



Universidad
Zaragoza

TRABAJO FIN DE GRADO

DISEÑO, CÁLCULO Y FABRICACIÓN DE MANILLAR DE BICICLETA EN FIBRA DE CARBONO

Autor:

Andrés Martínez Navarro

Dirigido por:

Dr. Jesús Cuartero Salafranca

Grado en Ingeniería mecánica

Curso académico 2024/25

Zaragoza, a 16 de Octubre de 2024.



Escuela de
Ingeniería y Arquitectura
Universidad Zaragoza

Índice

1. TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO	2
2. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO FIN DE GRADO	2
3. LUGAR, FECHA Y FIRMA	2
4. BIBLIOGRAFÍA	2
5. RELACIÓN DEL TFG CON LOS ODS 9.1 y 9.4	3
6. DISEÑO DE GEOMETRÍA	4
6.1. Software CAD	4
6.2. SolidWorks	5
6.3. Diseño de manillar con SolidWorks 2024	6
6.3.1. Manillar original	6
6.3.2. Manillar modificado	8
6.4. Diseño del molde	12
7. FABRICACIÓN DE MOLDE Y MANILLAR	20
7.1. Software de impresora 3D	21
7.2. Ultimaker Cura	22
7.3. Proceso de Fabricación	23
7.3.1. Fabricación del molde	23
7.3.2. Fabricación del manillar	29
8. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	32
8.1. Software FEM	33
8.2. Abaqus/CAE 6.14-6	34
8.3. Cálculos con Abaqus/CAE 6.14-6	36
8.4. Resultados de cálculos (FEM)	48
8.4.1. Comparativa de resultados	49
9. ENSAYO MECÁNICO	52
9.1. Correlación entre los resultados experimentales y numéricos ..	55
10. ANEXO 1	56
11. ANEXO 2	58
12. ANEXO 3 (Artículo de revista).....	(por separado)

1. TÍTULO DEL TRABAJO FIN DE GRADO.

El título del trabajo fin de grado es “Diseño, cálculo y fabricación de manillar de bicicleta en fibra de carbono”.

2. OBJETO Y ALCANCE DEL TRABAJO FIN DE GRADO.

La realización de este trabajo fin de grado consiste en crear a partir de un manillar ya existente, un manillar modificado con un engrosamiento de su parte más débil y diseñar su respectivo molde para fabricarlo con fibra de carbono. Realizar cálculos y ensayos y comparar con el manillar original. En el Anexo I se hace una introducción algo más amplia.

Tareas:

1. Hacer manillar modificado con Solidworks .
2. Hacer molde en Solidworks.
3. Imprimir molde con impresora 3D.
4. Calcular manillar original y nuevo con Abaqus.
5. Hacer varios manillares de carbono.
6. Ensayar en máquina de ensayos.

Este trabajo fin de grado contribuirá con los Objetivos de Desarrollo Sostenible y sus Metas 9.1 y 9.4.

Como ya hemos mencionado, se trabaja con fibra de carbono. Esto se debe a su gran relación resistencia-peso, lo convierte en uno de los materiales más utilizados en la actualidad en la alta competición en el mundo del ciclismo.

El programa utilizado para el diseño del manillar y del molde es SolidWorks 2024.

Para el análisis por elementos finitos, que permite evaluar tensiones y deformaciones a partir de las condiciones de contorno y cargas que nosotros introducimos al modelo, se utiliza Abaqus/CAE 6.14-6.

Para la impresión en 3D se utiliza el software Ultimaker Cura.

Por último, el manillar fabricado lo ensayamos con máquina de ensayos de nave 5 del edificio Betancourt de la Escuela de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de Zaragoza.

3. LUGAR, FECHA Y FIRMA.

Andrés Martínez Navarro en Zaragoza a 16 de Octubre del 2024.

4. BIBLIOGRAFÍA.

- BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE New materials and nanotechnologies | RESEARCH ARTICLE J Cuartero, D Ranz, A Poniecka

-PROYECTO FIN DE CARRERA: Análisis por elementos finitos del cuadro de una bicicleta de fibra de carbono. Realizado por: Alfonso Montañés Solana. Dirigido por: Jorge Grasa Orús

-Tutoriales de ayuda de solidworks en youtube.

-<https://biblioteca.unizar.es/>

-<https://chatgpt.com/>

-<https://www.youtube.com/watch?v=fkNKii2EBI4>

-https://www.youtube.com/watch?v=dsTzkz_7law

-<https://simulation-blog.technia.com/simulation/modelling-a-composite-flanged-tube-under-thermal-and-pressure-loading-with-abaqus-cae>

-es.wikipedia.org

5. RELACIÓN DEL TFG CON LOS ODS 9.1 y 9.4

Objetivo 9: Industria, innovación e infraestructura

- Meta 9.1: Desarrollar infraestructuras de calidad, fiables, sostenibles y resilientes.
- Meta 9.4: Aumentar la accesibilidad y la sostenibilidad de las infraestructuras y los servicios básicos, en particular en los países en desarrollo.

Algunos puntos clave a destacar en relación con los ODS son:

- Desarrollo de infraestructuras deportivas de calidad y resilientes: A través del diseño de un manillar optimizado y robusto.
- Uso de materiales sostenibles y avanzados (fibra de carbono): Promoviendo la eficiencia en los componentes de las bicicletas de competición, reduciendo el impacto ambiental y aumentando la durabilidad de los productos.
- Innovación en la fabricación de componentes: Aplicando la impresión 3D y el análisis por elementos finitos para la creación y evaluación de nuevas soluciones.

Contribución al ODS 9: En el desarrollo de este proyecto, se busca mejorar la calidad y fiabilidad de un componente esencial en el ciclismo de competición (el manillar) mediante la utilización de fibra de carbono. Este material avanzado no solo mejora las propiedades mecánicas del manillar (resistencia, ligereza y durabilidad), sino que también ofrece un alto grado de sostenibilidad al reducir el impacto ambiental de los componentes al aumentar su vida útil. Además, la optimización de la estructura del manillar contribuye a la creación de infraestructuras deportivas más resilientes y eficientes, alineándose con las metas del ODS 9.1. El uso de tecnologías innovadoras como el diseño por SolidWorks y la fabricación del molde con impresión 3D refleja el enfoque hacia el desarrollo de soluciones sostenibles y accesibles en la industria del ciclismo, que podrían también ser adaptadas a mercados emergentes donde la

infraestructura deportiva aún está en expansión, contribuyendo indirectamente a la meta 9.4.

6. DISEÑO DE GEOMETRÍA

6.1. Software CAD

Para el desarrollo del diseño y modelado del manillar y de su molde ha sido necesaria la utilización de un programa CAD (Computer Aided Design) o de diseño asistido por ordenador. El utilizado en este proyecto ha sido SolidWorks 2024 ya que lo puedo obtener gracias a la universidad de Zaragoza mediante la plataforma Appsanywhere.

El diseño asistido por ordenador permite a las empresas dedicadas al desarrollo de nuevos productos mejorar su competitividad en el desarrollo de los mismos. La utilización de un software CAD permite diseñar de forma fácil un prototipo digital de un nuevo producto, con el que se puede interaccionar y evaluar los requerimientos del diseño. La mayoría de los sistemas de CAD, están desarrollados bajo un enfoque de “tecnologías de componentes”, de modo que la producción de un nuevo sistema, se desarrolla basándose en las aplicaciones y componentes de software existentes en el mercado. Un nuevo sistema CAD se desarrolla ensamblando elementos que tienen unas prestaciones perfectamente probadas y definidas.

En un sistema CAD se pueden identificar los siguientes componentes:

- Sistema de interacción
- Núcleo geométrico

El componente principal es el núcleo geométrico, puesto que es donde se registra y se representa la geometría y topología de un modelo. Para interaccionar con el núcleo geométrico existen un conjunto de funciones para el modelado de sólidos, que se pueden entender como operaciones de bajo nivel.

Para el usuario solo son visibles las operaciones de alto nivel propias del paradigma de diseño que utilice el sistema, y no tiene acceso directo a las funciones de modelado de bajo nivel del núcleo geométrico. El desarrollo de una interfaz de usuario bien diseñada es lo que consigue una transparencia total en este sentido.

El núcleo geométrico en que se basa un sistema de CAD de los que actualmente se pueden encontrar en el mercado, tiene un conjunto básico de funciones de modelado para crear o modificar las formas detalladas del diseño de sólidos. Las funciones se pueden clasificar en:

- Instanciación de primitivas
- Barridos
- Operaciones booleanas
- Recubrimientos
- Redondeados
- Secciones
- Estiramientos

6.2. SolidWorks

SolidWorks es un software de diseño asistido por computadora (CAD) ampliamente utilizado en la ingeniería para modelado 3D y simulación. Es conocido por su capacidad para crear modelos detallados de piezas y ensamblajes, permitiendo realizar análisis y simulaciones sobre los mismos. SolidWorks es particularmente popular en sectores como la ingeniería mecánica, la automoción, la aeronáutica y el diseño de productos industriales.

1. Razones para utilizar SolidWorks en el diseño del manillar.

En este TFG, el manillar se diseña y modifica para ser fabricado con fibra de carbono. SolidWorks es ideal para este tipo de diseño por varias razones:

- Modelado 3D detallado: SolidWorks permite crear un modelo 3D preciso del manillar, lo que facilita la visualización del producto final antes de fabricarlo.
- Facilidad de modificación: El software ofrece herramientas fáciles de usar para modificar la geometría del manillar, como el engrosamiento en su parte más débil. Esto es esencial para probar diferentes variantes del diseño.
- Diseño paramétrico: SolidWorks es un software de diseño paramétrico, lo que significa que puedes ajustar las dimensiones y propiedades del manillar de forma eficiente. Si se necesita cambiar una dimensión, el software ajusta automáticamente las partes relacionadas, garantizando coherencia en todo el modelo.
- Compatibilidad con otros software: Al utilizar SolidWorks, los archivos creados son fácilmente exportables a otros programas de simulación y fabricación, como Abaqus para el análisis de elementos finitos o el software para impresión 3D (como Ultimaker Cura).

2. Funcionalidades clave de SolidWorks utilizadas en el diseño

- Modelado de piezas 3D: Se ha utilizado SolidWorks para crear el diseño detallado del manillar, incluidas las modificaciones estructurales para el engrosamiento en la zona más débil.
- Análisis de interferencias: El software permite detectar posibles interferencias o problemas de ensamblaje entre las partes, lo que garantiza que el diseño sea funcional y sin errores antes de la fabricación.
- Simulación de movimiento: SolidWorks también permite realizar simulaciones para analizar cómo interactúan las piezas durante el uso, puede ser útil si se desea estudiar el comportamiento bajo fuerzas dinámicas.
- Generación de planos técnicos: Una vez que el modelo está finalizado, SolidWorks puede generar planos detallados para la fabricación del manillar y del molde.

3. Ventajas de usar SolidWorks en ingeniería

SolidWorks ofrece varias ventajas, como:

- Precisión y exactitud: Gracias al modelado paramétrico, cualquier cambio en las dimensiones se refleja automáticamente en el diseño completo.
- Facilidad de uso: Aunque es un software poderoso, SolidWorks tiene una interfaz bastante intuitiva, lo que facilita el trabajo para ingenieros y diseñadores, incluso si no son expertos en CAD.
- Integración con otras herramientas de simulación y análisis: El software se integra bien con otros programas como Abaqus (para análisis de elementos finitos) y puede exportar modelos a otros formatos compatibles con software de fabricación (como Ultimaker Cura para impresión 3D).

4. Aplicación de SolidWorks en la creación del molde

Además del diseño del manillar, SolidWorks se utiliza para diseñar el molde en el que se fabricará el manillar de fibra de carbono. Algunas características de SolidWorks útiles en este contexto incluyen:

- Modelado del molde: El diseño de moldes complejos, como el necesario para la fabricación de componentes en fibra de carbono, se puede realizar con gran precisión en SolidWorks. Esto incluye la creación de cavidades, canales de refrigeración y otros detalles cruciales para la fabricación..

5. Conclusión sobre el uso de SolidWorks

El software CAD utilizado en este proyecto para el diseño del manillar modificado fue SolidWorks 2024, una herramienta de modelado 3D ampliamente utilizada en ingeniería. Gracias a sus funcionalidades de modelado paramétrico y simulación, SolidWorks permitió crear un diseño detallado del manillar con un engrosamiento en la parte más débil. Además, su compatibilidad con otros programas de simulación y fabricación, como Abaqus/CAE para análisis de elementos finitos y Ultimaker Cura para impresión 3D, facilitó la integración de los diferentes procesos de diseño y fabricación.

6.3. Diseño de manillar con SolidWorks 2024

6.3.1. Manillar original

Características del Manillar:

- Longitud: 620 mm
- Diámetro del vástago: 25,4 mm
- Diámetro en los extremos: 22 mm
- Material: Acero
- Altura: 50 mm
- Ángulo de retroceso (back camber): 6°
- Ángulo de curvatura superior (top bend): 5°

- Peso: El peso oficial es 540 g, pero el peso real es 630 g.
- Grosor: 2,25 mm (en los extremos)

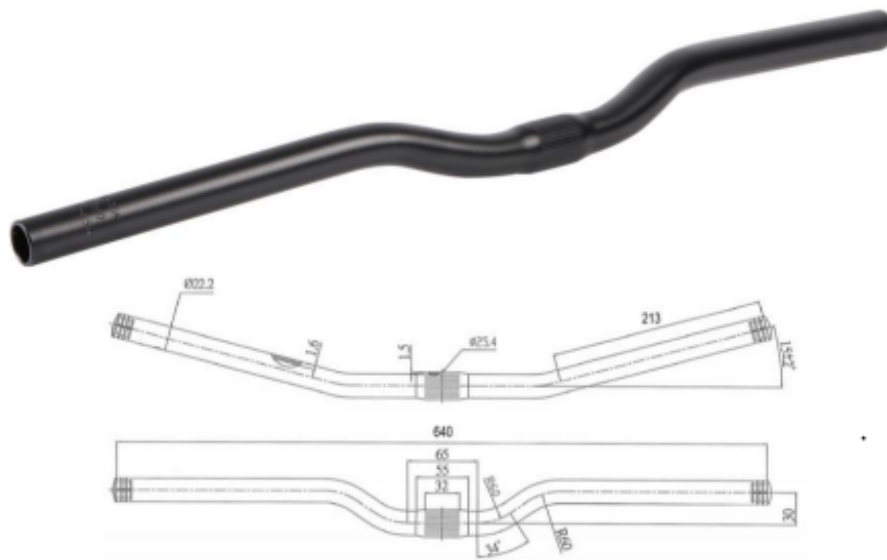


Figura 1. Manillar de acero

Este fue el manillar de partida inicial. Este trabajo fin de grado parte de que ya se realizó una copia de este manillar de acero, pero cambiando el material a fibra de carbono, por lo que se tuvo que realizar un proceso idéntico al que he de hacer yo para su fabricación.

Así pues, el manillar que yo tomé de referencia ya fue dicha copia de fibra de carbono. La copia del modelo 3D me la pasó mi tutor de trabajo fin de grado en formato .STEP,

En un principio pensamos en editar el modelo ya que es mucho más sencillo modificarlo que tener que rehacerlo desde cero entero. Pero el problema es que las operaciones de SolidWorks eran irreconstruibles, así que tampoco se podían editar diámetros, etc.

Por lo que no me quedó más opción que sacar medidas del manillar con las herramientas de SolidWorks, hacerme un croquis y comenzar de cero con las medidas tomadas.

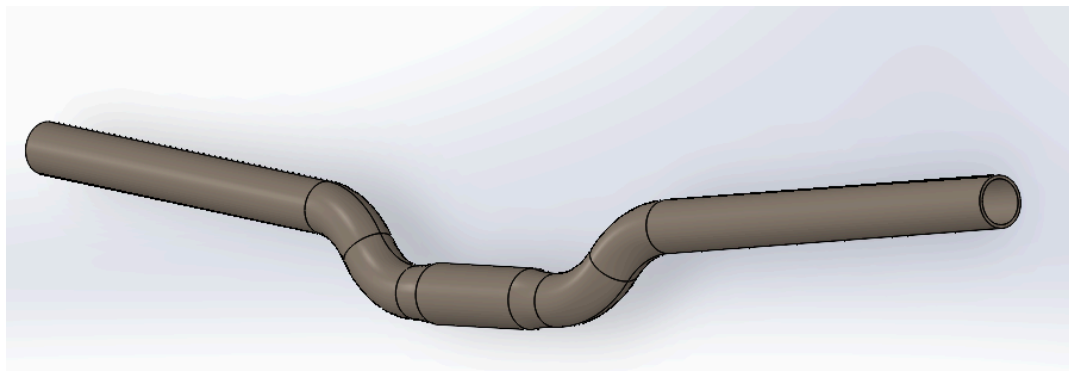


Figura 2.1. Modelo 3D

En la figura 2.1 podemos ver el modelo 3D (copia del original) que me fue proporcionada y que tomé de referencia para sacar las medidas de mi modelo.

Se pretende alargar el engrosamiento del centro del manillar (figura 2.2), hasta la zona indicada en la figura 2.3.

