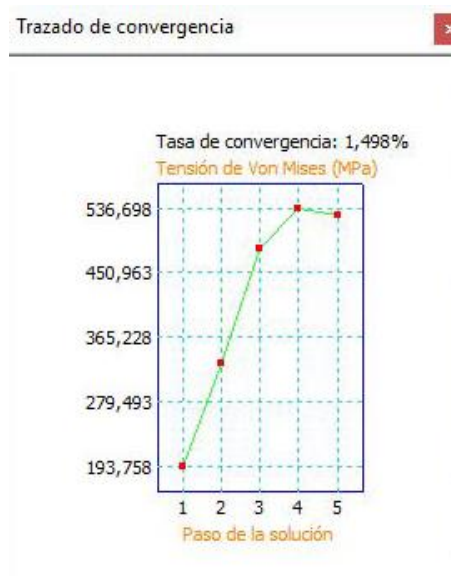


Figura 52. Tasa de convergencia para 1,5 mm de espesor

7.1.5. Resultados del análisis de espesor 1 mm

Debido a los buenos resultados obtenidos en el análisis anterior, se redujo el espesor del cuadro a 1 mm y se realizaron las mismas comprobaciones para obtener los nuevos valores.

La tensión de Von Mises máxima obtenida en este caso fue de **871,1 MPa**. Como se puede comprobar, sigue estando muy por debajo del límite elástico pero ha aumentado notablemente con respecto a la anterior, por lo que habrá que tener precaución a la hora de seguir reduciendo el espesor del cuadro.

Al mismo tiempo, vemos que esta tensión máxima se localiza en el mismo punto que en el primer caso.

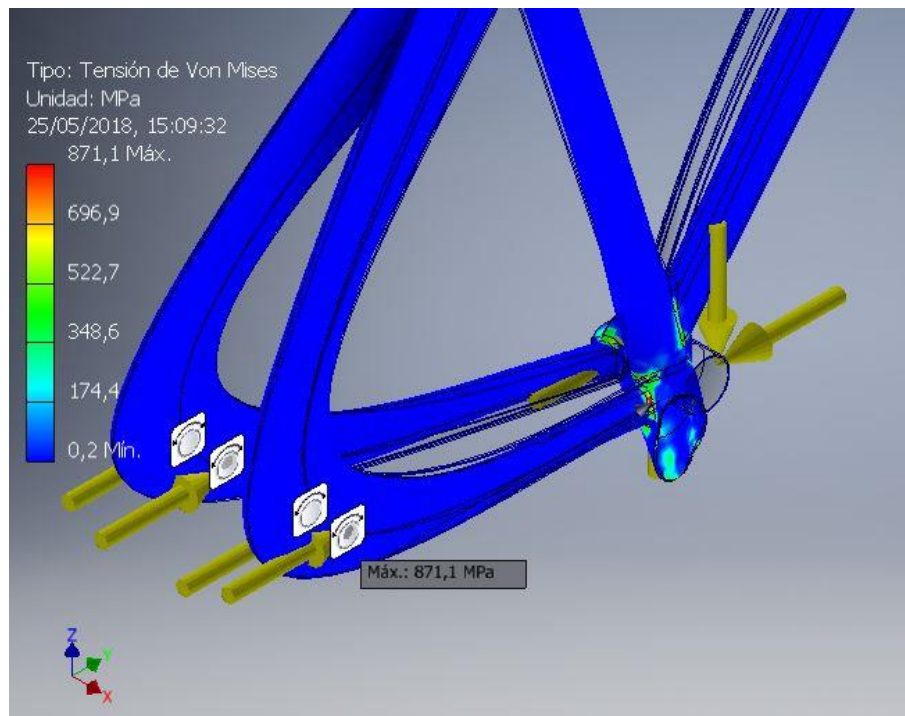


Figura 53. Tensión de Von Mises máxima para 1 mm de espesor

Regulando la escala para visualizar como tensión máxima 500 MPa, observamos otros puntos con tensiones elevadas en la figura 54.

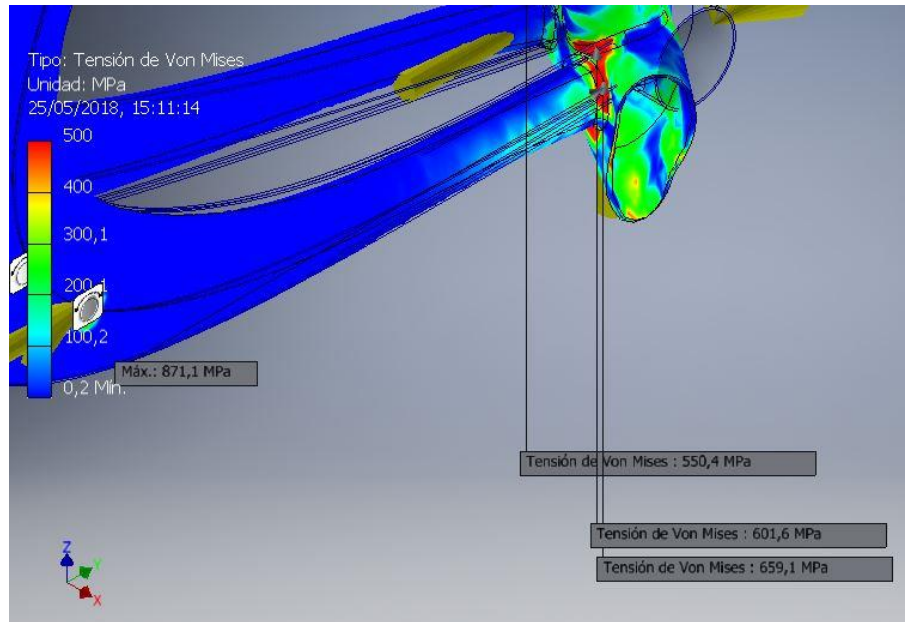


Figura 54. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para 1 mm

En este caso, el desplazamiento máximo se produce en la misma zona pero supera el milímetro, siendo de 1,273 mm, el cual sigue siendo un valor reducido.

