Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén

DISEÑO PARAMÉTRICO DE BICICLETAS BASADO EN LA ANTROPOMETRÍA. OPTIMIZACIÓN Y PERSONALIZACIÓN EN MÚLTIPLES CASOS DE ESTUDIO

Autor: Jaime Pérez Sánchez

Grado: Ingeniería Mecánica

Director: Prof. D. Miguel Ángel Rubio Paramio

Prof. D. Jorge M. Mercado Colmenero

Fecha: Junio, 2024

Licencia CC

Universidad de Jaén

Escuela Politécnica Superior de Jaén
Departamento de Ingeniería Gráfica, Diseño y Proyectos

Don Miguel Ángel Rubio Paramio y Don Jorge M. Mercado Colmenero , tutores del Proyecto Fin de Carrera titulado: DISEÑO PARAMÉTRICO DE BICICLETAS BASADO EN LA ANTROPOMETRÍA. OPTIMIZACIÓN Y PERSONALIZACIÓN EN MÚLTIPLES CASOS DE ESTUDIO, que presenta Jaime Pérez Sánchez, autoriza su presentación para defensa y evaluación en la Escuela Politécnica Superior de Jaén.

Jaén, Junio de 2024

El alumno:

PEREZ SANCHEZ JAIME - 77380622C

Firmado digitalmente por PEREZ SANCHEZ JAIME - 77380622C
Fecha: 2024.06.27 12:40:30 +02'00'

Jaime Pérez Sánchez

Los tutores:

RUBIO PARAMIO MIGUEL ANGEL - 51670276V

Firmado digitalmente por RUBIO PARAMIO MIGUEL ANGEL - 51670276V
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=IDCES-51670276V, givenName=MIGUEL ANGEL, sn=RUBIO PARAMIO, cn=RUBIO PARAMIO MIGUEL ANGEL - 51670276V
Fecha: 2024.06.27 13:24:14 +02'00'

Miguel Ángel Rubio Paramio

MERCADO COLMENERO JORGE MANUEL - 77368988R

Firmado digitalmente por MERCADO COLMENERO JORGE MANUEL - 77368988R
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=IDCES-77368988R, givenName=JORGE MANUEL, sn=MERCADO COLMENERO, cn=MERCADO COLMENERO JORGE MANUEL - 77368988R
Fecha: 2024.06.27 12:55:26 +02'00'

Jorge M. Mercado Colmenero

Índice

1. Resumen 9
2. Abstract 10
3. Introducción 11
3.1. Objetivos 12
4. Justificación del estudio 13
5. Fundamentos Teóricos 14
5.1. Diseño paramétrico en Ingeniería Gráfica 14
5.2. Antropometría y conceptos relacionados 15
5.3. Geometría de la bicicleta 17
5.3.1. Componentes principales 17
5.3.2. Factores que influyen en el diseño 21
5.3.3. Materiales de fabricación 24
6. Metodología para el diseño paramétrico de bicicletas 26
6.1. Desarrollo del modelo base 27
6.2. Parametrización de las dimensiones 46
6.3. Optimización del diseño 51
6.3.1. Generalidades 51
6.3.2. Método de ensayo 52
6.3.3. Aplicación del ensayo 52
7. Modelado paramétrico para diferentes casos de estudio 63
7.1. Definición de los casos de estudio 63
7.1.1. Parámetros de entrada 63
7.2. Caso de estudio A 67
7.2.1. Parámetros de entrada 67
7.2.2. Optimización del diseño 67
7.2.3. Resultados 68
7.3. Caso de estudio B 70
7.3.1. Parámetros de entrada 70
7.3.2. Optimización del diseño 71
7.3.3. Resultados 72
7.4. Caso de estudio C 74
7.4.1. Parámetros de entrada 74
7.4.2. Optimización del diseño 74
7.4.3. Resultados 75
8. Conclusiones 77

9. Bibliografía 78
10. Anexos 80
10.1. Anexo I. Parámetros definidos en la parametrización del modelo base 80
10.2. Anexo II. Relaciones de las variables dimensionales del modelo base a partir de los parámetros definidos 81
10.3. Anexo III. Valores dimensionales de los parámetros para los diferentes casos de estudio 85
10.3.1. Caso de estudio A 85
10.3.2. Caso de estudio B 86
10.3.3. Caso de estudio C 87
10.3.4. Resultado de valores dimensionales para todos los casos 88
10.4. Anexo IV. Deformaciones totales y tensión equivalentes obtenidas en las simulaciones 89

Lista de Figuras

Figura 1. Ejemplo de algunas de las medidas antropométricas más empleadas. 17
Figura 2. Componentes comunes del cuadro de una bicicleta.....18
Figura 3. Conjunto manillar y potencia de una bicicleta.....18
Figura 4. Sistema de transmisión de una bicicleta.....19
Figura 5. Ruedas y cubiertas de una bicicleta 19
Figura 6. Frenos de una bicicleta 19
Figura 7. Suspensión de una bicicleta.....20
Figura 8. Conjunto tija y sillín de una bicicleta.....20
Figura 9. Partes de una bicicleta 20
Figura 10. Altura sillín.....22
Figura 11. Tamaño del cuadro.....22
Figura 12. Distancia sillín-manillar.....22
Figura 13. Distancia de altura sillín-manillar 23
Figura 14. Retroceso del sillín 23
Figura 15. Distancia sillín-pedal.....23
Figura 16. Longitud de las bielas.....24
Figura 17. Ejemplo de bicicleta fixie 28
Figura 18. Geometría completa de una bicicleta para diferentes tallas.....29
Figura 19. Modelado del eje de biela y el tubo de asiento 30
Figura 20. Modelado del tubo de dirección.....30
Figura 21. Modelado del tubo inferior del cuadro utilizando la función específica “Merge rib’s ends” 31
Figura 22. Modelado del tubo superior del cuadro utilizando la función específica “Merge rib’s ends”.....31
Figura 23. Definición de la distancia entre el centro de la vaina trasera y el eje Y. 32
Figura 24. Definición del punto de contacto con el eje de rueda trasero para el modelado de las vainas traseras inferiores. 32
Figura 25. Punta trasera de unión con el eje de la rueda trasera.....33
Figura 26. Sketch 23. Esquema de diseño de las vainas traseras.....34
Figura 27. Modelado final de las puntas traseras con sus respectivas uniones a las vainas traseras.....34
Figura 28. Modelado final del modelo base de la componente cuadro 35
Figura 29. Medida del cuadro base entre la parte superior del tubo de dirección y el punto de contacto con el eje de rueda delantero.....36
Figura 30. Esquema del diseño de la horquilla.....36
Figura 31. Esquema del diseño de las puntas delanteras.....37
Figura 32. Resultado de la unión de las puntas traseras con la parte central de la horquilla 37
Figura 33. Modelado final del diseño base de la componente horquilla.....38
Figura 34. Esquema de las dimensiones del manillar.....38
Figura 35. Modelado de la unión entre la parte de la potencia y de contacto del manillar.....39
Figura 36. Ejecución de la operación "Removed Multi-Sections Solid Definition" 39
Figura 37. Modelado final del diseño base de la componente manillar.....40
Figura 38. Esquema de las dimensiones delimitación del sillín.....40
Figura 39. Perfil del sillín junto con el diseño esquematizado.....41
Figura 40. Selección del módulo “Generative Shape Design” en CATIA 41
Figura 41. Definición de puntos de intersección entre ambas curvas del sillín.....42

Figura 42. Definición de la superficie del sillín para cada uno de los planos....42
Figura 43. Resultado de la aplicación de la herramienta de definición de superficies a partir de las referencias definidas....43
Figura 44. Generación de la superficie a partir de la sección generada....43
Figura 45. Resultado de la superficie superior e inferior del sillín....44
Figura 46. Esquema de definición de la tija del asiento....44
Figura 47. Resultado final de esta componente referente al conjunto sillín y tija....45
Figura 48. Resultado final de la potencia del modelo base....45
Figura 49. Diferentes perspectivas del archivo final del modelo base ensamblado....46
Figura 50. Parámetros dimensionales de la junta trasera....48
Figura 51. Captura del archivo CATPart en el que se puede observar algunos de los parámetros ya definidos....48
Figura 52. Ejemplo de la asignación de las relaciones a partir de los parámetros definidos....49
Figura 53. Tabla de diseño de los parámetros del cuadro....49
Figura 54. Definición del parámetro de altura del sillín....50
Figura 55. Ejemplo de la asignación de las relaciones a partir de los parámetros definidos de diferentes componentes....50
Figura 56. Condiciones de contorno e hipótesis de cargas aplicadas....52
Figura 57. Módulo "Static Structural" de ANSYS Workbench....53
Figura 58. Engineering Data Sources para el aluminio....54
Figura 59. Geometría importada en el proyecto de simulación....54
Figura 60. Geometría del cuadro del modelo base importada en la operacion "Model"....54
Figura 61. Estructura del modelado de la simulación....55
Figura 62. Mallado predeterminado del cuadro....55
Figura 63. Herramienta "sizing" definiendo un tamaño de mallado determinado....56
Figura 64. Mallado actualizado al tamaño determinado....56
Figura 65. Mallado con “Hex Dominant Method”....57
Figura 66. Definición de los apoyos fijos en el cuadro....57
Figura 67. Coordenadas del punto de contacto en las puntas delanteras del modelo base....58
Figura 68. Aplicación de la fuerza remota de la punta delantera....58
Figura 69. Árbol de operaciones verificado Ansys Workbench....59
Figura 70. Deformaciones totales de la simulación del modelo base....59
Figura 71. Tensiones equivalentes de Von Mises del modelo base....60
Figura 72. Localización potencial de posibles fallos estructurales....61
Figura 73. Aplicación del refinamiento de la malla en los cordones de soldadura....61
Figura 74. Resultados de las simulaciones del modelo base con refinamiento de la malla....62
Figura 75. Distancia horizontal entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto del manillar....65
Figura 76. Distancia vertical entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto del manillar....66
Figura 77. Obtención de las coordenadas del punto de aplicación de la carga del caso A....68
Figura 78. Valores de las simulaciones del resultado del caso A....69
Figura 79. Resultado producto final caso de estudio A....70
Figura 80. Valores de las simulaciones del resultado del caso B....72
Figura 81. Resultado producto final caso de estudio B....73
Figura 82. Valores de las simulaciones del resultado del caso C....76
Figura 83. Resultado producto final caso de estudio C....76
Figura 84. Parámetros aplicados en las simulaciones del caso B....86

Figura 85. Parámetros aplicados en las simulaciones del caso C 87
Figura 86. Valores de las simulaciones para B4=2mm del caso A.....89
Figura 87. Valores de las simulaciones para B4=4mm del caso B.....89
Figura 88. Valores de las simulaciones para B4=6mm del caso B.....90
Figura 89. Valores de las simulaciones para B4=10mm del caso B.....90
Figura 90. Valores de las simulaciones para B4=4mm y I1=6mm del caso B 91
Figura 91. Valores de las simulaciones para B4=4mm del caso C 91
Figura 92. Valores de las simulaciones para B4=8mm del caso B.....92

Lista de Tablas

Tabla 1. Parámetros definidos en la parametrización del cuadro....47
Tabla 2. Parámetros de entrada de los casos de estudio 64
Tabla 3. Parámetros de entrada del caso A....67
Tabla 4. Propiedades del material del caso A....67
Tabla 5. Coordenadas de aplicación de la carga del caso A 68
Tabla 6. Resultados obtenidos en las simulaciones del caso A....68
Tabla 7. Parámetros de entrada del caso B....70
Tabla 8. Propiedades del material del caso B....71
Tabla 9. Coordenadas de aplicación de la carga del caso B 71
Tabla 10. Resultados obtenidos en las simulaciones del caso B....72
Tabla 11. Parámetros de entrada del caso C 74
Tabla 12. Propiedades del material del caso C 74
Tabla 13. Coordenadas de aplicación de la carga del caso C 75
Tabla 14. Resultados obtenidos en las simulaciones del caso C....75
Tabla 15. Parámetros definidos en la parametrización del modelo base 80
Tabla 16. Relaciones de las variables dimensionales del modelo base a partir de los parámetros definidos....84
Tabla 17. Parámetros aplicados en las simulaciones del caso A....85
Tabla 18. Resultado de los valores dimensionales de los parámetros para los diferentes casos de estudio 88

1. Resumen

El objetivo principal de este trabajo es la implementación de la metodología del diseño paramétrico aplicado al diseño de bicicletas para diferentes casos de estudio con parámetros de entrada establecidos.

Para ello, se ha procedido al estudio de la herramienta de la parametrización en el software de diseño CATIA, que ofrece una gran efectividad en la fase de diseño de cualquier producto, permitiendo una gran flexibilidad ante diferentes casuísticas de variables dimensionales.

Esta parametrización se ejecutará en base a la personalización a partir de las medidas antropométricas, obteniendo diferentes diseños de bicicletas adaptados a las dimensiones corporales de cada usuario. Posteriormente, se realizarán simulaciones en el software ANSYS Workbench, que nos permitirán optimizar el diseño obtenido de manera efectiva.

Los resultados y conclusiones de este trabajo muestran la importancia de la utilización de una metodología de diseño flexible, junto con la eficacia de simulaciones para validar y optimizar el proceso de diseño, los cuales se pueden aplicar en el proceso de fabricación real de cualquier producto.

2. Abstract

The main objective of this project is the implementation of the parametric design methodology applied to bicycle design, approached to different case studies with established input parameters.

For this purpose, the parameterisation tool has been applied in the CATIA design software, which offers great efficiency in the design phase of any product, allowing great flexibility in the face of a great variability of casuistry of dimensional variables.

This parameterisation will be carried out based on personalisation from anthropometric measurements, obtaining different bicycle designs tailored to the measurements of each user. Later, simulations will be carried out in the ANSYS Workbench software, which will allow us to optimise the design obtained effectively.

The results and conclusions of this work demonstrate the importance of a flexible design methodology and the effectiveness of simulations to validate and optimise the design process, which can be applied in the real manufacturing process of any product.

3. Introducción

El diseño paramétrico es una poderosa metodología en el proceso de diseño de productos, ya que permite la adaptabilidad y optimización precisa de productos complejos. Este trabajo utilizará esta herramienta aplicando sus ventajas para una aplicación práctica, el diseño de bicicletas, teniendo en cuenta como uno de los parámetros principales la implementación de la antropometría en el proceso de personalización y optimización de este producto.

Las bicicletas, como medio de transporte sostenible y saludable, han experimentado una evolución constante en las últimas décadas. Sin embargo, la personalización completa a partir de las dimensiones físicas se suele pasar por alto en el diseño convencional, buscando modelos estandarizados en diferentes tallas, no ajustándose completamente a las necesidades del usuario para un diseño más eficiente.

Este trabajo aborda esta necesidad al emplear el diseño paramétrico como herramienta permitiendo la creación de bicicletas que se adapten de manera precisa a las características antropométricas, estableciendo la posibilidad de diseñar estos vehículos a medida del usuario, consiguiendo de esta manera una personalización total hacia el usuario.

La antropometría es la ciencia que analiza las dimensiones y proporciones del cuerpo humano, la cual se integra como un elemento clave en la optimización del diseño. Para ilustrar la viabilidad y efectividad de la propuesta, se presentarán múltiples casos de estudio que abarcan diversas tipologías de usuarios.

Se aplicará la suposición de que este procedimiento lo realiza una empresa que se dedica a realizar diseños de bicicletas personalizadas para las demandas específicas de cada cliente.

3.1. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es la obtención de un diseño personalizado y optimizado de una bicicleta para diferentes casos de estudio a partir de la implementación de una metodología de diseño paramétrico. Para llevar a cabo este objetivo, se desarrollará un modelo parametrizado que permite la fácil personalización del producto para los diferentes requisitos de diseño.

Una vez parametrizado, se aplicarán los parámetros de entrada de cada caso de estudio. La información aportada en cada uno de ellos será la siguiente.

- Medidas antropométricas
- Dimensiones del producto a partir de las medidas antropométricas
- Material

El desarrollo de la obtención de las dimensiones del diseño a partir de las medidas antropométricas no entra dentro del alcance de este proyecto.

La optimización del diseño del cuadro de la bicicleta es otro de los objetivos de este trabajo, lo que permite garantizar la seguridad y durabilidad del producto diseñado. Para ello se realizarán diferentes simulaciones variando las dimensiones del cuadro establecidas para que se cumplan los requisitos establecidos por la normativa estandarizada.

Finalmente, se añade como objetivo la definición de unas conclusiones, documentado todas las etapas del proceso sobre la implementación de la metodología de parametrización, incluyendo sus logros y limitaciones.

4. Justificación del estudio

La realización de un estudio centrado en el diseño paramétrico de bicicletas surge de la necesidad de optimizar la experiencia del ciclista, centrándose en una adaptabilidad ergonómica y un producto personalizado al usuario.

El diseño paramétrico ofrece una solución al permitir una personalización detallada, apoyada en una gran variabilidad dimensional de los parámetros que se definan. Esta solución, es un gran ejemplo de mejora para una empresa enfocada en el diseño en este sector, ya que tal y como se ha enfocado en la introducción de este trabajo, esta metodología sería una propuesta de valor en este mercado.

En paralelo, el análisis de la antropometría en relación con las dimensiones principales de la bicicleta permite garantizar una correcta posición del ciclista durante el ejercicio, no solo se está mejorando su rendimiento y comodidad, también en la prevención de lesiones.

Por lo tanto, el desarrollo de un estudio de estas características abordaría una necesidad práctica y relevante en el campo del diseño de bicicletas, al igual que contribuiría a la mejora continua de la tecnología aplicada al ciclismo y al bienestar del usuario.

5. Fundamentos Teóricos.

5.1. Diseño paramétrico en Ingeniería Gráfica

El diseño paramétrico es un método matemático que permite alterar diferentes características del diseño sin que sea necesario realizar de nuevo el proceso de caracterización de las dimensiones del modelo, es decir, el diseño paramétrico nos permite obtener nuevos diseños, partiendo de la base de un modelo inicial con unas características determinadas, manteniendo las relaciones establecidas sin necesidad de tener que volver a calcular las dimensiones.

El diseño paramétrico como definición, ha existido desde el siglo XX, el cual fue realmente llevado a la práctica en el siglo actual gracias a los diferentes avances tecnológicos en el campo de la tecnología digital, lo que ha permitido tener las herramientas necesarias para implementar este método en todo tipo de campos en la ingeniería. Ha permitido desarrollar una nueva forma de trabajo en el ámbito del diseño, disminuyendo los esfuerzos de creación y modificación para diferentes variantes en cualquier proyecto. En definitiva, esta forma de trabajo permite dinamizar el proceso de diseño de un modelo y sus posteriores variaciones.

Una vez comprendidas las características principales de esta metodología, podemos enfocar esta metodología en la aplicación a la ingeniería gráfica pudiendo definir de manera clara el modelo de trabajo que será necesario realizar. El punto de partida será la utilización de parámetros y relaciones entre elementos para la creación de modelos digitales tridimensionales. Las principales ventajas que vamos a encontrar en la implementación de esta metodología son las siguientes.

- Mayor flexibilidad. La principal ventaja es la capacidad de ajustar las dimensiones fácilmente, permitiendo obtener diferentes configuraciones sin necesidad de comenzar desde cero.
- Automatización. Esta metodología permite evitar tareas repetitivas con la utilización de las relaciones o reglas establecidas que condicionarán las modificaciones del diseño.

- Simulación. Esta metodología se puede complementar posteriormente con herramientas de análisis y simulación, evaluando el rendimiento y funcionalidad del diseño en diferentes escenarios, permitiendo optimizar el producto antes de su fabricación.
- Trazabilidad. Permite mantener la trazabilidad de los cambios introducidos, lo que permite identificar con facilidad los posibles errores dimensionales.

En la actualidad, existen numerosas herramientas de software informáticos para la aplicación de modelos parametrizados. En este caso, se realizará mediante el software de diseño CATIA, ya que es uno de los principales softwares más utilizados en tareas de diseño en la mayoría de las industrias, el cual ofrece una gran cantidad de herramientas de modelado paramétrico.

Posteriormente, se realizará una descripción en detalle de los pasos realizados con este software para comprender todo el proceso que ha sido necesario realizar para la elaboración de este trabajo, mostrando las principales ventajas que este software nos ofrece.

5.2. Antropometría y conceptos relacionados

Para entender correctamente los parámetros de entrada relacionados con las medidas antropométricas, que tendremos que implementar a la hora de realizar el diseño paramétrico, primero se tiene que profundizar en qué consiste la antropometría.

Según el Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, el término antropometría proviene del griego, “*anthropos*” (hombre) y “*metrikos*” (medida).

Según la Real Academia Española, la antropometría es el “estudio de las proporciones y medidas del cuerpo humano”, es decir, consiste en el estudio cuantitativo de las características físicas del ser humano.

La antropometría consiste en cuantificar medidas como la altura, peso, longitudes de las extremidades, composición corporal, etc. Los datos antropométricos son fundamentales en campos como la ergonomía, el diseño industrial, el diseño de prendas de vestir y la ciencia del deporte.

Hoy en día, la antropometría es esencial en el ámbito laboral, desempeñando un papel crucial en la seguridad y la ergonomía. Facilita la creación de un entorno laboral adecuado mediante el diseño correcto de equipos y su distribución apropiada.

Profundizando en el concepto de antropometría, podemos encontrar de manera recurrente diferentes similitudes respecto a este concepto y el concepto de la biomecánica. Generalmente estos 2 conceptos suelen ser confundidos, ya que están de manera clara interconectados, pero realmente son dos campos distintos dentro del estudio del cuerpo humano.

La principal diferencia entre ambos conceptos es el origen de los parámetros que se miden y analizan. En el caso de la antropometría, estos valores se basan en las dimensiones físicas del cuerpo humano, en cambio, en la biomecánica se estudian estas dimensiones en movimiento.

La biomecánica es el estudio del movimiento y las fuerzas que actúan sobre el cuerpo en movimiento, lo que permite el análisis de patrones de movimiento, evaluación del rendimiento deportivo, etc.

Para este estudio, se aplicará la antropometría ya que el objetivo del mismo es poder obtener las dimensiones óptimas para diferentes usuarios a partir de las proporciones físicas de cada usuario sin necesidad de la realización de un análisis dinámico, que siempre será más complejo de obtener, aumentando también los costes del producto final debido a la necesidad de diferentes tipos de sensores para la realización de este estudio, lo que en consecuencia, reduciría drásticamente los márgenes teóricos de beneficio.

Como podemos observar en la Figura 1, las principales medidas corporales que se pueden identificar son bastante numerosas, entre ellas, podemos encontrar la estatura junto con diferentes medidas parciales en el eje vertical del cuerpo, la circunferencia de la cadera, diferentes longitudes de las extremidades superiores e inferiores, etc.

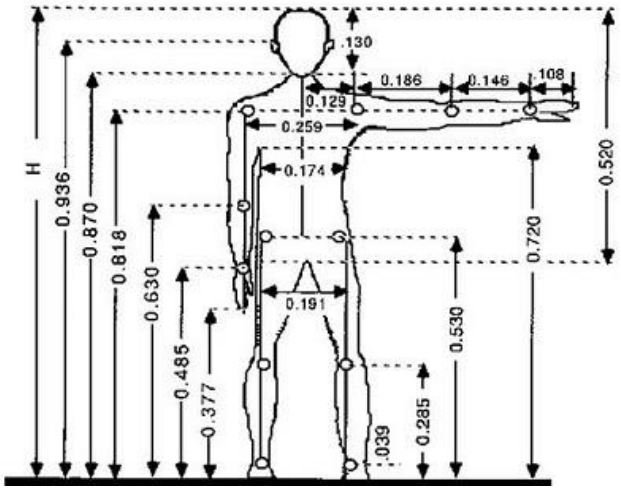


Figura 1. Ejemplo de algunas de las medidas antropométricas más empleadas.

5.3. Geometría de la bicicleta

5.3.1. Componentes principales

Previamente a proceder al desarrollo del diseño paramétrico de nuestro producto, es necesario identificar los componentes principales para poder diferenciar cuales van a ser las diferentes partes a tener en cuenta. En el mercado del sector del ciclismo, podemos identificar gran variedad de tipos de bicicletas, entre otras:

- Bicicletas de carretera
- Bicicleta de montaña
- Bicicleta híbrida
- Bicicleta de ciudad
- Bicicleta de pista
- Bicicleta plegable

Todas y cada una de ellas se diferencian en su modalidad de uso, por lo que en consecuencia podemos apreciar claras diferencias en los diferentes diseños, pero analizando en profundidad podemos apreciar que todas comparten los componentes principales. Los componentes principales de una bicicleta incluyen:

Cuadro: Es la principal estructura, ya que sostiene todos los demás componentes. Se puede identificar diferentes subgrupos, entre ellos, tubo superior, tubo inferior, tubo de asiento, vaina superior e inferior y el tubo de dirección.

Figura 2. Componentes comunes del cuadro de una bicicleta

Manillar y potencia: El manillar es la parte de la bicicleta que permite controlar la dirección. La potencia conecta el manillar al cuadro y determina la altura y la extensión de este.

Figura 3. Conjunto manillar y potencia de una bicicleta

Sistema de transmisión: Incluye pedales, bielas, platos, cadena, piñones y cambios. Este sistema permite transferir la energía de pedaleo del ciclista a la rueda trasera para propulsar la bicicleta.