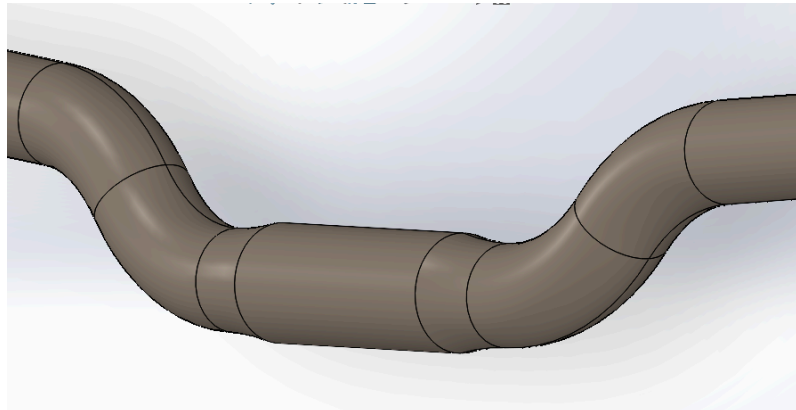


Figura 2.2

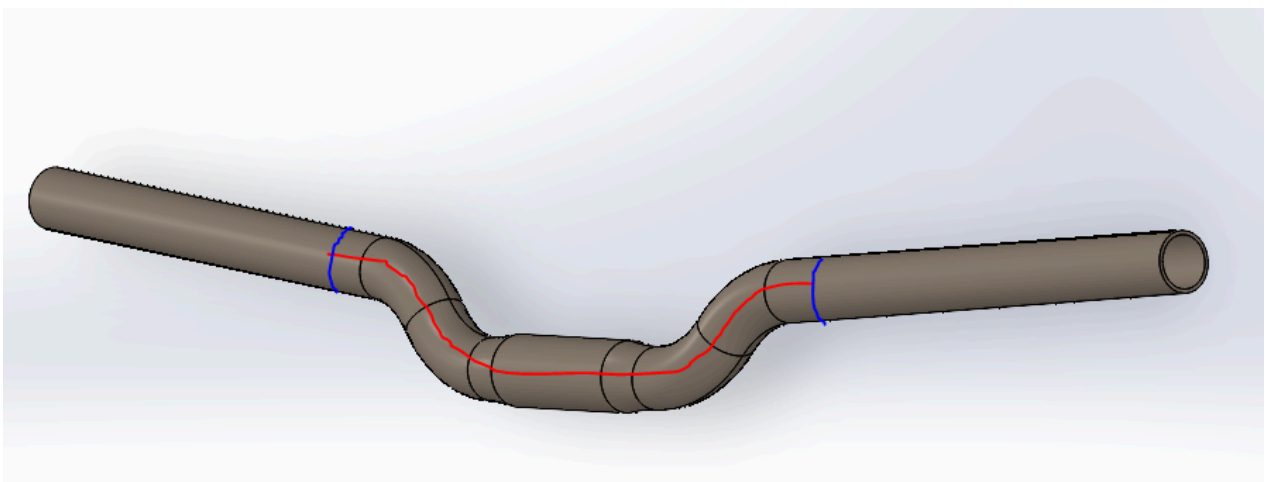


Figura 2.3

6.3.2. Manillar modificado

En este apartado procedo a explicar paso a paso la creación en SolidWorks de mi modelo 3D del manillar con la modificación del engrosamiento ya propuesta.

Empezaré haciendo medio manillar y luego lo acabaré por simetría.

Primer paso: Se crea un croquis con una circunferencia de 25,4 mm de diámetro y se hace una circunferencia interior menor, para que el manillar quede hueco por dentro. Esto no sería necesario porque para hacer el molde nos da igual que el manillar sea hueco o no, y para los cálculos en Abaqus se le asigna el material y espesor.

Después de tener las circunferencias dibujadas, se utiliza la operación extruir hasta la distancia deseada

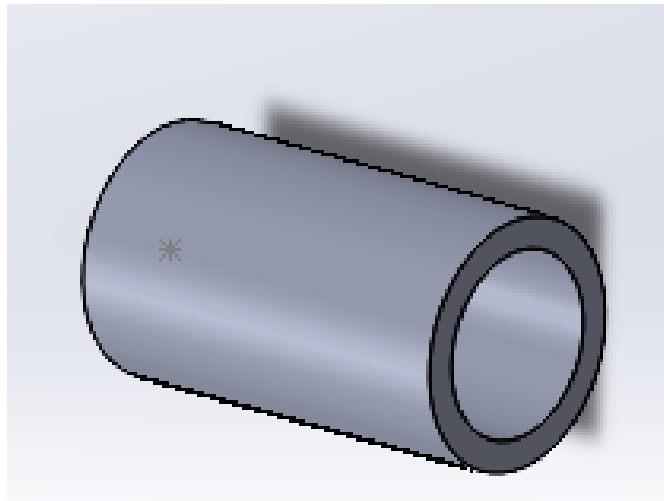


Figura 3.1. Extrusión primer paso

Segundo paso: Se crea un croquis 3D con una trayectoria que seguirá la curvatura del manillar y se utiliza la operación barrer.

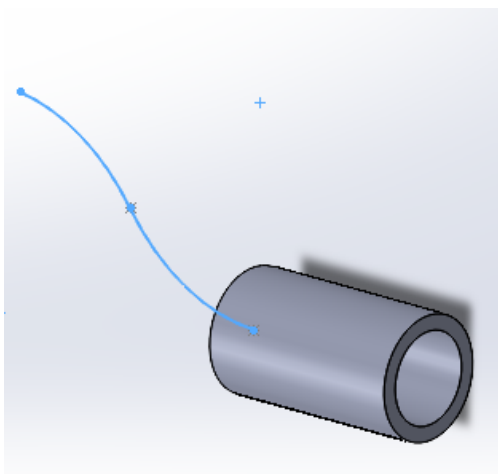


Figura 3.2. Trayectoria 3D

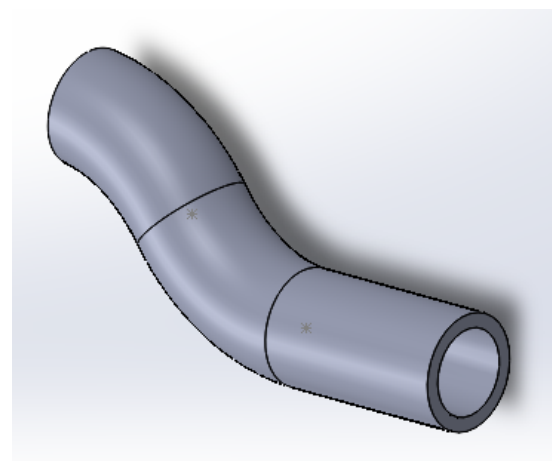


Figura 3.3. Operación barrer

Tercer paso: En un principio el trozo con 25,4 mm de diámetro se iba hacer hasta esa parte que acaba la curva, que es donde justamente se quería el refuerzo de grosor, pero

se optó por alargarlo 2 cm mas, ya que por medidas y espacio para manetas de freno y cambios se podía hacer así y asegurar un mejor refuerzo de la zona crítica.

Esta parte también se hace con la operación barrer.

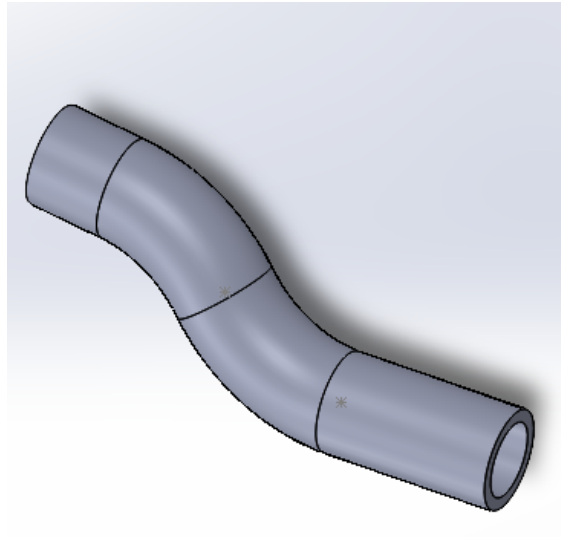


Figura 3.4. Prolongación de 2 cm

Cuarto paso: Al igual que anteriormente, se crea una trayectoria hasta el final del extremo del manillar ya, y se utilizará la opción barrer también, solo que esta vez el diámetro será de 22 mm.

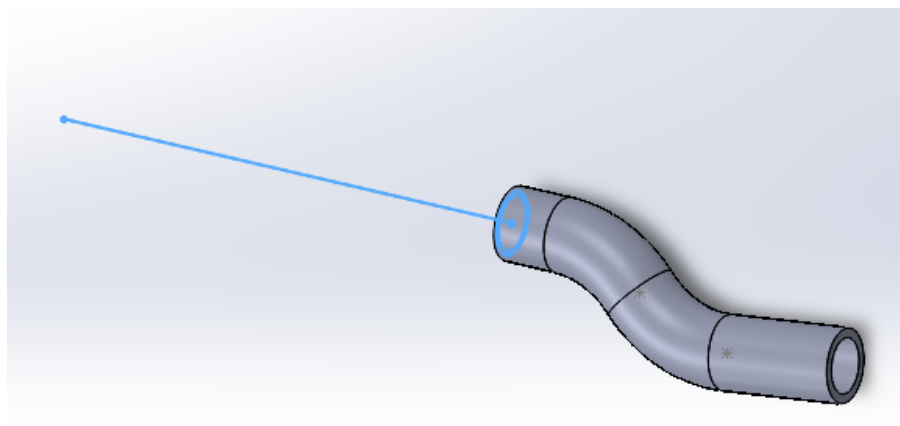


Figura 3.5. Trayectoria 3D

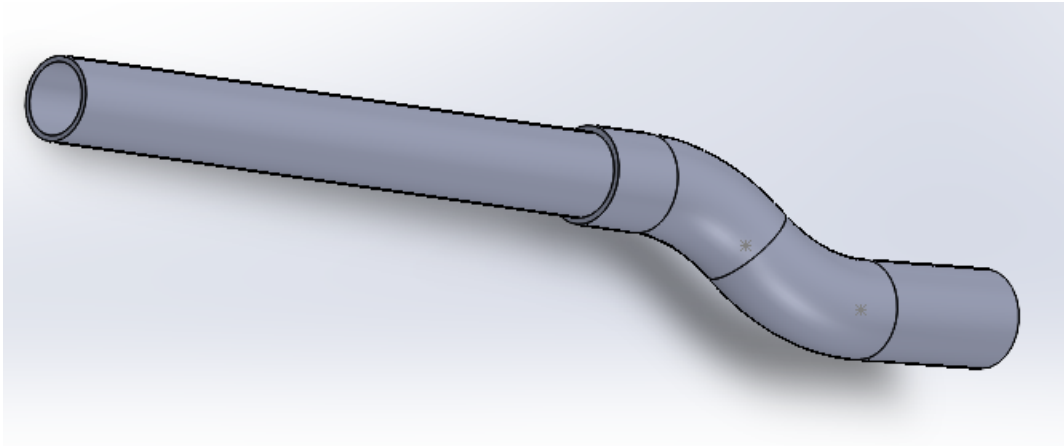


Figura 3.6. Operación barrer

Quinto paso: Se utiliza la operación redondeo para hacer la transición entre los dos diámetros.

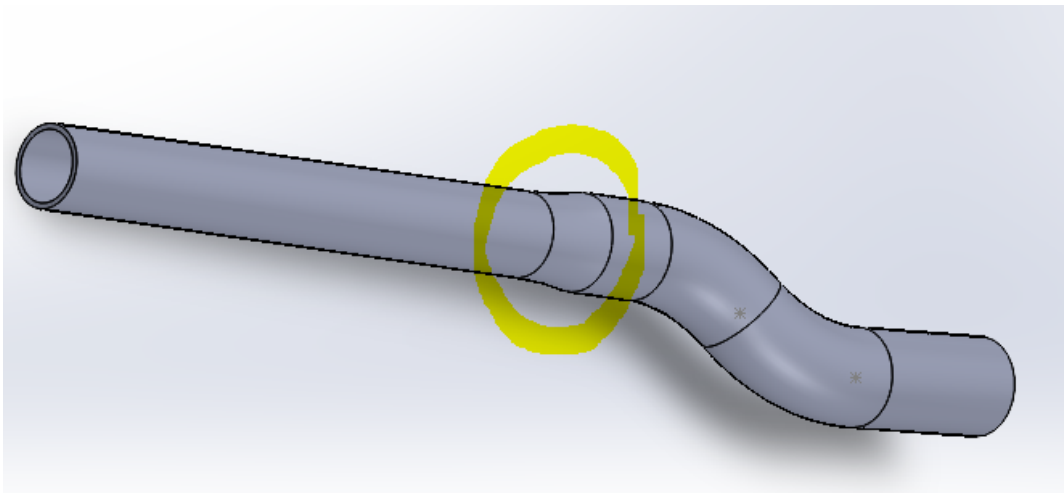


Figura 3.7. Operación redondeo

Sexto paso: Por último solo queda utilizar una operación de simetría respecto del centro para que se forme el manillar completo.

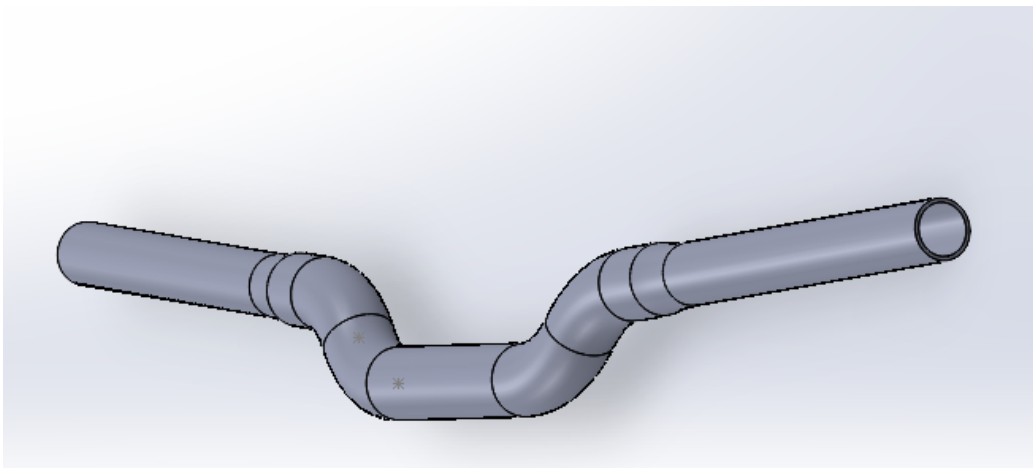


Figura 3.8. Modelo terminado

6.4 Diseño del molde

A continuación y al igual que en el apartado anterior, voy a explicar paso a paso el diseño del molde hecho con SolidWorks. En este caso también tuve el ejemplo del molde anterior pero con el feedback de Jesús, optamos por hacer algunos cambios de tamaño y quitar algunos agujeros para unir, que no se utilizarían o que eran innecesarios.

Cabe destacar que el molde en un principio debería tener dos piezas: parte de arriba y parte de abajo. Pero debido a que hay que imprimirlo en 3D y tenemos limitaciones por parte de nuestra impresora, la parte de arriba y la parte de abajo habrá que dividir las en cuatro cada una (dando un total de ocho piezas) para posteriormente imprimir cada parte de manera individual y después ensamblarlas para crear el molde completo.