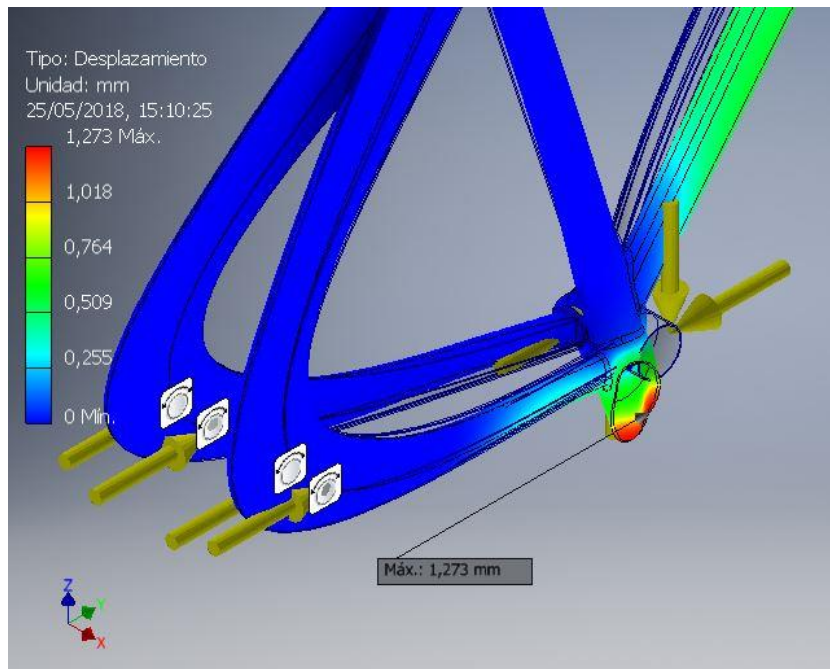


Figura 55. Desplazamiento máximo para 1 mm de espesor

La convergencia en este caso es muy buena, del 0,92 %, lo cual implica que los resultados son válidos.

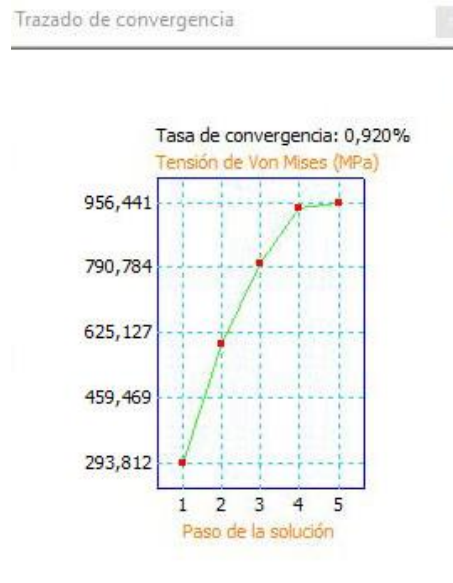


Figura 56. Tasa de convergencia para 1 mm de espesor

7.1.6. Resultados del análisis de espesor 0,8 mm

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se probó a reducir 0,2 mm más, para tener un espesor general de 0,8 mm.

Al llevar a cabo este análisis, Inventor muestra un mensaje de precaución pues se trata de un espesor muy pequeño y, por ello, los resultados pueden no ser del todo precisos.

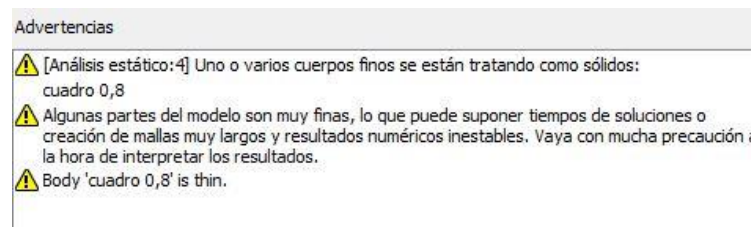


Figura 57. Mensaje de precaución de Inventor

Tras realizar el análisis, se obtuvo un valor máximo de la Tensión de Von Mises superior al permitido en la unión de la vaina al eje del pedalier (**1611 MPa** > 1210 MPa). Esto significa que este modelo no es válido pues hay un punto en el que la tensión sobrepasa el límite elástico del material.

No obstante, en el resto de tubos se puede comprobar que las tensiones no superan este límite (figura 59). Esto deja abierta la posibilidad de combinar distintos espesores, utilizando unos más elevados en el eje del pedalier y las vainas, que suponen la zona más conflictiva, y dejando el de 0,8 mm para el resto de los tubos.