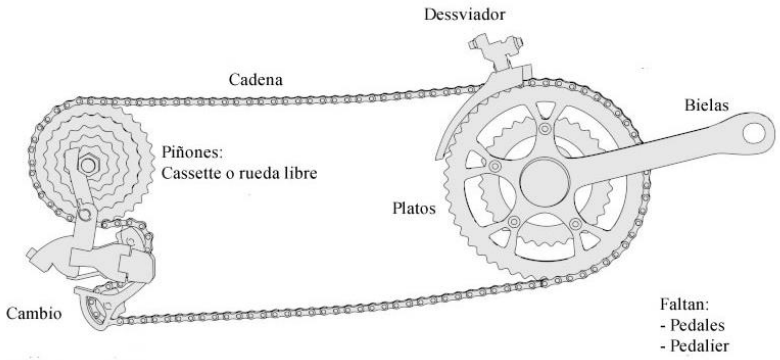


Figura 4. Sistema de transmisión de una bicicleta

Ruedas y cubiertas: Las ruedas constan de bujes, radios, llantas y cubiertas. Son fundamentales para la movilidad de la bicicleta. Las cubiertas proporcionan tracción y absorben impactos. Se incluyen también las cámaras que se insertan entre las cubiertas y las llantas.

Figura 5. Ruedas y cubiertas de una bicicleta

Frenos: Detienen la bicicleta y pueden ser de llanta (frenos de zapata), disco (frenos hidráulicos o mecánicos) o contrapedal (solo en bicicletas tipo *fixie*).

Figura 6. Frenos de una bicicleta

Suspensión: Algunas bicicletas, como las de montaña o las de doble suspensión, pueden tener sistemas de suspensión delantera y/o trasera para absorber impactos y mejorar la comodidad y el control.

Figura 7. Suspensión de una bicicleta

Sillín y tija de sillín: El sillín es el asiento de la bicicleta, mientras que la tija de sillín es la parte que lo conecta al cuadro y permite ajustar la altura y el ángulo.

Figura 8. Conjunto tija y sillín de una bicicleta

Estos son los componentes principales de una bicicleta, aunque dependiendo del tipo y el estilo de bicicleta, puede haber otros componentes específicos adicionales y ausencia de algunos de los anteriores, como puede ser el caso de los sistemas de suspensión para modelos como las bicicletas de carretera o de ciudad.

Figura 9. Partes de una bicicleta

5.3.2. Factores que influyen en el diseño

Tras haber desarrollado los principales componentes de nuestro producto a diseñar, es necesario remarcar que factores van a influir en el proceso de diseño de este trabajo.

Como se ha mencionado anteriormente en la parte introductoria de este trabajo, el alcance de este no incluye la parte referente al análisis de las medidas antropométricas para la obtención de los parámetros dimensionales de nuestro diseño, sino que partiremos para cada caso con esta información.

En este apartado se va a definir los principales parámetros dimensionales que deberán tenerse en cuenta a la hora de aplicar la parametrización establecida en cada uno de los casos de estudio. Estos parámetros están claramente relacionados con las medidas corporales de cada usuario, las cuales serán incorporadas a un software online el cual nos permite introducir estos parámetros y obtener las medidas de nuestra bicicleta personalizada.

Las principales medidas corporales que serán necesarias para la obtención de los diferentes parámetros dimensionales son las siguientes.

- Longitud de la entrepierna
- Longitud del brazo
- Longitud del muslo
- Flexibilidad
- Longitud del tronco
- Longitud del antebrazo
- Longitud de la pierna

Estas dimensiones corporales, nos permite obtener las siguientes variables a tener en cuenta en la realización del diseño.

- Altura del sillín: Distancia desde el eje del pedalier y el sillín

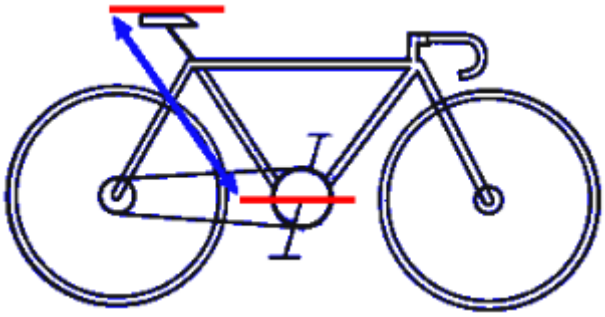


Figura 10. Altura sillín

- Tamaño del cuadro: Distancia desde el eje del pedalier y el centro de la confluencia de los tubos, es decir, la longitud del tubo de asiento.

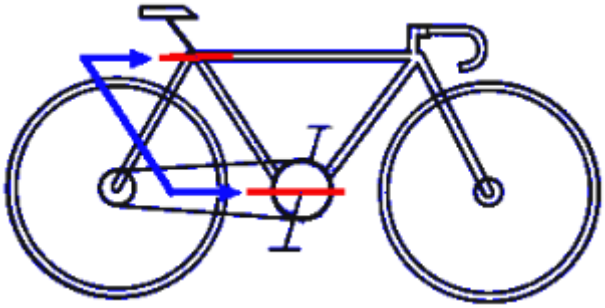


Figura 11. Tamaño del cuadro

- Distancia sillín-manillar: Distancia desde el sillín hasta el punto de contacto del usuario con el manillar.

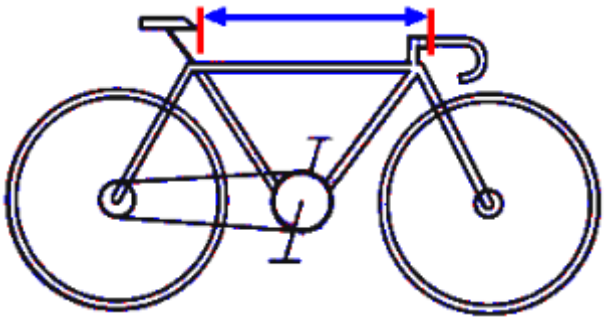


Figura 12. Distancia sillín-manillar

- Diferencia de altura sillín-manillar: Diferencia de alturas entre el sillín y el manillar.

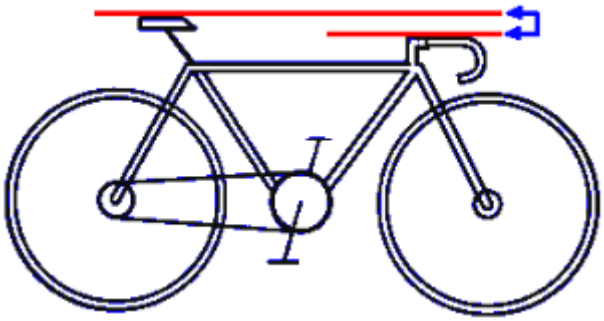


Figura 13. Distancia de altura sillín-manillar

- Retroceso del sillín: Distancia entre la punta del sillín y la del eje del pedalier.

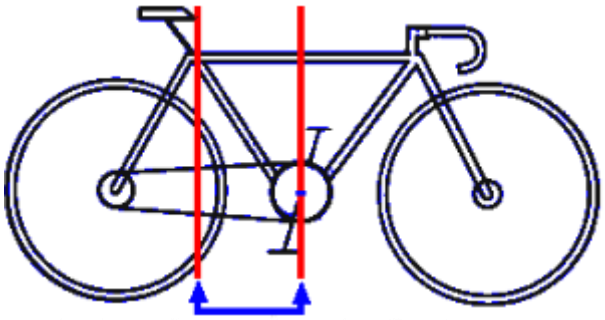


Figura 14. Retroceso del sillín

- Distancia sillín-pedal: Distancia entre la parte superior del sillín y el eje del pedal.

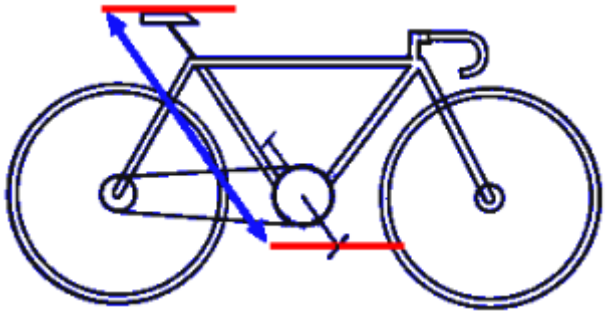


Figura 15. Distancia sillín-pedal

- Longitud de las bielas: Distancia entre el eje del pedalier y el punto de contacto de los pedales.

Figura 16. Longitud de las bielas

De cara al posterior desarrollo del diseño base en el que se aplicará la parametrización, se van a incluir las anteriores componentes en el diseño, exceptuando los parámetros dimensionales la distancia sillín-pedal y de la longitud de la biela.

Ambos factores van directamente relacionados con la longitud de la propia biela. Hay diferentes factores a tener en cuenta a la hora de seleccionar las dimensiones de este componente, ya que con bielas de mayor longitud se obtiene y mayor potencia y estabilidad, mientras que con bielas de menor longitud se puede obtener mayor comodidad y cadencia de pedaleo.

Por lo tanto, para la realización del diseño de la bicicleta, no se ha tenido en cuenta el diseño de las bielas, quedando fuera del alcance de este, centrando así el enfoque en el resto de los aspectos del diseño que son de mayor interés tanto en la parametrización como en la optimización posterior del cuadro.

5.3.3. Materiales de fabricación

A la hora de realizar el diseño de un producto, es necesario realizar un estudio de los materiales más comunes y disponibles para su fabricación. En este caso, este enfoque se realizará en el cuadro de la bicicleta, ya que es el componente principal, ya que es la estructura a la que se unen el resto de las componentes, como hemos podido comprobar anteriormente.

La elección del material del cuadro depende de varios factores, como el tipo de bicicleta, el presupuesto, las preferencias personales y el rendimiento. Los principales materiales utilizados son acero, aluminio, fibra de carbono y titanio.

El acero es una aleación de hierro y carbono que permite variar su elasticidad, resistencia y ductilidad en función del tratamiento que se le aplique. Se caracteriza por ser su resistencia, dureza y tenacidad, lo que lo hace una buena elección para este producto, teniendo como inconveniente su alta densidad, lo que lo hace más pesado que otros materiales. Suele utilizarse en bicicletas de gama media.

El aluminio es un metal de baja densidad, ligero y rígido. Se suele utilizar en la fabricación de bicicletas de carretera y de montaña debido a sus características principales. Suele utilizarse en bicicletas de gama media.

La fibra de carbono es un material ampliamente utilizado en bicicletas de alta gama, debido a su gran relación peso y rigidez junto a una elevada resistencia mecánica. Este material es anisótropo, es decir, tiene diferentes resistencia y rigidez en diferentes direcciones del material. El principal inconveniente es su alto coste.

El titanio es un metal altamente resistente a la corrosión, rígido y tenaz, con una gran capacidad de absorción de vibraciones. Suele utilizarse en bicicletas de alta gama debido a su durabilidad y resistencia.

En la ejecución de este trabajo, el material utilizado para la fabricación del cuadro en cada uno de los diferentes casos de estudio será aportado como parámetro de entrada.

6. Metodología para el diseño paramétrico de bicicletas

Una vez se han desarrollado los factores previos relacionados con el diseño, es necesario profundizar en la metodología que se llevará a cabo para el desarrollo del diseño parametrizado de nuestro producto.

La contextualización de la metodología de un proyecto es el primer paso que se debe llevar a cabo a la hora de especificar un procedimiento. Este paso inicial es el que se ha llevado a cabo en los puntos anteriores de este trabajo. En términos generales, la metodología de este proyecto se estructura principalmente en los siguientes pasos.

- Modelado de un diseño base
- Parametrización de las dimensiones
- Aplicación para diferentes casos de estudio
- Optimización de las diferentes soluciones

Para la realización del diseño base, se procederá a desarrollar el diseño de cada componente a través del software de diseño seleccionado. Las dimensiones de este primer diseño se considerarán a partir de un modelo estandarizado, ya que las características dimensionales de nuestro modelo base no son de gran interés teniendo en cuenta que posteriormente a la parametrización se pueden modificar según los requerimientos de nuestros casos de estudio.

Tras la realización del diseño de cada componente, se procederá a la parametrización del cuadro, el cual es el componente principal para nuestras posteriores simulaciones. Tras este proceso, se procederá al ensamblaje de los diferentes componentes del diseño. La parametrización del resto de componentes se realizará en el archivo del ensamblaje del diseño completo, ya que la mayoría de las dimensiones están relacionadas con las dimensiones ya parametrizadas del cuadro, cuyas variables tendrán que volverse a considerar en este paso.

Una vez se haya realizado esta parametrización, se procederá a realizar el estudio de cada uno de los diferentes casos establecidos. Para ello, partiremos de unos parámetros dimensionales iniciales basados en los valores antropométricos.

Se modificará el diseño incluyendo los nuevos valores de las variables de parametrización establecidas. Una vez definido nuestro diseño, se procederá a realizar las diferentes simulaciones para obtener la optimización de cada una de las diferentes soluciones de diseño, obteniendo así el diseño final el cual, en el contexto establecido en este trabajo, sería la solución que se presentaría al cliente que solicitó nuestros servicios de diseño.

6.1. Desarrollo del modelo base

Para la ejecución del diseño del modelo parametrizado, se realizará inicialmente un modelo genérico con unas dimensiones estandarizadas el cual será la base en la cual se establecerán posteriormente la parametrización de las diferentes dimensiones, para así poder obtener nuestro modelo.

Teniendo en cuenta este objetivo, se va a realizar el modelado de una bicicleta, en este caso, una bicicleta de una geometría sencilla, ya que el objetivo de este trabajo es la utilización de la parametrización, por lo que el interés principal de este proyecto no se centra en la realización de un diseño de una bicicleta de manera detallada, sino que el atractivo se centra en la propia acción de la parametrización ejecutada en diferentes casos de estudio y la posterior optimización.

Para ello, se ha focalizado el alcance de este diseño en las partes principales, sin entrar en detalle en otras componentes que no aportan interés adicional. Con esta dinámica se ha realizado el modelo de los siguientes componentes.

- Cuadro
- Horquilla
- Potencia
- Manillar
- Tija y sillín

Durante el desarrollo del modelado de los diferentes componentes, se ha procedido a la realización de un archivo *CATpart* para cada una de las partes mencionadas anteriormente.

La parte principal de nuestro diseño va a ser claramente el cuadro, ya que es la base principal de la cual van a ir referenciados el resto de las componentes. Por esta razón, es el primer elemento diseñado en este proyecto.

Si este trabajo se centrará únicamente en el diseño parámetro y optimización de una bicicleta, se podría realizar profundizando únicamente en este componente, ya que como veremos más adelante, el proceso de optimización se realizará a partir de simulaciones únicamente con este componente, sin tener en cuenta el ensamblaje entero de la pieza.

El diseño del cuadro se ha basado en las dimensiones y apariencia de un modelo de bicicleta urbano, de tipo "*fixie"*, el cual se caracteriza por su transmisión directa sin mecanismos de cambio de marcha, o como se conoce, de piñón fijo. Este modelo de bicicleta tiene unas características geométricas sencillas.

Figura 17. Ejemplo de bicicleta fixie

En cuanto a los parámetros dimensionales de nuestro cuadro inicial, se ha tenido en cuenta las dimensiones estandarizadas de un modelo actualmente comercializado, adjunto en la Figura 18.

	FRAME SIZE	XXS(46cm)	XS(49cm)	S(52cm)	M(54cm)	L(56cm)	XL(58cm)	XXL(61cm)
A	Seat Tube C to T	440	470	500	520	540	560	590
B	Seat Tube Effective	460	490	520	540	560	580	610
C	Top Tube Effective	505	515	530	545	560	580	600
D	Head Tube Length	100	100	120	135	155	175	195
E	Seat Tube Angle / Actual	75.5°	75.3°	75.0°	73.5°	73.0°	73.0°	73.0°
G	Headtube Angle	70.75°	71.5°	71.5°	73.0°	73.0°	73.0°	73.0°
H	Chainstay Length	405	405	405	405	405	405	405
I	Wheelbase	980	982	996	974	986	1003	1023
J	BB Drop	68	68	68	68	68	68	68
K	Fork Offset	52	52	52	43	43	43	43
L	Trail	62.6	57.6	57.6	57.8	57.8	57.8	57.8
M	Stack	495	497	516	538	557	577	596
N	Reach	377	384	392	386	389	404	418
O	Standover	719	737	762	782	801	820	844

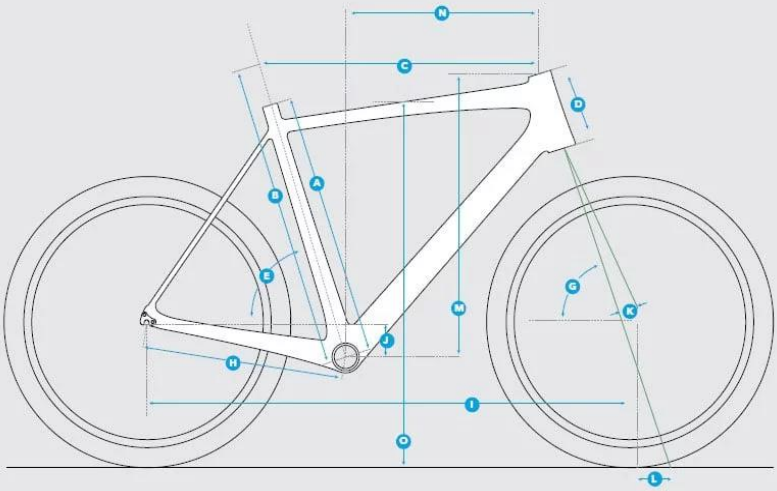


Figura 18. Geometría completa de una bicicleta para diferentes tallas

Las dimensiones de nuestro modelo base están referenciadas a las dimensiones de la talla M representada en la Figura 18. Como ya se ha mencionado anteriormente, no es tan relevante las dimensiones de este modelo base al realizar una posterior parametrización y personalización de las variables dimensionales.

Una vez definidas las dimensiones del cuadro genérico a diseñar, se procede a implementar este diseño en el software CATIA. La operación que mayoritariamente se va a utilizar para la definición de los componentes es la operación RIB (*Realistic Image Builder*), ya que nos permite modelar el espesor para cada esquema definido de cada una de las partes, el cual va a ser un parámetro a tener en cuenta en el proceso de optimización.

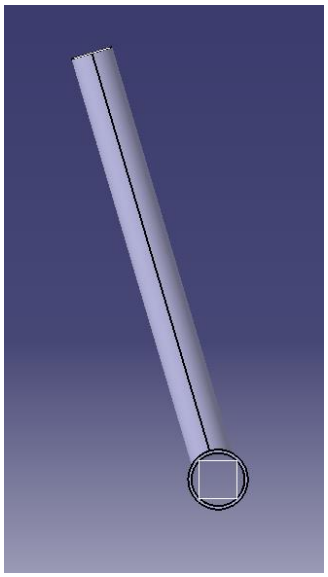


Figura 19. Modelado del eje de biela y el tubo de asiento

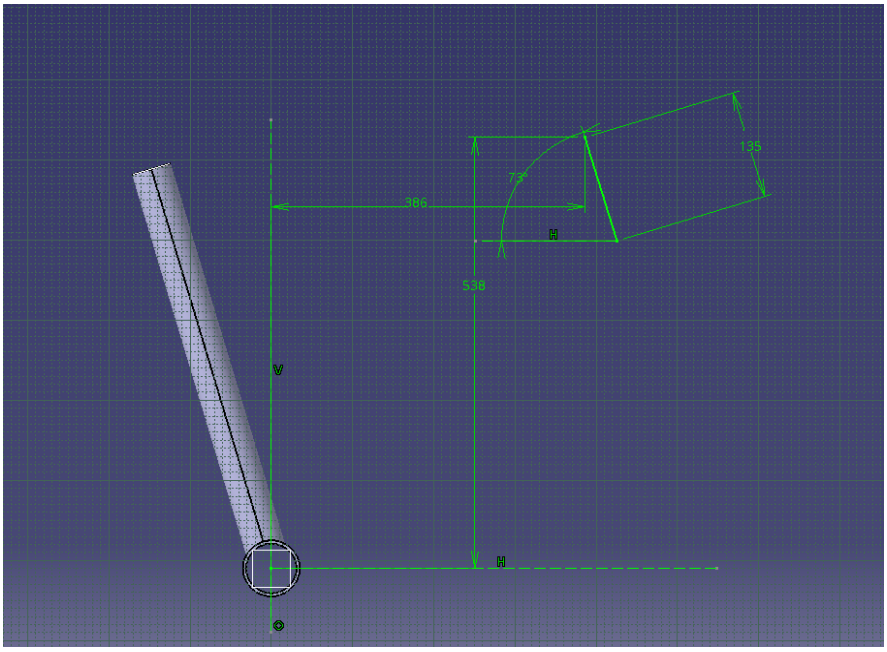


Figura 20. Modelado del tubo de dirección

Esta herramienta también nos permite combinar los extremos de varios archivos RIB, utilizando la función específica "*Merge rib's ends*".

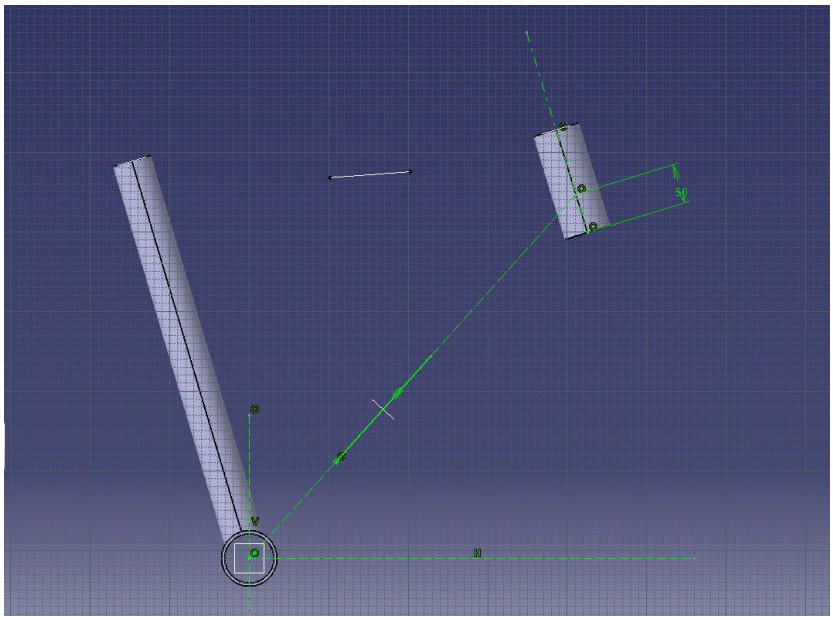


Figura 21. Modelado del tubo inferior del cuadro utilizando la función específica “Merge rib’s ends”

Cuando se trabaja en proyectos de visualización complejos que requieren múltiples representaciones o vistas diferentes, es posible que se necesite renderizar cada vista por separado. Después, puedes combinar estas imágenes renderizadas en una sola para crear una representación completa del modelo.

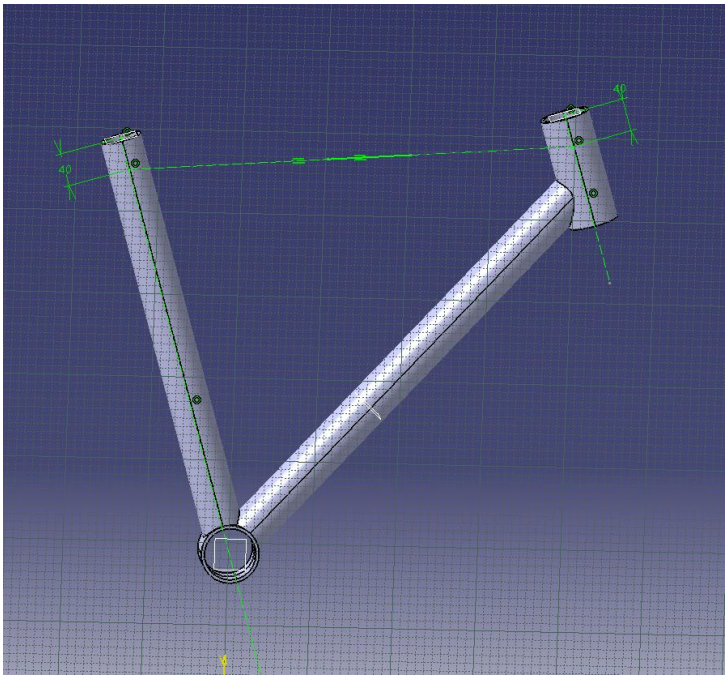


Figura 22. Modelado del tubo superior del cuadro utilizando la función específica “Merge rib’s ends”

Uno de los puntos principales a remarcar, es el modelado de las vainas traseras, tanto superiores como inferiores. Para su ejecución, primero se ha tenido que definir un punto del centro del diámetro de la vaina en el eje X, definiendo la distancia entre el punto central de la vaina y el eje Y.

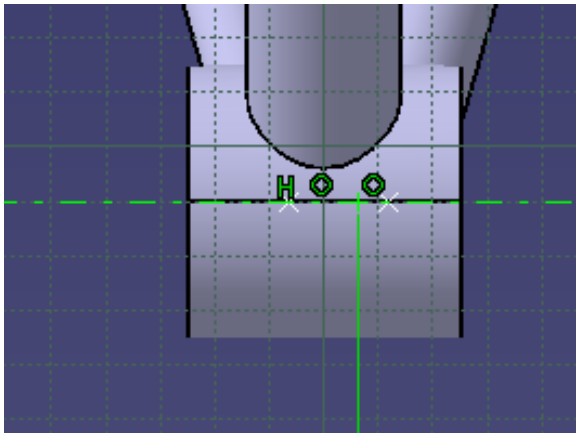


Figura 23. Definición de la distancia entre el centro de la vaina trasera y el eje Y.