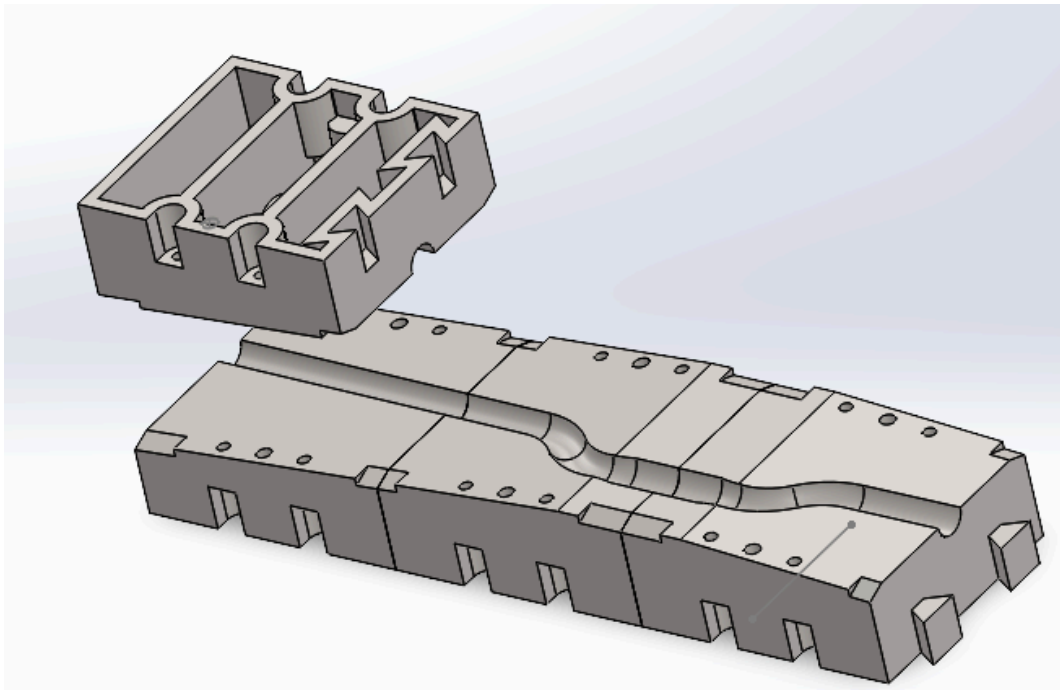


Figura 4.1. Molde del manillar antiguo

En primer lugar, utilizamos el modelo del manillar para crear el molde, así que se crea un plano perpendicular al centro del manillar y se dibuja un rectángulo de 130,79 x 59,17 mm que después se extruye hasta el extremo del manillar. Teniendo así ya la mitad del bloque base para el molde. (Figura 4.2)

Seguido de esto, se utiliza la operación cavidad para crear el hueco interno con la forma del manillar. (Figura 4.3)

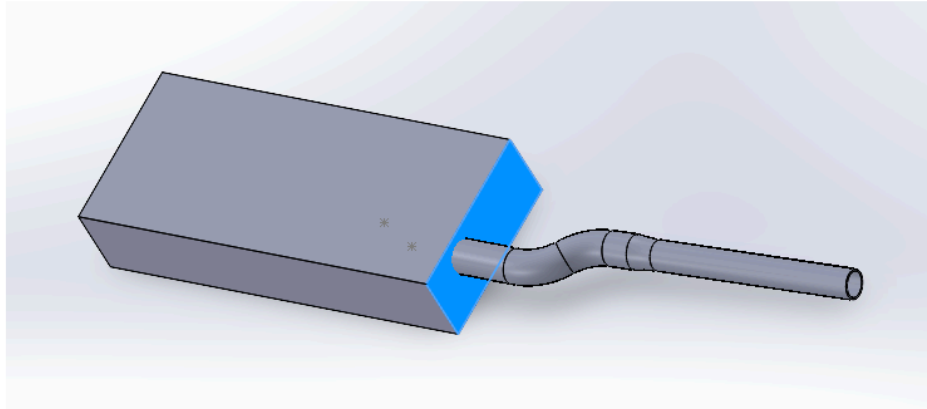


Figura 4.2. Bloque base del molde

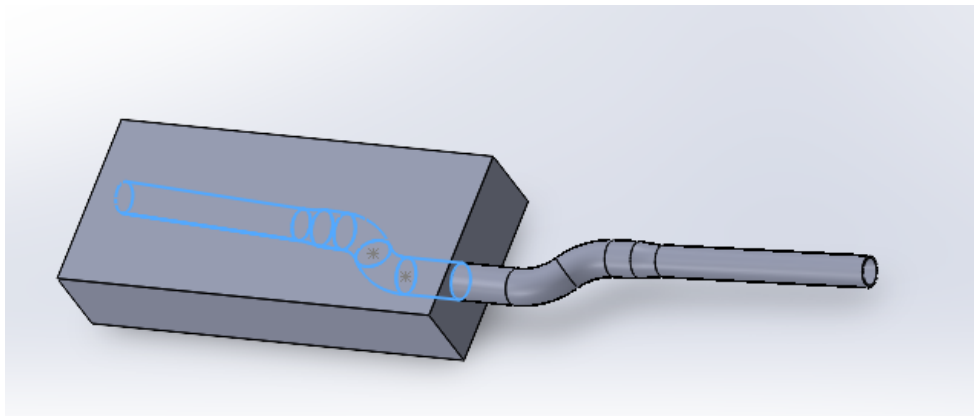


Figura 4.3. Cavity interna del molde

El siguiente paso es cortar el molde por el centro del eje para poder separar en dos partes: la de arriba y la de abajo. Hay que hacer dos cortes en dos planos diferentes como se muestra a continuación. Para esto se utiliza la operación partir. (Figura 4.4 y 4.5)

Después se utiliza la operación combinar para unir dos sólidos y así unificar las tres piezas que habían quedado después de los dos cortes anteriores. Y así tener ya el molde en dos partes, para posteriormente utilizando la operación de simetría, crear la otra mitad del molde que faltaba. (Figura 4.6 y 4.7)

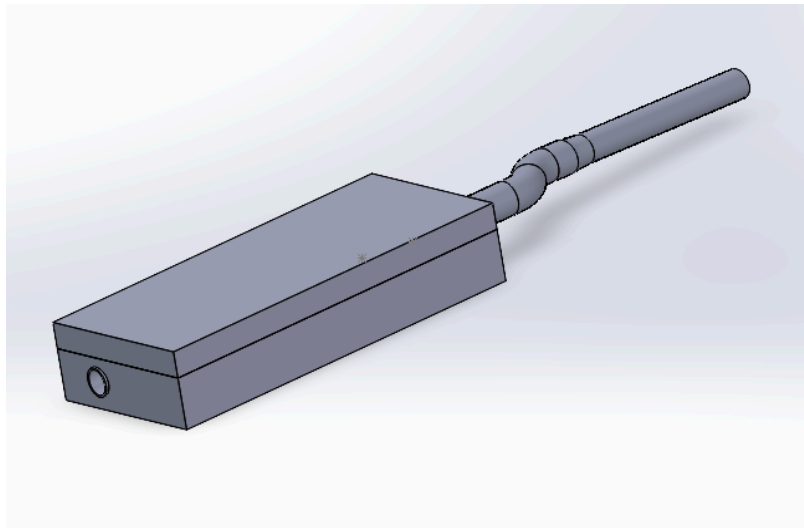


Figura 4.4. Primer corte

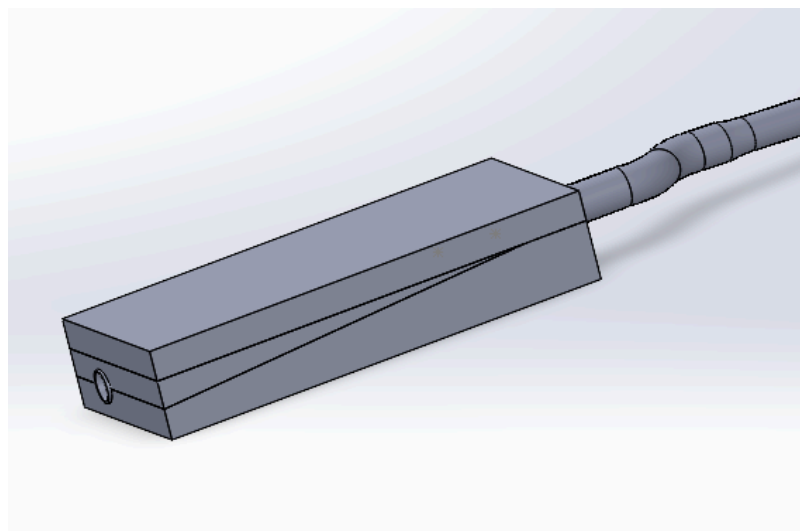


Figura 4.5. Segundo corte

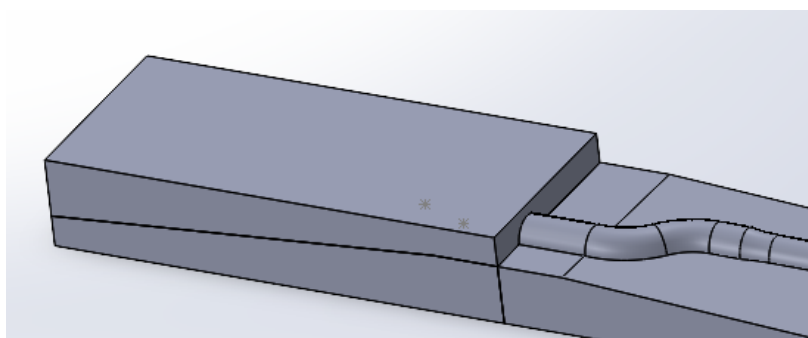


Figura 4. Operación combinar y simetría

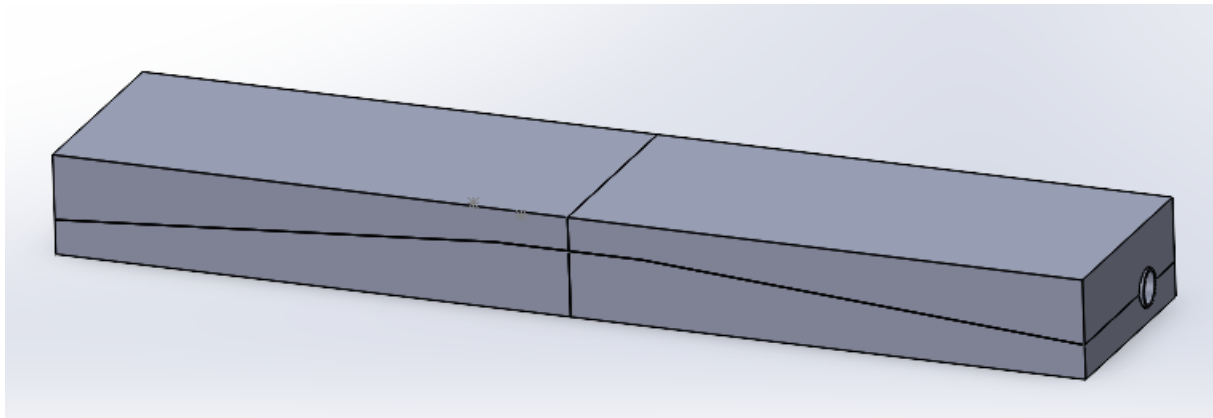


Figura 4.7. Simetría completa

A continuación se corta las cuatro partes del molde por la mitad para dejarlo en ocho partes y poder imprimir cada pieza de manera individual. (Figura 4.8)

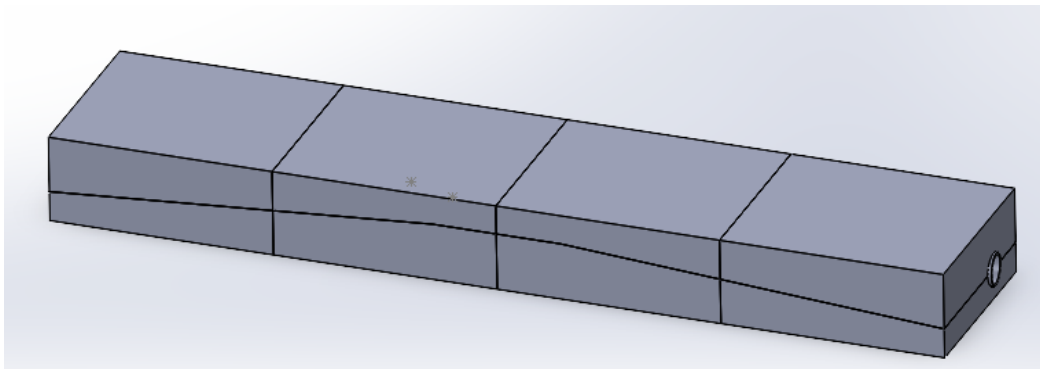


Figura 4.8. Molde cortado

Ya con esto hecho, se procede a modelar y dar detalles a cada pieza de manera individual. Primero se utiliza la operación de refrentado para hacer unos agujeros que servirán para unir las piezas del molde mediante tornillos a la hora de fabricar el manillar. También se utiliza la operación chaflán para crear unas hendiduras que servirán para desmoldar. (Figura 4.9)

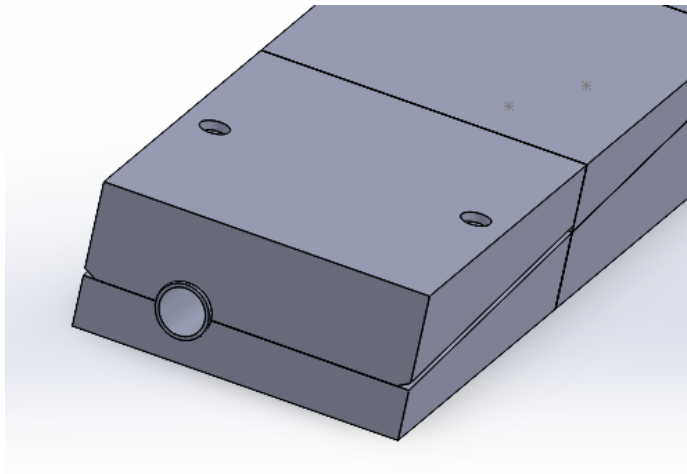


Figura 4.9. Agujeros para unir y chaflán

Después se utiliza la operación de vaciado para quitar material del molde a la hora de imprimir. Estos huecos serán luego rellenados con resina epoxi para darle más solidez al molde, como se verá más adelante. (Figura 4.10)

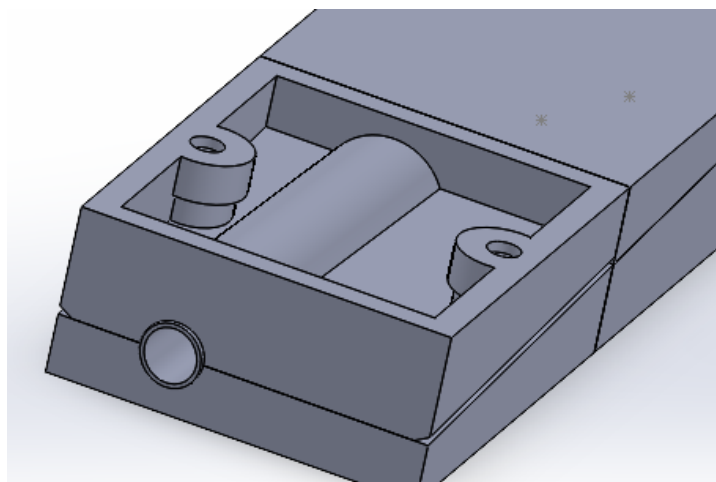


Figura 4.10. Operación de vaciado

En el siguiente paso se busca solventar un problema que tendremos: la unión de las piezas individuales. Se opta por crear unas colas de milano para encajar las piezas, que luego además, pegaremos con un pegamento extrafuerte y pegaremos también un

recubrimiento extra de tela de fibra de carbono a lo largo de toda la superficie de la parte de arriba y de la parte de abajo del molde para reforzar. De esta forma nos quedarán solo dos partes perfectamente pegadas y sólidas que aguanten la fabricación del manillar. Pero esto lo veremos más adelante y más en detalle en el proceso de fabricación.

Las colas de milano para encajar las piezas primero se dibujan en un croquis 2D, después se extruyen con la profundidad deseada, pasando así a formar parte de la pieza del molde y después habrá que tener en cuenta que en la siguiente pieza habrá que hacer un hueco homólogo para que se puedan unir “macho” y “hembra”. El hueco de la siguiente pieza se hace con la operación cortar-extruir. (Figura 4.11, 4.12 y 4.13)

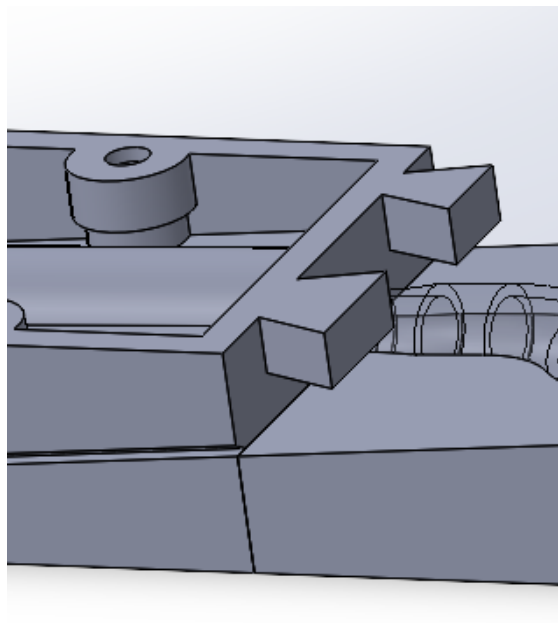


Figura 4.11. Colas de milano

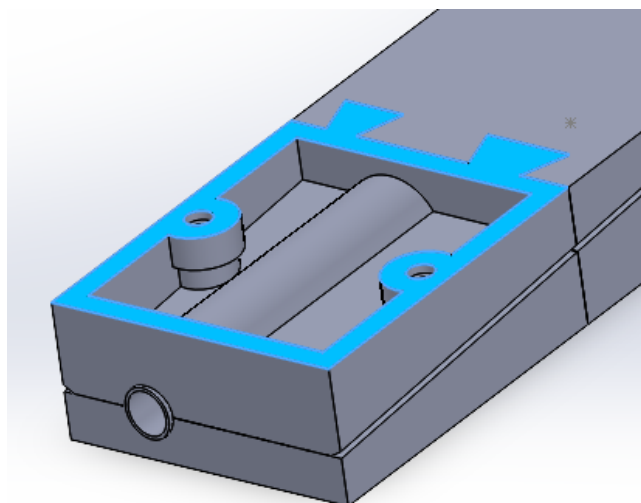


Figura 4.12. Unión entre piezas

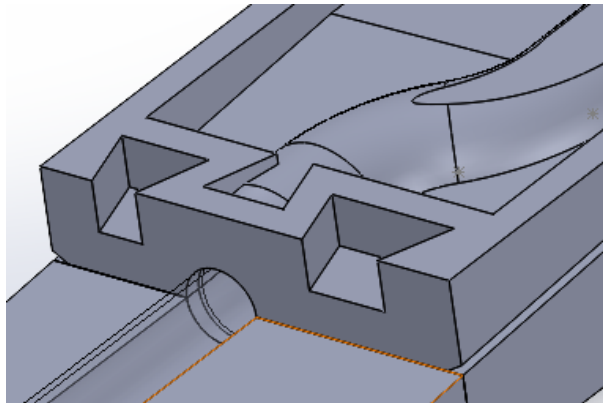


Figura 4.13. Cavity para la unión de piezas

Continuamos repitiendo este proceso para cada una de las piezas de manera individual, quedando como se muestra en la figura 4.14 y 4.15.