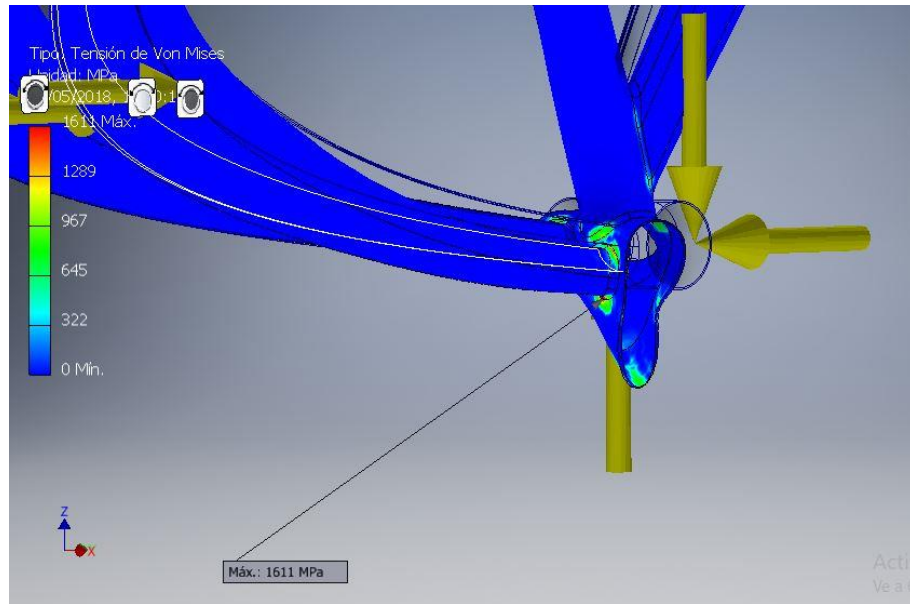


Figura 58. Tensión de Von Mises máxima para 0,8 mm de espesor

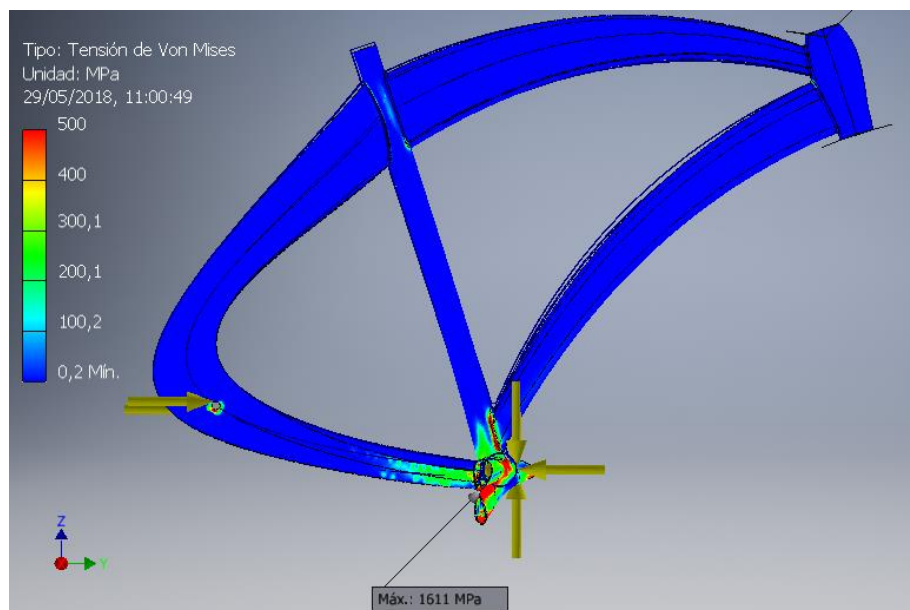


Figura 59. Visualización de las tensiones en el resto del cuadro de 0,8 mm

Ante estos resultados de la tensión de Von Mises, pasamos a descartar este modelo directamente. El siguiente paso será comprobar si con 0,9 mm funciona y, si es así, tratar de combinar ambos espesores para reducir el peso total al máximo.

7.1.7. Resultados del análisis de espesor 0,9 mm

En este nuevo análisis, se obtiene una tensión máxima de Von Mises inferior al límite elástico, de **1099 MPa**, por lo que se convierte en un espesor válido para el cuadro. Aunque este valor ya está próximo al límite, hay que recordar que se ha planteado una situación crítica con un coeficiente de seguridad de 2 y, por tanto, se han aplicado unas cargas mucho mayores que las que actuarían en la realidad.

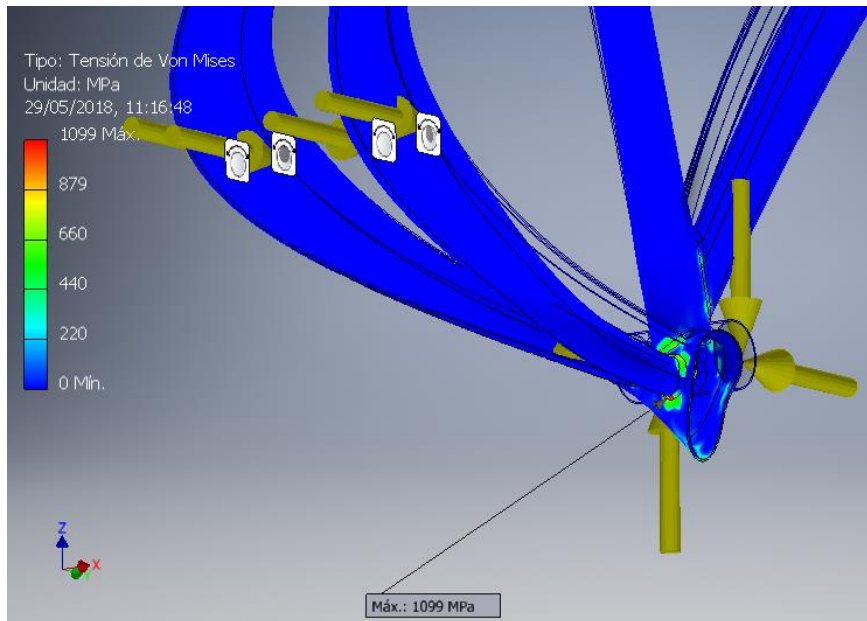


Figura 60. Tensión de Von Mises máxima para 0,9 mm de espesor

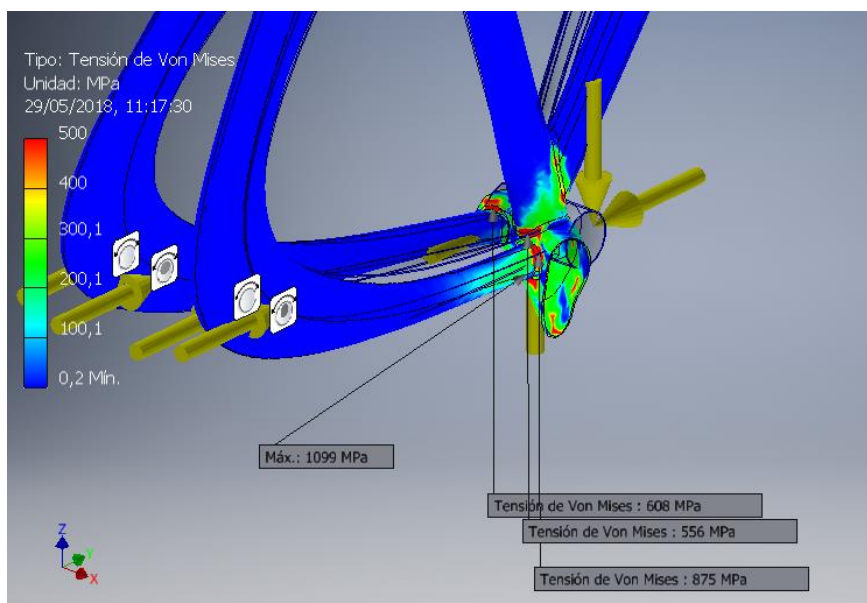


Figura 61. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para 0,9 mm

Regulando la escala con 200 MPa como máximo, observamos los puntos de acumulación de tensiones en el cuadro.

Se puede apreciar que, además de la zona del eje del pedalier, se concentran tensiones en el orificio de las vainas, debido a las fuerzas que se producen ahí y, en general, en las zonas en las que los tubos se unen entre sí a través de las soldaduras.