Posteriormente, se procede a la definición del punto en el que estará en contacto con el eje de la rueda trasera para definir en los 3 ejes espaciales sus coordenadas geométricas. Para ello, se ha tenido en cuenta que la distancia estandarizada de las 2 juntas traseras, es decir, la distancia del eje trasero es de 120 mm.

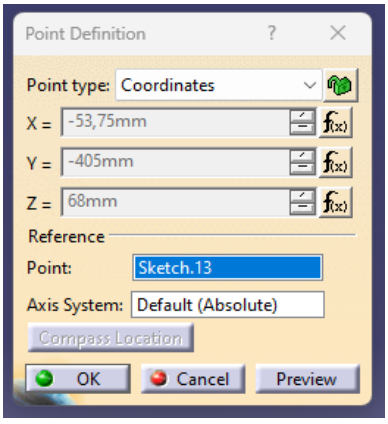


Figura 24. Definición del punto de contacto con el eje de rueda trasero para el modelado de las vainas traseras inferiores.

La definición de este punto nos permitirá enlazar ambos puntos definidos para establecer una línea entre ambos puntos, definiendo posteriormente un plano sobre esta línea, que nos permita modelar la vaina trasera con las características definidas.

Se realiza el mismo procedimiento para las vainas traseras superiores, realizando el modelaje mediante la definición de un punto en el plano del tubo de dirección a una determinada distancia y unificándolos mediante una línea al mismo punto creado anteriormente para las juntas traseras donde tendrá el apoyo el eje trasero de la rueda.

Otro punto para remarcar es el diseño de las puntas traseras y la implementación de una unión entre estas puntas traseras, con una forma compleja, pero con un grosor constante en el eje X, a las vainas traseras cuya sección es circular.

Para ello, inicialmente se ha definido un diseño de esta punta trasera, tomando como referencia un modelo convencional de un cuadro estandarizado para una bicicleta *fixie*.

Figura 25. Punta trasera de unión con el eje de la rueda trasera

A partir de esta orientación se ha diseñado un modelo original con características similares, dándole posteriormente un grosor determinado utilizando la función de extrusión de CATIA denominada “*Pad*”.

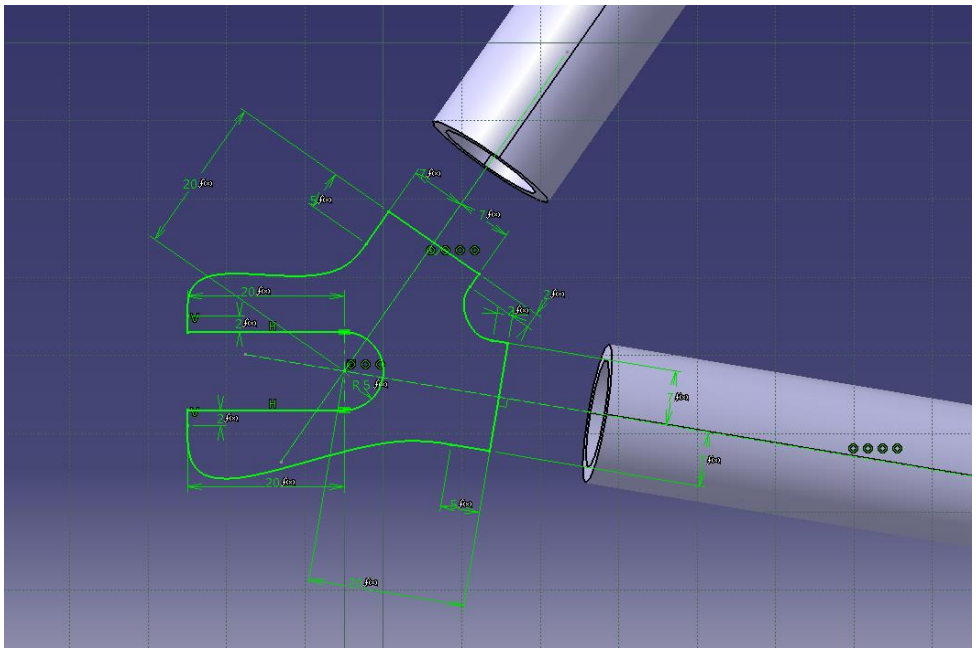


Figura 26. Sketch 23. Esquema de diseño de las vainas traseras

Una vez modeladas ambas puntas traseras, se procede a realizar la unión de ambas geometrías con diferentes secciones. Para ello, se procede a incluir planos en ambas superficies, definiendo mediante nuevos esquemas en estos planos las geometrías de ambas secciones a unificar.

Finalmente, se ejecuta la operación denominada "*Multi-sections Solid*" que nos permite generar sólidos que pasan por múltiples secciones transversales, cada una con una forma y tamaño diferente. Esto es útil para diseñar componentes con geometrías variables a lo largo de su longitud, como es necesario en este caso.

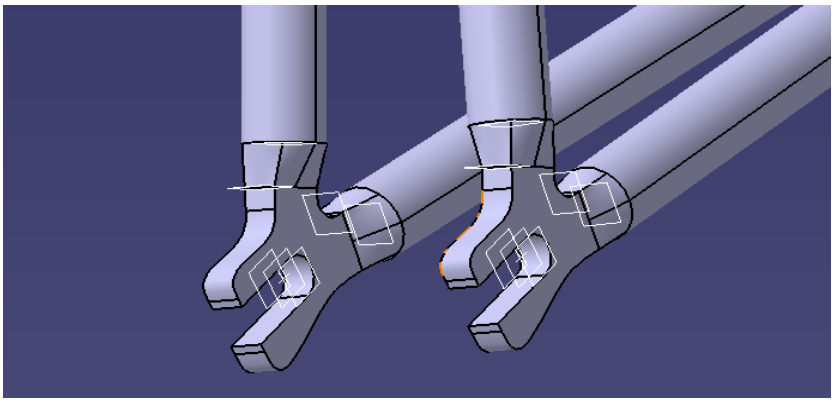


Figura 27. Modelado final de las puntas traseras con sus respectivas uniones a las vainas traseras

En la figura 28, se puede visualizar el resultado final del cuadro diseñado del modelo base de nuestra bicicleta.

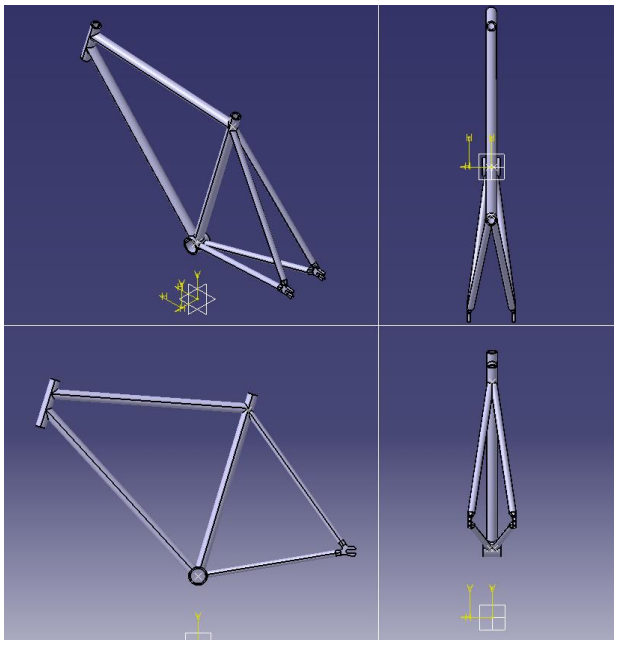


Figura 28. Modelado final del modelo base de la componente cuadro

Para una revisión en profundidad, es necesaria la revisión del Anexo I y Anexo II, en la que se recopilan todas las dimensiones definidas en el diseño del cuadro junto con las variables asociadas a su valor numérico, pero una mayor trazabilidad y comprensión de estas.

Una vez se ha completado el diseño del cuadro del modelo base, se procede al modelado del resto de componentes. Para ello se han tomado como referencia las dimensiones establecidas en este modelo genérico para la ejecución de manera coherente para su posterior ensamblaje y parametrización.

En el caso del modelado de la horquilla, para proceder al dimensionado de este modelo base, ha sido necesario tener como referencia las dimensiones del punto de contacto de las puntas delanteras con los ejes delanteros de las ruedas.

Para ello, se ha obtenido la distancia entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto con el eje de la rueda, teniendo en cuenta el diseño del cuadro.

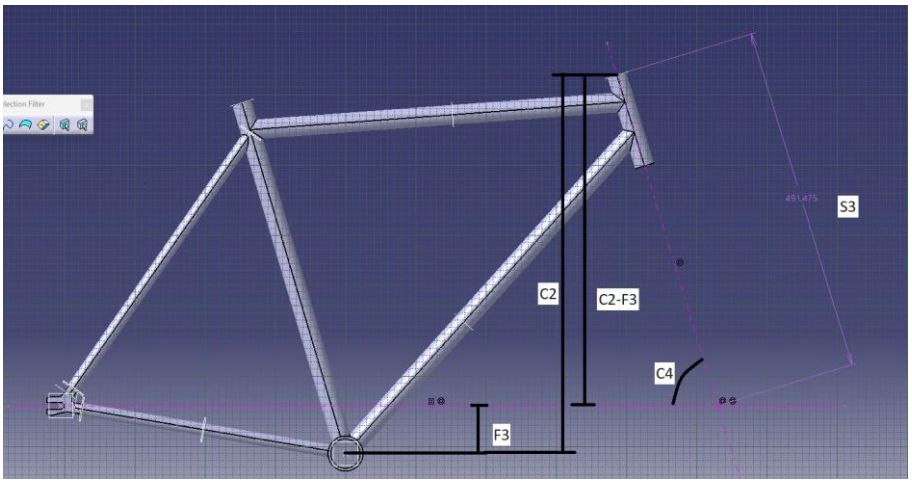


Figura 29. Medida del cuadro base entre la parte superior del tubo de dirección y el punto de contacto con el eje de rueda delantero

A partir de los datos del cuadro, se puede obtener trigonométricamente la distancia mostrada en la Figura 29, como se puede observar en la ecuación 1.

$$S3 = \frac{C2-F3}{\sin C4} \quad (1)$$

Las variables utilizadas en esta ecuación son las que posteriormente se definirán como las variables a parametrizar en el cuadro (véase la tabla 1).

La segunda variable dimensional a tener en cuenta en este caso es la distancia entre el eje central de la suspensión. Para ello se ha de tener en cuenta que esta distancia será diferente en el eje trasero y en el delantero, ya que en el caso del trasero se debe tener en cuenta el espacio de los piñones.

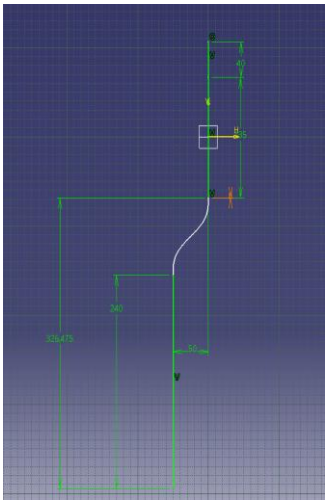


Figura 30. Esquema del diseño de la horquilla

Una vez dimensionado el esquema de la horquilla, utilizaremos de nuevo la operación "*Rib*" definiendo un parámetro de espesor. Posteriormente se ejecuta la operación "*Mirror*" sobre el esquema de la horquilla para obtener la imagen simétrica de la otra parte de esta.

Tras este proceso, se procede a definir la punta delantera que estará en contacto con el eje delantero.

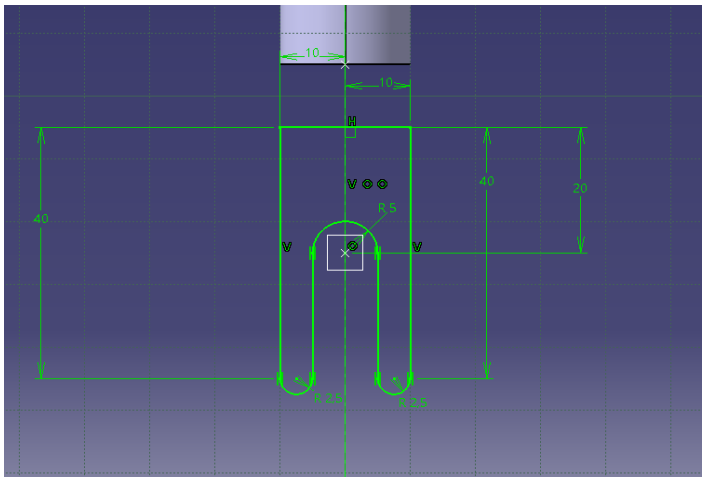


Figura 31. Esquema del diseño de las puntas delanteras

Una vez definido, se ejecuta de nuevo la operación "*Multi-sections Solid*" que nos permite generar sólidos que pasan por múltiples secciones transversales, para unificar ambas partes en el diseño de la horquilla.

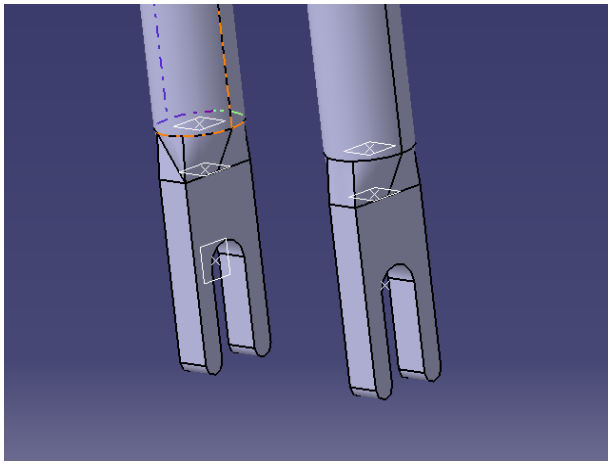


Figura 32. Resultado de la unión de las puntas traseras con la parte central de la horquilla

En la Figura 33, podemos observar el resultado final del diseño de la horquilla.

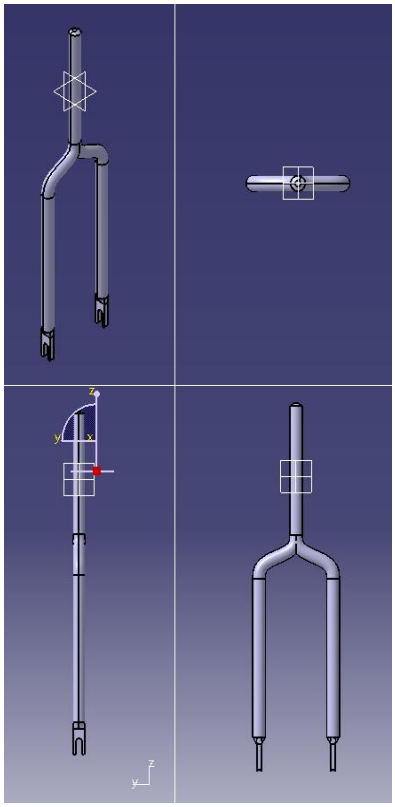


Figura 33. Modelado final del diseño base de la componente horquilla

Para la ejecución del diseño del manillar, se ha tenido en cuenta un diseño estándar de manillar, remarcando las dimensiones de la longitud de la parte de la potencia, distancia extrema de la parte de la potencia con el centro, el ángulo de la parte de la potencia con la zona de contacto con el manillar, y las dimensiones de los diámetros en ambas partes, entre otras.

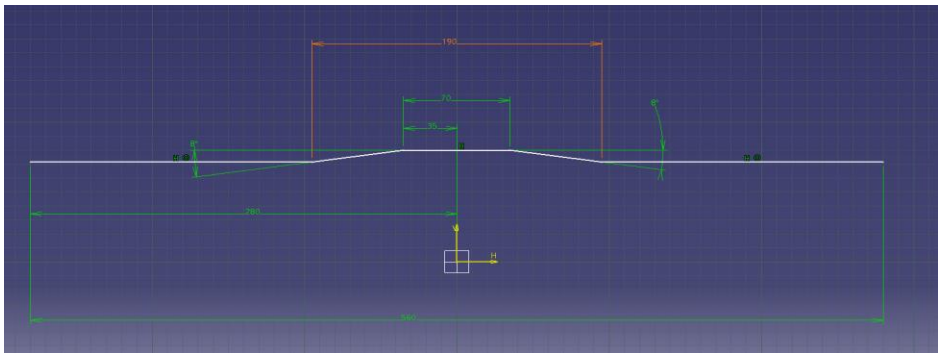


Figura 34. Esquema de las dimensiones del manillar

En este caso, se ha tenido que realizar en diferentes etapas para su correcta ejecución, teniendo en cuenta que se han modelado las tres partes claramente diferenciadas, la parte central de la potencia y ambas partes de contacto con el usuario, aplicando al igual que anteriormente la herramienta "*Rib*" y aplicandoles un espesor.

Posteriormente, se ha procedido a su unión mediante la operación "*Multi-sections Solid*", al unificar partes con una sección no constante.

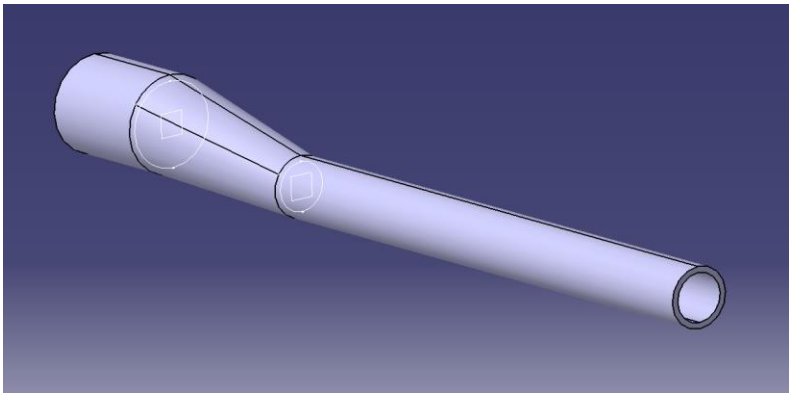


Figura 35. Modelado de la unión entre la parte de la potencia y de contacto del manillar

En este caso, es necesaria la aplicación posterior a la unión de la misma operación, pero en este caso, su variante denominada "*Removed Multi-Sections Solid Definition*", la cual nos permite para la sección de unión no constante definida, y a partir del esquema de las partes internas de ambas secciones, eliminar la parte interna de esta unión, ya que al aplicar la primera operación se realiza esta unión de manera completamente sólido, sin tener la posibilidad de definir un espesor determinado.

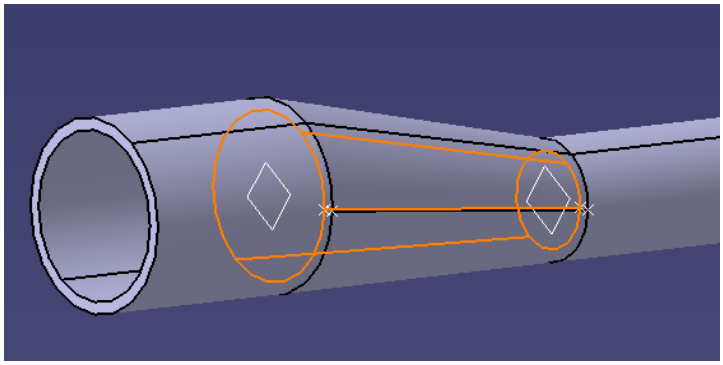


Figura 36. Ejecución de la operación "Removed Multi-Sections Solid Definition"

Posteriormente, se ejecuta el mismo procedimiento para el otro extremo de contacto del manillar, aplicando ambas herramientas definidas anteriormente.

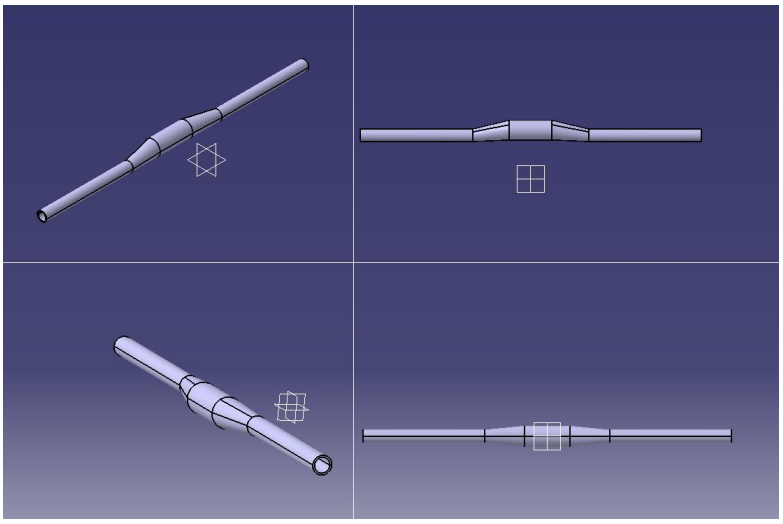


Figura 37. Modelado final del diseño base de la componente manillar

La siguiente parte diseñada de nuestro producto es el conjunto del sillín y la tija, ya que por homogeneidad con el alcance de este proyecto y por simplicidad, se han diseñado conjuntamente. El análisis de interés respecto a la parametrización de estas dimensiones es el ángulo de inclinación respecto a la horizontal, el cual será el mismo parámetro que en la definición del cuadro, junto con la posición del sillín, el cual será necesario para la posterior parametrización de la longitud sillín-manillar.

Para la ejecución del diseño, se ha comenzado por el propio sillín, remarcando unas dimensiones rectangulares estandarizadas, las cuales delimitan el diseño de este, siendo este realizado a partir de imágenes de diferentes modelos.

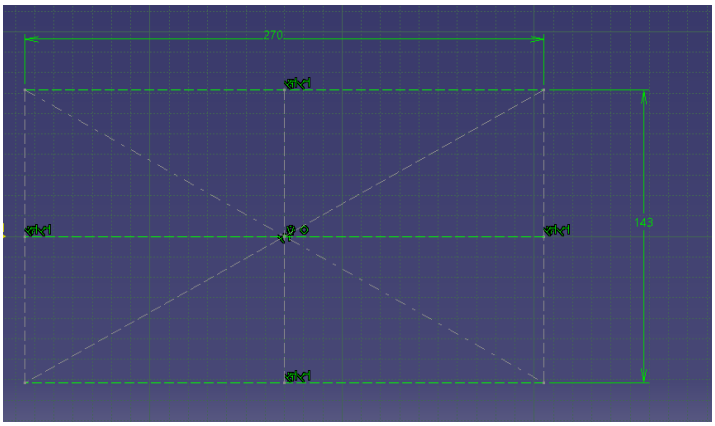


Figura 38. Esquema de las dimensiones delimitación del sillín

A partir de estas dimensiones, se elabora un esquema sobre el plano vertical en el cual se esboza la línea superior del perfil del sillín.

Figura 39. Perfil del sillín junto con el diseño esquematizado

A partir de estos esquemas, procedemos a utilizar las herramientas de CATIA del módulo "*Generative Shape Design*", el cual nos ofrece una amplia gama de herramientas, tales como herramientas de creación de superficies, herramientas de modificación de superficies, análisis y control, herramientas de curvas, y herramientas de superficies avanzadas.

Para la elaboración de este componente, nos centraremos en las herramientas de creación de superficies y herramientas de curvas.

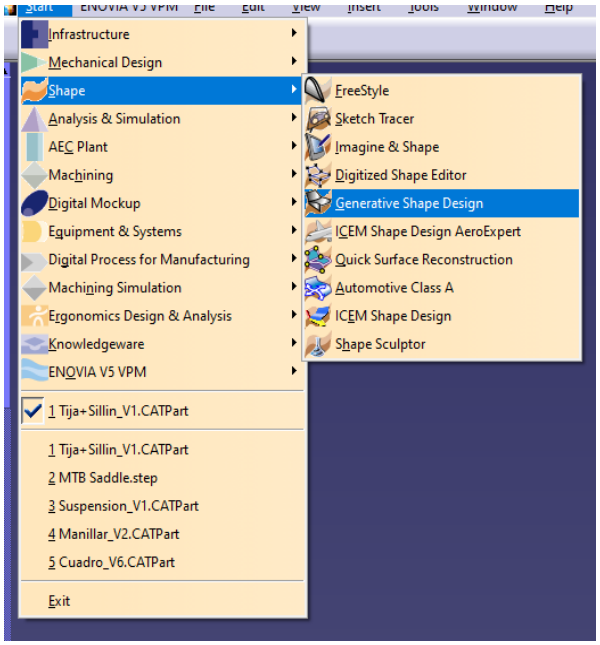


Figura 40. Selección del módulo "Generative Shape Design" en CATIA

Una vez iniciado este módulo, inicialmente debemos separar las dos secciones del diseño en planta del sillín en una única curva. Posteriormente, se generan diferentes planos en el espacio del diseño, ya que, para la generación de esta superficie, se deberán crear diferentes esquemas que definirán la superficie de este.

Ya definidos los planos, se procede a generar puntos de intersección en cada uno de los planos para ambas curvas, vertical y horizontal, del sillín.

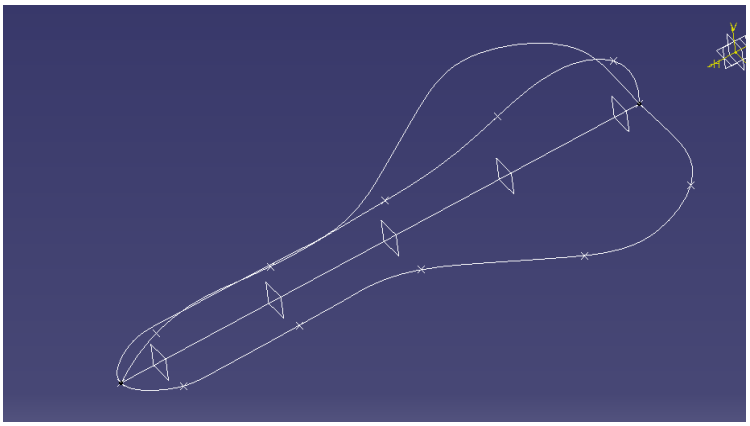


Figura 41. Definición de puntos de intersección entre ambas curvas del sillín

Posteriormente, para cada uno de los diferentes planos, se unirán mediante arcos estos puntos de intersección de ambas curvas para ir generando la superficie del sillín.