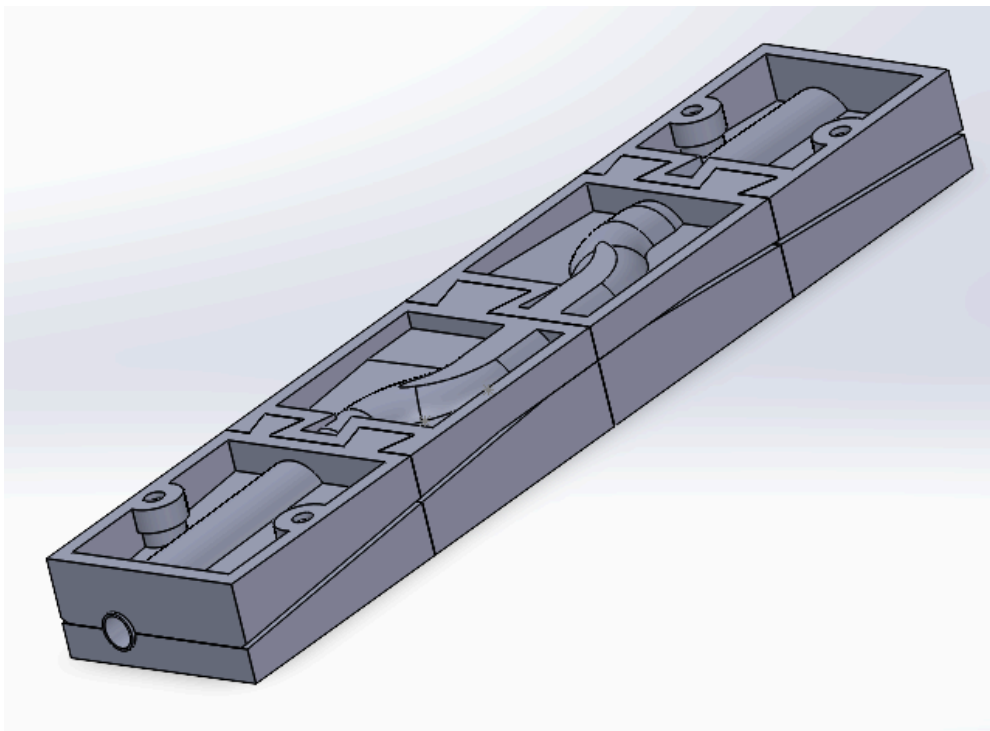


Figura 4.14. Molde por arriba

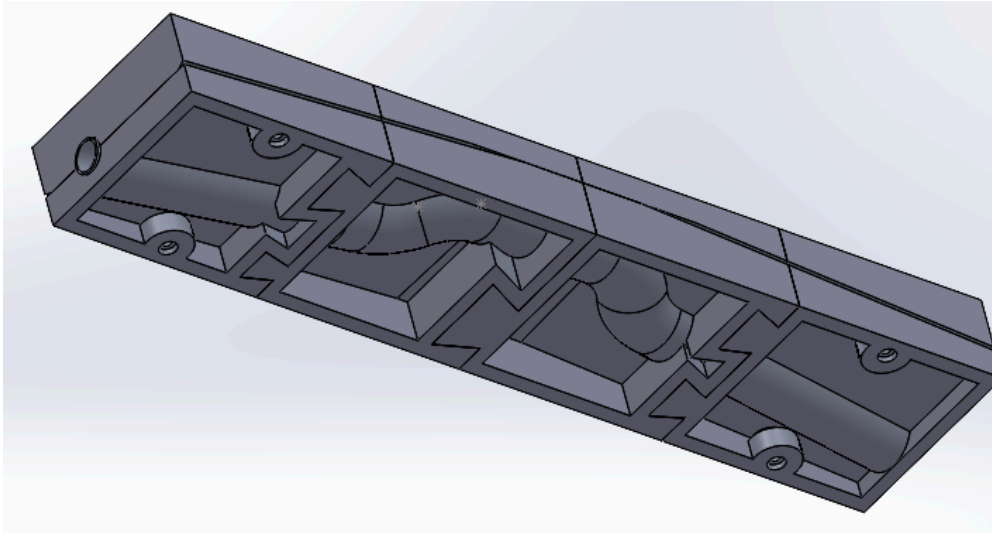


Figura 4.15. Molde por abajo

A continuación se muestra como quedará por separado la parte de arriba y de abajo cuando se unan para formar sólo dos piezas. (Figura 4.16 y 4.17)

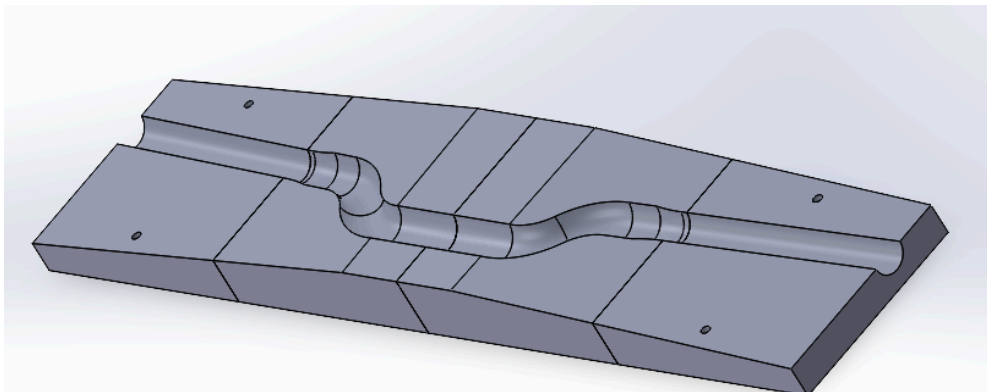


Figura 4.16. Pieza de abajo

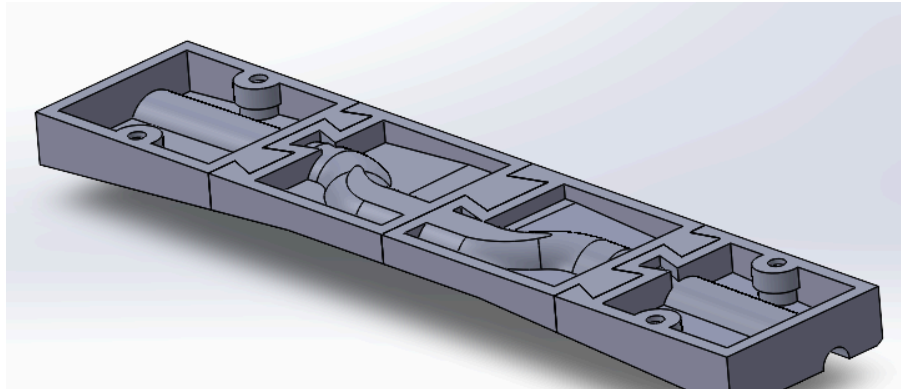


Figura 4.17. Pieza de arriba

Con el molde ya terminado, se puede proceder a exportar al programa Cura las ocho piezas individuales y comenzar con la impresión 3D.

7. FABRICACIÓN DE MOLDE Y MANILLAR

La fabricación del molde se va a realizar utilizando el software Ultimaker Cura con una impresora 3D situada en el taller de la nave 8 del edificio Betancourt del campus río Ebro de la Universidad de Zaragoza. El proceso de impresión correrá a cargo de Sergio Arnau Izaguerri, quien trabaja en la universidad junto con mi tutor de TFG Jesús Cuartero. A partir de este punto, Sergio estará involucrado echando una mano en todo el proceso de fabricación.

Es posible utilizar la impresión 3D para crear moldes para composites. La impresión 3D permite la producción de moldes intrincados y personalizados de manera rápida y eficiente. Estos moldes pueden ser utilizados en la fabricación de piezas compuestas aplicando los materiales compuestos al molde y permitiendo que se curen o solidifiquen. Al imprimir en 3D los moldes, se tiene la ventaja de diseñar geometrías complejas y estructuras internas que no son realmente difíciles de lograr con métodos tradicionales de fabricación de moldes, pero son costosos. Esta flexibilidad permite la producción de piezas compuestas ligeras y optimizadas. Es importante considerar los materiales utilizados para la impresión 3D de los moldes, ya que deben ser capaces de soportar las temperaturas y presiones involucradas en el proceso de fabricación de compuestos. Los moldes impresos en 3D para composites pueden agilizar el proceso de fabricación, reducir costos y permitir la producción de piezas compuestas experimentales o prototipos.

La impresión 3D de moldes para composites utilizando PLA (ácido poliláctico) es un método común y accesible. La elección entre moldes de PLA y de aluminio depende de los

requisitos específicos del proyecto. Los moldes de PLA son rentables para prototipos rápidos y aplicaciones más simples, mientras que los moldes de aluminio son más adecuados para procesos a altas temperaturas y situaciones en las que la durabilidad es crucial, a pesar de los costos iniciales más altos y tiempos de construcción potencialmente más largos. La decisión debe considerar factores como el presupuesto del proyecto, el volumen de producción esperado, la vida útil del molde y la precisión requerida.

Material	Costo	Tiempo de entrega	Durabilidad
Aluminio	2200€	25 días	1500-2500 piezas
PLA	200€	4 días	25-50 piezas

Tabla 1. Análisis de costo-beneficio.

7.1. Software de impresora 3D

Un software de impresión 3D, también conocido como software de laminado o slicer, es una herramienta que convierte modelos 3D digitales en instrucciones que una impresora 3D puede entender y ejecutar. Este software es esencial en el proceso de impresión 3D, ya que permite preparar el modelo para la impresión, ajustando diversos parámetros que afectan la calidad y el resultado final de la pieza impresa.

¿Cómo funciona?

1. **Importación del modelo:** El primer paso es importar un modelo 3D en un formato compatible, como STL o OBJ. Estos formatos contienen la geometría del objeto que se desea imprimir.

2. **Configuración de parámetros:** Una vez importado el modelo, el usuario puede ajustar varios parámetros de impresión, tales como:

- **Altura de capa:** Determina el grosor de cada capa que se imprimirá. Las capas más delgadas pueden ofrecer más detalles, pero aumentan el tiempo de impresión.

- **Velocidad de impresión:** Controla la rapidez con la que la impresora se mueve. Las velocidades más lentas pueden mejorar la calidad, pero también aumentan el tiempo de impresión.

- **Temperatura del extrusor:** Especifica la temperatura a la que se funde el material. Diferentes materiales requieren diferentes temperaturas.

- **Relleno:** Define la densidad interna del objeto. Un mayor porcentaje de relleno proporciona más resistencia, pero también consume más material y tiempo.

- **Soportes:** Si el modelo tiene voladizos, el software puede generar estructuras de soporte que se eliminarán después de la impresión.

3. **Laminado:** Una vez que se han configurado todos los parámetros, el software "lamina" el modelo. Esto significa que divide el modelo en capas horizontales y genera un archivo G-code, que es un conjunto de instrucciones que la impresora 3D seguirá para crear el objeto capa por capa.

4. **Exportación del archivo:** Finalmente, el archivo G-code se exporta a un medio que la impresora puede leer, como una tarjeta SD o a través de una conexión USB.

Importancia del software de impresión 3D

El software de impresión 3D es crucial porque:

- **Optimiza el proceso de impresión:** Permite ajustar parámetros para obtener la mejor calidad posible.

- **Facilita la personalización:** Los usuarios pueden modificar modelos existentes o crear nuevos diseños adaptados a sus necesidades.

- **Reduce errores:** Al preparar el modelo adecuadamente, se minimizan los problemas durante la impresión, como el warping (ocurre cuando las esquinas de una pieza impresa se levantan del lecho de impresión a medida que se enfrían, lo que puede resultar en una deformación de la pieza), o la falta de adherencia.

7.2. Ultimaker Cura

Ultimaker Cura es un software de slicing ampliamente utilizado en el ámbito de la impresión 3D. Desarrollado por Ultimaker, este programa permite a los usuarios convertir modelos 3D en instrucciones que las impresoras 3D pueden entender, facilitando así el proceso de fabricación aditiva. Es conocido por su interfaz intuitiva y su capacidad para optimizar la calidad de impresión, lo que lo convierte en una herramienta esencial tanto para principiantes como para usuarios avanzados.

Características Principales

1. **Interfaz de Usuario Amigable:** Ultimaker Cura ofrece una interfaz gráfica que permite a los usuarios cargar modelos 3D fácilmente, ajustar configuraciones y visualizar el proceso de impresión en tiempo real. Esto es especialmente útil para quienes están comenzando en el mundo de la impresión 3D.

2. **Configuraciones Personalizables:** El software proporciona una amplia gama de configuraciones que los usuarios pueden ajustar según sus necesidades. Esto incluye parámetros como la temperatura de impresión, la velocidad, la altura de capa, el relleno y el soporte. Los usuarios pueden elegir entre perfiles predefinidos o crear sus propios ajustes personalizados.

3. **Compatibilidad con Múltiples Formatos:** Ultimaker Cura es compatible con varios formatos de archivo, siendo el más común el STL. Esto permite a los usuarios importar modelos de diferentes fuentes y software de diseño.

4. **Visualización de la Trayectoria de Impresión:** Una de las características destacadas de Cura es su capacidad para mostrar la trayectoria de impresión antes de iniciar el proceso. Esto permite a los usuarios verificar y ajustar la configuración para optimizar la calidad de la impresión y minimizar errores.

5. **Actualizaciones y Comunidad:** Ultimaker Cura se actualiza regularmente, incorporando nuevas funciones y mejoras basadas en la retroalimentación de la comunidad. Además, cuenta con una amplia base de usuarios que comparten consejos, configuraciones y modelos, lo que enriquece la experiencia de uso.

Conclusión:

Ultimaker Cura es una herramienta fundamental en el proceso de impresión 3D, ofreciendo a los usuarios la flexibilidad y el control necesarios para obtener resultados de alta calidad. Su combinación de facilidad de uso y potentes características lo convierte en una opción preferida para aquellos que buscan explorar y aprovechar al máximo la impresión 3D. Además, al ser un software gratuito, es accesible para cualquier persona interesada en la impresión 3D.

7.3. Proceso de Fabricación

7.3.1 Fabricación del molde

Como ya se ha dicho, la impresión del molde y posterior proceso, se realizará en uno de los talleres del edificio Betancourt de la Universidad de Zaragoza. En este proceso están involucrados mi tutor Jesús Cuartero y su compañero Sergio Arnau. Con la impresora 3D situada en dicho taller se imprime cada pieza del molde y se unen. (Figura 5.1 y 5.2)

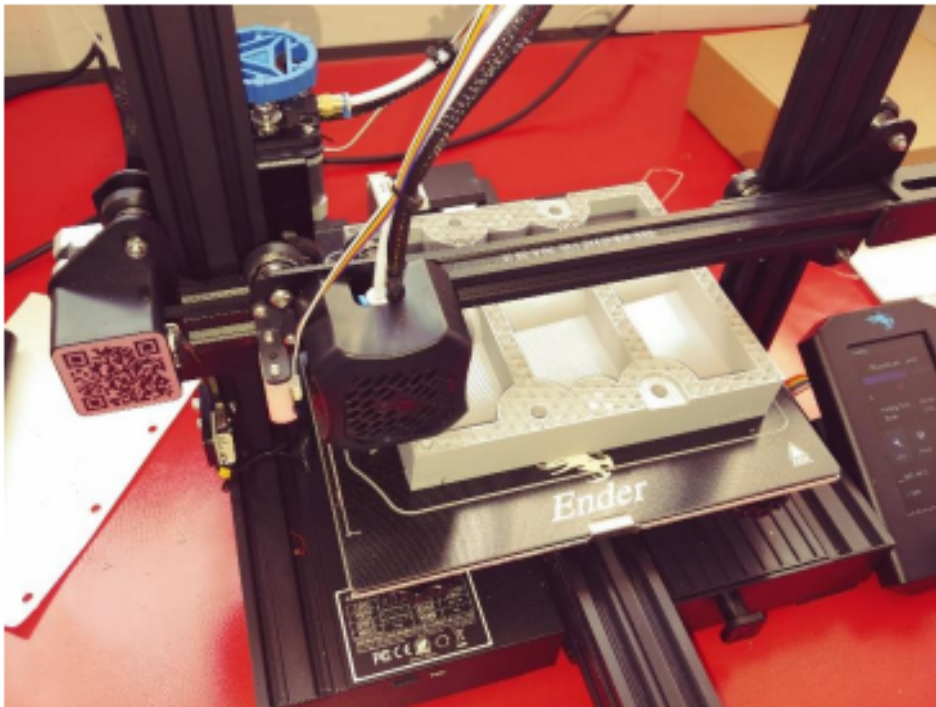


Figura 5.1. Proceso de impresión de pieza de PLA

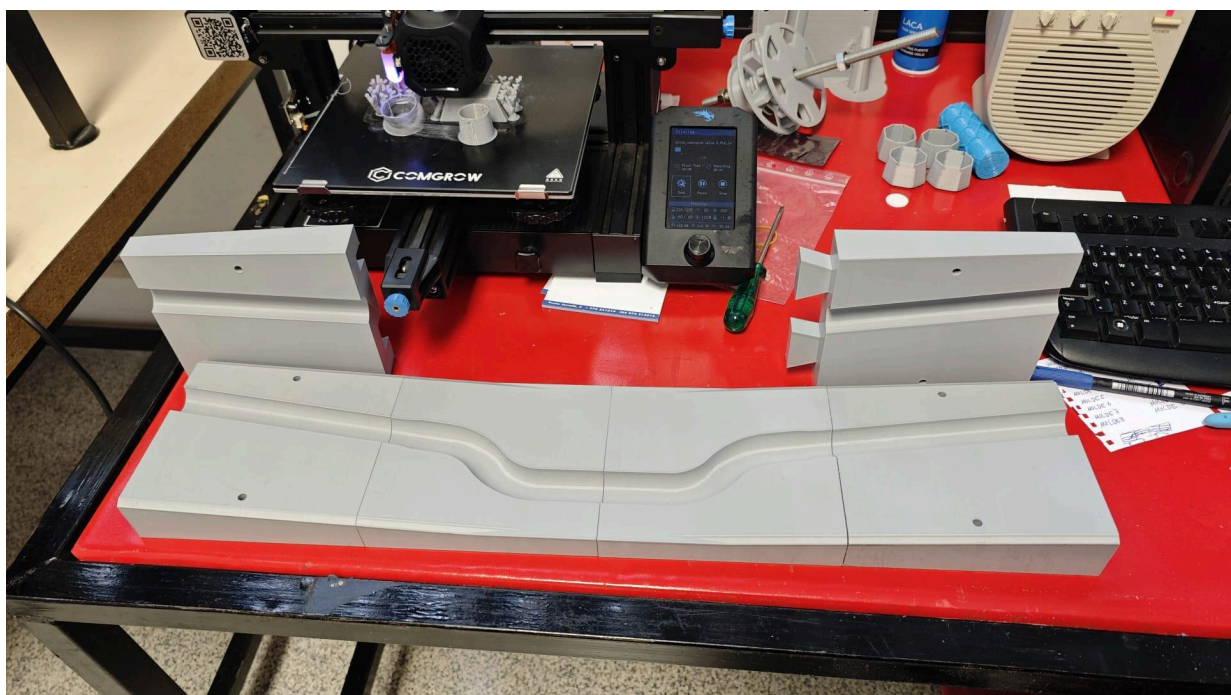


Figura 5.2. Proceso de fabricación y montaje del molde

El PLA (ácido poliláctico) es un material de filamento ampliamente utilizado para impresión 3D debido a su bajo costo y facilidad de uso. Sin embargo, tiene limitaciones cuando se trata de aplicaciones a altas temperaturas. Al utilizar PLA para la moldura de compuestos, es esencial considerar la temperatura de operación del material compuesto y el proceso de desmoldeo. El PLA tiene una temperatura de transición vítrea relativamente baja (alrededor de 65°C), lo que significa que puede ablandarse o deformarse cuando se expone a temperaturas más altas. Para superar esta limitación, se pueden aplicar varias estrategias.