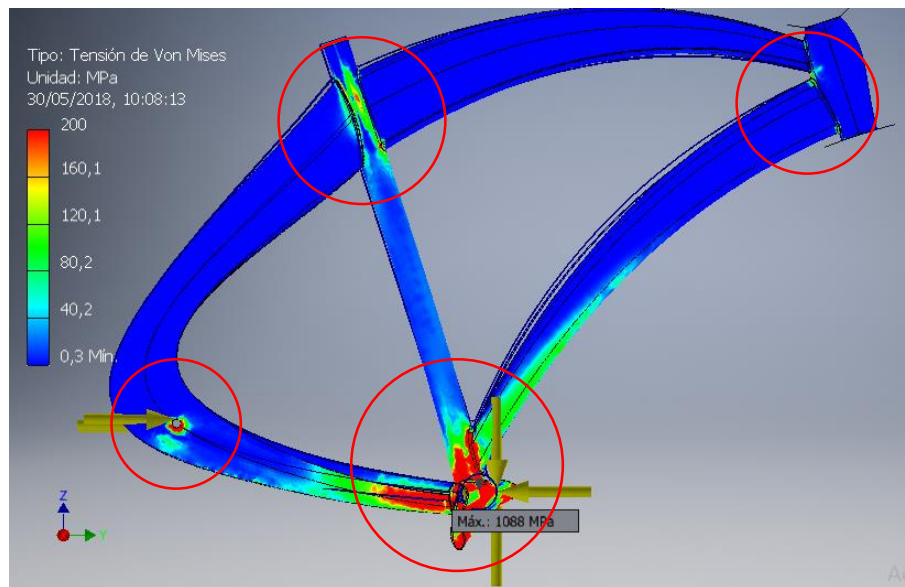


Figura 62. Zonas del cuadro con concentración de tensiones

En cuanto al desplazamiento máximo, tiene un valor de 1,575 mm que, aunque ha aumentado respecto a los anteriores, sigue siendo muy pequeño.

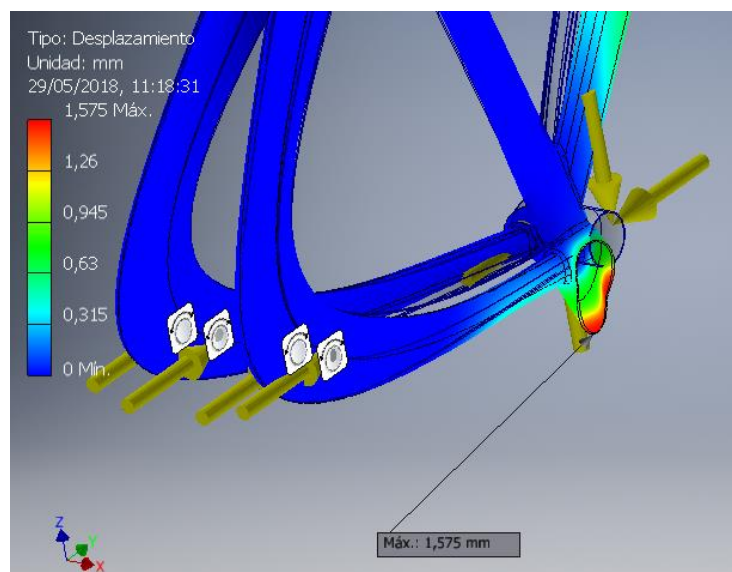


Figura 63. Desplazamiento máximo para 0,9 mm de espesor

En este caso, se obtiene una tasa de convergencia peor que en casos anteriores, cercana al 10%, probablemente porque se está trabajando con espesores muy reducidos y el programa tiene mayores dificultades para calcular los resultados. No obstante es un valor que nos permite aceptar los resultados.

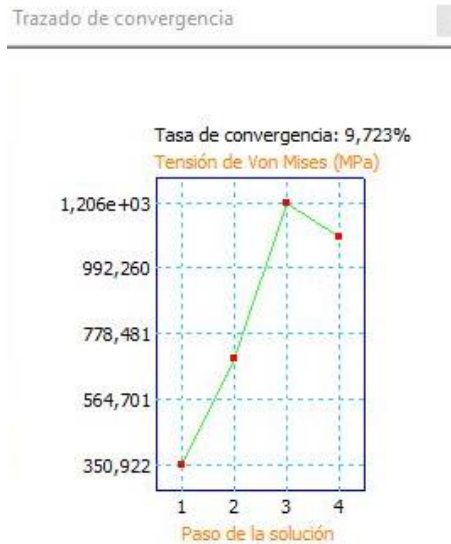


Figura 64. Tasa de convergencia para 0,9 mm

7.1.8. Resultados del análisis de espesores combinados

Teniendo en cuenta las conclusiones obtenidas en los dos últimos análisis, en este último se combinaron los espesores de 0,8 y 0,9 mm, utilizando el primero en el tubo de dirección, en los tubos inferior y superior y en el tubo del sillín y el segundo en el tubo del eje del pedalier y en las vainas, en cuya unión se obtienen siempre las tensiones más elevadas.

La tensión de Von Mises máxima obtenida en este caso fue de **1088 MPa** en la misma zona que en las ocasiones anteriores. Al ser inferior a los 1210 MPa que marcan el límite, se concluye que esta combinación de espesores es válida para ser empleada en el cuadro.