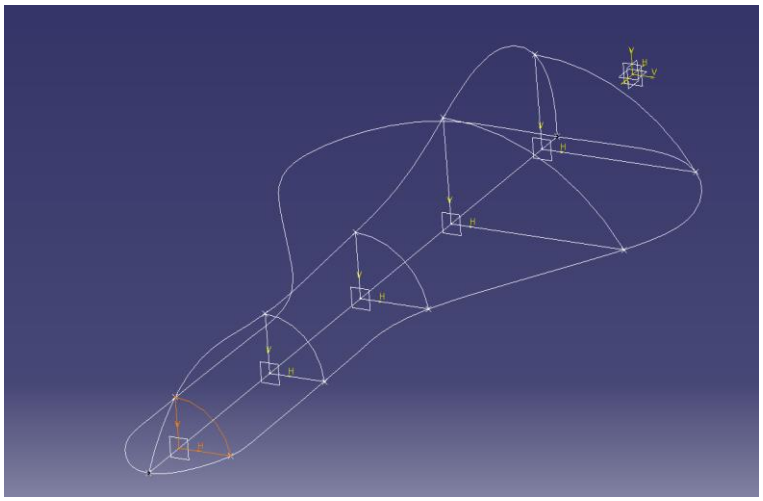


Figura 42. Definición de la superficie del sillín para cada uno de los planos

Una vez ya definidos estas guías de la superficie, se procede a utilizar la herramienta "*Multi-Secion Surface Definition*", con la que podamos seleccionar estos esquemas definidos y seleccionar como elementos principales las 3 curvas iniciales para así poder generar una superficie a partir de todas las referencias definidas.

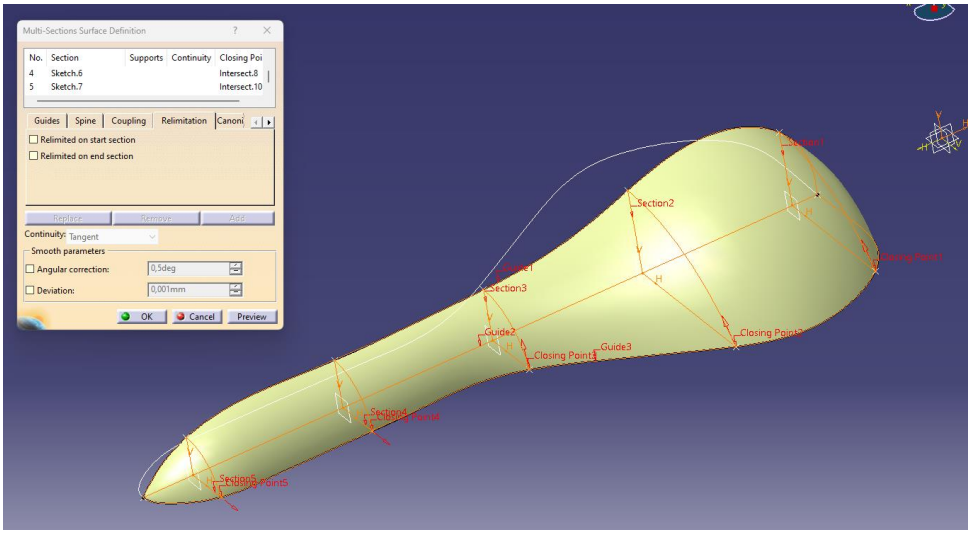


Figura 43. Resultado de la aplicación de la herramienta de definición de superficies a partir de las referencias definidas

Una vez generada esta sección, se debe volver al módulo de diseño inicial, para convertir esta sección en una superficie del diseño, utilizando la herramienta "*CloseSurface*".

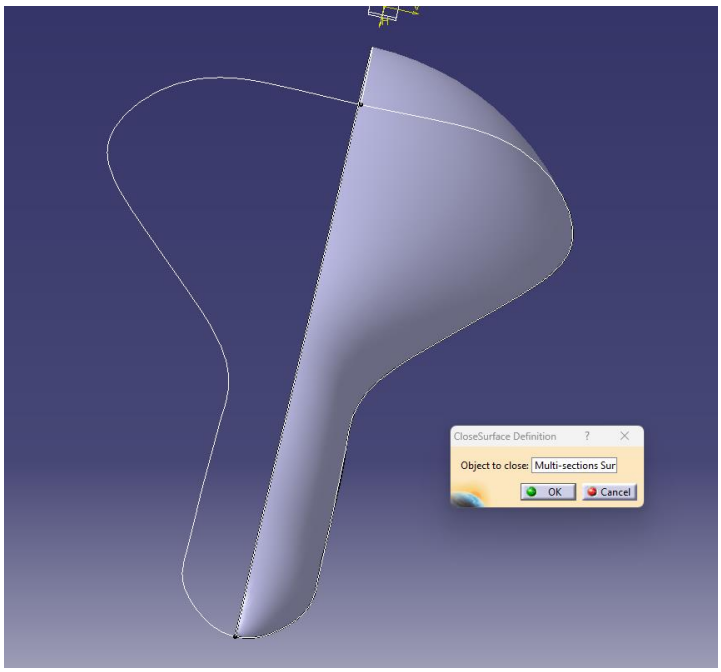


Figura 44. Generación de la superficie a partir de la sección generada

Una vez generada la superficie, procedemos a utilizar la herramienta "*Mirror*" para generar la superficie al completo.

Posteriormente, se realizan estos mismos pasos con el fin de definir el perfil inferior del sillín, utilizando todas las herramientas anteriormente mencionadas, generando así la superficie inferior del mismo.

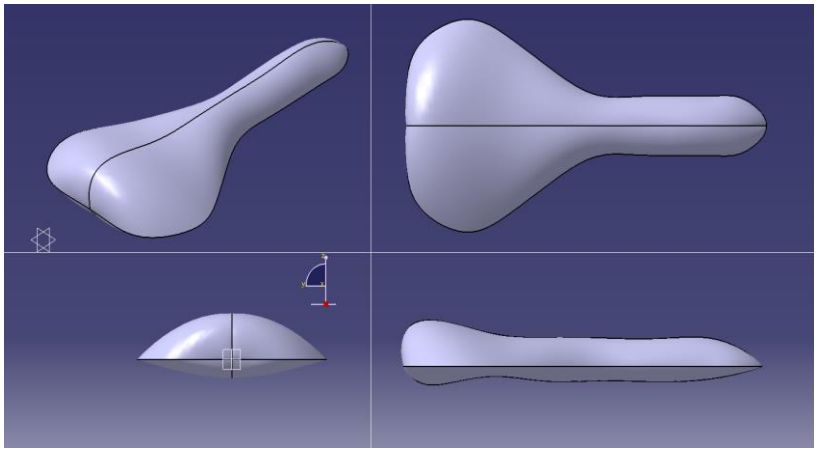


Figura 45. Resultado de la superficie superior e inferior del sillín

Ya definido el sillín en sí, se procede a ejecutar el diseño en conjunto de la tija que se apoya en el mismo. Para ello, se utilizarán las mismas dimensiones del cuadro para el posterior ensamblaje, en el cual se parametrizarán las dimensiones para su cohesión en nuestro diseño final.

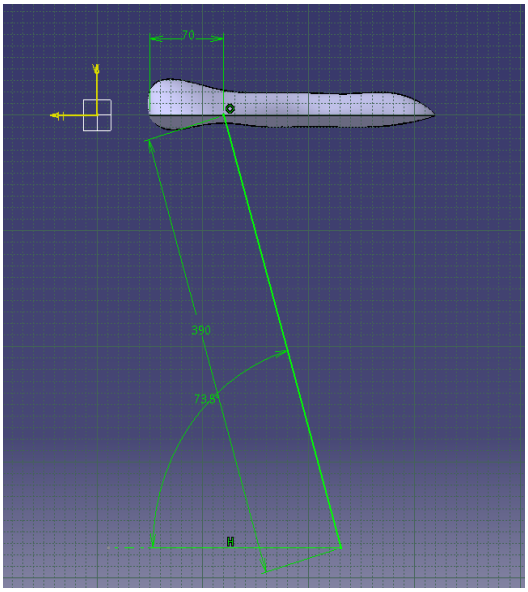


Figura 46. Esquema de definición de la tija del asiento

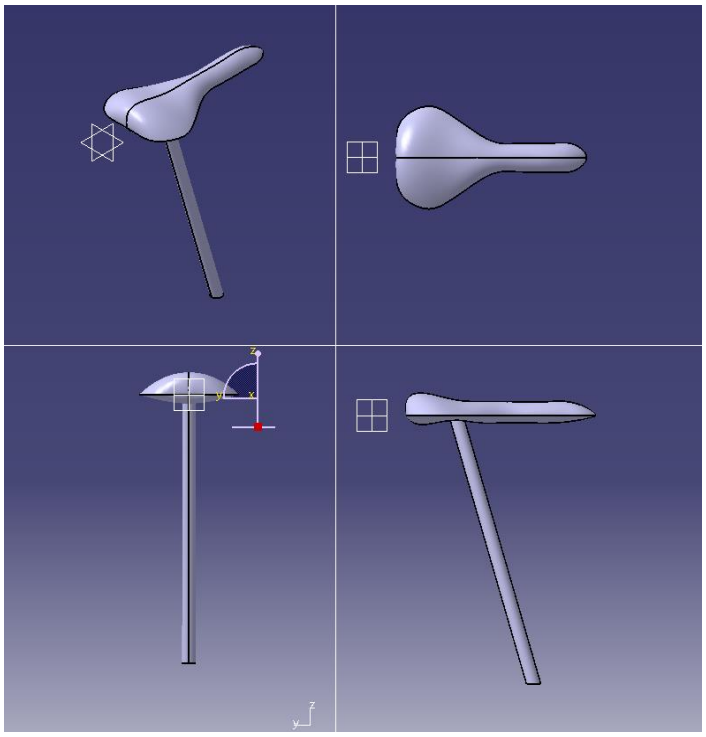


Figura 47. Resultado final de esta componente referente al conjunto sillín y tija

Para completar todos los elementos de nuestro diseño, se realiza el diseño de la potencia, componente que unirá la horquilla junto con el manillar. En este caso, se ha realizado una versión simplificada de una potencia estandarizada, no incluyendo en el mismo las consideraciones referentes a los elementos de unión a las componentes horquilla y manillar, teniendo en cuenta las dimensiones de estos para posteriormente proceder a su parametrización en el ensamblaje.

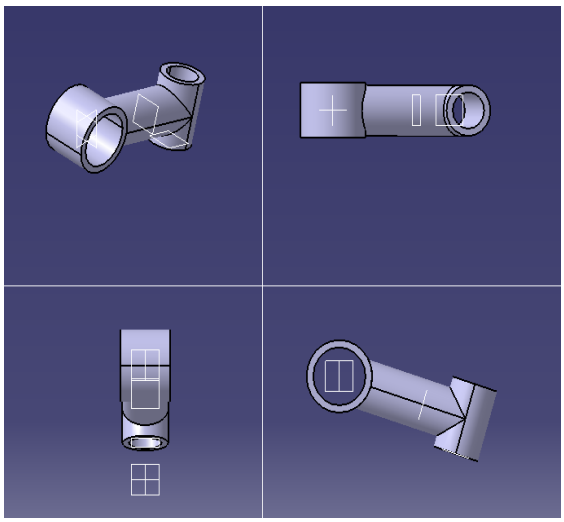


Figura 48. Resultado final de la potencia del modelo base

Una vez definidos todos los componentes a tener en cuenta en nuestro diseño, se procede a realizar el ensamblaje de las diferentes partes para su posterior parametrización de dimensiones establecidas, proceso que se explicará en el siguiente apartado.

Para el ensamblaje de las diferentes partes, se han unificado en un archivo de ensamblaje, conocido en CATIA como "*Assembly Design*", marcando restricciones de coincidencias con los ejes relacionados de cada componente, quedando como resultado de este modelo base, el mostrado en las siguientes figuras.

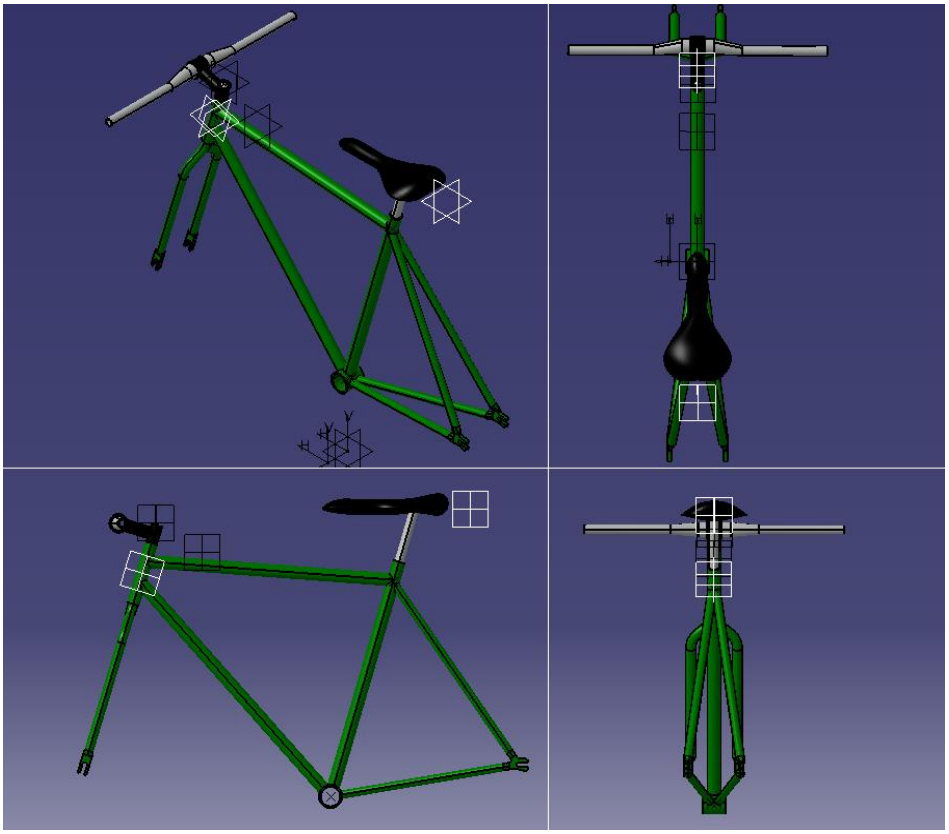


Figura 49. Diferentes perspectivas del archivo final del modelo base ensamblado

6.2. Parametrización de las dimensiones

Para la ejecución de la parametrización de las dimensiones, se ha realizado a partir de los componentes ya definidos en el modelo base. En este apartado, se desarrollará el proceso de la parametrización del cuadro, y posteriormente del diseño al completo en el ensamblaje de este.

Como paso previo, inicialmente se tendrá que habilitar en CATIA la opción de visualizar los parámetros que iremos definiendo, ya que por defecto no nos aparece. Para poder visualizar los parámetros y relaciones que vamos a crear será necesario configurar el programa en los siguientes menús del programa:

- *Tools-Options-Infrastructure-Part Infrastructure-Solapa Display*
- *Tools-Options-General-Parameters and Measure-Solapa Knowledge*
- *Tools-Options-Infrastructure-Part Infrastructure-Solapa General*

Una vez configurado el programa, se procede a la creación de estos parámetros. Para la parametrización de piezas y componentes es necesario como primer paso la implementación de los parámetros y sus relaciones con las dimensiones establecidas en el diseño del modelo base.

Part	Parámetro	Descripción	Valor	UDS
Cuadro	A1	Radio exterior eje biela	25	mm
Cuadro	A2	Grosor eje biela	4	mm
Cuadro	A3	Longitud total lateral biela	50	mm
Cuadro	B1	Longitud tubo asiento	520	mm
Cuadro	B2	Ángulo tubo asiento respecto al eje horizontal	73,5	º
Cuadro	B3	Radio exterior cuadro	14	mm
Cuadro	B4	Grosor tubo superior e inferior	4	mm
Cuadro	C1	Longitud tubo dirección	135	mm
Cuadro	C2	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	538	mm
Cuadro	C3	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	386	mm
Cuadro	C4	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	73	º
Cuadro	D1	Distancia conexión con tubo dirección inferior	50	mm
Cuadro	E1	Distancia conexión con tubo asiento superior	40	mm
Cuadro	E2	Distancia conexión con tubo dirección superior	40	mm
Cuadro	F1	Longitud del eje rueda trasero	120	mm
Cuadro	F2	Longitud de la vaina trasera inferior	405	mm
Cuadro	F3	Altura del punto de contacto de la vaina respecto al eje biela	68	mm
Cuadro	F5	Radio exterior vaina trasera	9	mm
Cuadro	F6	Grosor vaina trasera	2	mm
Cuadro	G1	Distancia con parte superior del tubo siento en la conexión (punto central)	45	mm
Cuadro	H1	Dimensión A puntera trasera y delantera	5	mm
Cuadro	H2	Dimensión C puntera trasera	5	mm
Cuadro	H3	Dimensión D puntera trasera	2	mm
Cuadro	H4	Dimensión E puntera trasera	20	mm
Cuadro	H5	Dimensión F puntera trasera	2	mm
Cuadro	H6	Dimensión G puntera trasera y delantera	20	mm
Cuadro	H7	Grosor total puntera trasera y delantera	8	mm
Cuadro	G2	Longitud de la vaina trasera superior	445,43	mm
Cuadro	I1	Grosor tubo dirección	4	mm
Cuadro	I2	Grosor tubo asiento	4	mm

Tabla 1. Parámetros definidos en la parametrización del cuadro

En el caso de la componente del cuadro, se procede a parametrizar las diferentes dimensiones, ya que esta parametrización nos será de gran utilidad de cara a las diferentes simulaciones a realizar, pudiendo así modificar fácilmente las diferentes dimensiones requeridas para cada uno de los diferentes casos de estudio.

Como complemento a la tabla 1, es necesaria la inclusión de una imagen del esquema de las dimensiones de la puntera trasera, en la que se puede apreciar claramente las dimensiones relacionadas a los parámetros establecidos.

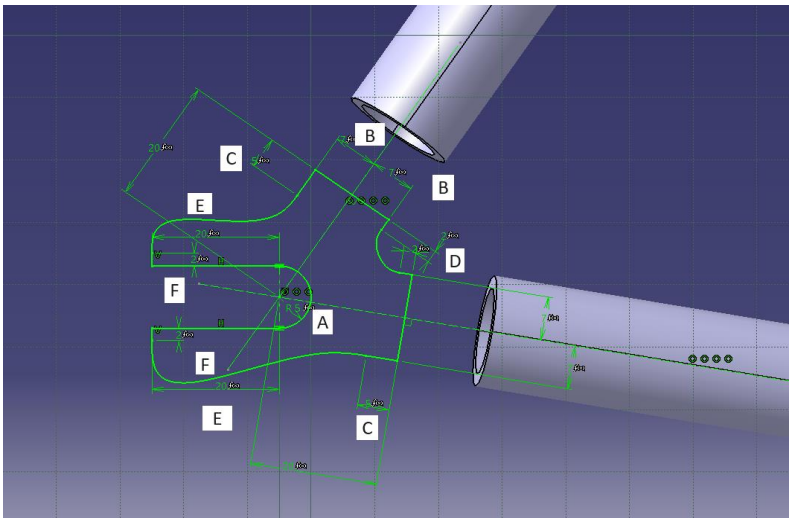


Figura 50. Parámetros dimensionales de la junta trasera

Tras la visualización de todos los parámetros dimensionales establecidos en esta parte, es necesario implementarlos en el archivo. Para ello, se utilizará el módulo "*Formula*", en el que se pueden tanto crear los parámetros, como establecer las posteriores relaciones entre estos parámetros y los valores dimensionales del modelo base.

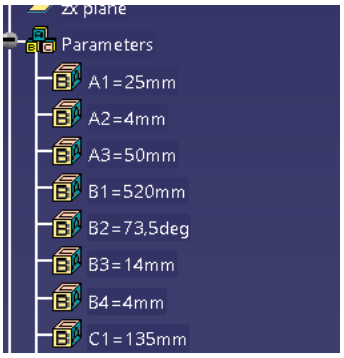


Figura 51. Captura del archivo CATPart en el que se puede observar algunos de los parámetros ya definidos

Una vez definidos estos parámetros, se procede en el mismo módulo a la generación de las diferentes relaciones entre estos parámetros y los valores dimensionales del diseño.

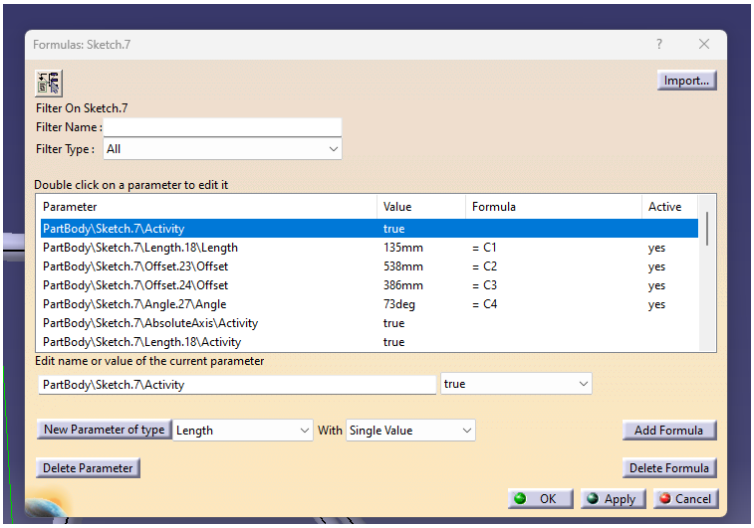


Figura 52. Ejemplo de la asignación de las relaciones a partir de los parámetros definidos

Para una mayor organización de todos los parámetros dimensionales, se ha generado una tabla en la que se resumen todos los parámetros establecidos en todas las partes junto con otra tabla en la que se pueden observar las dimensiones establecidas del modelo base. Para su revisión, es necesario la visualización del Anexo I.

Establecidas todas las relaciones en el cuadro, se pueden modificar fácilmente creando una Tabla de Diseño dentro del propio programa, la cual nos permite modificar los valores de las componentes en una Hoja Excel adjunta de manera automática, sin necesidad de cambiarlo manualmente.

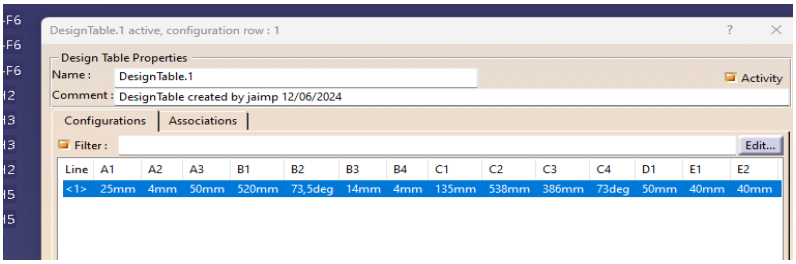


Figura 53. Tabla de diseño de los parámetros del cuadro

Este mismo procedimiento es el que se realiza posteriormente en el modelo ensamblado. Para los parámetros ya definidos en el cuadro, no es necesario volverlos a incluir, ya que es posible establecer las relaciones de las dimensiones con estos en el resto de las componentes, en el mismo archivo del ensamblaje.

A tener en cuenta en la parametrización del ensamblaje, es la necesidad de incorporación de parámetros en este archivo que posteriormente serán necesarios modificar, como puede ser la distancia de altura del sillín, ejecutado como una restricción en la unión del ensamblaje.

Figura 54. Definición del parámetro de altura del sillín

Debido a esto, una vez ensamblado todas las componentes, se definen los nuevos parámetros del resto de componentes en el archivo del ensamblaje, y posteriormente, se definen de la misma manera las relaciones restrictivas necesarias. De igual forma, es necesaria la revisión del Anexo II, para identificar todas las relaciones a tener en cuenta para los parámetros definidos.

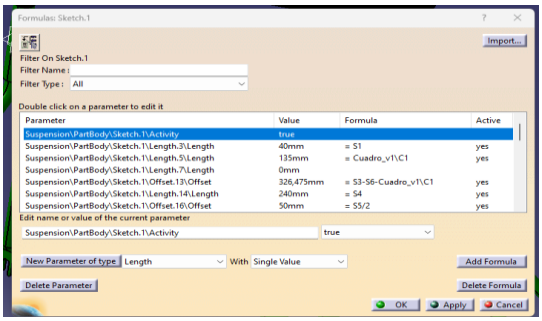


Figura 55. Ejemplo de la asignación de las relaciones a partir de los parámetros definidos de diferentes componentes

6.3. Optimización del diseño

En este apartado se desarrollará la aplicación de las simulaciones para cada uno de los diferentes casos de estudio, cuyo objetivo son la optimización del diseño parametrizado para cada caso.