El molde actual se pegó cada parte encajando las piezas con pegamento extrafuerte para un extra de solidez, y ha sido mejorado rellenándolo con granalla de aluminio (figura 5.3) y cubriéndolo completamente con una capa protectora de resina epoxi (figura 5.4).



Figura 5.3. Rellenado con aluminio



Figura 5.4. Capa protectora de resina epoxi

La preparación de resina epoxi implica mezclar dos componentes: la resina y el endurecedor (también llamado agente de dureza). El proceso de mezcla y curado depende del tipo de resina epoxi que estés utilizando en nuestro caso se hace una mezcla de proporción 3:1, es decir, tres partes de resina por una parte de endurecedor, y en nuestro caso se le añade un 15% aproximadamente de carbonato de cal.



Figura 5.5. Carbonato de cal

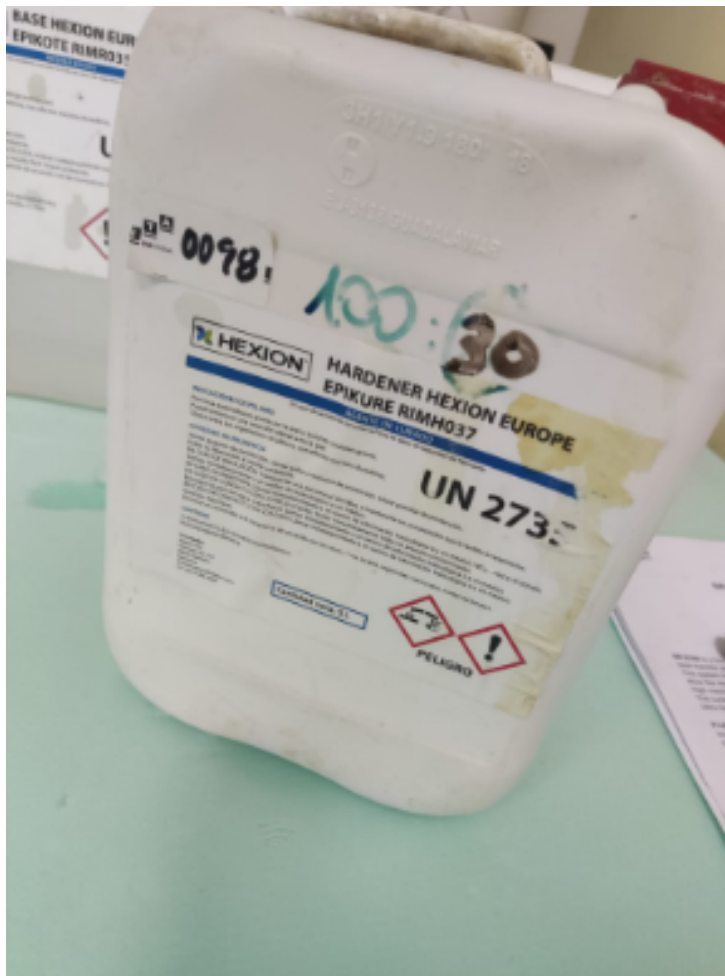


Figura 5.6. Agente de dureza



Figura 5.7. Resina epoxi

Después hay que dejar curar la resina, en nuestro caso se utiliza un horno situado en el taller para meter el molde, lo dejamos 24h a 40° C. Habrá que hacer todo este mismo proceso con la otra mitad del molde también.



Figura 5.8. Horno

Además, para finalizar el molde, sus partes fueron reforzadas con capas de fibra de carbono y fibra de vidrio, como se muestra en la Figura 5,9 con el fin de lograr una rigidez relativamente alta, especialmente teniendo en cuenta el desmoldeo. También debido a la fabricación en cuatro partes de cada válvula del molde debido a limitaciones de longitud en el proceso de fabricación.

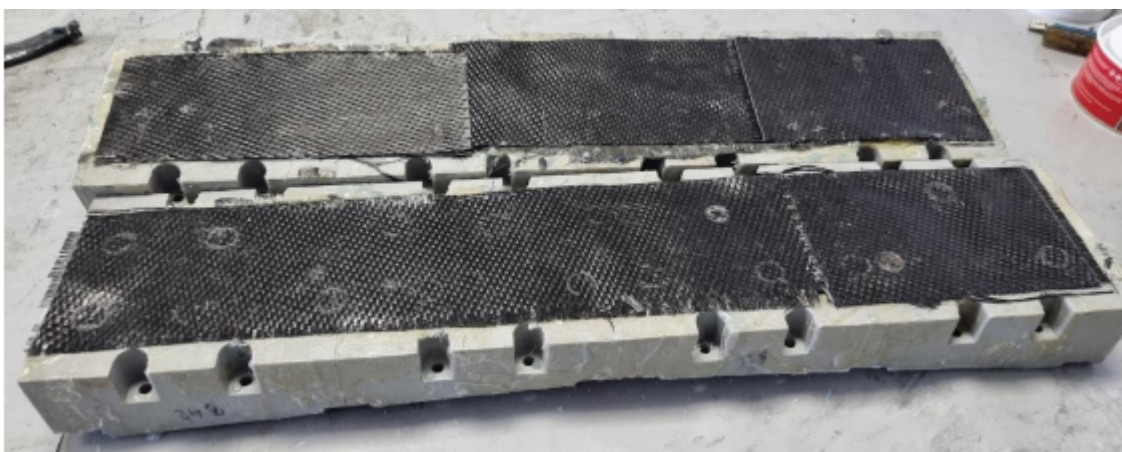


Figura 5.9. Refuerzo de carbono

7.3.2 Fabricación del manillar

Los manillares a ensayar serán fabricados en el taller de la nave 5 del edificio Betancourt de la Universidad de Zaragoza y con el molde ya presentado. Igual que anteriormente, en este proceso están involucrados mi tutor Jesús Cuartero y su compañero Sergio Arnau

Para llevar a cabo la fabricación de un manillar de fibra de carbono, es fundamental seguir una serie de pasos detallados para garantizar la resistencia y calidad del producto final. El proceso comienza con la preparación de la fibra de carbono y culmina con el curado y desmoldeo del manillar, un producto altamente resistente y ligero, ideal para bicicletas de alto rendimiento. A continuación se describe el proceso de manera detallada, teniendo en cuenta el uso de fibra tubular y la aplicación de presión durante la fabricación.

Preparación de la fibra de carbono

El primer paso en la fabricación de un manillar de fibra de carbono es cortar el trenzado de fibra utilizando el molde como referencia. La fibra de carbono utilizada en este proceso es de tipo tubular, lo que implica que las fibras se alinean con el eje del manillar. Este tipo de fibra se utiliza debido a su resistencia y capacidad para distribuir las cargas de manera eficiente a lo largo del manillar.

El manillar se fabrica con 4 capas de fibra en el centro y 3 capas en los extremos (igual que al realizar el modelo en Abaqus), lo que permite una distribución óptima de la fibra para mejorar tanto la resistencia como la flexibilidad del producto final. Es importante que las capas de fibra estén alineadas correctamente para asegurar que las propiedades del material se aprovechen al máximo.

Colocación de la bolsa interna para compresión

Una vez que las capas de fibra de carbono están listas, se procede a colocar una bolsa interna en el molde para permitir la compresión por presión positiva. Esta bolsa es esencial para aplicar una presión uniforme durante el proceso de curado, lo que permite una correcta impregnación de la resina en las fibras de carbono.

Se utiliza una cámara de bicicleta como fuente de presión. Esta cámara se coloca dentro del tubo de fibra que conformará el manillar, y posteriormente se inflará después de aplicar resina y cerrar el molde hasta alcanzar una presión de aproximadamente 2 bares.

Empapado de las capas de fibra tubular con resina

A continuación, se realiza el empapado de cada capa de fibra de carbono utilizando la técnica de "hand lay-up". En este proceso, cada capa de fibra tubular se moja a mano con resina, asegurando que las fibras queden completamente impregnadas. El control de la cantidad de resina es crucial para obtener un manillar que sea ligero pero fuerte, con la cantidad justa de resina para asegurar la cohesión entre las fibras sin hacer que el producto sea demasiado pesado.

El uso de resina garantiza que las fibras de carbono se unan de manera eficiente, lo que resulta en un manillar resistente, capaz de soportar las tensiones y fuerzas a las que se verá sometido durante su uso.

Aplicación de la presión y curado

Una vez que el manillar está listo, el siguiente paso es cerrar el molde y proceder con la inflación de la cámara de bicicleta. La cámara se infla hasta alcanzar una presión de aproximadamente 2 bares, lo que asegura que las capas de fibra se compactan adecuadamente y que la resina se impregne correctamente. Esta presión también ayuda a dar forma al manillar, especialmente en las zonas curvas y en los extremos, donde se requiere una mayor precisión.

El proceso de curado, en el que el manillar se mantiene a temperatura controlada durante un tiempo determinado, es esencial para que la resina se endurezca y las capas de fibra tubular se unan de manera sólida, dando como resultado un manillar de fibra de carbono completamente funcional y robusto.

Material de la bolsa de presión

La bolsa interna utilizada para aplicar la presión está fabricada con una mezcla de goma isobutileno-isopreno (IIR), con un 80% de IIR y un 20% de IIR puro, o en algunos casos, con un 90% de IIR. Este material es altamente resistente a las presiones y temperaturas del proceso de curado, garantizando que la bolsa soporte las condiciones exigentes sin deformarse ni dañarse.

Desmoldeo y acabado final

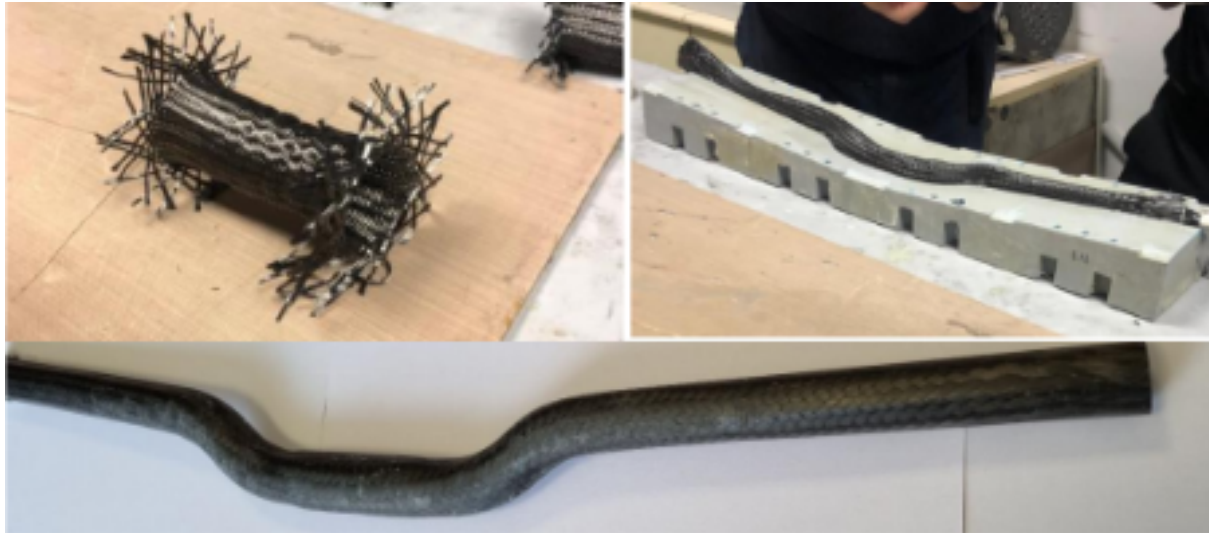
Una vez que el manillar se ha curado completamente, se procede a desmoldarlo. Dado que la cámara de bicicleta es fácil de retirar, no se requieren agentes desmoldantes ni cera. El manillar resultante tiene un acabado de alta calidad, con una excelente impregnación de la resina y un perfil bien definido. Las capas de fibra tubular se mantienen alineadas a lo largo del eje, proporcionando la máxima resistencia y rigidez en la dirección deseada.

Es importante resaltar que la presión aplicada durante el proceso es un factor crítico. Si la presión no es suficiente, pueden surgir defectos como una mala compactación, lo que afectaría la resistencia del manillar.

Conclusión

La fabricación de un manillar de fibra de carbono a partir de un molde utilizando fibra tubular es un proceso que combina la precisión en la colocación de las capas con la correcta aplicación de presión y temperatura. El uso de una cámara de bicicleta para aplicar la

presión es una solución eficiente y económica, que asegura una compactación adecuada y una forma precisa del manillar. Con este proceso, es posible fabricar un manillar de fibra de carbono ligero, resistente y de alto rendimiento, ideal para bicicletas de alta gama.



El diseño propuesto permite que el manillar soporte esfuerzos similares a los de una barra de acero, gracias a la selección de fibra de carbono trenzada. Además, se muestran moldes extremadamente rentables hechos de Ácido Poliláctico (PLA) mediante la técnica de impresión 3D.

Normalmente, los manillares de fibra de carbono se fabrican con fibra de carbono unidireccional (UD) preimpregnada, lo que da como resultado una pieza ligera pero frágil. Sin embargo, este nuevo diseño de manillar demuestra su capacidad para soportar fuerzas comparables a las de una barra de acero. El comportamiento mecánico de este nuevo manillar garantiza que el usuario final pueda al menos regresar a casa en caso de una falla. Su peso es casi el mismo que el de los manillares de fibra de carbono unidireccional, pero su comportamiento permite una experiencia de ciclismo más segura.

8. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

El Análisis de Elementos Finitos (FEA) es una técnica numérica que permite resolver problemas complejos de ingeniería dividiendo una estructura en pequeños elementos finitos. Cada elemento es analizado individualmente, y luego los resultados se combinan para obtener una solución global.

Principales etapas:

1. Malla: Dividir la geometría en elementos pequeños.
2. Formulación: Aplicar ecuaciones de mecánica (como equilibrio y deformación).
3. Condiciones de frontera: Imponer restricciones y cargas.
4. Resolución: Obtener desplazamientos y tensiones.
5. Post-procesamiento: Visualizar los resultados.

Tipos de análisis:

- Estático lineal y no lineal: Para cargas constantes o materiales no lineales.
- Modal: Frecuencias de vibración.
- Térmico: Efectos de temperatura.
- Dinámico: Respuesta a cargas variables.

Ventajas:

- Flexibilidad: Permite analizar geometrías complejas.
- Optimización: Mejora diseños sin prototipos físicos.
- Precisión: Resultados detallados y específicos.

Limitaciones:

- Tiempo de cálculo: Modelos complejos requieren más recursos.
- Dependencia de la malla: La precisión depende de la calidad de la malla.

Conclusión:

El FEA es fundamental para el análisis y diseño de componentes mecánicos, proporcionando resultados precisos y optimización, a pesar de sus limitaciones computacionales.

8.1 Software FEM.

Para el análisis de elementos finitos del manillar ha sido necesaria la utilización de un software **FEM** (por sus siglas en inglés, **Finite Element Method** o Método de Elementos Finitos). El utilizado en este proyecto ha sido Abaqus/CAE 6.14-6 ya que lo puedo obtener gracias a la universidad de Zaragoza mediante la plataforma Appsanywhere.