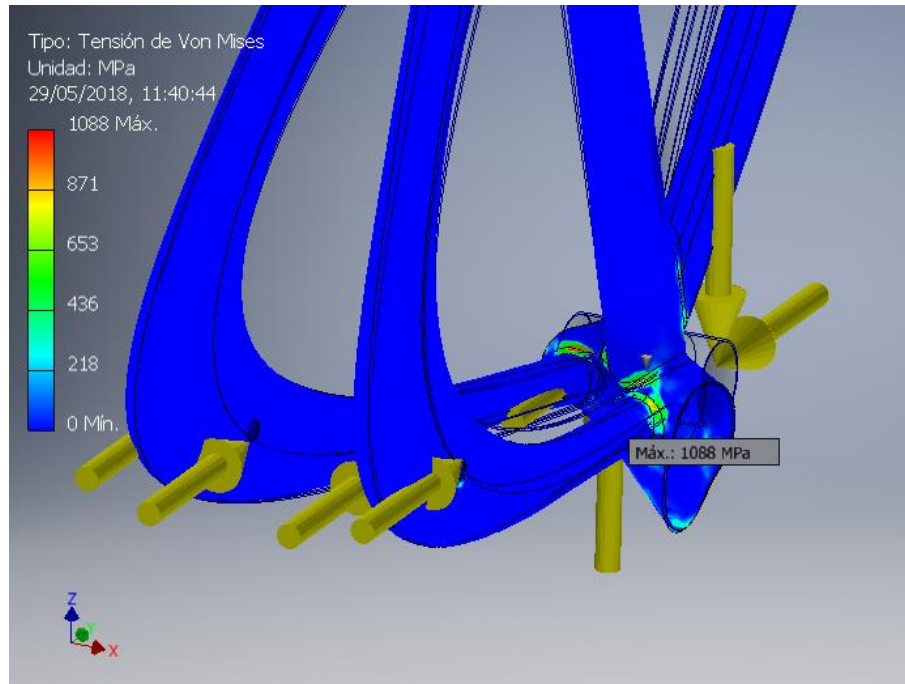


Figura 65. Tensión de Von Mises máxima para los espesores combinados

En la figura 66, tras ajustar la escala de colores, se puede observar otros puntos con tensiones de Von Mises elevadas.

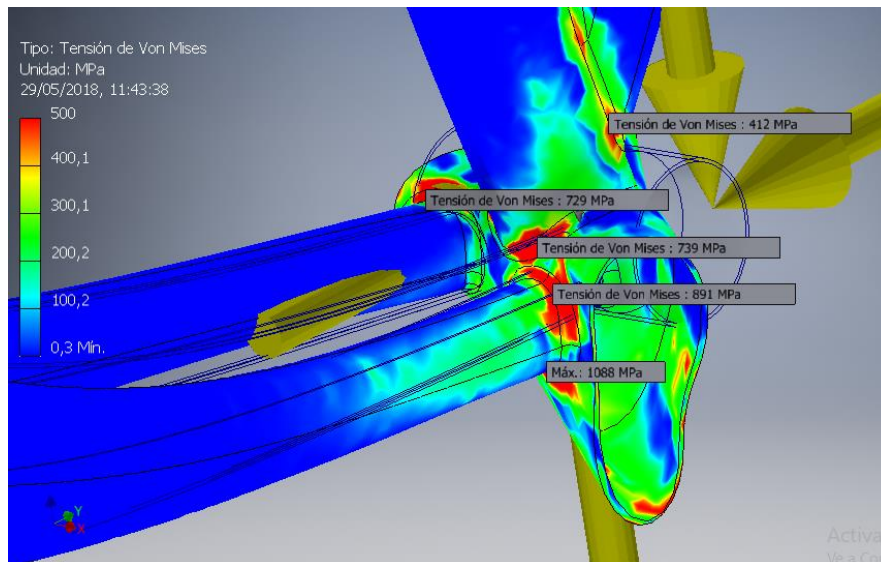


Figura 66. Otros valores de tensión de Von Mises elevados para los espesores combinados

El desplazamiento máximo presenta un valor de **1,597 mm**, el cual sigue siendo muy pequeño, y se presenta en la misma zona que en los análisis anteriores.

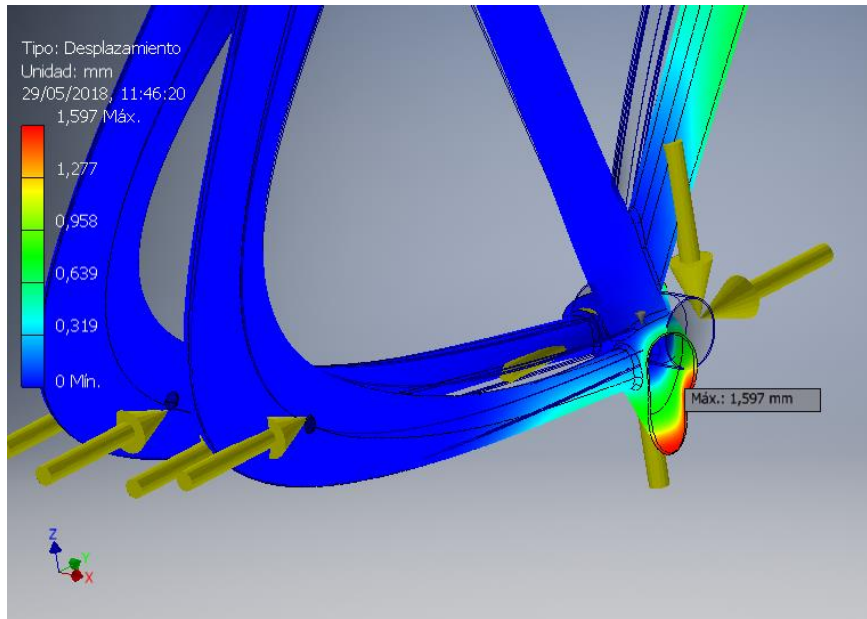


Figura 67. Desplazamiento máximo en el cuadro de espesores combinados

En el resto de tubos del cuadro apenas se produce desplazamiento exceptuando el tubo inferior, donde presenta valores inferiores a 1 mm.

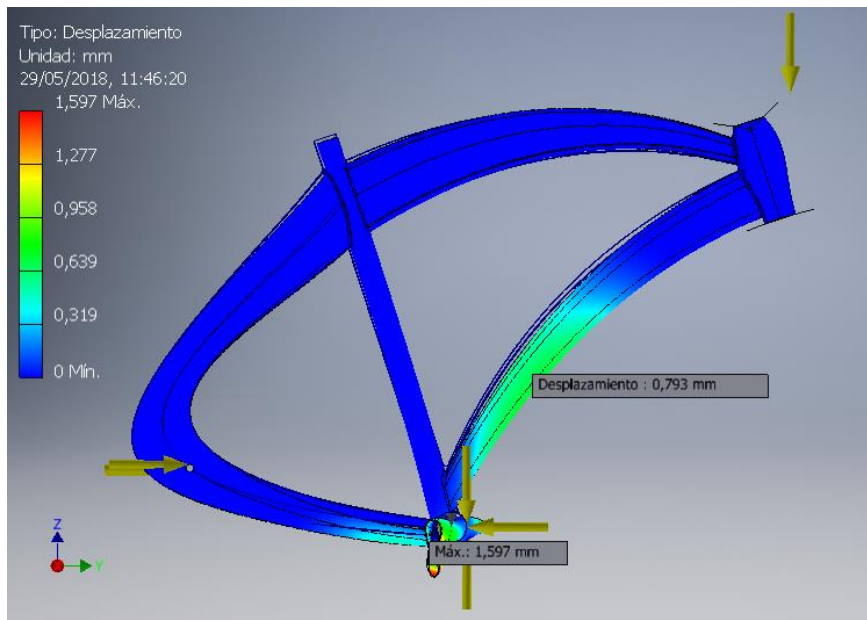


Figura 68. Otros desplazamientos en el cuadro con espesores combinados

La convergencia, en este caso, tiene un valor del 4,158%, lo que asegura la validez de los resultados obtenidos.