Para ello, se ha tomado como referencia la norma *UNE-EN ISO 4210-6:2023, Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla*. Esta sección detalla las pruebas necesarias para evaluar la resistencia, durabilidad y rendimiento estructural de estos componentes bajo diferentes condiciones de carga y uso. Los ensayos especificados aseguran que el cuadro y la horquilla cumplan con los estándares de seguridad y calidad requeridos para el uso seguro de la bicicleta.

Como ya se ha mencionado anteriormente, el cuadro es la parte fundamental de la bicicleta, teniendo en cuenta que las prestaciones estructurales dependen en gran parte del cuadro, teniendo como función principal soportar todos los elementos. Por esta razón, el cuadro es la componente fundamental a la que realizar las diferentes simulaciones.

Con este objetivo, se realizarán las simulaciones teniendo como referencia el ensayo de choque entre los métodos de ensayo del cuadro especificados en la norma ISO mencionada, el cual se ha considerado el ensayo más restrictivo de los definidos en la norma.

6.3.1. Generalidades

Tal y como se indica en la norma *UNE-EN ISO 4210-6:2023,* para la realización de este ensayo, se permite efectuar el ensayo con una falsa horquilla delantera, en este caso, al ser una horquilla rígida, sin suspensión, únicamente al conocer las coordenadas del punto de contacto de la junta delantera será información necesaria para la aplicación de la fuerza en estas coordenadas.

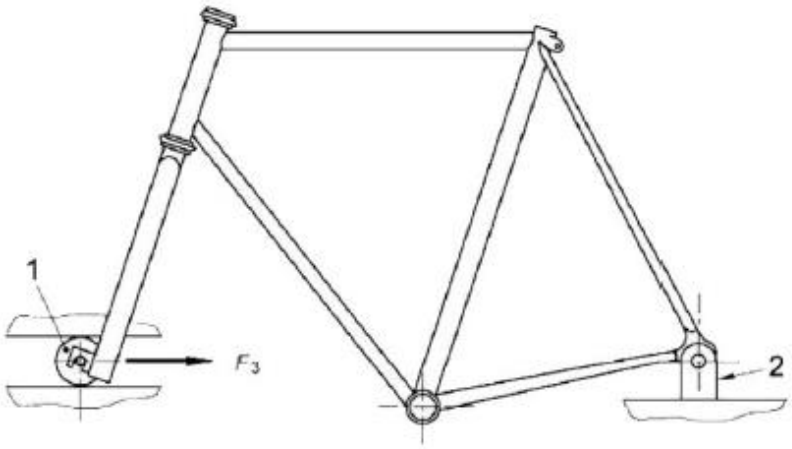
Las simulaciones que se realizarán están basadas en este ensayo de la norma, aunque debido a un criterio más restrictivo, se realiza una adaptación de este aplicando condiciones de contorno e hipótesis de carga similares.

6.3.2. Método de ensayo

Para la ejecución del ensayo, se instalará el cuadro en su posición normal fijándolo por sus punteras traseras de tal forma que no esté limitada su rotación (es decir, en el eje trasero). Se verifica que los centros de los ejes delantero y trasero están alineados en el plano horizontal.

En las simulaciones estáticas que se realizarán en este caso, se aplicará una fuerza puntual horizontal en sentido hacia el cuadro, tal y como se indica en la figura 56. La magnitud de esta fuerza será de 1.000N, teniendo en cuenta que es la fuerza que aproximadamente ejercería una persona de unos 100kg de masa.

Según la norma se establece para tener en cuenta una persona de unos 80kg de masa, por lo que las simulaciones que se realizarán tienen un carácter más restrictivo, como se ha mencionado anteriormente.



Leyenda
1 Rodillo guiado que puede girar libremente
2 Montura pivotante rígida para el punto de fijación del eje trasero

Figura 56. Condiciones de contorno e hipótesis de cargas aplicadas

6.3.3. Aplicación del ensayo

Para la ejecución del ensayo de fatiga por fuerzas horizontales, se va a utilizar la plataforma ANSYS Workbench. Esta herramienta desarrollada por ANSYS es una

plataforma de software integral que nos permite la realización de simulación y análisis asistidos por computadora.

Sus capacidades multidisciplinares permiten realizar simulaciones complejas en diversas industrias, mejorando el diseño y la optimización de productos a través de potentes herramientas de visualización y análisis paramétrico.

Como paso inicial, se debe incorporar nuestro cuadro a ensayar en formato *.stp*, por lo que es necesario guardar una copia en este formato para su implementación en la plataforma.

De todos los módulos que esta plataforma nos permite utilizar, se va a trabajar con el análisis "*Static Structural*".

Figura 57. Módulo "Static Structural" de ANSYS Workbench

En la figura 57 podemos observar en las celdas todas las operaciones que debemos definir para resolver la simulación en cada caso.

La primera operación que debemos definir es la denominada como "*Engineering Data*", que básicamente consiste en definir las propiedades del material por el que estará compuesto nuestro cuadro.

En nuestro caso, el tipo de material a utilizar nos vendrá definido por los requisitos del cliente. Para la ejecución de la simulación con el modelo base, se ha seleccionado como material el aluminio.

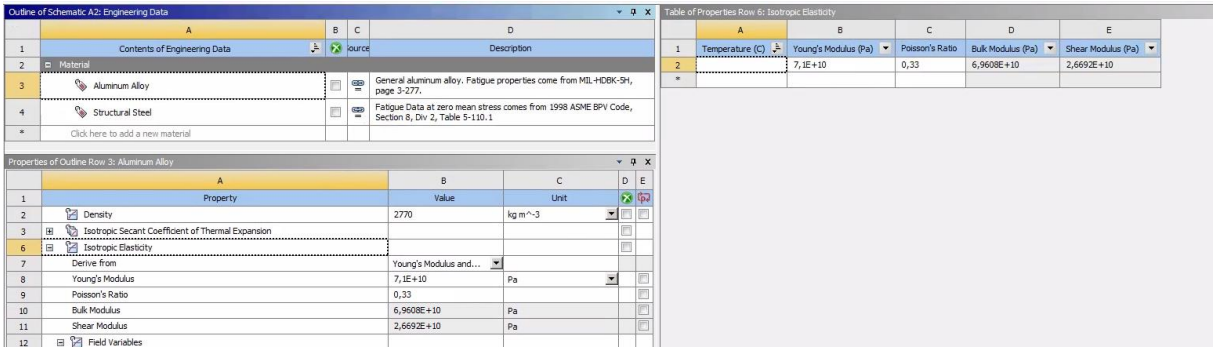


Figura 58. Engineering Data Sources para el aluminio

El siguiente paso será importar la geometría del cuadro en la plataforma, incluyendo el archivo *.stp*, como se ha especificado anteriormente.

Figura 59. Geometría importada en el proyecto de simulación

Una vez importado el modelo, el siguiente paso es ejecutar la malla en nuestro diseño y posteriormente la definición de las condiciones de contorno, que se realizará en la operación "*Model*".

Figura 60. Geometría del cuadro del modelo base importada en la operacion "Model"

Una vez entremos en esta operación, veremos a la izquierda el árbol de acciones a seguir en este paso, siendo el inicial la selección de los diferentes materiales que hemos seleccionado en la primera operación.

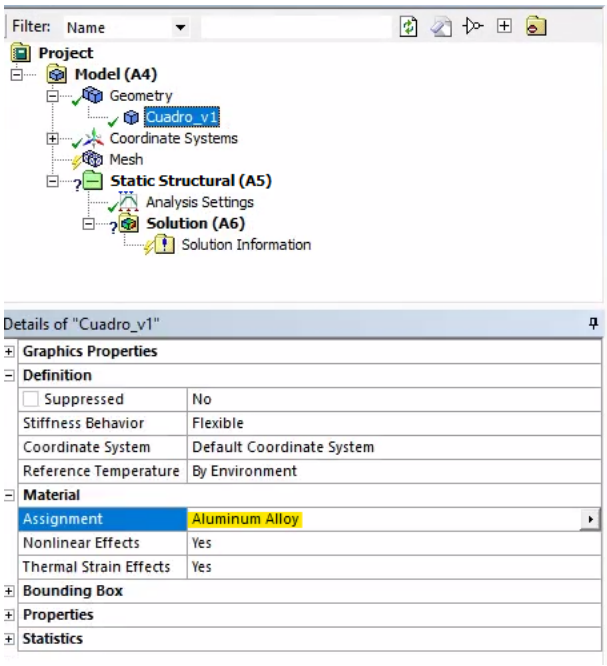


Figura 61. Estructura del modelado de la simulación

Para la implementación de la malla es nuestra simulación, el programa te permite la generación de un mallado de manera automática. Este mallado predeterminado, como se puede observar en la figura 63, es poco preciso.

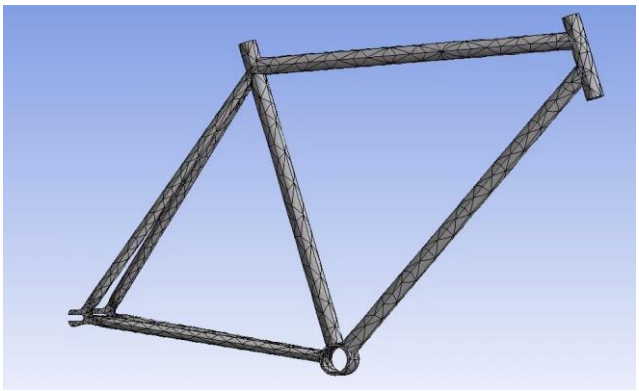


Figura 62. Mallado predeterminado del cuadro

Por esta razón, se va a trabajar con las herramientas del mallado, en este caso "*Sizing*" y "*Hex Dominant Method*", las cuales nos permiten ajustar a nuestras necesidades el mallado.

La herramienta "*Sizing*" nos permite controlar y definir el tamaño de los elementos de malla en diferentes partes del modelo, proporcionando una malla optimizada que equilibra precisión y eficiencia computacional. En este caso, se ha implementado un tamaño de mallado de 5 mm.

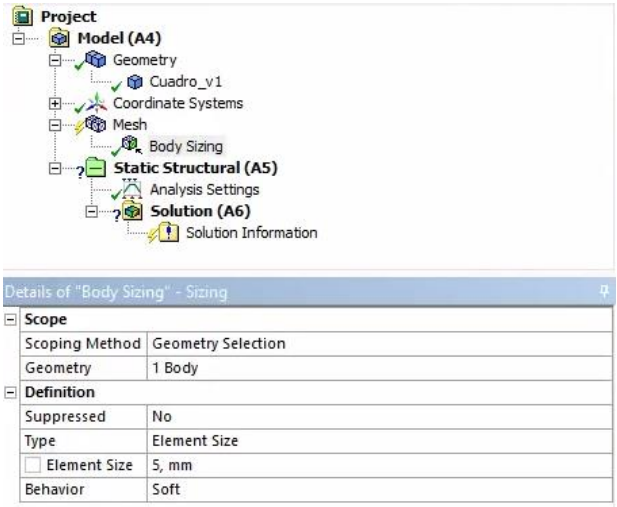


Figura 63. Herramienta "sizing" definiendo un tamaño de mallado determinado

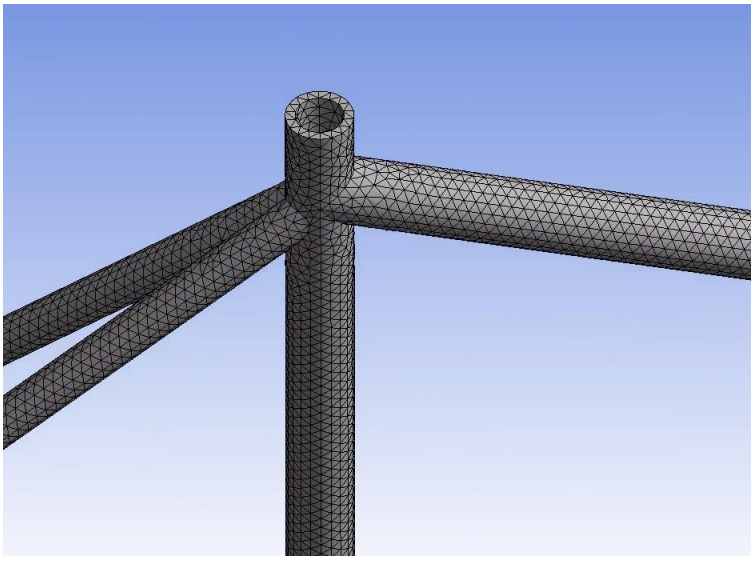


Figura 64. Mallado actualizado al tamaño determinado

Como se puede observar en la figura 65, al definir un tamaño de mallado inferior, el mallado establecido es mucho más preciso, al medir los resultados de nuestras simulaciones en mayor número de partes de nuestro cuadro.

Como último paso, se modifica el método del mallado a hexaedros, ya que estos polígonos a nivel computacional trabajan mejor que los tetraedros, que es el mallado predeterminado. Para ello se utilizada la herramienta "*Hex Dominant Method*".

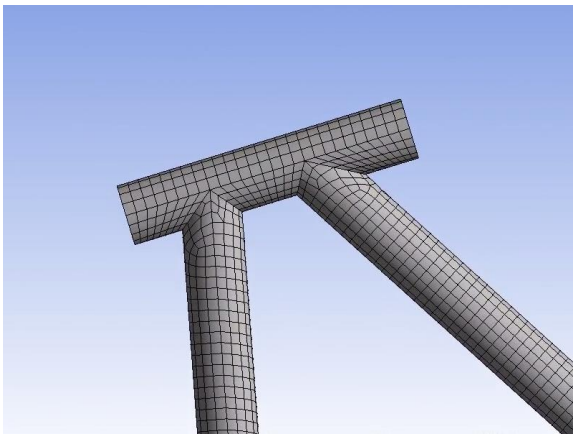


Figura 65. Mallado con "Hex Dominant Method"

Una vez definido la malla, se procede a definir las condiciones de contorno y las hipótesis de cargas. Para ello continuamos en el apartado de "*Static Structural*". Tal y como se indica en la norma mencionada, se procede a definir los apoyos fijados en las punteras traseras.

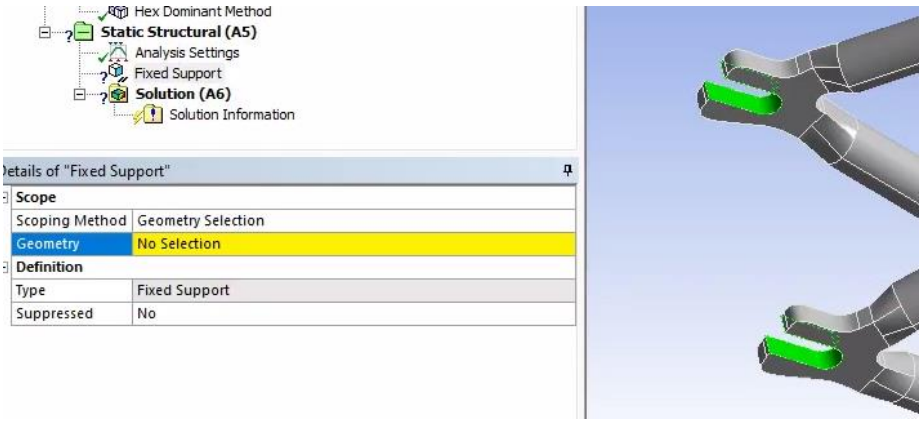


Figura 66. Definición de los apoyos fijos en el cuadro

El siguiente paso es definir la carga remota a aplicar, en este caso, con un valor de 1.000N en el sentido negativo del eje y. Esta carga remota se aplicará en el interior del tubo de dirección, ya que, al realizarse en las punteras delanteras de la horquilla, este sería el punto de contacto.

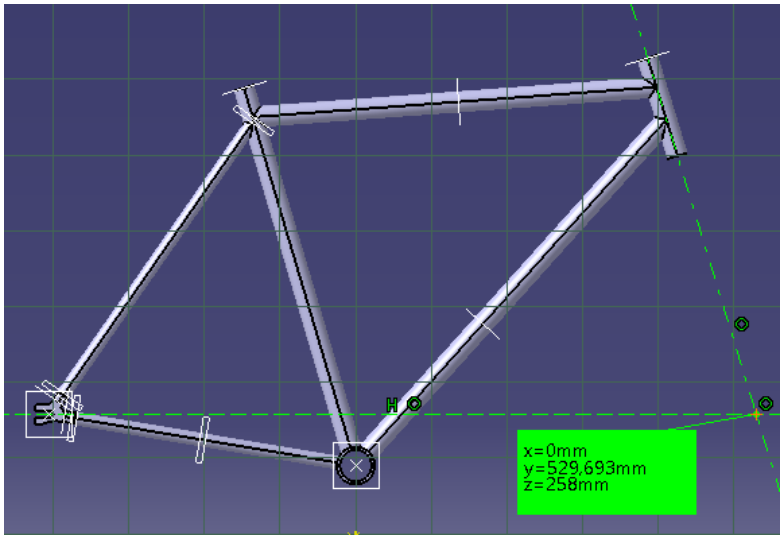


Figura 67. Coordenadas del punto de contacto en las puntas delanteras del modelo base

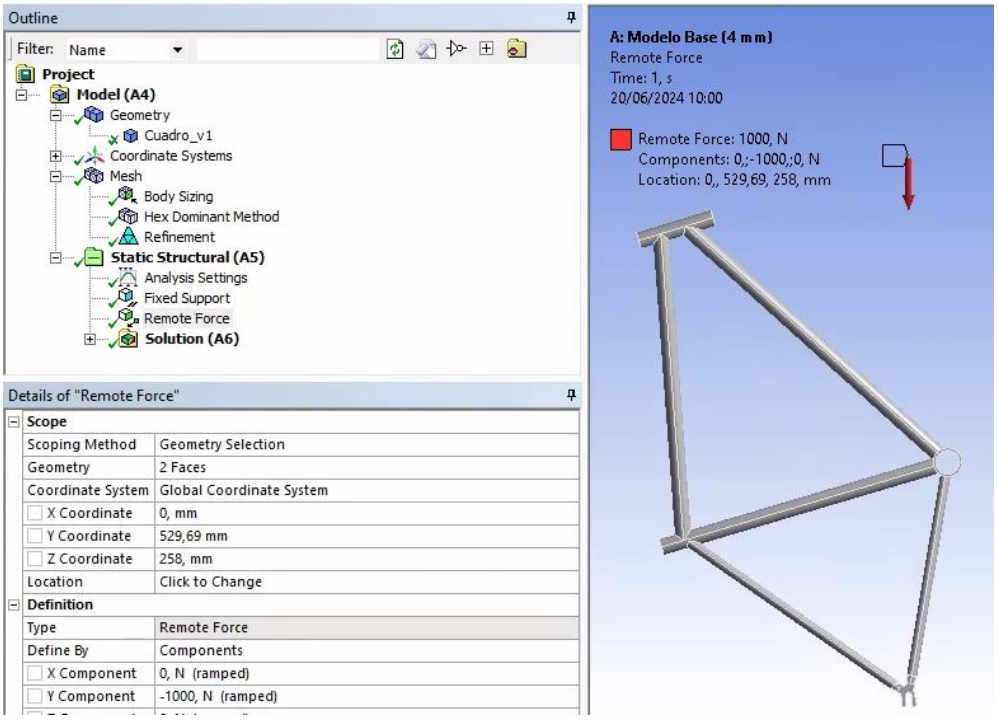


Figura 68. Aplicación de la fuerza remota de la punta delantera

Una vez establecidas las condiciones de contorno y la hipótesis de carga de la simulación, podemos comprobar en el árbol de operaciones que tenemos todas las operaciones en estado correcto, marcadas por el símbolo verde.

Una vez comprobado, procedemos a insertar en el apartado de soluciones las pantallas de deformaciones total y de tensiones equivalentes de Von Mises.

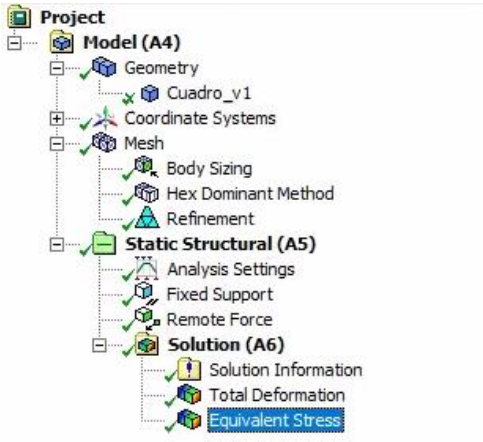


Figura 69. Árbol de operaciones verificado Ansys Workbench

La pantalla de deformaciones totales nos permitirá ver los valores de los mayores desplazamientos en milímetros, y sus localizaciones en cada caso con las condiciones establecidas.

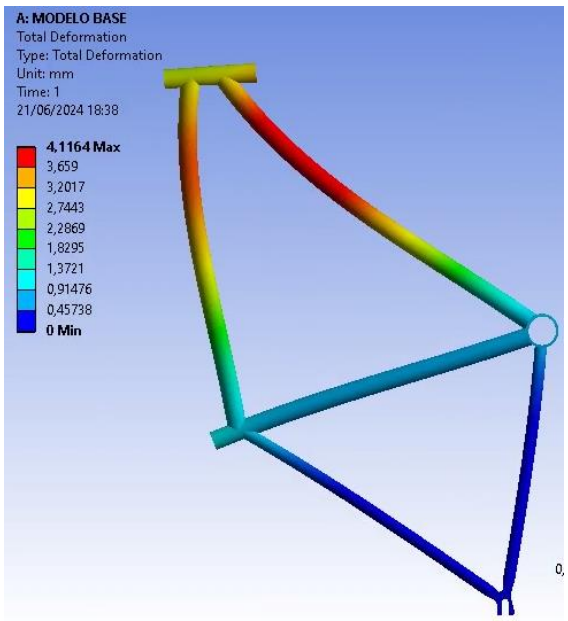


Figura 70. Deformaciones totales de la simulación del modelo base

En el caso de la pantalla de las tensiones equivalente de Von Mises, permite obtener conclusiones importantes sobre el rendimiento estructural y la durabilidad del diseño.

A partir de estos resultados, se podrá identificar las áreas críticas, las cuales pueden ser susceptibles de fallos o deformaciones bajo carga. Con esta información se puede predecir en que zonas del cuadro es más probable que se produzca el fallo estructural y es posible la ejecución de la optimización del diseño sin comprometer la integridad estructural.

En este caso, para ello se van a repetir las simulaciones para diferentes grosores establecidos comprobando para cada uno de ellos que no se superen los límites del material que se utilice en cada caso. Si las tensiones exceden los límites del material, se debe modificar el diseño.

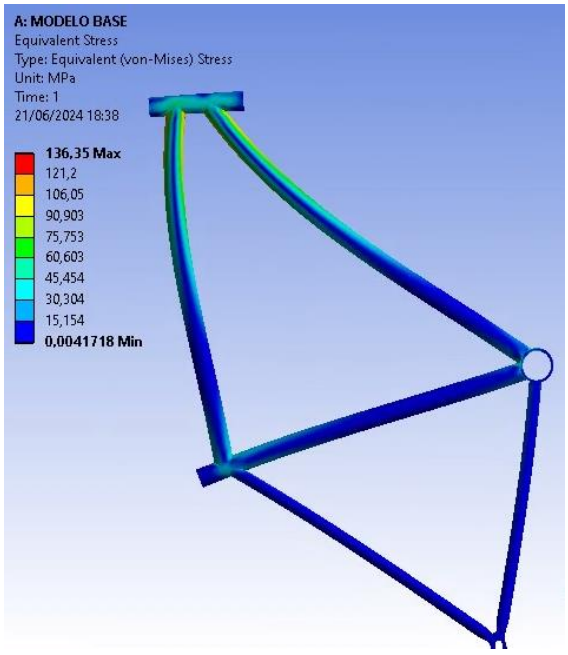


Figura 71. Tensiones equivalentes de Von Mises del modelo base

El límite elástico es la tensión máxima que un material puede soportar sin sufrir deformación plástica permanente. Es fundamental que las tensiones de Von Mises obtenidas en la simulación no superen este valor para evitar daños permanentes en el cuadro, por lo que este será nuestro valor de referencia a la hora de la optimización del diseño a partir de la variación del grosor del cuadro.

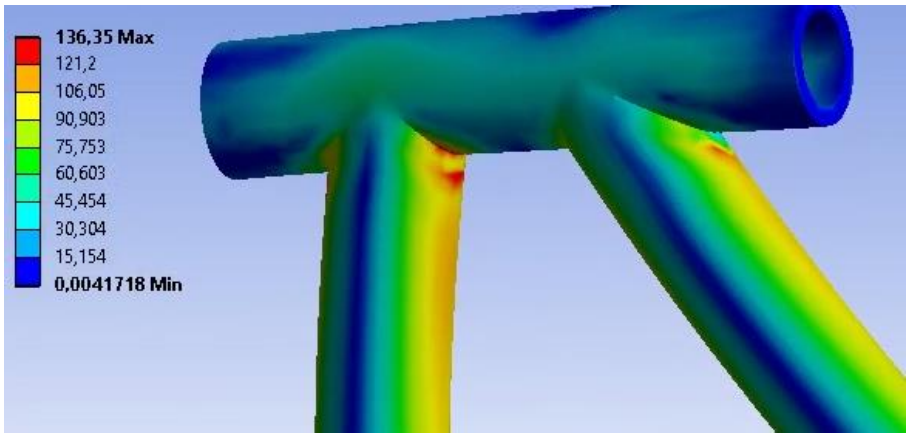


Figura 72. Localización potencial de posibles fallos estructurales

Observando las áreas críticas tras la realización de las simulaciones previas en el modelo base, se puede identificar claramente que la localización potencial de posibles fallos estructurales son los cordones de soldadura entre el tubo de dirección y los tubos superior e inferior del cuadro.