Un **software FEM es** una herramienta informática que permite analizar y simular el comportamiento de estructuras y componentes bajo diversas condiciones de carga y esfuerzo. El **Método de Elementos Finitos (FEM)** es un enfoque numérico utilizado para resolver problemas de ingeniería que involucran la física de materiales, mecánica de sólidos, dinámica estructural, termodinámica, entre otros.

El **Método de Elementos Finitos** descompone una estructura o componente complejo en pequeñas "partes" o **elementos finitos**, que pueden ser de diversas formas (triángulos, cuadrados, tetraedros, etc., dependiendo de la geometría del objeto). Cada uno de estos elementos tiene propiedades materiales y condiciones de frontera específicas. Luego, el software resuelve el comportamiento físico de cada elemento bajo las cargas y condiciones dadas, y posteriormente, combina los resultados de todos los elementos para predecir el comportamiento global de la estructura.

Este proceso de discretización permite obtener soluciones aproximadas a problemas que no pueden resolverse de forma analítica (por ejemplo, en geometrías complejas o bajo cargas no lineales).

En el contexto de este **Trabajo de Fin de Grado (TFG)** sobre el diseño, cálculo y fabricación de un manillar de bicicleta en fibra de carbono, un software FEM es útil para:

1. **Análisis de esfuerzos:** Puedes simular cómo el manillar soportará fuerzas de torsión, flexión, compresión y tracción durante su uso. Esto te permite asegurarte de que el diseño es lo suficientemente robusto sin ser excesivamente pesado.
2. **Simulación de deformaciones:** La fibra de carbono tiene propiedades únicas en cuanto a rigidez y deformación. El software FEM puede ayudarte a analizar cómo se deformará el manillar bajo diferentes cargas, lo cual es crucial para asegurar que no se deforme de manera no deseada o peligrosa.
3. **Optimización del diseño:** Puedes modificar el diseño del manillar para que sea lo más eficiente posible en términos de peso y resistencia. El software FEM puede ayudarte a identificar áreas de concentración de esfuerzos y realizar un diseño más eficiente, ajustando los grosores de las capas de fibra de carbono, su orientación, o la geometría del manillar.
4. **Estudio de fatiga y resistencia:** Un manillar de bicicleta está sujeto a cargas cíclicas debido a los movimientos repetitivos durante el pedaleo, las curvas y los impactos. El software FEM te permite realizar análisis de fatiga para determinar la vida útil del manillar y asegurarte de que pueda soportar estas cargas durante un periodo prolongado.

Ventajas del uso de un Software FEM:

- **Precisión:** Ofrece soluciones precisas para problemas complejos de mecánica estructural, proporcionando resultados más confiables que los métodos de cálculo manual tradicionales.
- **Visualización:** Permite ver el comportamiento de la estructura bajo diversas condiciones de carga, lo que facilita la interpretación de los resultados.
- **Optimización:** Te ayuda a optimizar el diseño y la selección de materiales, reduciendo costos y mejorando la eficiencia del componente.
- **Ahorro de tiempo y recursos:** Antes de realizar la fabricación física del manillar, puedes simular múltiples escenarios y ajustar el diseño sin tener que crear prototipos costosos.

Ejemplos de Software FEM populares:

- **ANSYS:** Es uno de los software de simulación más utilizados en ingeniería para análisis de elementos finitos. Permite realizar simulaciones complejas de cargas, deformaciones y fatiga.
- **Abaqus:** Es otro software muy popular en la industria para análisis de elementos finitos, especialmente en el ámbito de materiales compuestos como la fibra de carbono.
- **SolidWorks Simulation:** Es un software de diseño asistido por computadora (CAD) que también tiene módulos para simulación FEM. Es ampliamente utilizado para análisis estructurales en diseño mecánico.
- **COMSOL Multiphysics:** Permite realizar simulaciones multiphysicas, es decir, que abarca más de una disciplina de ingeniería (mecánica, térmica, electromagnética, etc.), lo que puede ser útil dependiendo de los aspectos que necesites estudiar en tu manillar.
- **MSC Nastran:** Es un software muy utilizado en la industria para realizar análisis de elementos finitos en componentes estructurales complejos.

8.2 Abaqus/CAE 6.14-6.

Abaqus/CAE 6.14-6 es un software avanzado de simulación basado en el método de los elementos finitos (FEM), desarrollado por Dassault Systèmes. Se utiliza ampliamente en la ingeniería para modelar y analizar el comportamiento de estructuras y componentes sometidos a diferentes condiciones de carga, temperatura, vibración, entre otras. En este proyecto, Abaqus/CAE 6.14-6 se ha empleado como herramienta principal para la simulación y cálculo de los esfuerzos, deformaciones y comportamientos estructurales de los manillares de bicicleta, tanto en su versión original como en su versión modificada con fibra de carbono.

Abaqus/CAE permite modelar la geometría de los componentes, definir los materiales y condiciones de frontera, aplicar cargas y resolver los problemas de análisis estructural mediante elementos finitos. Este software se destaca por su capacidad para abordar una amplia variedad de análisis, que incluyen análisis estáticos, dinámicos, de fatiga y termomecánicos. Para este trabajo, se han realizado análisis estáticos para evaluar la resistencia del manillar a diferentes cargas aplicadas, y se ha comparado el comportamiento de los modelos de manillar original y modificado.

Principales características y funcionalidades de Abaqus/CAE 6.14-6 utilizadas en este proyecto:

1. Modelado de la geometría: Abaqus/CAE ofrece un entorno intuitivo y robusto para la creación de modelos geométricos, permitiendo importar modelos desde otros programas CAD (como SolidWorks) o construirlos directamente dentro del propio entorno del software. En este proyecto, se ha importado el modelo del manillar desde SolidWorks para realizar las simulaciones.
2. Definición de materiales: El software permite definir propiedades materiales detalladas, como la elasticidad, el coeficiente de Poisson, la densidad, etc. En el caso del manillar modificado, se han utilizado propiedades específicas para la fibra de carbono, considerando su comportamiento anisotrópico y sus características mecánicas.
3. Malla de elementos finitos: La generación de la malla es una parte crucial en el análisis de elementos finitos, ya que determina la precisión y el tiempo de cálculo del modelo. Abaqus/CAE permite controlar de manera precisa el tamaño y tipo de los elementos finitos para garantizar la resolución adecuada del modelo.
4. Aplicación de condiciones de frontera y cargas: En el análisis estructural del manillar, se han aplicado las condiciones de frontera correspondientes (por ejemplo, restricciones de movimiento en los puntos de sujeción) y las cargas que simulan las fuerzas que el manillar experimentaría durante su uso, como las fuerzas de torsión y compresión.
5. Análisis de resultados: Tras realizar las simulaciones, Abaqus/CAE genera gráficos y resultados que permiten visualizar deformaciones, tensiones y factores de seguridad a lo largo de todo el modelo. Estos resultados han sido esenciales para comparar el rendimiento entre el manillar original y el modificado, y evaluar la efectividad de las modificaciones propuestas.

En resumen, Abaqus/CAE 6.14-6 ha sido fundamental para realizar el análisis de elementos finitos en este trabajo, proporcionando las herramientas necesarias para validar y optimizar el diseño del manillar de bicicleta de fibra de carbono.

8.3 Cálculos con Abaqus/CAE 6.14-6

Una vez completado el modelo en SolidWorks, exportamos en un formato CAD. En nuestro caso el formato elegido es el .STEP. Abrimos Abaqus/CAE y realizamos el proceso inverso, la importación.

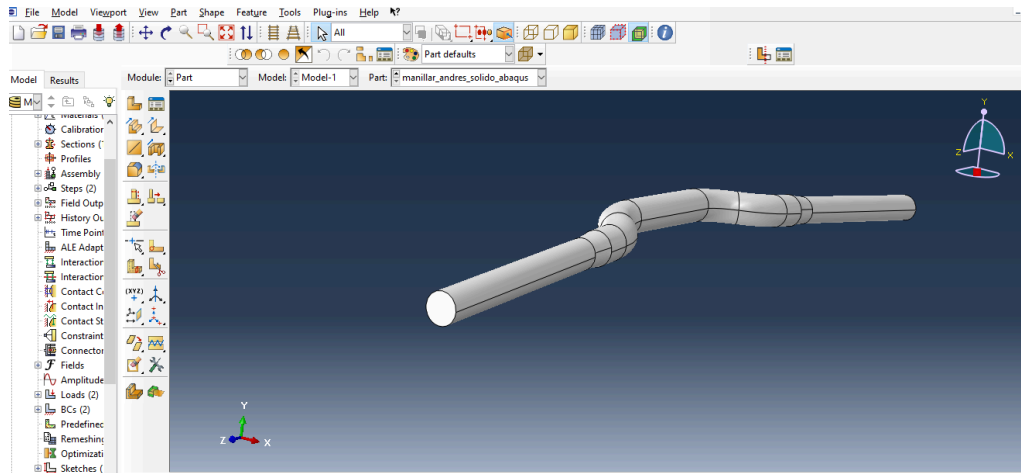


Figura 6.1. Manillar importado a Abaqus

Creando un material en Abaqus:

Abaqus provee un amplio rango de posibles comportamientos del material. Un material es definido eligiendo el comportamiento apropiado para el propósito de un análisis. El programa requiere que el material esté correctamente definido para proporcionar las propiedades convenientes de los elementos con los cuales el material está asociado, aunque es posible omitir algunos parámetros que no son necesarios para el tipo de análisis. Abaqus permiten la simulación de modelos con características lineales, no-lineales, materiales isótropos y anisótropos. Para introducir las propiedades de nuestro material en el modelo de Abaqus, debemos ir al módulo llamado “Materials” y pinchar sobre el botón “Create Material” o hacer click derecho y “create”. Entonces se abrirá una ventana llamada “Edit Material”, en la que debemos seleccionar el comportamiento del nuestro material (Material Behaviors) entre: General, Mechanical, Thermal y others.

El material que nosotros utilizaremos, fibra de carbono tubular, tendrá un comportamiento elástico lineal y anisótropo, por lo que iremos a la categoría de “Mechanical”, dentro de esta “Elasticity” y “Elastic”. Aquí elegiremos que tipo de material elástico, que en nuestro caso pondremos “Lamina”, utilizado para los materiales anisótropos como la fibra de carbono. Introduciremos los datos de la siguiente tabla sacada de las propiedades calculadas en el Anexo 3 e iremos a “Suboptions” y “Fail stress” para terminar de añadir todas las propiedades

Propiedad	Unidad	Valor	Propiedad	Valor
E11	MPa	76100	X	680
E22	MPa	18100	X'	540
G12	MPa	12700	Y	100
μ	-	0.18	Y'	80
Densidad	kg/m3	1560	S12	125

Tabla de propiedades de la fibra de carbono utilizada.

X: tensile strength axis 1.

X': compressive strength axis 1.

Y: tensile strength axis 2.

Y': compressive strength axis 2.

S12: interlaminar shear strength.

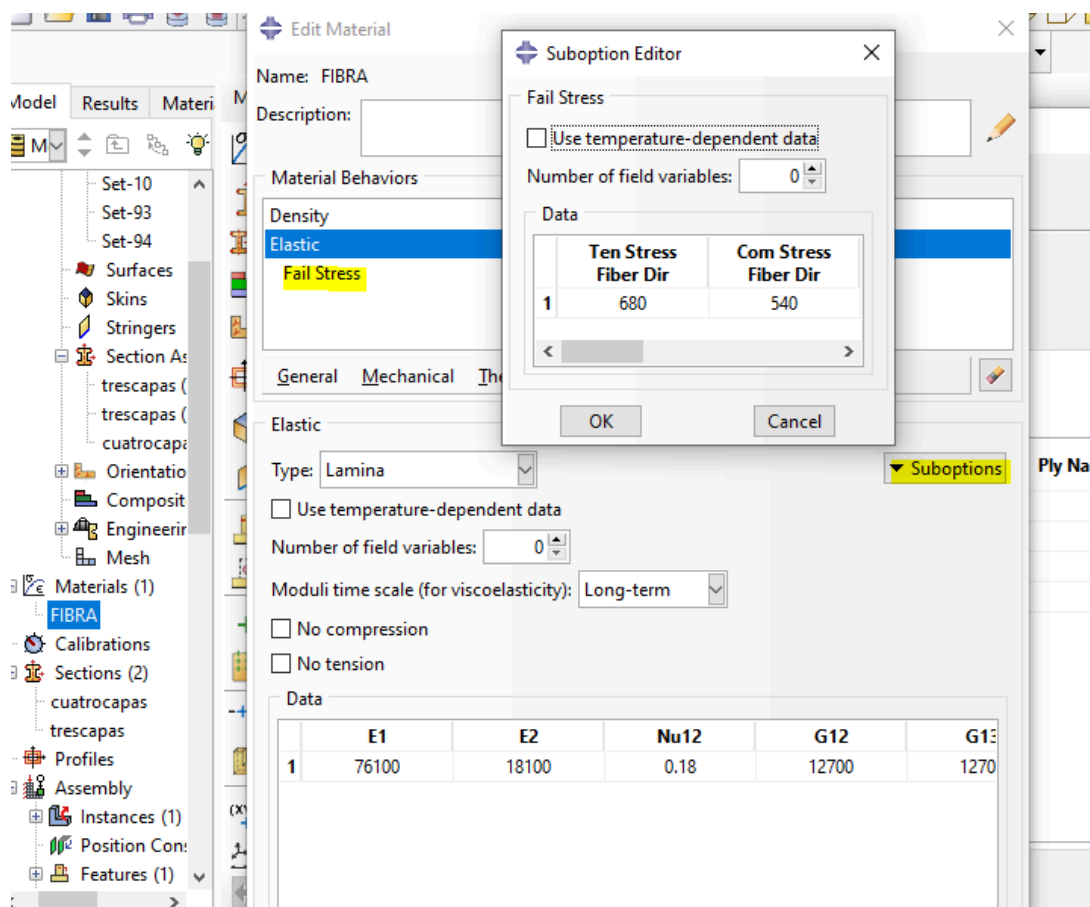


Figura 6.2. Creación de material

Y por último iremos ahora dentro de esta ventana a “General” y “density” para añadir así la densidad del Anexo 3, Con esto ya habremos creado y definido al completo el material a utilizar.

Creando una sección en Abaqus:

Debido a que nuestro modelo ha sido creado mediante superficies y no como un sólido, los tubos no tienen espesor alguno, por lo tanto hay que darles uno. Esto se realiza con el módulo “Sections”. Pinchando este módulo con el botón derecho del ratón y “Create”, o seleccionando el botón de “Create Section”, se abrirá una ventana en la que podremos elegir la categoría, en nuestro caso “Shell”, y dentro de esta el tipo, en nuestro caso “Composite”. Seleccionando “Continue..” nos aparecerá la ventana “Edit Section” donde definiremos el material, el espesor, el ángulo de orientación y el nombre de la capa. Haremos dos secciones diferentes, ya que queremos que un trozo de material tenga 3 capas y otro 4 capas. El material será el que hemos introducido antes, el espesor será de 4.2 mm para la zona con cuatro capas según lo visto en el Anexo 3 (1.05 mm por cada una de las cuatro capas), el ángulo de orientación de la fibra 0° (Con lo que el eje de la fibra de carbono será paralelo al eje X en las coordenadas locales del elemento). La sección de 3 capas se crea igual pero con 3 capas.

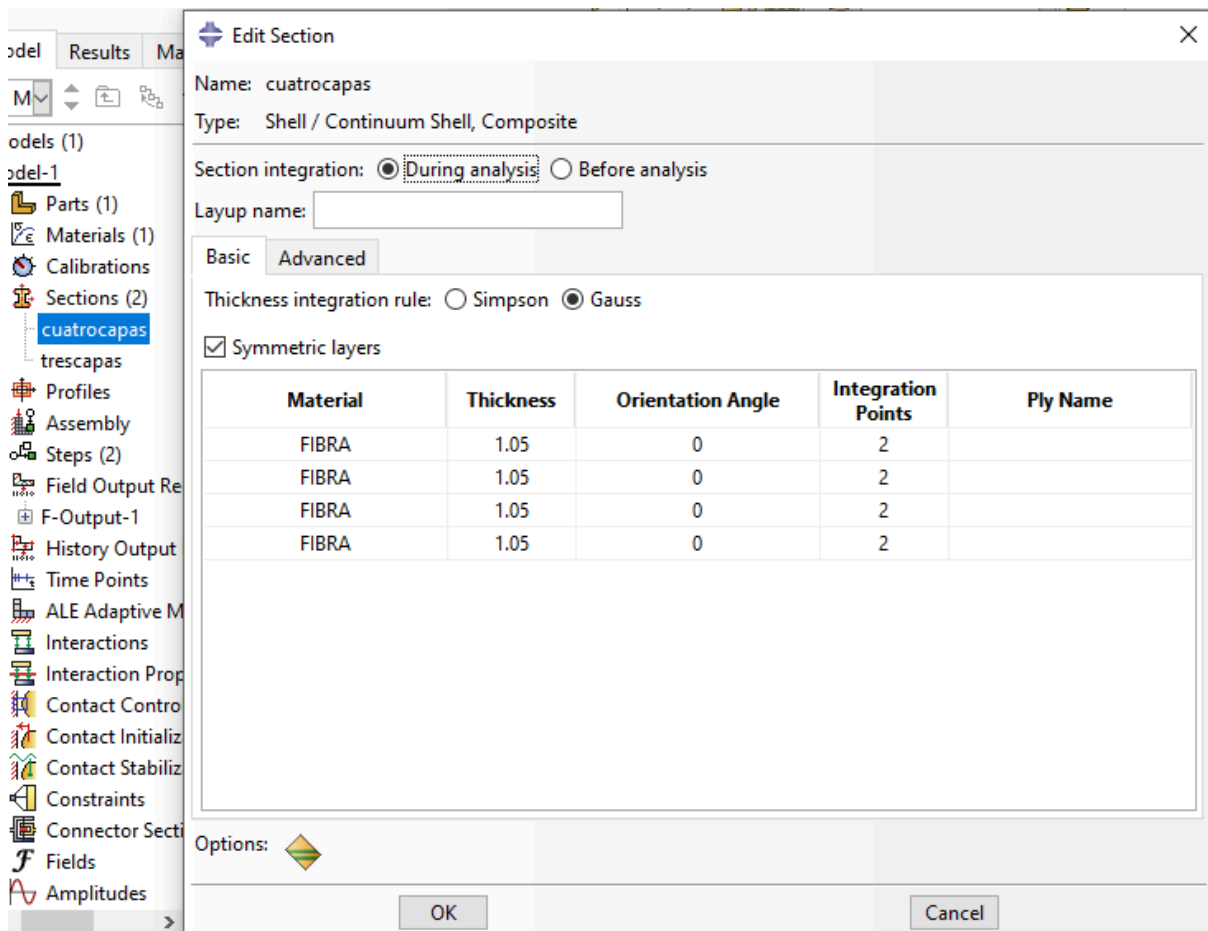


Figura 6.3. Creación de secciones

Asignar secciones:

Lo primero antes de asignar la sección, crearemos unas regiones llamadas “sets”, ya que queremos que la parte del centro del manillar hasta que acaba la curvatura tenga la sección de 4 capas y los extremos sobre los que apoyamos las manos tendrán la sección de 3 capas. Así que en mi caso crearé tres “sets” para poder asignar las diferentes secciones.