Trazado de convergencia ✕

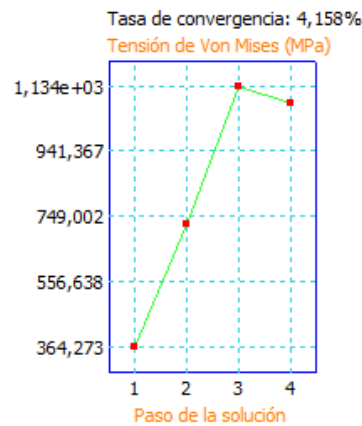


Figura 69. Tasa de convergencia para el cuadro de espesores combinados

7.2. Cálculo del peso

Una vez finalizado el cálculo de elementos finitos de los cuadros de distintos espesores, se calculó el peso de cada uno de ellos.

Para llevar a cabo esta tarea, se empleó Catia V5. Este software cuenta con una herramienta llamada *Measure Inertia* que realiza este cálculo. Con ella, introduciendo el valor de la densidad del material del que está hecho el modelo, que en este caso es de $7900 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$ (se ha tomado el valor mayor pero en realidad está entre 7800 y $7900 \text{ kg}\cdot\text{m}^3$), el programa calcula de manera automática su masa.

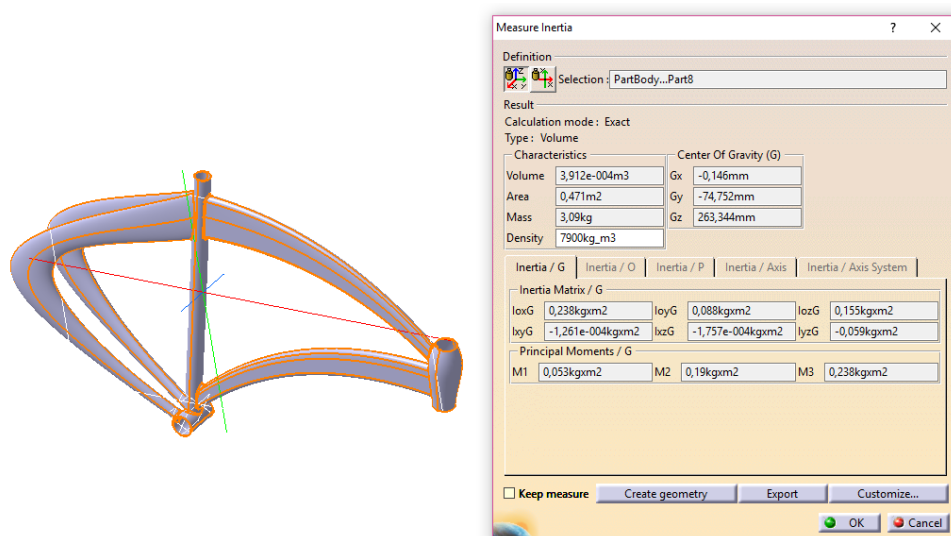


Figura 70. Cálculo de la masa del cuadro con Catia V5

De este modo, se obtuvieron los pesos de los diferentes modelos. Ya que Inventor también permite calcular la masa, se comprobaron también con este programa los valores obtenidos, siendo prácticamente idénticos en los dos casos.

En la tabla 3, se pueden observar los pesos de los cuadros en función de su espesor.

Espesor (mm)	Peso (Kg)
1,5	4,40
1	3,09
0,9	2,83
0,8	2,57
0,8/0,9	2,70

Tabla 3. Pesos de los cuadros

En la figura 71, se representa gráficamente cómo aumenta el peso del cuadro con el espesor del mismo. El punto con relleno es el correspondiente al cuadro con el espesor combinado de 0,8 y 0,9 mm, que es el modelo definitivo con los mejores resultados válidos que se ha obtenido.

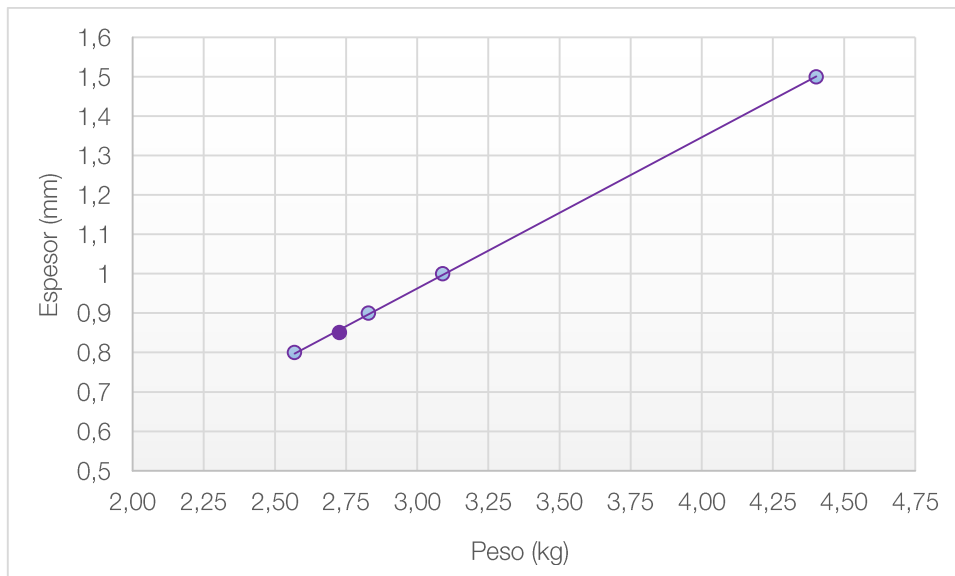


Figura 71. Gráfica espesor-peso

7.3. Análisis de los resultados obtenidos

En la tabla 4 se presenta un resumen de toda la información obtenida en el análisis de elementos finitos del cuadro diseñado, para expresar de una forma más directa y clara los resultados de este estudio y poder analizarlos con facilidad.