Tras esta observación, se recurre a la inclusión de un refinamiento de la malla en esta localización crítica, para obtener una información más precisa.

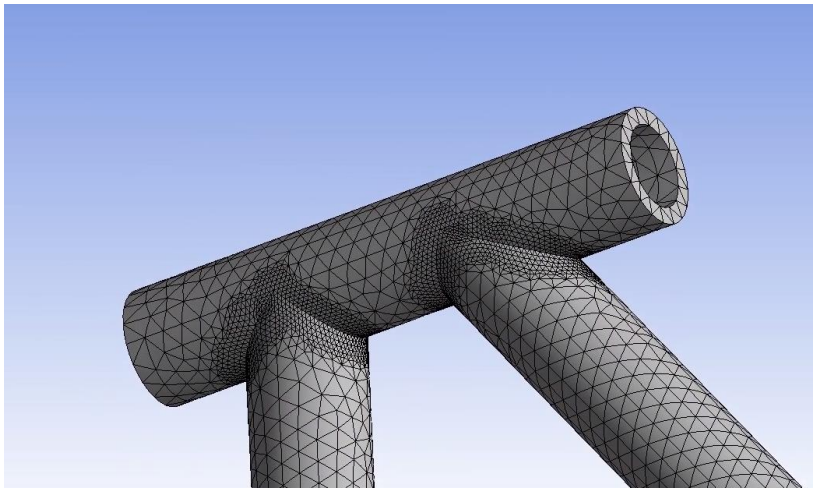


Figura 73. Aplicación del refinamiento de la malla en los cordones de soldadura

Una vez refinada la malla en las zonas críticas se vuelven a realizar las simulaciones para ver las variaciones respecto a los resultado sin esta operación. En este caso se ha implementado un refinamiento de grado 3 (máximo valor).

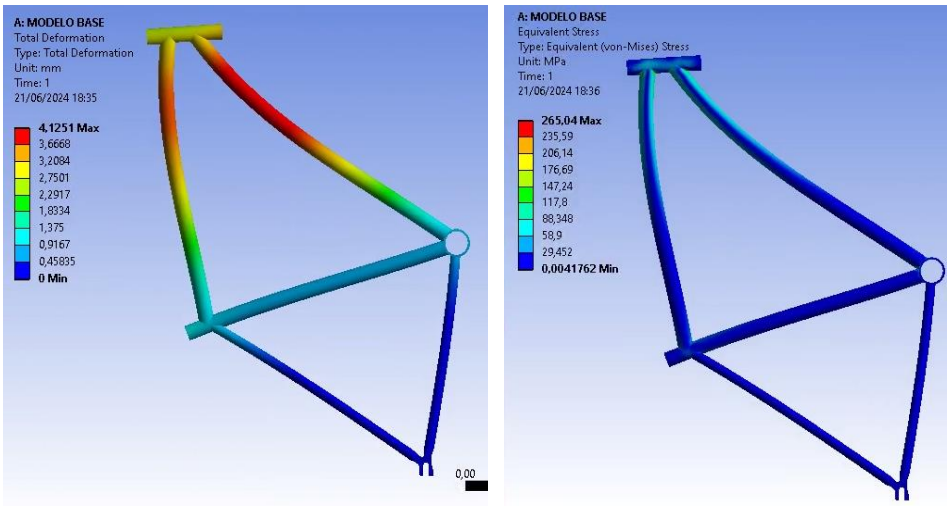


Figura 74. Resultados de las simulaciones del modelo base con refinamiento de la malla

Como se puede comprobar, claramente es necesario la implementación de este refinamiento en todas las simulaciones ya que los valores de las deformaciones y de las tensiones equivalentes han aumentado considerablemente con esta operación, por lo que se implementará en el resto como medida en pro de la seguridad estructural.

En resumen, las simulaciones en el cuadro de una bicicleta son fundamentales para identificar áreas críticas, optimizar el diseño, validar materiales, y garantizar la seguridad y durabilidad del cuadro.

7. Modelado paramétrico para diferentes casos de estudio

Una vez ya se ha definido claramente la metodología de trabajo y el diseño del modelo base parametrizado, se tiene toda la información necesaria para poder llevar a cabo el modelado paramétrico para diferentes casos de estudio, ejecutando así el alcance de este trabajo.

Para ello, inicialmente se van a definir las características de cada uno de los casos de estudio, agrupando los datos antropométricos y sus consecuentes dimensiones relacionadas para nuestro diseño.

Posteriormente se va a proceder a la configuración de cada uno de los modelos paramétricos en cada caso, modificando las tablas de diseño y generando un archivo de CATIA para cada caso. Una vez definidos los nuevos modelos parametrizados a partir de los datos de entrada, se procede a la optimización del cuadro a partir de la aplicación de las simulaciones desarrolladas en el punto 6.

Finalmente, una vez obtenido el cuadro optimizado, se procederá a mostrar los resultados finales de cada caso.

7.1. Definición de los casos de estudio

7.1.1. Parámetros de entrada

Los parámetros de entrada han sido generados de manera aleatoria de manera realista, teniendo en cuenta que en los 3 casos tengamos características físicas diferenciadas, para poder ver la ejecución de la parametrización en casos suficientemente diferenciados para poder apreciar las diferencias.

Como ya se ha mencionado en el apartado 5.3.2, los parámetros de entrada dimensionales respecto a la antropometría que son aportados son la longitud de la entrepierna, del brazo, del muslo, flexibilidad, longitud del tronco, del antebrazo y de la pierna, pudiendo obtener a partir de los mismo los valores dimensionales de nuestra bicicleta, los cuales como se ha desarrollado en el alcance del trabajo, son nuestros variables de entrada para cada caso de estudio.

Parámetro	Caso A	Caso B	Caso C
Longitud de entrepierna (cm)	68	77	84
Longitud de brazo (cm)	64	73	85
Longitud de muslo (cm)	52	65	78
Flexibilidad (cm)	12	10	8
Longitud del tronco (cm)	60	72	85
Longitud del antebrazo (cm)	35	42	50
Longitud de la pierna (cm)	45	67	75
Longitud tubo asiento (cm)	44,2	50,05	54,6
Altura sillín (cm)	60,79	68,83	75,09
Distancia sillín-manillar (cm)	50,66	63,04	75,51
Diferencia alturas sillín-manillar (cm)	3,07	5,51	7,68
Retroceso del sillín (cm)	2,18	2,32	5,69

Tabla 2. Parámetros de entrada de los casos de estudio

Cada uno de estos parámetros dimensionales, están directa o indirectamente relacionados con los parámetros definidos en nuestro diseño, por lo que antes de continuar, es necesario desarrollar estas relaciones que van a definir las dimensiones de nuestro diseño.

Respecto a la longitud del tubo de asiento, la relación en este caso es directa con el parámetro B1, ya que este parámetro está asociado con esta dimensión en el archivo del cuadro, por lo que se incorporará en las tablas de diseño teniendo únicamente en cuenta el cambio dimensional a milímetros.

Para la dimensión de la altura del sillín, se ha generado el parámetro Z1, el cual define la restricción de una distancia en el ensamblaje tipo "*Offset constraint*" entre el componente del cuadro y el sillín del componente tija + sillín.

El parámetro de entrada denominado como distancia sillín-manillar, como se explica en el apartado 5.3.2, es la distancia desde el sillín hasta la mitad del tubo del manillar. Este dato se incorporará en el parámetro definido como C3, que es la distancia vertical entre el eje de la biela y el punto superior del tubo de dirección. Para la explicación de su incorporación en este parámetro es necesario tener en cuenta el valor del retroceso del sillín, por lo que se va a definir este parámetro de entrada para poder continuar.

El retroceso del sillín es la distancia horizontal entre el sillín y el eje de la biela. Para la implementación de esta variable, se incluirá en el parámetro definido como B2, que es el ángulo entre el eje horizontal y el tubo de asiento.

Teniendo en cuenta que hemos obtenido como parámetro el valor de la longitud del tubo de asiento, y que este nuevo valor, nos aporta la distancia entre el eje de la biela y el asiento, se puede visualizar un triángulo rectángulo en el que la incógnita que buscamos sería el valor del ángulo, en este caso denominado como B2. Para ello, se sigue la siguiente ecuación.

$$B2 = \cos^{-1} \frac{Retroceso\ sillín}{B1} \quad (2)$$

Una vez obtenido este parámetro e incluido la variable del retroceso del sillín, se puede continuar con la incorporación de la distancia entre el sillín y el manillar. Para ello, partimos de la base que la distancia entre el sillín y el manillar será la longitud total en este caso, por lo que es fácil visualizar que:

$$Distancia\ sillín\ y\ manillar = Retroceso\ sillín + C3 + Distancia\ horizontal\ potencia \quad (3)$$

Por lo que, a partir de estos datos, podemos incorporar esta variable dentro del parámetro C3, despejando:

$$C3 = Distancia\ sillín\ y\ manillar - Retroceso\ sillín - Distancia\ horizontal\ potencia \quad (4)$$

Teniendo en cuenta que el valor dimensional de la distancia horizontal de la potencia es la longitud que hay entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto del usuario con el manillar, que también se engloba en este dato.

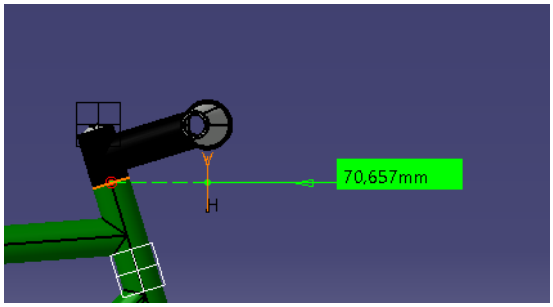


Figura 75. Distancia horizontal entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto del manillar

Por último, la incorporación del dato de la diferencia de alturas entre el sillín y el manillar, el cual se incorporará en el parámetro definido como C2, que es la distancia vertical entre el eje de la biela y el punto superior del tubo de dirección. Para ello, debemos recurrir de nuevo a la aplicación de funciones trigonométricas.

$$C2 = Altura\ sillín \cdot \sin(B2) - Diferencia\ altura\ sillín\ y\ manillar - Distancia\ vertical\ potencia \quad (5)$$

El valor de la distancia vertical de la potencia es la longitud que hay entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto del usuario con el manillar.

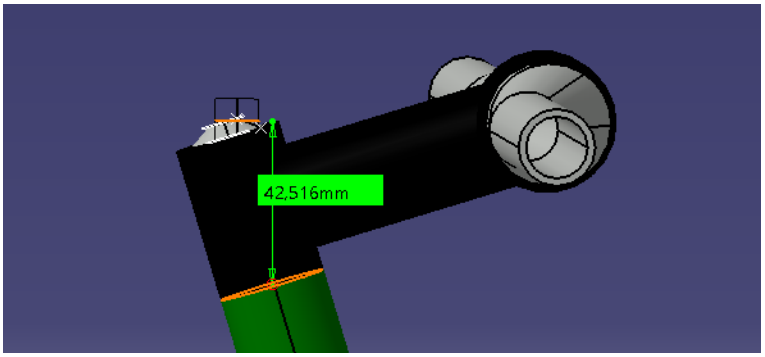


Figura 76. Distancia vertical entre el punto superior del tubo de dirección y el punto de contacto del manillar

El conjunto de todos los parámetros a incluir en las diferentes tablas de diseño de cada cuadro y ensamblaje se encuentra en el *Anexo III*, en la tabla 6, en la que se pueden comprobar la aplicación de estos parámetros de entrada de cada caso de estudio a los valores de las variables definidas en la parametrización de este trabajo.

7.2. Caso de estudio A

7.2.1. Parámetros de entrada

Los parámetros dimensionales aportados para la realización de esta caso de estudio son los siguientes.

Parámetro	Caso A
Longitud de entrepierna (cm)	68
Longitud de brazo (cm)	64
Longitud de muslo (cm)	52
Flexibilidad (cm)	12
Longitud del tronco (cm)	60
Longitud del antebrazo (cm)	35
Longitud de la pierna (cm)	45
Longitud tubo asiento (cm)	44,2
Altura sillín (cm)	60,79
Distancia sillín-manillar (cm)	50,66
Diferencia alturas sillín-manillar (cm)	3,07
Retroceso del sillín (cm)	2,18

Tabla 3. Parámetros de entrada del caso A

El material empleado para este caso de estudio es el aluminio. Las propiedades de este material, establecidas por el catálogo de ANSYS, a tener en cuenta para las simulaciones y la posterior comprobación de las tensiones equivalentes obtenidas son las siguientes.

Material	Límite Elástico (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Coeficiente de Poisson
Aluminio	280	71.000	0,33

Tabla 4. Propiedades del material del caso A

7.2.2. Optimización del diseño

Una vez establecidos los parámetros de entrada del caso de estudio, se procede a modificar las dimensiones del cuadro a partir de los valores parametrizados definidos, a partir de las tablas de diseño relacionadas a los parámetros (véase el Anexo III)

Para la ejecución de las simulaciones se variará el valor del grosor del cuadro, parámetro definido como B4, comprobando que para la hipótesis de carga establecidas no se supere el límite elástico del material aportado como dato.

Las coordenadas punto de aplicación de la carga se obtienen a partir del archivo del cuadro, siendo en este caso las siguientes:

Coordenada	Valor (mm)
X	0
Y	556,596
Z	258

Tabla 5. Coordenadas de aplicación de la carga del caso A

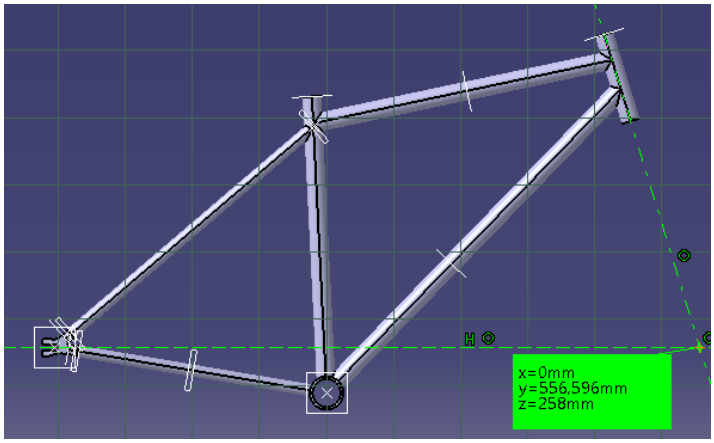


Figura 77. Obtención de las coordenadas del punto de aplicación de la carga del caso A

En este caso, se ha comenzado por la realización de las simulaciones con un valor estándar de 4mm de grosor, obteniendo que con esta valor se cumple una tensión máxima inferior al límite elástico. Igualmente, se confirma que con un espesor menor no se cumple este requisito para tener claro que es el grosor óptimo para este diseño. Los valores obtenidos de las diferentes simulaciones son los representados en la siguiente tabla.

	Grosor - B4	
	4 mm	2 mm
Deformacionte totales máxima (mm)	3,7087	5,1168
Tension máxima (MPa)	264,66	308,02

Tabla 6. Resultados obtenidos en las simulaciones del caso A

7.2.3. Resultados

Tras la evaluación de los resultados obtenidos en las simulaciones, se ha podido concretar que el grosor del cuadro será de 4mm. En la figura 80, podemos observar las pantallas de las deformaciones totales y las tensiones obtenidas en las simulaciones con los parámetros obtenidos como la solución de este caso.

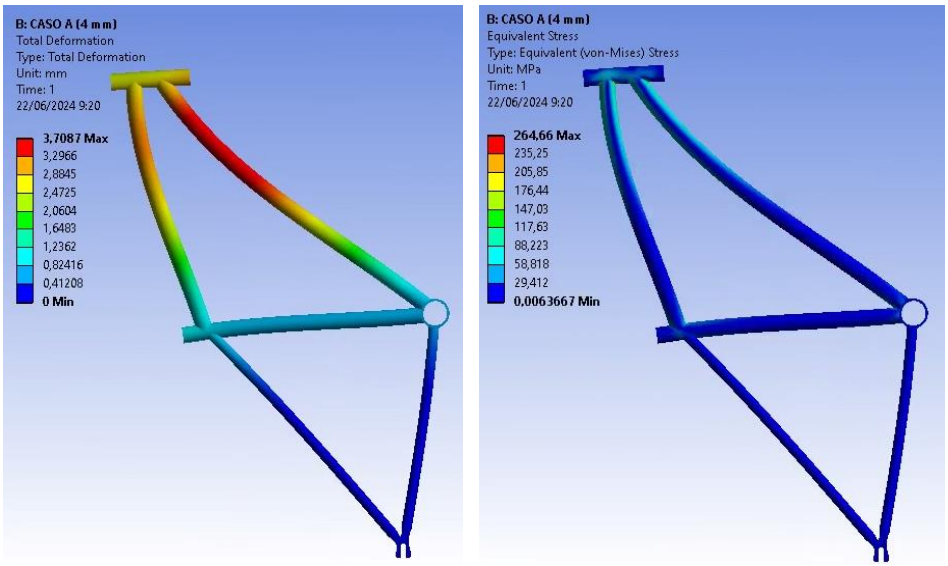


Figura 78. Valores de las simulaciones del resultado del caso A

En paralelo, en el Anexo IV se pueden visualizar las pantallas de las deformaciones totales y tensiones obtenidas en todas las diferentes casuísticas ensayadas para su revisión, a falta de las obtenidas como resultados del caso de estudio que se presentan en este apartado.

Una vez ya definidos todos las variables del caso de estudio, por lo que podemos implementar estos valores en la parametrización del ensamblaje y obtener el producto final con las condiciones establecidas.

Figura 79. Resultado producto final caso de estudio A

7.3. Caso de estudio B

7.3.1. Parámetros de entrada

Los parámetros dimensionales aportados para la realización de esta caso de estudio son los siguientes.

Parámetro	Caso B
Longitud de entrepierna (cm)	77
Longitud de brazo (cm)	73
Longitud de muslo (cm)	65
Flexibilidad (cm)	10
Longitud del tronco (cm)	72
Longitud del antebrazo (cm)	42
Longitud de la pierna (cm)	67
Longitud tubo asiento (cm)	50,05
Altura sillín (cm)	68,83
Distancia sillín-manillar (cm)	63,04
Diferencia alturas sillín-manillar (cm)	5,51
Retroceso del sillín (cm)	2,32

Tabla 7. Parámetros de entrada del caso B

El material empleado para este caso de estudio es el acero. Las propiedades de este material, establecidas por el catálogo de ANSYS son las siguientes.

Material	Límite Elástico (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Coeficiente de Poisson
Acero	250	20.000	0,3

Tabla 8. Propiedades del material del caso B

7.3.2. Optimización del diseño

Una vez establecidos los parámetros de entrada del caso de estudio, se procede a modificar las dimensiones del cuadro a partir de los valores parametrizados definidos, a partir de las tablas de diseño relacionadas a los parámetros (véase el Anexo III)

Al igual que se ha aplicado en el caso anterior, para la ejecución de las simulaciones se variará el valor del grosor del cuadro, parámetro definido como B4, comprobando que para la hipótesis de carga establecidas no se supere el límite elástico del material aportado como dato.

Las coordenadas punto de aplicación de la carga se obtienen a partir del archivo del cuadro, siendo en este caso las siguientes:

Coordenada	Valor (mm)
X	0
Y	696,117
Z	258

Tabla 9. Coordenadas de aplicación de la carga del caso B

En este caso, se ha comenzado por la realización de las simulaciones con un valor estándar de 4mm de grosor. Al no cumplir, se continúa realizando las simulaciones con diferentes grosores, en este caso se realizan con valores del parámetro B4 de 6 y 10mm.

Al haber realizado las simulaciones con un grosor de 10mm, y teniendo en cuenta que el radio del cuadro es de 14mm, obteniendo resultados de no cumplir el criterio de inferioridad del límite elástico, se procede a la modificación de otros parámetros.

Observando las pantallas de los casos anteriores y de este mismo, se puede observar que una gran cantidad de altas tensiones se producen en los cordones de soldadura del cuadro con la parte del tubo de dirección, por lo que llegados a este punto se parametriza el cuadro aumentando la variable del grosor de la parte del tubo de dirección, denominada como I1.

Los valores obtenidos de las diferentes simulaciones son los representados en la siguiente tabla.

	Grosor - B4/I1 (mm)				
	4	6	10	8/6	10/6
Deformacionte totales máxima (mm)	2,099	1,846	1,7157	1,7097	1,6765
Tension equivalente máxima (MPa)	315,4	307,8	317,98	269,46	244,71

Tabla 10. Resultados obtenidos en las simulaciones del caso B

Como se puede observar, con un grosor de 10mm del cuadro y con un valor de 6mm de grosor en la parte del tubo de dirección obtenemos unos valores de tensiones equivalentes inferiores al límite elástico del material.

7.3.3. Resultados

Tras la evaluación de los resultados obtenidos en las simulaciones, se ha podido concretar que el grosor del cuadro será de 10mm en los tubos superior e inferior del cuadro y de 6mm en la parte del tubo de dirección. Las deformaciones totales y las tensiones obtenidas en las simulaciones con los parámetros obtenidos son las siguientes.

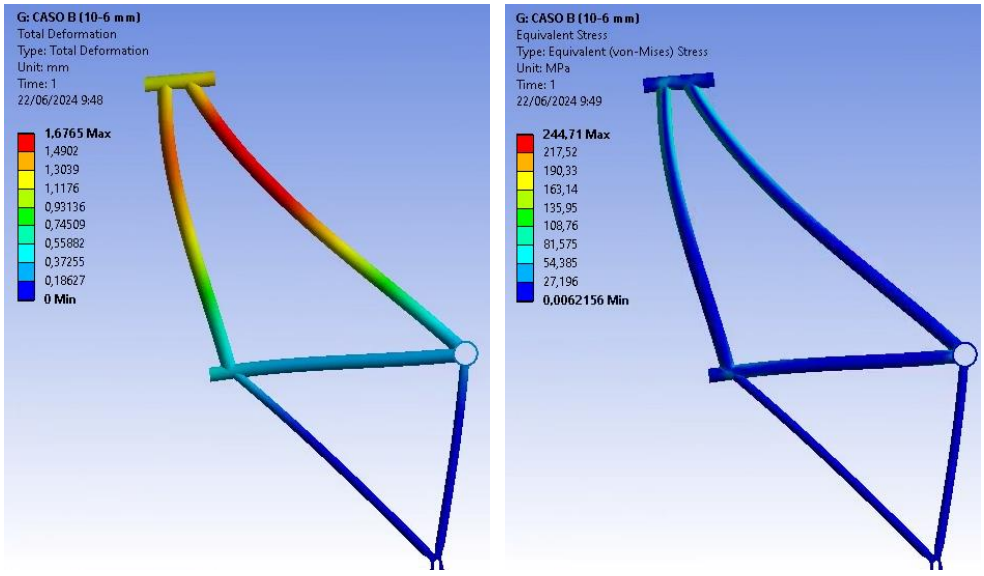


Figura 80. Valores de las simulaciones del resultado del caso B

Como se ha mencionado anteriormente, en el Anexo IV se pueden visualizar las deformaciones totales y tensiones obtenidas en todas las diferentes casuísticas ensayadas para su revisión.

Una vez ya definidos todos las variables del caso de estudio, por lo que podemos implementar estos valores en la parametrización del ensamblaje y obtener el producto final con las condiciones establecidas.

Figura 81. Resultado producto final caso de estudio B

7.4. Caso de estudio C

7.4.1. Parámetros de entrada

Los parámetros dimensionales aportados para la realización de esta caso de estudio son los siguientes.

Parámetro	Caso C
Longitud de entrepierna (cm)	84
Longitud de brazo (cm)	85
Longitud de muslo (cm)	78
Flexibilidad (cm)	8
Longitud del tronco (cm)	85
Longitud del antebrazo (cm)	50
Longitud de la pierna (cm)	75
Longitud tubo asiento (cm)	54,6
Altura sillín (cm)	75,09
Distancia sillín-manillar (cm)	75,51
Diferencia alturas sillín-manillar (cm)	7,68
Retroceso del sillín (cm)	5,69

Tabla 11. Parámetros de entrada del caso C

El material empleado para este caso de estudio es el aluminio. Las propiedades de este material, establecidas por el catálogo de ANSYS, a tener en cuenta para las simulaciones y la posterior comprobación de las tensiones equivalentes obtenidas son las siguientes.

Material	Límite Elástico (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Coeficiente de Poisson
Aluminio	280	71.000	0,33

Tabla 12. Propiedades del material del caso C

7.4.2. Optimización del diseño

Una vez establecidos los parámetros de entrada del caso de estudio, se procede a modificar las dimensiones del cuadro a partir de los valores parametrizados definidos, a partir de las tablas de diseño relacionadas a los parámetros (véase el Anexo III).

Las coordenadas punto de aplicación de la carga se obtienen a partir del archivo del cuadro, siendo en este caso las siguientes:

Coordenada	Valor (mm)
X	0
Y	798,598
Z	258

Tabla 13. Coordenadas de aplicación de la carga del caso C

En este caso, se ha comenzado por la realización de las simulaciones con un valor estándar de 4mm de grosor. Al no cumplir, se continúa realizando las simulaciones directamente con un valor de 8mm.

Siguiendo la dinámica aplicada en el caso de estudio anterior, se comienza a variar el grosor de la parte del tubo de dirección, obteniendo que con unos valores de B4 igual a 8mm y de I1 de valor 6mm, se obtienen tensiones equivalentes en las simulaciones inferiores al límite elástico del material en este caso.

Los valores obtenidos de las diferentes simulaciones son los representados en la siguiente tabla.