Vamos a “Parts” y buscamos “Sets” y le damos a “Create” y creamos las tres seleccionando la geometría que forma parte de cada una.

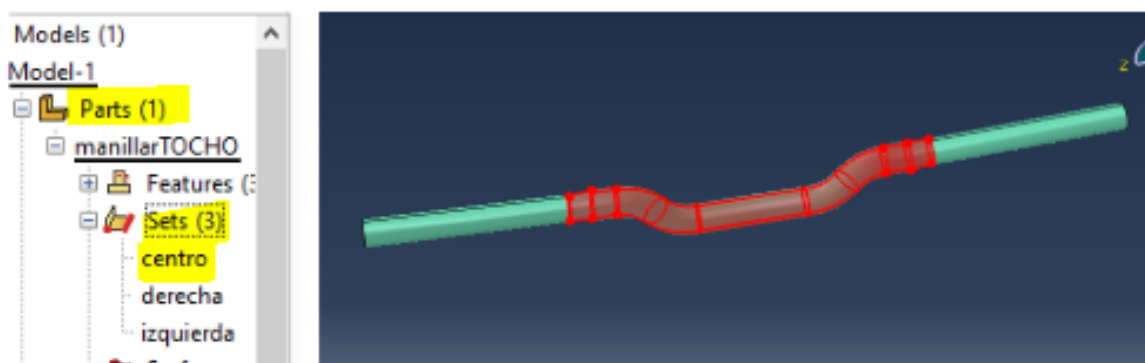


Figura 6.4. Creación de set “centro”

Ahora ya se puede proceder a la asignación de las secciones, vamos a “Section Assignment” y como ya hemos creado los “sets” nos saldrá ya para elegir las regiones creadas y elegimos la que vayamos a asignar y “Continue”.

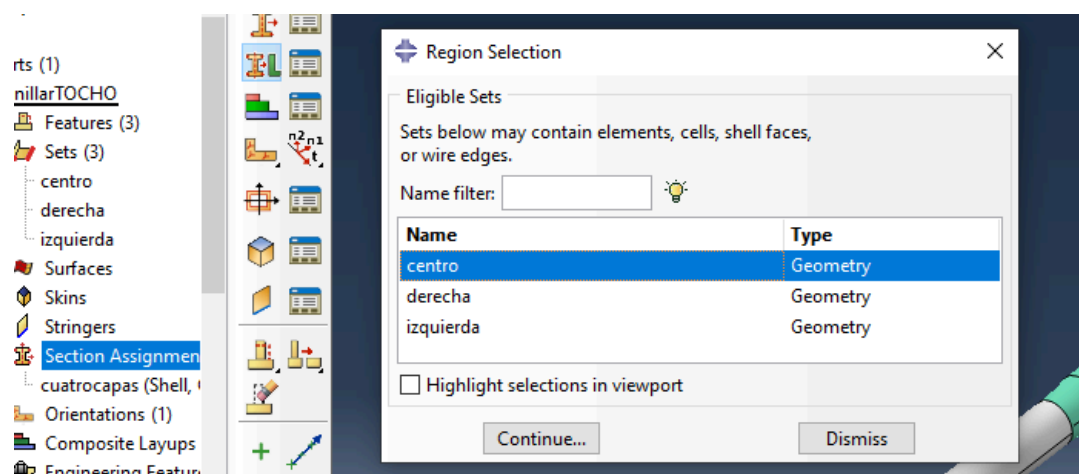
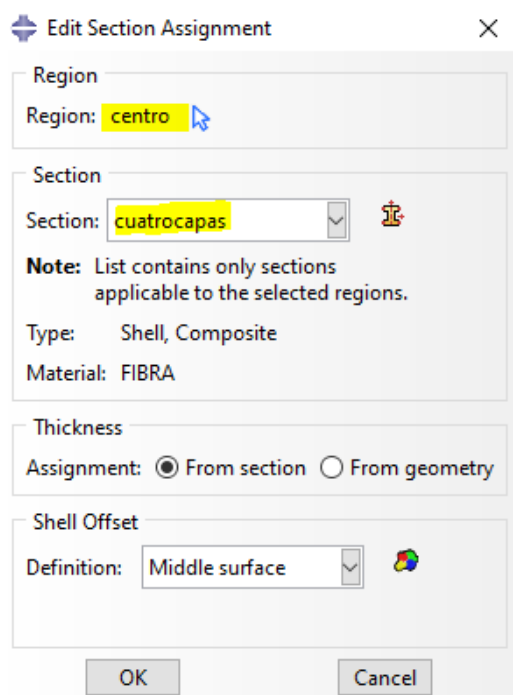


Figura 6.5. Asignación de set “centro”

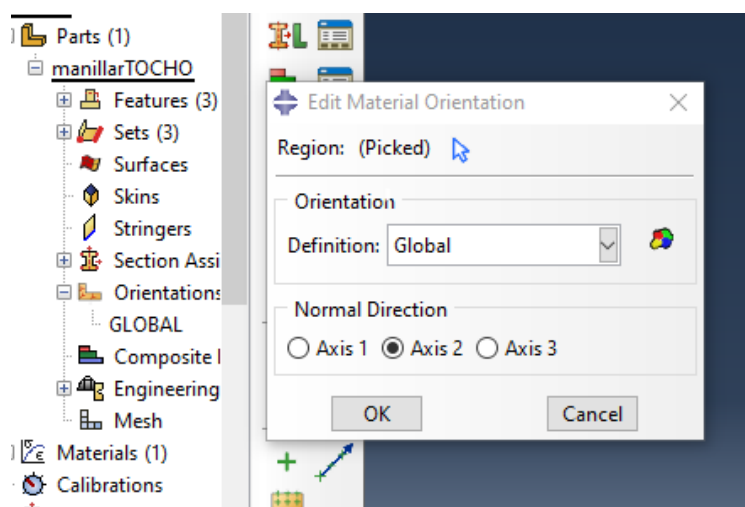


Nos saldrá este cuadro y en “Section” elegimos la que queremos asignar a la región “set” llamada “centro” en este caso. Le asignamos “cuatrocapas” y ya vemos el tipo de sección y material que le pertenece.

Le damos a “OK” y volvemos a repetir la operación para asignar los “sets” (“izquierda” y “derecha”) con la “Section” llamada “trescapas”. Con esto ya tendremos todas las secciones asignadas pero vamos a hacer un último paso antes de seguir con las cargas y condiciones de contorno. Vamos a orientar el material.

Orientar material:

Como hemos definido unas secciones en las que cada capa tiene una orientación. Es importante que la orientación de la sección coincida con los ejes internos de la pieza, que en este caso al ser un tubo con curvas, irá cambiando. Además los ejes de Abaqus también están mal colocados respecto al manillar.



Vamos a “Parts” y “Orientations” y le damos a crear para ver esta ventana. Tenemos tres direcciones posibles, probando veremos la que coincide con la que queremos que coincida con nuestro eje “x” del manillar.

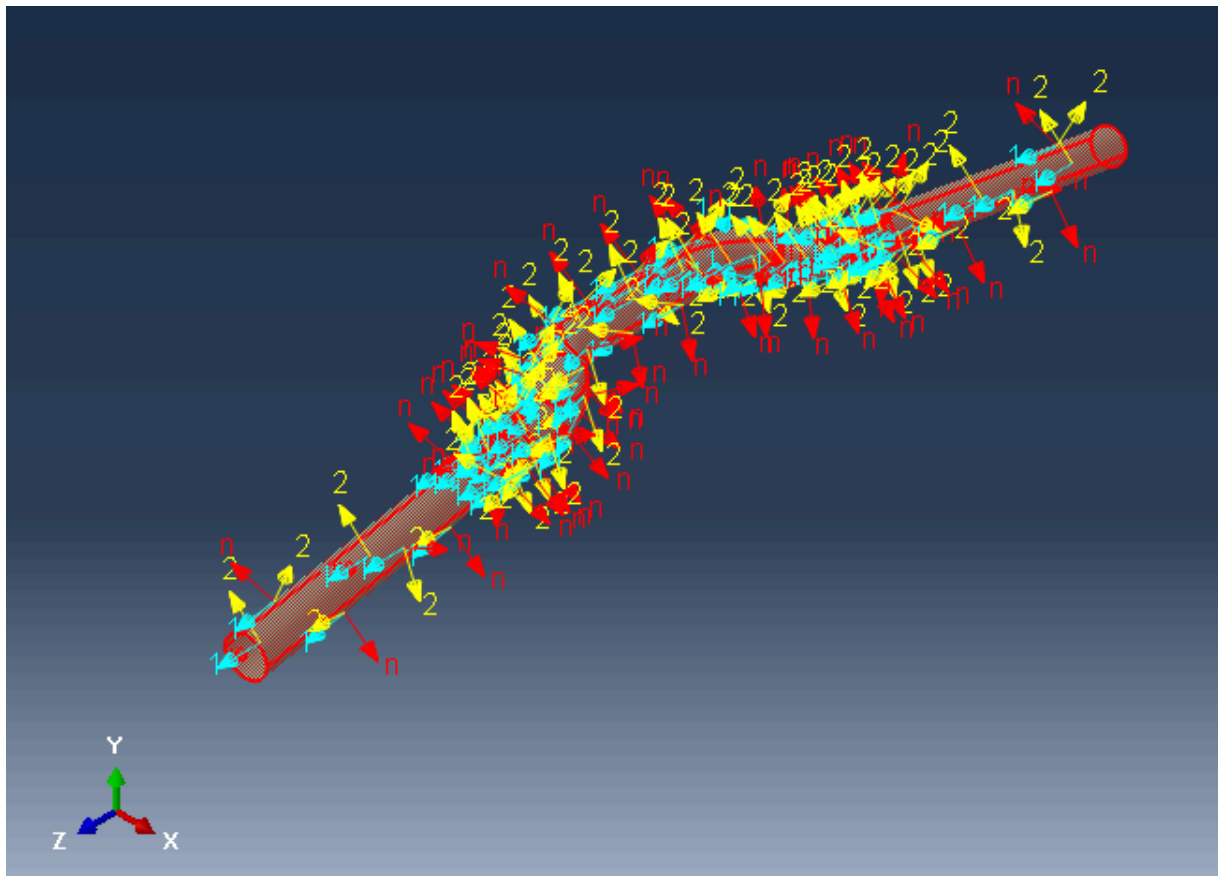
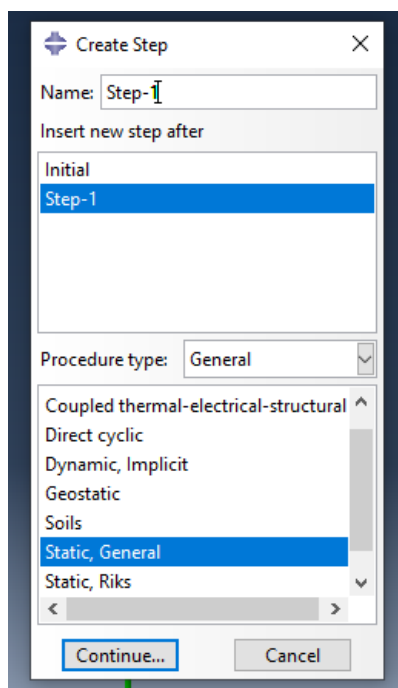
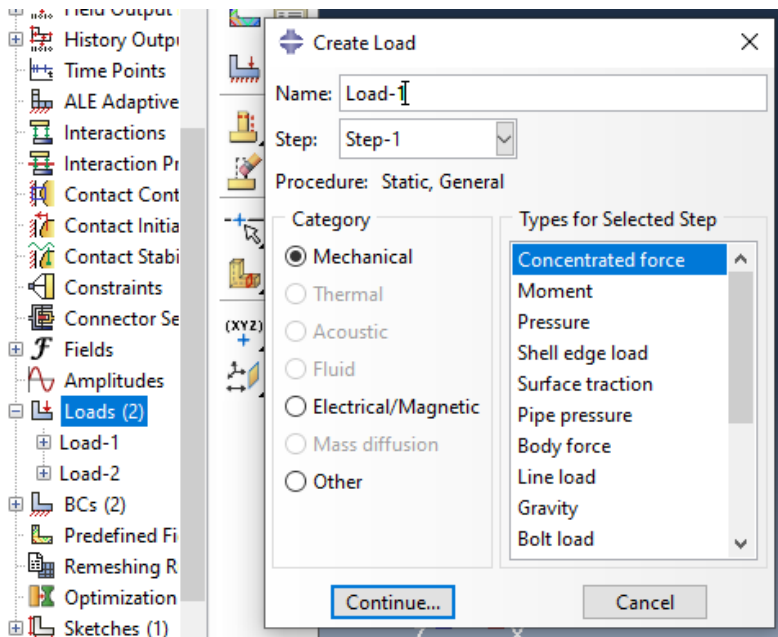


Figura 6.6. Orientación del material

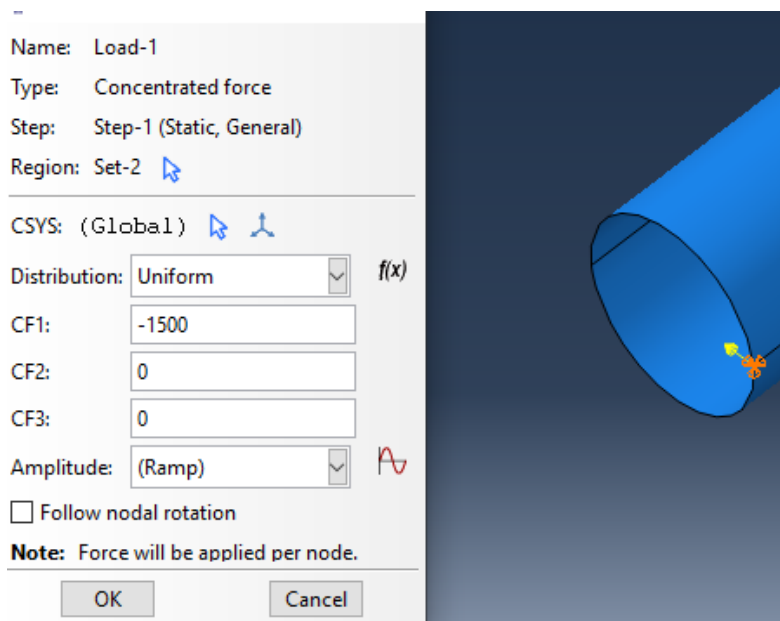


Cargas y condiciones de contorno:

Para introducir la carga, primero crearemos un "Step". Vamos a "Steps" y crear, elegimos (static, general) y continuamos y le damos a OK.