Modelo	Espesor (mm)	Tensión de Von Mises máxima (MPa)	Desplazamiento máximo (mm)	Peso (Kg)
1	1,5	523	0,655	4,40
2	1	871,1	1,273	3,09
3	0,8	1611	-	2,83
4	0,9	1099	1,575	2,57
5	Combinado	1088	1,597	2,70

Tabla 4. Resumen de los resultados

Al observar estos resultados, se comprueba que el modelo que supera el ensayo con éxito y, al mismo tiempo, tiene el menor peso es el número 5, en el que se han combinado tubos con 0,8 y 0,9 mm de espesor. Con ello, su peso es de 2,70 kg, lo cual supone un buen valor, pues es bastante ligero para estar hecho de acero.

La tensión de Von Mises es de 1088 MPa y el límite elástico es 1210 MPa. Ya que el valor no alcanza este límite y, además, el estudio se ha llevado a cabo planteando la situación más crítica posible, es suficiente margen como para aceptar estos resultados.

Se puede ver la progresión en los valores obtenidos pues, en los primeros cuadros de mayor espesor, las tensiones y los desplazamientos son mucho menores. Sin embargo, estos espesores dan lugar a pesos demasiado elevados. Con el acero es complicado conseguir pesos similares a los que se obtienen con el aluminio o la fibra de carbono, pero se puede intentar minimizarlos al máximo. Por ello, el modelo 5 consigue, dentro de lo posible, aunar la resistencia mecánica necesaria con un peso total relativamente bajo.

Con este modelo el desplazamiento máximo que se produce en el uso es de 1,597 mm el cual es un valor muy bajo, casi despreciable, que refleja la elevada resistencia que presenta el cuadro.

8. DISEÑO FINAL

Con la información extraída del análisis de elementos finitos, se ha llegado a la conclusión de que el cuadro deberá tener un espesor de 0,9 mm en el tubo del eje del pedalier y en las vainas, quedando el resto de tubos con 0,8 mm.

Como cabría esperar, las zonas más críticas son las de las soldaduras y en ellas se encuentran las tensiones más altas. Sin embargo, la geometría general del cuadro no parece presentar ningún problema que requiera un rediseño, pues funciona correctamente con los espesores adecuados.

El dimensionado general del cuadro se puede ver en el plano de los Anexos. En las siguientes imágenes se trata de representar cómo quedaría integrado en una bicicleta.



Figura 72. Renders del cuadro en la bicicleta

9. CONCLUSIONES

En el desarrollo de este Trabajo de Fin de Grado se ha llevado a cabo el diseño de un cuadro de bicicleta con unas formas mucho más dinámicas e innovadoras de las habituales en los modelos hechos con acero y que consigue resistir a las fuerzas generadas en el uso de la bicicleta.

Estas formas se pueden obtener gracias a la aplicación del hidroconformado en la fabricación del cuadro. Las bicicletas de acero, por lo general, están constituidas por tubos de sección circular y constante soldados entre sí, debido a las dificultades para procesar el acero. Con el hidroconformado, de una manera relativamente sencilla, se consigue moldear estos tubos para que adquieran diversas formas más suaves y complejas. Esta técnica también aporta rigidez al material y permite reducir el número de soldaduras, lo cual da lugar a un resultado final más resistente.

El acero microaleado ha resultado una opción adecuada en esta aplicación, pues su elevado límite elástico ha permitido minimizar el espesor de la bicicleta para conseguir un peso aceptable. Con un acero común éste no se habría podido reducir tanto, pues no hubiera resistido las tensiones máximas que se producen.

El análisis de elementos finitos del cuadro ha supuesto la mayor dificultad de este trabajo. Al tratarse de un ensamblaje de varias piezas unido con soldaduras, el software Inventor presentaba dificultades a la hora de realizar los cálculos, especialmente en las zonas de unión.

Fue necesario elaborar un modelo 3D específico para realizar el análisis en el cual se construyeron las soldaduras con Catia para conseguir unos resultados más exactos y fiables, tras comprobar que con las soldaduras automáticas que genera el propio programa no se obtenían unos valores adecuados.

También fue necesario realizar un refinado exhaustivo de los mallados en los distintos análisis. Aunque se optó por un mallado general de 0,100, en las zonas de las soldaduras, que eran las más conflictivas, fue necesario realizar remallados locales específicos para obtener unos resultados más precisos. Se fue probando con distintos tamaños hasta conseguir la malla que mejor se adaptaba al modelo.

Al tratarse de un conjunto complejo y compuesto por varias piezas, los análisis tardaban tiempos elevados en efectuarse, probablemente debido al pequeño tamaño de la malla. Además, el hecho de que los espesores con los que se trabajó fueran tan reducidos implicaba una mayor dificultad en los cálculos e, incluso, imprecisión en los resultados, como el caso del modelo de 0,8 mm.

En general, los distintos estudios coinciden en que la zona más crítica del marco se encuentra en el eje del pedalier y, concretamente, en la zona de unión de éste con la vaina derecha. Los orificios de las vainas también son un foco de concentración de tensiones debido a las fuerzas que recaen en esta zona. Por lo demás, es en las uniones entre los tubos, es decir, en las soldaduras donde se concentran los niveles

más altos de tensión. Este resultado era esperable, pues en estas zonas se pierde la continuidad en el conjunto.

En el resto del cuadro, a lo largo de la longitud de los tubos inferior y superior, el tubo de dirección y el del sillín y de las vainas, apenas se producen tensiones. La fuerza ejercida en el manillar por las manos del ciclista no genera un efecto notable sobre el cuadro.

Dado que se ha trabajado siempre desarrollando las situaciones más críticas, hay que suponer que si el cuadro ha superado este análisis podría ser perfectamente utilizado en una situación real.