	Grosor - B4/I1 (mm)		
	4	8	8/6
Deformaciontes totales máxima (mm)	8,1994	6,8172	6,6913
Tension equivalente máxima (MPa)	338,96	330,58	262,2

Tabla 14. Resultados obtenidos en las simulaciones del caso C

7.4.3. Resultados

Tras la evaluación de los resultados obtenidos en las simulaciones, se ha podido concretar que el grosor del cuadro será de 8mm en los tubos superior e inferior del cuadro y de 6mm en la parte del tubo de dirección. Las deformaciones totales y las tensiones obtenidas en las simulaciones con los parámetros obtenidos son las siguientes.

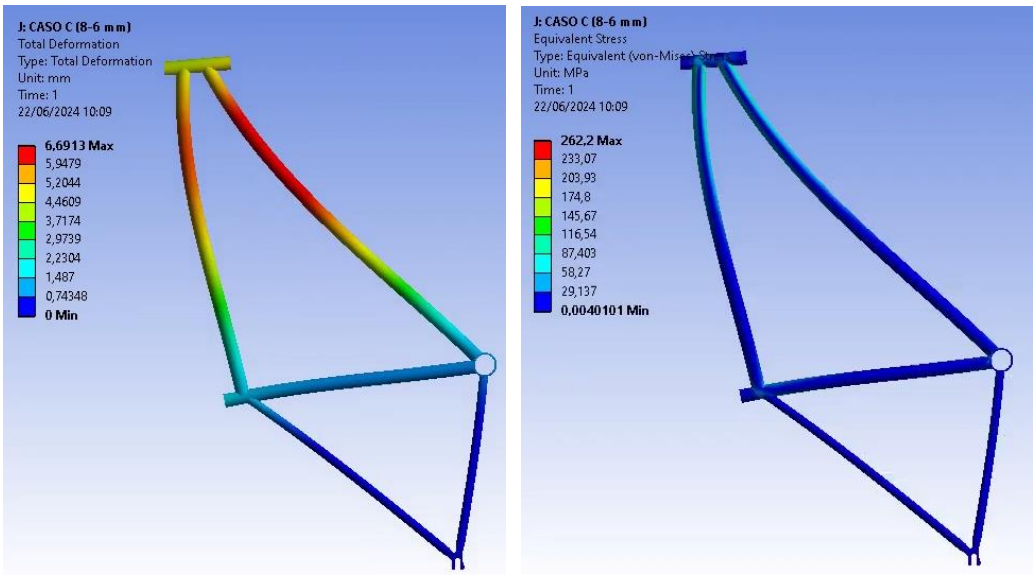


Figura 82. Valores de las simulaciones del resultado del caso C

Una vez ya definidos todos las variables del caso de estudio, por lo que podemos implementar estos valores en la parametrización del ensamblaje y obtener el producto final con las condiciones establecidas.

Figura 83. Resultado producto final caso de estudio C

8. Conclusiones

La utilización de la metodología de parametrización en este trabajo ha permitido ajustar de manera eficiente las dimensiones del cuadro y del producto final para las diferentes configuraciones establecidas.

Una de las principales limitaciones de la aplicación del diseño de un modelo parametrizado es su alta complejidad. La implementación de un valor de tolerancia a cualquier producto, teniendo en cuenta el gran número de relaciones entre parámetros y casuísticas posibles, requiere de un gran conocimiento de este para mantener una homogeneidad lógica.

Una vez obtenido el modelo base parametrizado, la flexibilidad que este modelo permite, ha incrementado exponencialmente la rapidez en la que permite evaluar todas las configuraciones posibles.

Por lo que, respecto a la utilización de esta metodología, la principal conclusión obtenida es que, a pesar de su complejidad, es una poderosa herramienta que facilita el diseño garantizando la flexibilidad y la mejora continua de cualquier producto.

Respecto al proceso de optimización, la selección del material y la determinación precisa del grosor del cuadro son esenciales para garantizar la seguridad y durabilidad del producto. Para ello, un punto clave es la identificación de las zonas críticas de nuestro modelo a partir de las simulaciones realizadas, las cuales permite un mejor entendimiento de como las cargas aplicadas afectarán al producto, permitiendo optimizarlo en base a esto.

Los resultados de este estudio se pueden aplicar en el proceso de fabricación real de una bicicleta, asegurando que el producto final sea de alta calidad y cumpla con los estándares establecidos.

Las conclusiones de este trabajo demuestran la importancia de una metodología de diseño flexible, la necesidad de una evaluación precisa de materiales y parámetros, y la eficacia de las simulaciones para validar y optimizar el diseño. Esto permite que el diseño y la fabricación posterior sean más eficientes.

9. Bibliografía

Asociación Española de Normalización. (2023). Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte 6: Métodos de ensayo del cuadro y la horquilla. (ISO 4210-6:2023).

Bike Fit - Physiopedia. (n.d.). Retrieved May 12, 2024, from https://www.physio-pedia.com/Bike_Fit?utm_source=physiopedia&utm_medium=related_articles&utm_campaign=ongoing_internal

Cabello, E. V. (n.d.). ANTROPOMETRÍA.

Carmenate Milián, L., Moncada Chéve, F. A., & Boras Leiva, E. W. (2014, May). Manual de medidas antropométricas. https://repositorio.una.ac.cr/bitstream/handle/11056/8632/MANUAL%20ANTROPOMETRIA.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cycling Biomechanics - Physiopedia. (n.d.). Retrieved May 12, 2024, from https://www.physio-pedia.com/Cycling_Biomechanics

Farinola, M. G., & Bortz, J. E. (2023). Anthropometry and its meaning in 19th century European science. Revista Argentina de Antropologia Biologica, 25(2). https://doi.org/10.24215/18536387E067

Fonda, B., & Sarabon, N. (2010). Biomechanics of Cycling (Literature review). Sport Science Review, XIX(2). https://doi.org/10.2478/v10237-011-0012-0

Fraile, M. A. M. (n.d.). EL NUEVO PARADIGMA CONTEMPORÁNEO. DEL DISEÑO PARAMÉTRICO A LA MORFOGÉNESIS DIGITAL. Retrieved January 29, 2024, from http://pasalavida.org/2010/05/17/iwamoto-scott-edgar-street-towers/

Hurtado Silva, P. M. (2010). Metodología y aplicaciones de diseño paramétrico.

Mercado Colmenero, J. M. (2013). Diseño y Optimización de cuadro de bicicleta de montña mediante el método FEM.

Productos CATIATM - Dassault Systèmes®. (n.d.). Retrieved February 22, 2024, from https://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/catia/productos/

Rivero Palomo, V., Ferrer-Roca, V., Ogueta-Alday, A., Rodríguez-Marroyo, J. A., & García-López, J. (2013). Influencia de la longitud de la biela en la eficiencia y biomecánica del pedaleo submáximo. Biomecánica, 21(1), 46–57. https://doi.org/10.5821/SIBB.V21I1.4668

Romeo, J. G., & Latorre Biel, I. (2010). Diseño de un cuadro de bicicleta de montaña. https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/1849

Tema 10. Diseño Paramétrico. Tablas de Diseño. (n.d.).

The Biomechanics of Cycling: Exercise and Sport Sciences Reviews. (n.d.). Retrieved February 17, 2024, from https://journals.lww.com/acsm-essr/Citation/1991/01000/4_The_Biomechanics_of_Cycling.4.aspx

Timmer, C. A. W. (1991). Cycling Biomechanics: A Literature Review. Https://Doi.Org/10.2519/Jospt.1991.14.3.106, 14(3), 106–113. https://doi.org/10.2519/JOSPT.1991.14.3.106

UNIDAD 5 ANTROPOMETRIA | Ergonomia-ENERO-JUNIO Blog. (n.d.). Retrieved February 18, 2024, from https://ergonomia2010.wordpress.com/2010/05/06/unidad-5-antropometria/

10. Anexos

10.1. Anexo I. Parámetros definidos en la parametrización del modelo base

Part	Parámetro	Descripción	Valor	UDS	Componentes relacionados
Cuadro	A1	Radio exterior eje biela	25	mm	
Cuadro	A2	Grosor eje biela	4	mm	
Cuadro	A3	Longitud total lateral biela	50	mm	
Cuadro	B1	Longitud tubo asiento	520	mm	Tija+Sillín
Cuadro	B2	Ángulo tubo asiento respecto al eje horizontal	73,5	º	Tija+Sillín
Cuadro	B3	Radio exterior cuadro	14	mm	Suspensión, manillar, tija+sillín, potencia
Cuadro	B4	Grosor tubo superior e inferior	4	mm	
Cuadro	C1	Longitud tubo dirección	135	mm	Suspensión
Cuadro	C2	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	538	mm	
Cuadro	C3	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	386	mm	
Cuadro	C4	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	73	º	Potencia
Cuadro	D1	Distancia conexión con tubo dirección inferior	50	mm	
Cuadro	E1	Distancia conexión con tubo asiento superior	40	mm	
Cuadro	E2	Distancia conexión con tubo dirección superior	40	mm	
Cuadro	F1	Longitud del eje rueda trasero	120	mm	
Cuadro	F2	Longitud de la vaina trasera inferior	405	mm	
Cuadro	F3	Altura del punto de contacto de la vaina respecto al eje biela	68	mm	
Cuadro	F5	Radio exterior vaina trasera	9	mm	
Cuadro	F6	Grosor vaina trasera	2	mm	
Cuadro	G1	Distancia con parte superior del tubo siento en la conexión (punto central)	45	mm	
Cuadro	H1	Dimensión A puntera trasera y delantera	5	mm	Suspensión
Cuadro	H2	Dimensión C puntera trasera	5	mm	
Cuadro	H3	Dimensión D puntera trasera	2	mm	
Cuadro	H4	Dimensión E puntera trasera	20	mm	
Cuadro	H5	Dimensión F puntera trasera	2	mm	
Cuadro	H6	Dimensión G puntera trasera y delantera	20	mm	Suspensión
Cuadro	H7	Grosor total puntera trasera y delantera	8	mm	Suspensión
Cuadro	G2	Longitud de la vaina trasera superior	445,43	mm	
Cuadro	I1	Grosor tubo dirección	4	mm	Suspensión, manillar
Cuadro	I2	Grosor tubo asiento	4	mm	Tija+Sillín
Suspension	S1	Longitud superior suspensión	40	mm	Potencia
Suspension	S3	Longitud desde punto superior tubo dirección hasta punto contacto eje delantero	491,475	mm	
Suspension	S4	Longitud horquilla	240	mm	
Suspension	S5	Longitud del eje de rueda delantero	100	mm	
Suspension	S6	Distancia vertical punto contacto eje delantero - fin de horquilla	30	mm	
Suspension	S7	Grosor suspensión	2	mm	Potencia, manillar
Suspension	S8	Dimensión B puntera delantera	40	mm	
Suspension	S9	Dimensión E puntera delantera	2,5	mm	
Manillar	M1	Longitud de la parte de la potencia	70	mm	
Manillar	M2	Longitud central hasta zona manillar	190	mm	
Manillar	M3	Ángulo hacia atrás	8	º	
Manillar	M4	Longitud total del manillar	560	mm	
Manillar	M5	Diámetro de la parte de la potencia del manillar	31,8	mm	Potencia
Manillar	M6	Grosor del manillar y potencia	2	mm	Potencia
Tija+Sillín	T1	Longitud total del asiento	270	mm	
Tija+Sillín	T2	Ancho total del asiento	143	mm	
Tija+Sillín	T3	Distancia tija - parte trasera sillín	70	mm	
Tija+Sillín	T4	Grosor tija	2	mm	
Potencia	P1	Longitud unión central	80	mm	
Potencia	P2	Longitud lateral conexión con manillar	30	mm	
Ensamblaje	Z1	Altura del sillín	650	mm	

Tabla 15. Parámetros definidos en la parametrización del modelo base

10.2. Anexo II. Relaciones de las variables dimensionales del modelo base a partir de los parámetros definidos

Archivo	Parte	REF	Especificaciones	CATIA	Árbol	Valor	UDS
Cuadro	Eje biela	1	Radio (exterior)	A1	Sketch 2	25	mm
Cuadro	Eje biela	2	Grosor	A2	Rib1	4	mm
Cuadro	Eje biela	3	Longitud lateral total	A3	Sketch 1	50	mm
Cuadro	Eje biela	4	Distancia extremo centro	A3/2	Sketch 1	25	mm
Cuadro	Tubo asiento	5	Longitud	B1	Sketch 3	520	mm
Cuadro	Tubo asiento	6	Ángulo respecto horizontal	B2	Sketch 3	73,5	º
Cuadro	Tubo asiento	7	Radio (exterior)	B3	Sketch 4	14	mm
Cuadro	Tubo asiento	8	Grosor	I2	Rib 2	4	mm
Cuadro	Tubo dirección	9	Longitud tubo dirección	C1	Sketch 7	135	mm
Cuadro	Tubo dirección	10	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	C2	Sketch 7	538	mm
Cuadro	Tubo dirección	11	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	C3	Sketch 7	386	mm
Cuadro	Tubo dirección	12	Ángulo respecto horizontal	C4	Sketch 7	73	º
Cuadro	Tubo dirección	13	Radio (exterior)	B3	Sketch 8	14	mm
Cuadro	Tubo dirección	14	Grosor	I1	Rib 3	4	mm
Cuadro	Tubo inferior	15	Distancia conexión con tubo dirección inferior	D1	Sketch 9	50	mm
Cuadro	Tubo inferior	16	Radio (exterior)	B3	Sketch 10	14	mm
Cuadro	Tubo inferior	17	Grosor	B4	Rib 4	4	mm
Cuadro	Tubo superior	18	Distancia conexión con tubo asiento superior	E1	Sketch 11	40	mm
Cuadro	Tubo superior	19	Distancia conexión con tubo dirección superior	E2	Sketch 11	40	mm
Cuadro	Tubo superior	20	Radio (Exterior)	B3	Sketch 12	14	mm
Cuadro	Tubo superior	21	Grosor	B4	Rib 5	4	mm
Cuadro	Vaina inferior izquierda (desde atrás)	22	Distancia centro eje vertical-centro vaina	A3/8	Sketch 13	6,25	mm
Cuadro	Vaina inferior izquierda (desde atrás)	23	Coordenadas eje X del punto conexión con la rueda respecto al centro de la vaina en el plano del eje	-(F1/2-A3/8)	Point 3	-53,75	mm

Cuadro	Vaina inferior izquierda (desde atrás)	24	Coordenadas eje Y del punto conexión con la rueda respecto al centro de la vaina en el plano del eje	-F2 (y)	Point 3	-405	mm
Cuadro	Vaina inferior izquierda (desde atrás)	25	Coordenadas eje Z del punto conexión con la rueda respecto al centro de la vaina en el plano del eje	F3 (z)	Point 3	68	mm
Cuadro	Vaina inferior izquierda (desde atrás)	26	Radio (Exterior)	F5	Sketch 14	9	mm
Cuadro	Vaina inferior izquierda (desde atrás)	27	Grosor	F6	Rib 6	2	mm
Cuadro	Vaina inferior derecha (desde atrás)	28	Distancia centro eje vertical-centro vaina	A3/8	Sketch 15	6,25	mm
Cuadro	Vaina inferior derecha (desde atrás)	29	Coordenadas eje X del punto conexión con la rueda respecto al centro de la vaina en el plano del eje	F1/2-A3/8	Point 4	53,75	mm
Cuadro	Vaina inferior derecha (desde atrás)	30	Coordenadas eje Y del punto conexión con la rueda respecto al centro de la vaina en el plano del eje	-F2 (y)	Point 4	-405	mm
Cuadro	Vaina inferior derecha (desde atrás)	31	Coordenadas eje Z del punto conexión con la rueda respecto al centro de la vaina en el plano del eje	F3 (z)	Point 4	68	mm
Cuadro	Vaina inferior derecha (desde atrás)	32	Radio (Exterior)	F5	Sketch 16	9	mm
Cuadro	Vaina inferior derecha (desde atrás)	33	Grosor	F6	Rib 7	2	mm
Cuadro	Vaina super izquierda (desde atrás)	34	Distancia con tubo siento superior en la conexión (Punto central)	G1	Sketch 18	45	mm
Cuadro	Vaina super izquierda (desde atrás)	35	Distancia centro vaina-eje tubo asiento (Eje X)	-B3/4	Point 5	-3,5	mm
Cuadro	Vaina super izquierda (desde atrás)	36	Medida unión - 30mm	G2	Line 8	445,43	mm
Cuadro	Vaina super izquierda (desde atrás)	37	Radio (exterior)	F5	Sketch 19	9	mm
Cuadro	Vaina super izquierda (desde atrás)	38	Grosor	F6	Rib 8	2	mm
Cuadro	Vaina super derecha (desde atrás)	39	Distancia centro vaina-eje tubo asiento (Eje X)	B3/4	Point 6	3,5	mm
Cuadro	Vaina super derecha (desde atrás)	40	Medida unión - 30mm	G2	Line 6	445,43	mm
Cuadro	Vaina super derecha (desde atrás)	41	Radio (exterior)	F5	Sketch 32	9	mm
Cuadro	Vaina super derecha (desde atrás)	42	Grosor	F6	Rib 9	2	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	43	Dimensión A puntera trasera	H1	Sketch 23	5	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	44	Dimensión B puntera trasera	F5-F6	Sketch 23	7	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	45	Dimensión C puntera trasera	H2	Sketch 23	5	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	46	Dimensión D puntera trasera	H3	Sketch 23	2	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	47	Dimensión E puntera trasera	H4	Sketch 23	20	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	48	Dimensión F puntera trasera	H5	Sketch 23	2	mm

Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	49	Dimensión G puntera trasera	H6	Sketch 23	20	mm
Cuadro	Puntera trasera derecha (desde atrás)	50	Grosor puntera	H7/2	Pad 3	4	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	51	Dimensión A puntera trasera	H1	Sketch 38	5	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	52	Dimensión B puntera trasera	F5-F6	Sketch 38	7	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	53	Dimensión C puntera trasera	H2	Sketch 38	5	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	54	Dimensión D puntera trasera	H3	Sketch 38	2	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	55	Dimensión E puntera trasera	H4	Sketch 38	20	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	56	Dimensión F puntera trasera	H5	Sketch 38	2	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	57	Dimensión G puntera trasera	H6	Sketch 38	20	mm
Cuadro	Puntera trasera izquierda (desde atrás)	58	Grosor puntera	H7/2	Pad 4	4	mm
Suspensión	Tubo dirección	59	Longitud superior	S1	Sketch 1	40	mm
Suspensión	Tubo dirección	60	Longitud tubo dirección	C1	Sketch 1	135	mm
Suspensión	Tubo dirección	61	Longitud desde punto inferior tubo dirección - punto de contacto eje delantero	S3-C1-S6	Sketch 1	326,475	mm
Suspensión	Tubo dirección	62	Longitud horquilla	S4	Sketch 1	240	mm
Suspensión	Tubo dirección	63	Distancia lateral centro fin horquilla - eje central	S5/2	Sketch 1	50	mm
Suspensión	Tubo dirección	64	Radio (exterior)	B3-I1	Sketch 2	10	mm
Suspensión	Tubo dirección	65	Grosor	S7	Rib 1	2	mm
Suspensión	Punto centro de contacto 1.1	66	Distancia vertical punto contacto eje delantero - fin de horquilla	-S6	Point 2	-30	mm
Suspensión	Punto centro de contacto 1.2	67	Distancia eje central al punto contacto	-S5/2	Point 3	-50	mm
Suspensión	Puntera delantera	68	Dimensión A puntera delantera	H1	Sketch 5	5	mm
Suspensión	Puntera delantera	69	Dimensión B puntera delantera	S8	Sketch 5	40	mm
Suspensión	Puntera delantera	70	Dimensión C puntera delantera	H6	Sketch 5	20	mm
Suspensión	Puntera delantera	71	Dimensión D puntera delantera	B3-I1	Sketch 5	10	mm
Suspensión	Puntera delantera	72	Dimensión E puntera delantera	S9	Sketch 5	2,5	mm
Suspensión	Puntera delantera	73	Grosor puntera	H7/2	Pad 1	4	mm
Suspensión	Punto de unión 1	74	Dimensión G punta trasera en delantera	H6	Point 4	20	mm
Suspensión	Punto de unión 2	75	Distancia eje central al punto contacto	-S5/2	Point 5	-50	mm
Suspensión	Punto de unión 3	76	Distancia vertical punto contacto eje delantero - fin de horquilla	S6	Point 6	30	mm
Suspensión	Cierre parte superior	77	Offset plano	I1	Plane 9 (offset)	4	mm
Suspensión	Cierre parte superior	78	Radio cierre superior	I1	Sketch 12	4	mm

Manillar	Manillar	79	Longitud de la parte de la potencia	M1	Sketch 1	70	mm
Manillar	Manillar	80	Distancia extremo potencia-centro	M1/2	Sketch 1	35	mm
Manillar	Manillar	81	Longitud central hasta zona manillar	M2	Sketch 1	190	mm
Manillar	Manillar	82	Ángulo hacia atrás	M3	Sketch 1	8	º
Manillar	Manillar	83	Longitud total	M4	Sketch 1	560	mm
Manillar	Manillar	84	Distancia extremo manillar-centro	M4/2	Sketch 1	280	mm
Manillar	Manillar	85	Diámetro de la parte de la potencia	M5/2	Sketch 2	15,9	mm
Manillar	Manillar	86	Grosor del manillar	M6	Rib 1, 2, 3	2	mm
Manillar	Manillar	87	Radio de la parte del manillar	B3-2·M6	Sketch 3, 4	10	mm
Tija+sillín	Sillín	88	Longitud total del asiento	T1	Sketch 1	270	mm
Tija+sillín	Sillín	89	Ancho total del asiento	T2	Sketch 1	143	mm
Tija+sillín	Tija	90	Longitud Tija	3·B1/4	Sketch 15	390	mm
Tija+sillín	Tija	91	Ángulo respecto a la horizontal	B2	Sketch 15	73,5	º
Tija+sillín	Tija	92	Distancia tija - parte trasera sillín	T3	Sketch 15	70	mm
Tija+sillín	Tija	93	Radio Tija	B3-I2	Sketch 16	10	mm
Tija+sillín	Tija	94	Grosor Tija	T4	Rib 1	2	mm
Potencia	Tubo dirección	95	Longitud superior suspensión	S1	Sketch 1	40	mm
Potencia	Tubo dirección	96	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	C4	Sketch 1	73	º
Potencia	Tubo dirección	97	Radio horquilla	B3	Sketch 5	14	mm
Potencia	Tubo dirección	98	Grosor	M6	Rib 2	2	mm
Potencia	Unión	99	Longitud unión central	P1	Sketch 6	80	mm
Potencia	Unión	100	Distancia eje	S1/2	Sketch 6	20	mm
Potencia	Unión	101	Radio unión	B3	Sketch 10	14	mm
Potencia	Unión	102	Grosor unión	M6	Rib 4	2	mm
Potencia	Manillar	103	Radio (interior)	M5/2	Sketch 7	15,9	mm
Potencia	Manillar	104	Grosor	M6	Rib 3	2	mm
Potencia	Manillar	105	Longitud lateral	P2	Sketch 8	30	mm
Potencia	Manillar	106	Distancia al centro	P2/2	Sketch 8	15	mm
Ensamblaje	Ensamblaje	107	Altura del sillín	Z1	Ensamblaje	650	mm

Tabla 16. Relaciones de las variables dimensionales del modelo base a partir de los parámetros definidos

10.3. Anexo III. Valores dimensionales de los parámetros para los diferentes casos de estudio

10.3.1. Caso de estudio A

			Caso A	Grosor - B4 (mm)	
Part	Parámetro	Descripción	UDS	4	2
Cuadro	A1	Radio exterior eje biela	mm	25	25
Cuadro	A2	Grosor eje biela	mm	4	4
Cuadro	A3	Longitud total lateral biela	mm	50	50
Cuadro	B1	Longitud tubo asiento	mm	442	442
Cuadro	B2	Ángulo tubo asiento respecto al eje horizontal	º	87,17	87,17
Cuadro	B3	Radio exterior cuadro	mm	14	14
Cuadro	B4	Grosor cuadro	mm	4	2
Cuadro	C1	Longitud tubo dirección	mm	135	135
Cuadro	C2	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	mm	533,94	533,94
Cuadro	C3	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	mm	414,14	414,14
Cuadro	C4	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	º	73	73
Cuadro	D1	Distancia conexión con tubo dirección inferior	mm	50	50
Cuadro	E1	Distancia conexión con tubo asiento superior	mm	40	40
Cuadro	E2	Distancia conexión con tubo dirección superior	mm	40	40
Cuadro	F1	Longitud del eje rueda trasero	mm	120	120
Cuadro	F2	Longitud de la vaina trasera inferior	mm	405	405
Cuadro	F3	Altura del punto de contacto de la vaina respecto al eje biela	mm	68	68
Cuadro	F5	Radio exterior vaina trasera	mm	9	9
Cuadro	F6	Grosor vaina trasera	mm	2	2
Cuadro	G1	Distancia con parte superior del tubo siento en la conexión (punto central)	mm	45	45
Cuadro	H1	Dimensión A puntera trasera y delantera	mm	5	5
Cuadro	H2	Dimensión C puntera trasera	mm	5	5
Cuadro	H3	Dimensión D puntera trasera	mm	2	2
Cuadro	H4	Dimensión E puntera trasera	mm	20	20
Cuadro	H5	Dimensión F puntera trasera	mm	2	2
Cuadro	H6	Dimensión G puntera trasera y delantera	mm	20	20
Cuadro	H7	Grosor total puntera trasera y delantera	mm	8	8
Cuadro	G2	Longitud de la vaina trasera superior	mm	479,5	479,5
Cuadro	I1	Grosor tubo dirección	mm	4	4
Cuadro	I2	Grosor tubo asiento	mm	4	4
		Deformaciontes totales máxima (mm)		3,7087	5,1168
		Tension equivalente máxima (MPa)		264,66	308,02