De este modo, el acero microaleado se plantea como una opción interesante y eficaz en la fabricación de cuadros de bicicleta. Aunque el aluminio o la fibra de carbono están en auge para esta aplicación, presentan desventajas, como precios elevados, menor durabilidad, dificultad en las reparaciones, etc. que el acero, en cambio, no tiene. Por ello, parece una buena idea retomar su uso en los cuadros de bicicleta que, en su momento, fue muy popular, empleando las variedades del mismo que tengan unas mejores propiedades y prestaciones, como los aceros microaleados.

El hidroconformado, por su parte, es una opción muy prometedora para el modelado de cuadros de bicicleta, pues permite obtener formas similares a las que se obtienen con otros materiales y conseguir piezas con grandes características mecánicas.

10. BIBLIOGRAFÍA

1. CALLISTER, William D. *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. Editorial Reverte, 1995.
2. TORRECILLA INSAGURBE, Eduardo. *El gran libro de Catia*. Marcombo, 2010.
3. AENOR. *Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla*. UNE-EN ISO 4210-6. Madrid: AENOR, 2015.

Artículos:

4. MOHRBACHER, Hardy; SPÖTTL, Marius; PAEGLE, Jesse. "Innovative manufacturing technology enabling light weighting with steel in commercial vehicles". *Advances in Manufacturing*. Enero 2015.
5. SEYFRIED, Peter; JUAREZ MENDEZ TAISS, Ed; COSTA CALIJORNE, Alexandre; LI, Fei-Peng; SONG, Qi-Feng. "Light weighting opportunities and material choice for commercial vehicle frame structures from a design point of view". *Advances in Manufacturing*. Enero 2015.
6. BIAN, Jian; MOHRBACHER, Hardy; ZHANG, Jian-Su; ZHAO, Yun-Tang; LU, Hong-Zhou; DONG, Han. "Application potential of high performance steels for weight reduction and efficiency increase in commercial vehicles". *Advances in Manufacturing*. Enero 2015.

Páginas web:

7. Autoform (2018). Hidroconformado. Recuperado el 10 de marzo de 2018 de: <https://www.autoform.com/es/glosario/hidroconformado/>
8. Zermattbike (2018). Tipos de bicicleta de montaña o mtb. Recuperado el 10 de marzo de 2018 de: <https://zermattbike.es/tipos-de-bicicleta-de-montana-o-mtb/>
9. Biket3ch (2014). Cómo se fabrica un cuadro de bicicleta. Recuperado el 28 de marzo de 2018 de: <http://www.biket3ch.com/2014/05/como-se-fabrica-un-cuadro-de-bicicleta.html>

10. Interlaken (2018). Advanced forming. Hydroform. Recuperado el 28 de marzo de 2018 de:
<http://interlaken.com/advanced-forming>
11. Deddaciai (2008). HF Hydro Forming. Recuperado el 28 de marzo de 2018 de:
<https://www.youtube.com/watch?v=fV3Pg-JyLrk>
12. Aimme (2009). Aproximación al hidroconformado (Hydroforming). Recuperado el 28 de marzo de 2018 de:
http://www.aimme.es/archivosbd/observatorio_opportunidades/Aproximacion_al_Hidroconformado.pdf
13. H & H Tube (2015). Custom Hydroforming Services. Recuperado el 28 de marzo de 2018 de:
<http://www.h-htube.com/custom-hydroforming.html>
14. Hy-Tech Forming Systems USA (2018). Hydro Form Embossing. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<http://www.hytechusa.com/manufacturing-services/forming-and-embossing-services/hydro-form-embossing-services>
15. Gestamp (2018). Hidroformado. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<http://www.gestamp.com/que-hacemos/tecnologias/estampacion/hidroformado>
16. El blog de Tuvalum (2017). La guía definitiva de cuadros de bicicleta; ¿qué material es mejor?. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<https://tuvalum.com/blog/guia-materiales-cuadros-bicicleta/>
17. Bicycle Times (2012). Review: Breezer Venturi. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<http://bicycletimesmag.com/review-breezer-venturi/>
18. Dartmoor Bikes (2016). Hydroformed chainstay. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<https://www.youtube.com/watch?v=YGedgMMQ1Qs>
19. American Hydroformers (2013). Hydroformed Bicycle Frames. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<http://www.americanhydroformers.com/hydroformed-bicycle-frames/>
20. Bike Exchange (2017). Bike Frame Materials Explained. Recuperado el 29 de marzo de 2018 de:
<https://www.bikeexchange.com/blog/bike-frame-materials-explained>

21. Syncrobike (2015). Ergonomía de la bicicleta de montaña. Recuperado el 5 de abril de 2018 de:
http://www.curriqui.es/archivos_pdf/Ergonomia_de_la_bicicleta_de_montana.pdf
22. Mtbpro Magazine (2016). Geometría de la bici de MTB: medidas, ángulos y lo que significan. Recuperado el 5 de abril de 2018 de:
<https://www.mtbpro.es/afondo/geometria-de-la-bici-de-mtb-medidas-angulos-y-lo-que-significan>
23. Atomika (2016). Guía de tallas de bicicletas. Recuperado el 5 de abril de 2018 de:
<https://www.atomika.mx/blog/guias-de-compra/guia-de-tallas-de-bicicletas/>
24. Ingemecánica (2018). Técnica y Fundamentos de la Soldadura TIG. Recuperado el 13 de mayo de 2018 de:
<http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn52.html>
25. Weldermex (2013). Soldadura GTAW o TIG primer análisis. Recuperado el 13 de mayo de 2018 de:
<http://weldermex.blogspot.com.es/2013/06/soldadura-gtaw-o-tig-primer-analisis.html>
26. Machine Design (2002). HSLA Steel. Recuperado el 20 de mayo de 2018 de:
<https://web.archive.org/web/20080613164700/http://machinedesign.com/BasicsOfDesignEngineeringItem/717/65970/HSLASteel.aspx>
27. ASM International (2001). High-Strength Low-Alloy Steels. Recuperado el 20 de mayo de 2018 de:
https://www.asminternational.org/documents/10192/3466171/06117_Chapter%203B.pdf/a764507a-3499-4d23-b348-5536d31c0ba2

Material académico:

28. Martín Pedrosa, Fernando. Materiales. 2015-2016.
29. Magdaleno Martín, Jesús; Requejo, Estrella. Resistencia de materiales. 2016-2017.
30. Magdaleno Martín, Jesús. Diseño mecánico. 2017-2018.

ANEXO. DIMENSIONES GENERALES