Tabla 17. Parámetros aplicados en las simulaciones del caso A

10.3.2. Caso de estudio B

			Caso B	Grosor - B4/I1 (mm)				
Part	Parámetro	Descripción	UDS	4	6	10	10/6	8/6
Cuadro	A1	Radio exterior eje biela	mm	25	25	25	25	25
Cuadro	A2	Grosor eje biela	mm	4	4	4	4	4
Cuadro	A3	Longitud total lateral biela	mm	50	50	50	50	50
Cuadro	B1	Longitud tubo asiento	mm	500,5	500,5	500,5	500,5	500,5
Cuadro	B2	Ángulo tubo asiento respecto al eje horizontal	º	87,34	87,34	87,34	87,34	87,34
Cuadro	B3	Radio exterior cuadro	mm	14	14	14	14	14
Cuadro	B4	Grosor cuadro	mm	4	6	10	10	8
Cuadro	C1	Longitud tubo dirección	mm	135	135	135	135	135
Cuadro	C2	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	mm	589,94	589,94	589,94	589,94	589,94
Cuadro	C3	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	mm	536,54	536,54	536,54	536,54	536,54
Cuadro	C4	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	º	73	73	73	73	73
Cuadro	D1	Distancia conexión con tubo dirección inferior	mm	50	50	50	50	50
Cuadro	E1	Distancia conexión con tubo asiento superior	mm	40	40	40	40	40
Cuadro	E2	Distancia conexión con tubo dirección superior	mm	40	40	40	40	40
Cuadro	F1	Longitud del eje rueda trasero	mm	120	120	120	120	120
Cuadro	F2	Longitud de la vaina trasera inferior	mm	405	405	405	405	405
Cuadro	F3	Altura del punto de contacto de la vaina respecto al eje biela	mm	68	68	68	68	68
Cuadro	F5	Radio exterior vaina trasera	mm	9	9	9	9	9
Cuadro	F6	Grosor vaina trasera	mm	2	2	2	2	2
Cuadro	G1	Distancia con parte superior del tubo siento en la conexión (punto central)	mm	45	45	45	45	45
Cuadro	H1	Dimensión A puntera trasera y delantera	mm	5	5	5	5	5
Cuadro	H2	Dimensión C puntera trasera	mm	5	5	5	5	5
Cuadro	H3	Dimensión D puntera trasera	mm	2	2	2	2	2
Cuadro	H4	Dimensión E puntera trasera	mm	20	20	20	20	20
Cuadro	H5	Dimensión F puntera trasera	mm	2	2	2	2	2
Cuadro	H6	Dimensión G puntera trasera y delantera	mm	20	20	20	20	20
Cuadro	H7	Grosor total puntera trasera y delantera	mm	8	8	8	8	8
Cuadro	G2	Longitud de la vaina trasera superior	mm	518,5	518,5	518,5	518,5	518,5
Cuadro	I1	Grosor tubo dirección	mm	4	4	4	6	6
Cuadro	I2	Grosor tubo asiento	mm	4	4	4	4	4
		Deformaciontes totales máxima (mm)		2,099	1,846	1,7157	1,6765	1,7097
		Tension equivalente máxima (MPa)		315,4	307,8	317,98	244,71	269,46

Figura 84. Parámetros aplicados en las simulaciones del caso B

10.3.3. Caso de estudio C

			Caso C	Grosor - B4/I1 (mm)		
Part	Parámetro	Descripción	UDS	4	8	8/6
Cuadro	A1	Radio exterior eje biela	mm	25	25	25
Cuadro	A2	Grosor eje biela	mm	4	4	4
Cuadro	A3	Longitud total lateral biela	mm	50	50	50
Cuadro	B1	Longitud tubo asiento	mm	546	546	546
Cuadro	B2	Ángulo tubo asiento respecto al eje horizontal	º	84,02	84,02	84,02
Cuadro	B3	Radio exterior cuadro	mm	14	14	14
Cuadro	B4	Grosor cuadro	mm	4	8	8
Cuadro	C1	Longitud tubo dirección	mm	135	135	135
Cuadro	C2	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	mm	627,50	627,50	627,50
Cuadro	C3	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	mm	627,54	627,54	627,54
Cuadro	C4	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	º	73	73	73
Cuadro	D1	Distancia conexión con tubo dirección inferior	mm	50	50	50
Cuadro	E1	Distancia conexión con tubo asiento superior	mm	40	40	40
Cuadro	E2	Distancia conexión con tubo dirección superior	mm	40	40	40
Cuadro	F1	Longitud del eje rueda trasero	mm	120	120	120
Cuadro	F2	Longitud de la vaina trasera inferior	mm	405	405	405
Cuadro	F3	Altura del punto de contacto de la vaina respecto al eje biela	mm	68	68	68
Cuadro	F5	Radio exterior vaina trasera	mm	9	9	9
Cuadro	F6	Grosor vaina trasera	mm	2	2	2
Cuadro	G1	Distancia con parte superior del tubo siento en la conexión (punto central)	mm	45	45	45
Cuadro	H1	Dimensión A puntera trasera y delantera	mm	5	5	5
Cuadro	H2	Dimensión C puntera trasera	mm	5	5	5
Cuadro	H3	Dimensión D puntera trasera	mm	2	2	2
Cuadro	H4	Dimensión E puntera trasera	mm	20	20	20
Cuadro	H5	Dimensión F puntera trasera	mm	2	2	2
Cuadro	H6	Dimensión G puntera trasera y delantera	mm	20	20	20
Cuadro	H7	Grosor total puntera trasera y delantera	mm	8	8	8
Cuadro	G2	Longitud de la vaina trasera superior	mm	529,9	529,9	529,9
Cuadro	I1	Grosor tubo dirección	mm	4	4	6
Cuadro	I2	Grosor tubo asiento	mm	4	4	4
		Deformaciontes totales máxima (mm)		8,1994	6,8172	6,6913
		Tension equivalente máxima (MPa)		338,96	330,58	262,2

Figura 85. Parámetros aplicados en las simulaciones del caso C

10.3.4. Resultado de valores dimensionales para todos los casos

Part	Parámetro	Descripción	UDS	Modelo Base	Caso A	Caso B	Caso C
Cuadro	A1	Radio exterior eje biela	mm	25	25	25	25
Cuadro	A2	Grosor eje biela	mm	4	4	4	4
Cuadro	A3	Longitud total lateral biela	mm	50	50	50	50
Cuadro	B1	Longitud tubo asiento	mm	520	442	500,5	546
Cuadro	B2	Ángulo tubo asiento respecto al eje horizontal	º	73,5	87,17	87,34	84,02
Cuadro	B3	Radio exterior cuadro	mm	14	14	14	14
Cuadro	B4	Grosor cuadro	mm	4	4	10	8
Cuadro	C1	Longitud tubo dirección	mm	135	135	135	135
Cuadro	C2	Distancia vertical eje-tubo dirección superior	mm	538	533,94	589,94	627,5
Cuadro	C3	Distancia horizontal eje-tubo dirección superior	mm	386	414,14	536,54	627,54
Cuadro	C4	Ángulo tubo dirección respecto al eje horizontal	º	73	73	73	73
Cuadro	D1	Distancia conexión con tubo dirección inferior	mm	50	50	50	50
Cuadro	E1	Distancia conexión con tubo asiento superior	mm	40	40	40	40
Cuadro	E2	Distancia conexión con tubo dirección superior	mm	40	40	40	40
Cuadro	F1	Longitud del eje rueda trasero	mm	120	120	120	120
Cuadro	F2	Longitud de la vaina trasera inferior	mm	405	405	405	405
Cuadro	F3	Altura del punto de contacto de la vaina respecto al eje biela	mm	68	68	68	68
Cuadro	F5	Radio exterior vaina trasera	mm	9	9	9	9
Cuadro	F6	Grosor vaina trasera	mm	2	2	5	4
Cuadro	G1	Distancia con parte superior del tubo siento en la conexión (punto central)	mm	45	45	45	45
Cuadro	H1	Dimensión A puntera trasera y delantera	mm	5	5	5	5
Cuadro	H2	Dimensión C puntera trasera	mm	5	5	5	5
Cuadro	H3	Dimensión D puntera trasera	mm	2	2	2	2
Cuadro	H4	Dimensión E puntera trasera	mm	20	20	20	20
Cuadro	H5	Dimensión F puntera trasera	mm	2	2	2	2
Cuadro	H6	Dimensión G puntera trasera y delantera	mm	20	20	20	20
Cuadro	H7	Grosor total puntera trasera y delantera	mm	8	8	8	8
Cuadro	G2	Longitud de la vaina trasera superior	mm	445,43	479,5	518,51	529,94
Cuadro	I1	Grosor tubo dirección	mm	4	4	6	6
Cuadro	I2	Grosor tubo asiento	mm	4	4	4	4
Suspension	S1	Longitud superior suspensión	mm	40	40	40	40
Suspension	S3	Longitud desde punto superior tubo dirección hasta punto contacto eje	mm	491	487	546	585
Suspension	S4	Longitud horquilla	mm	240	238	267	286
Suspension	S5	Longitud del eje de rueda delantero	mm	100	100	100	100
Suspension	S6	Distancia vertical punto contacto eje delantero - fin de horquilla	mm	30	30	30	30
Suspension	S7	Grosor suspensión	mm	2	2	2	2
Suspension	S8	Dimensión B puntera delantera	mm	40	40	40	40
Suspension	S9	Dimensión E puntera delantera	mm	2,5	2,5	2,5	2,5
Manillar	M1	Longitud de la parte de la potencia	mm	70	70	70	70
Manillar	M2	Longitud central hasta zona manillar	mm	190	190	190	190
Manillar	M3	Ángulo hacia atrás	º	8	8	8	8
Manillar	M4	Longitud total del manillar	mm	560	560	560	560
Manillar	M5	Diámetro de la parte de la potencia del manillar	mm	31,8	31,8	31,8	31,8
Manillar	M6	Grosor del manillar y potencia	mm	2	2	2	2
Tija+Sillín	T1	Longitud total del asiento	mm	270	270	270	270
Tija+Sillín	T2	Ancho total del asiento	mm	143	143	143	143
Tija+Sillín	T3	Distancia tija - parte trasera sillín	mm	70	70	70	70
Tija+Sillín	T4	Grosor tija	mm	2	2	2	2
Potencia	P1	Longitud unión central	mm	80	80	80	80
Potencia	P2	Longitud lateral conexión con manillar	mm	30	30	30	30
Ensamblaje	Z1	Altura del sillín	mm	650	607,9	688,3	750,9

Tabla 18. Resultado de los valores dimensionales de los parámetros para los diferentes casos de estudio

10.4. Anexo IV. Deformaciones totales y tensión equivalentes obtenidas en las simulaciones

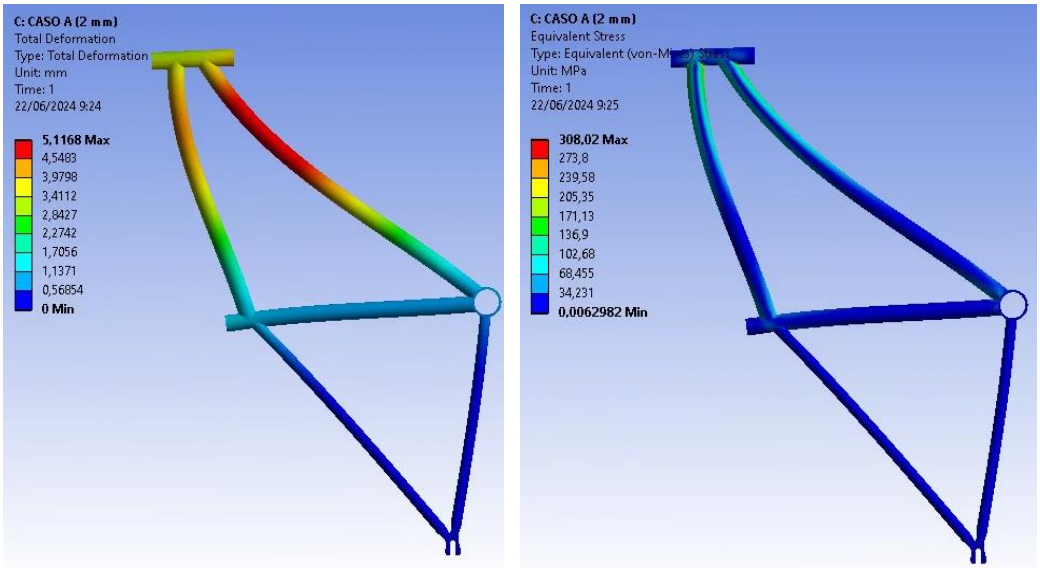


Figura 86. Valores de las simulaciones para B4=2mm del caso A

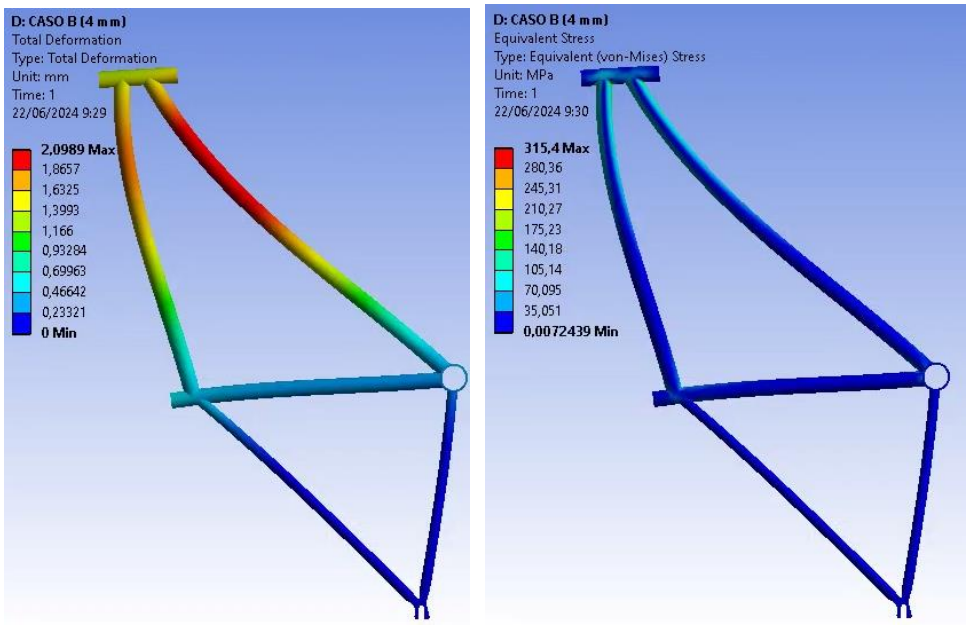


Figura 87. Valores de las simulaciones para B4=4mm del caso B

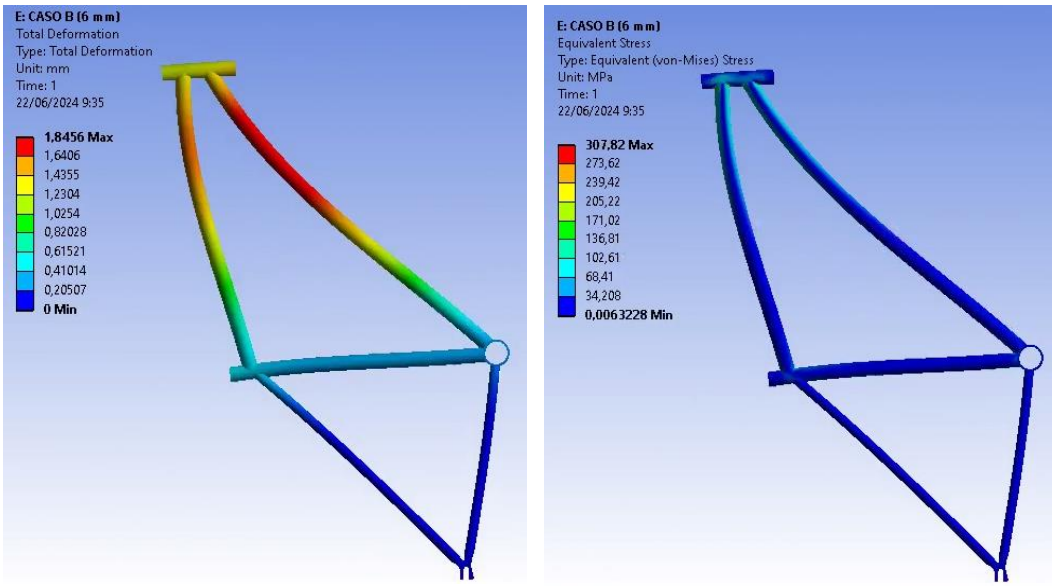


Figura 88. Valores de las simulaciones para B4=6mm del caso B

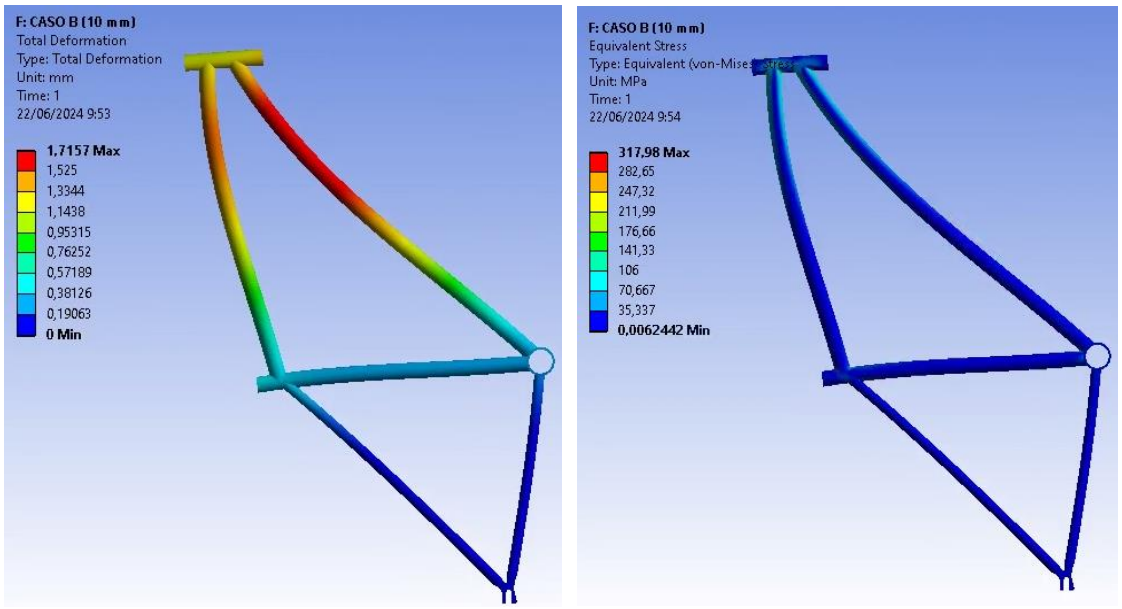


Figura 89. Valores de las simulaciones para B4=10mm del caso B

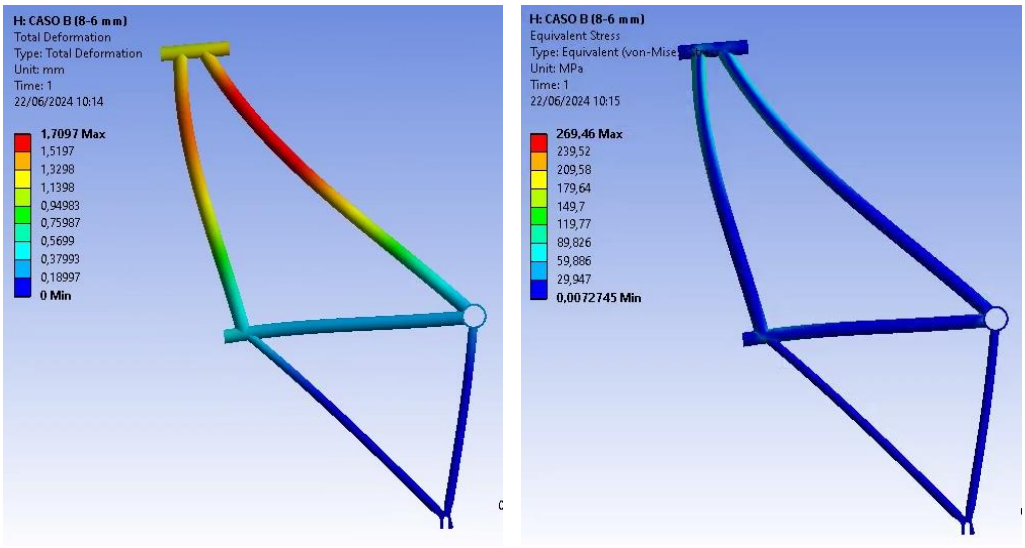


Figura 90. Valores de las simulaciones para B4=4mm y I1=6mm del caso B

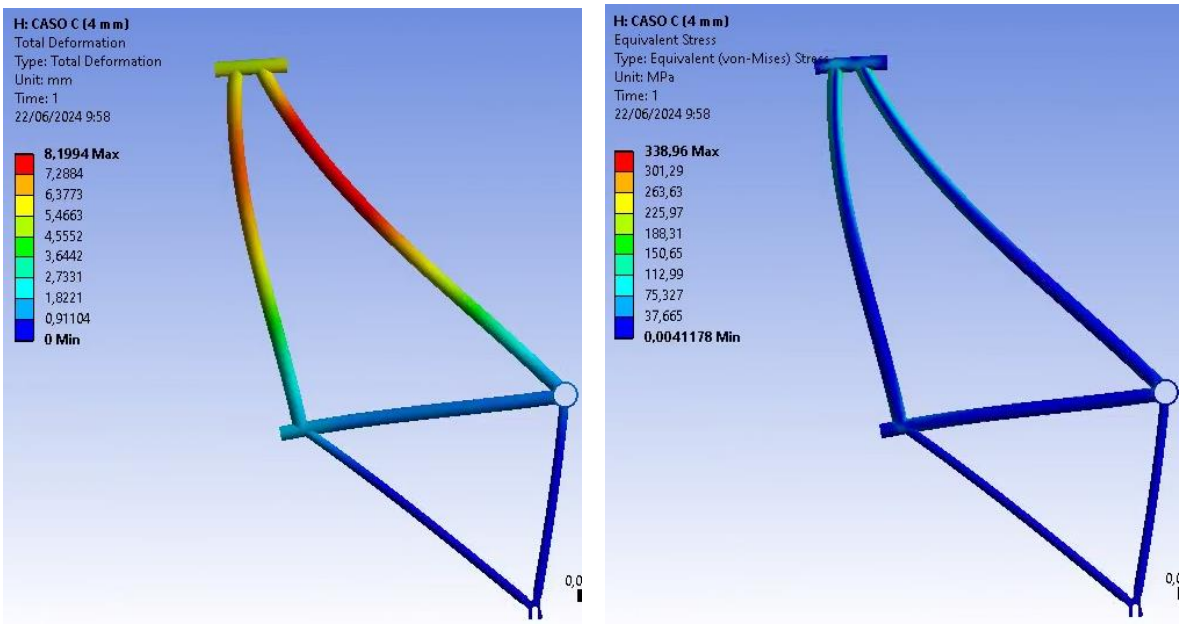


Figura 91. Valores de las simulaciones para B4=4mm del caso C

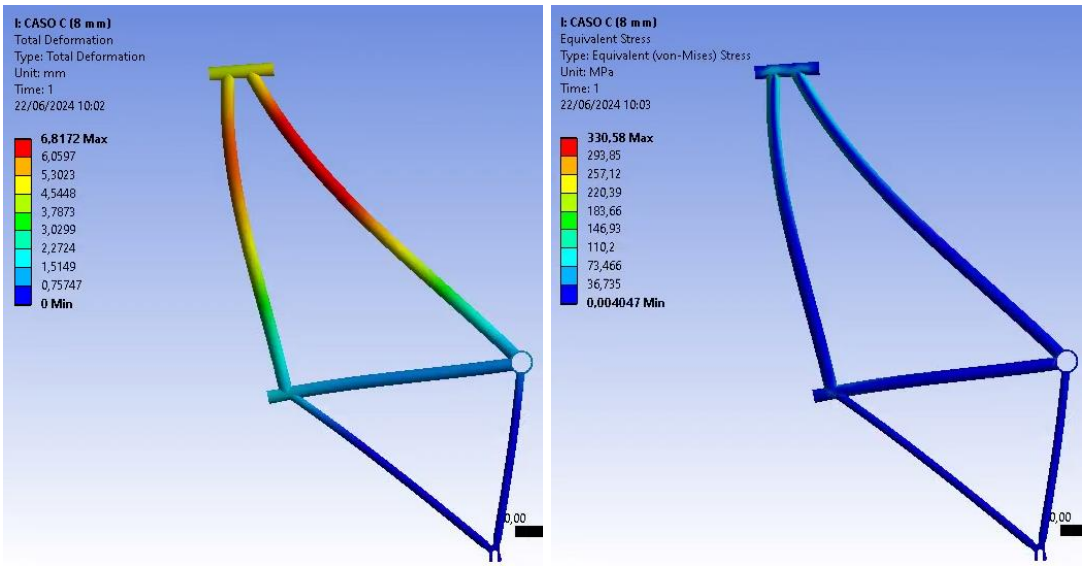


Figura 92. Valores de las simulaciones para B4=8mm del caso B