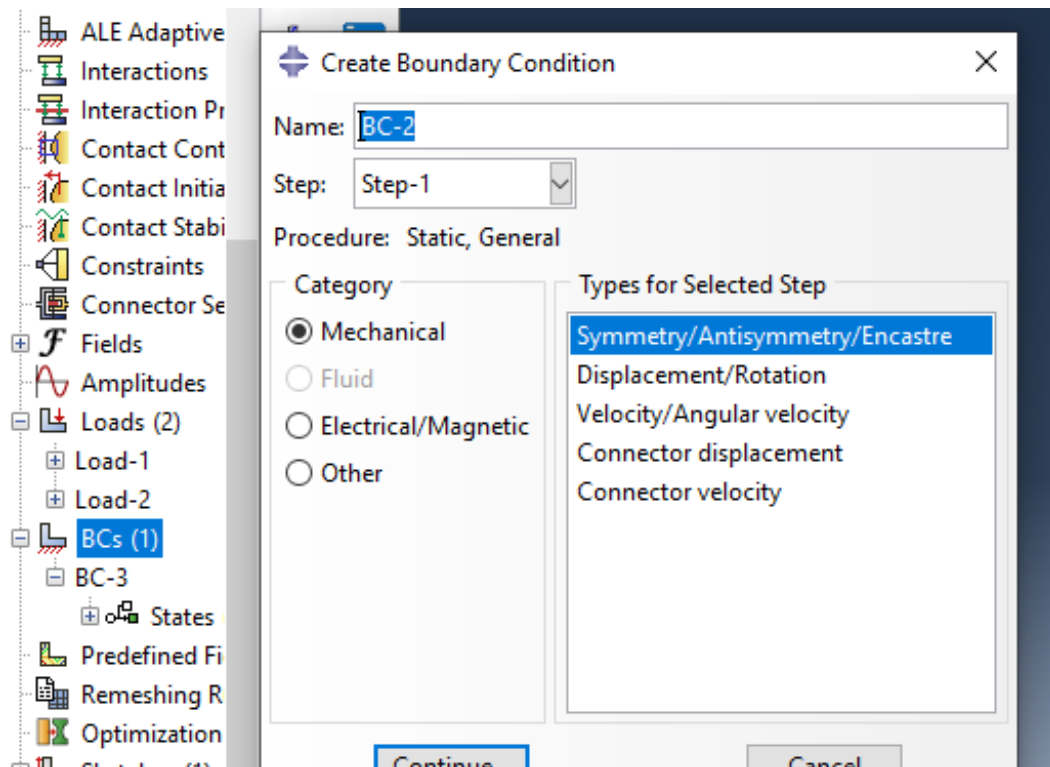


Después procedemos a crear las cargas. Crearemos una carga puntual de 150 kg en cada uno de los extremos del manillar para que de esta forma sumen 300 kg. Vamos a “Load” y crear. Elegimos (concentrated force) y el step recién creado y le damos a continuar. Ahora nos pedirá el punto en el que queremos aplicar la carga. Seleccionamos el punto del extremo y a continuación aparece otra ventana.

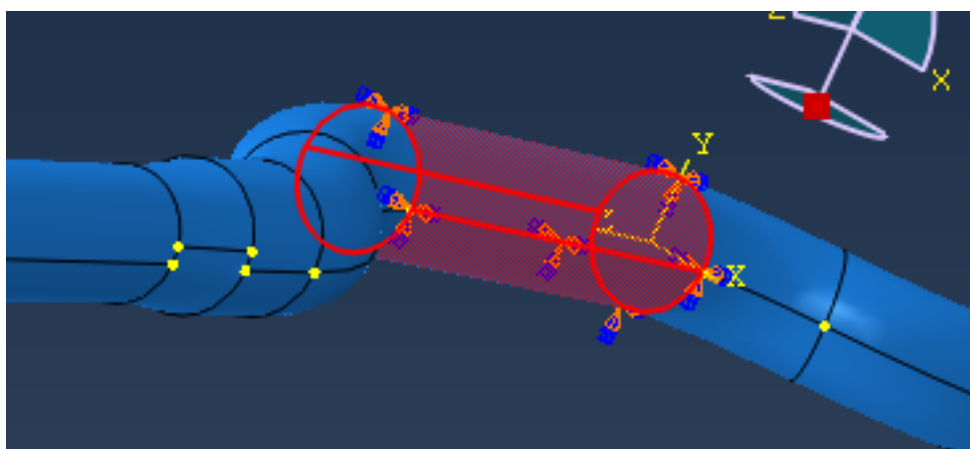


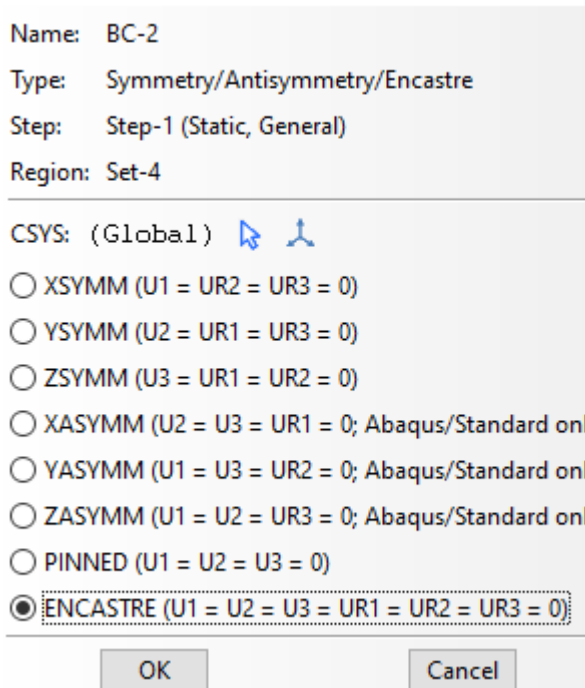
Metemos (-1500) porque las unidades serán Newtons y nos fijamos en que la flechita de la fuerza en el punto que se aplica, coincida con la dirección que queremos. Le damos OK y repetimos la misma operación con el otro extremo del manillar.

Ahora es el turno de introducir las condiciones de contorno, en nuestro caso se hace la hipótesis de que todo el centro del manillar está fijo, ya que es donde estaría unido a la potencia del manillar, y aunque esta zona sea mas grande de lo debido nos servirá como hipótesis de cálculo. Vamos a “BCs” y crear y elegimos la opción encastre y continuar:



Ahora seleccionamos la zona en donde queremos efectuar la condición:



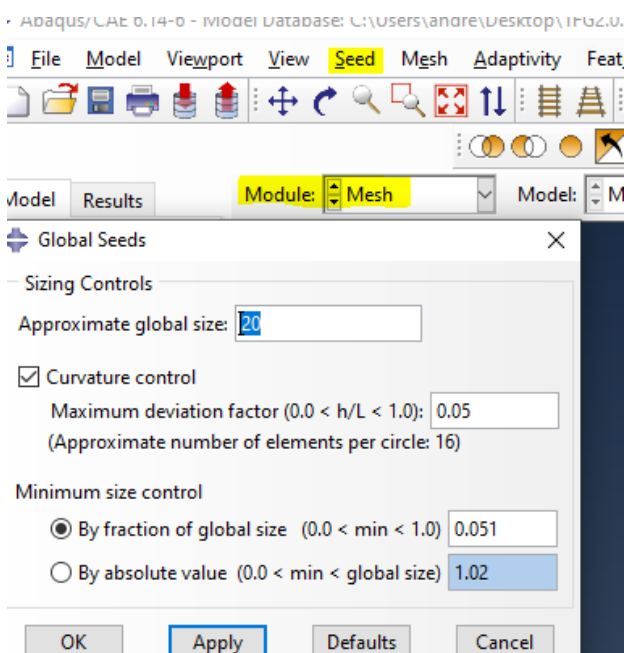


Aparecerá una nueva ventana y seleccionamos (ENCASTRE) y OK.

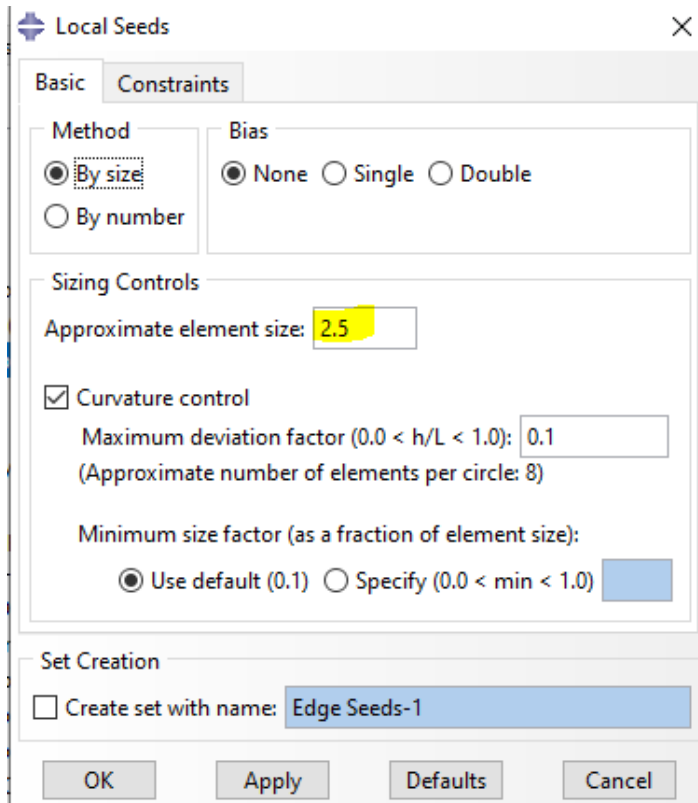
La opción "**Encastre**" en las condiciones de contorno de Abaqus implica que se bloquean todos los grados de libertad (desplazamientos y rotaciones) en una región o conjunto de nodos, lo que simula que la parte está completamente fija en esa zona.

Creación de la malla en Abaqus:

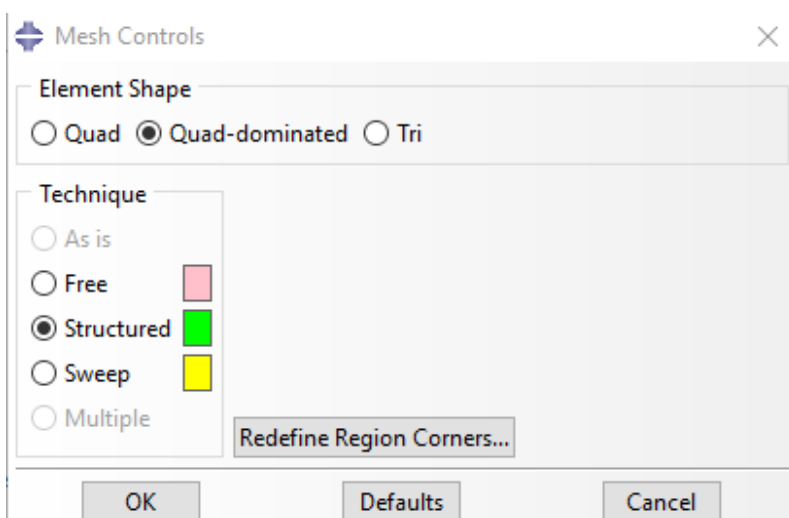
Con todo esto ya definido solo nos queda hacer el mallado para poder efectuar los cálculos sobre el manillar. Esta parte dio problemas ya que era complicado afinar la malla y que no fallase el proceso de cálculo después.



Vamos a Module: "Mesh", aquí iremos a "Seeds" y "Part..." y accedemos a la ventana Global Seeds y ponemos 20 en approximate global size. Podemos darle a Apply para previsualizar y después darle a OK.



Ahora iremos a “Seeds” y “Edges” y seleccionamos todo el manillar y accedemos a la ventana Local Seeds, ponemos 2.5 en approximate element size. Podemos darle a Apply para previsualizar y después darle a OK.



Ahora iremos a “Mesh” y “Controls” y seleccionamos todo el manillar y accedemos a la ventana Mesh Controls, nos aseguramos de seleccionar Element shape: Quad-dominated y elegir Technique: Structured

Lo último que haremos para definir el mallado será ir “Mesh” y “Element Type” y seleccionar el manillar completo. Una vez hecho esto, en la ventana que aparece seleccionamos como se ve para que nos salga la malla S4R.

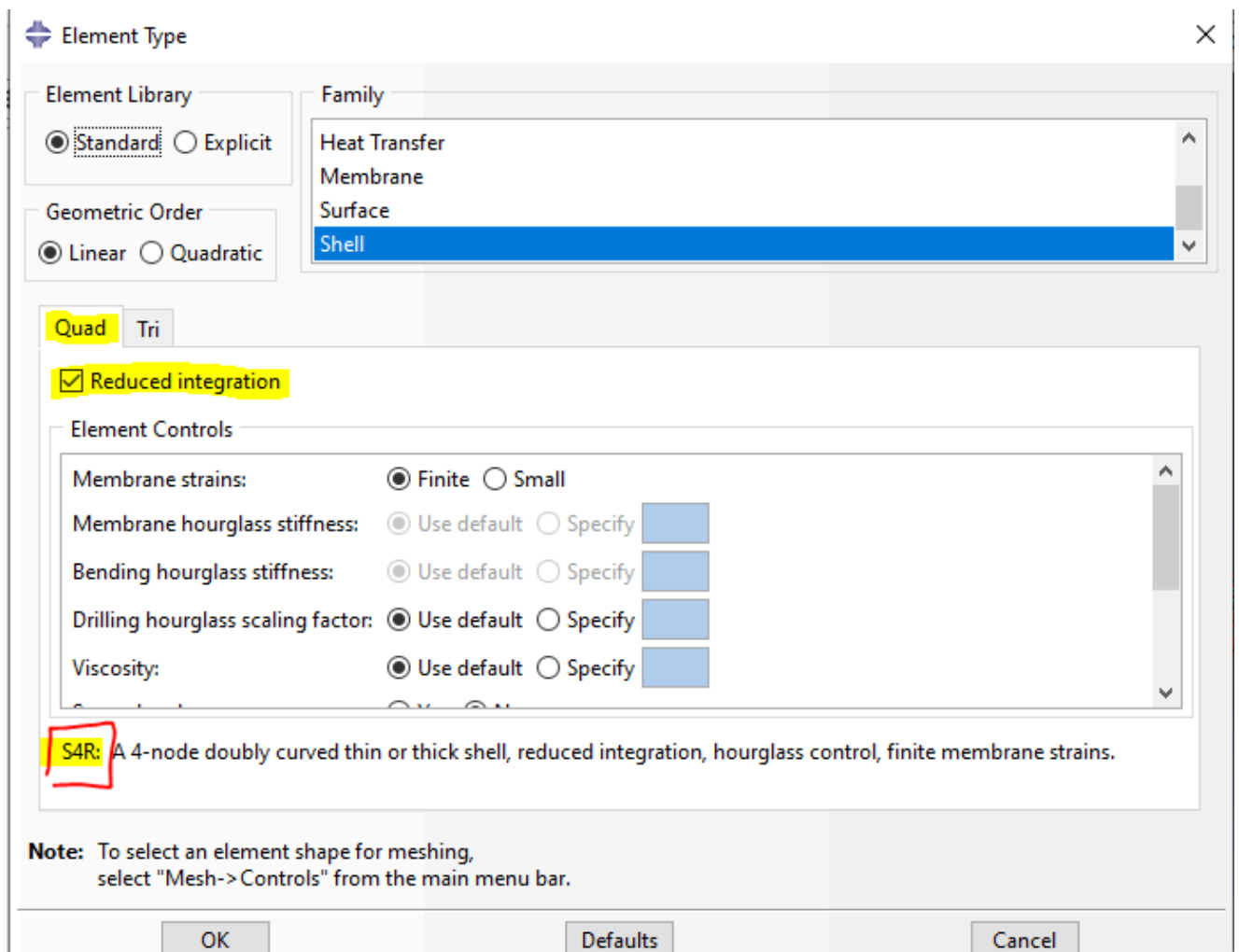
Element library: Standard.

Family: Shell.

Geometric Order: Linear

Y seleccionamos la ventana Quad y activamos la casilla de Reduced integration.

Con esto ya podemos dar OK y proceder a mallar.



Para finalizar de crear la malla vamos a “Mesh” y “Part”, luego damos a “Yes” y nos creará directamente toda la malla. Con esto procederemos a crear un “Job” “Submit” y ver resultados.

OK to mesh the part?

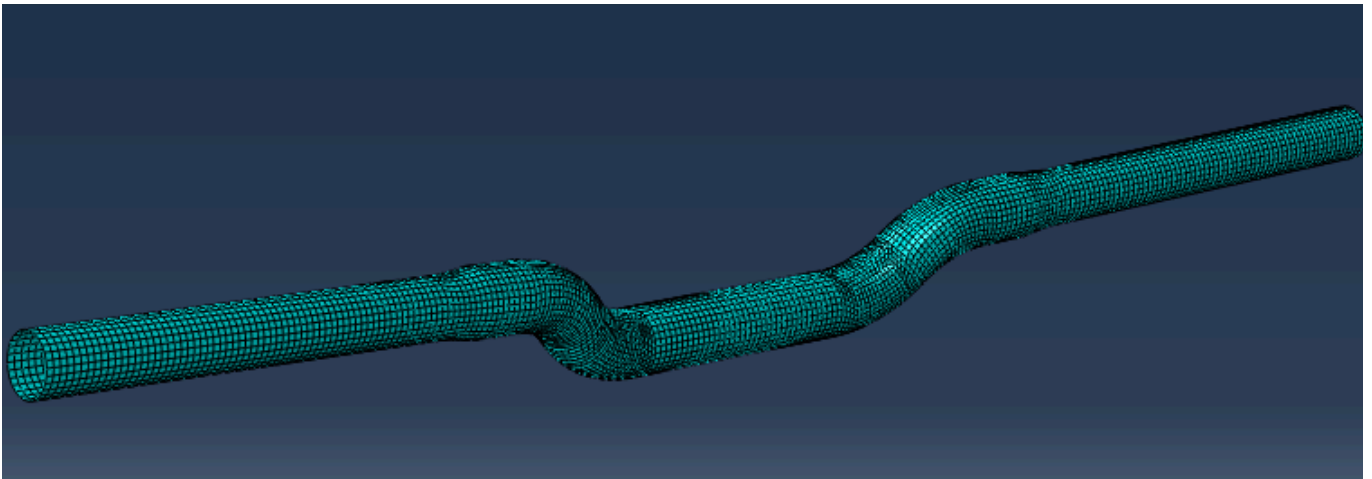


Figura 6.7. Malla del manillar

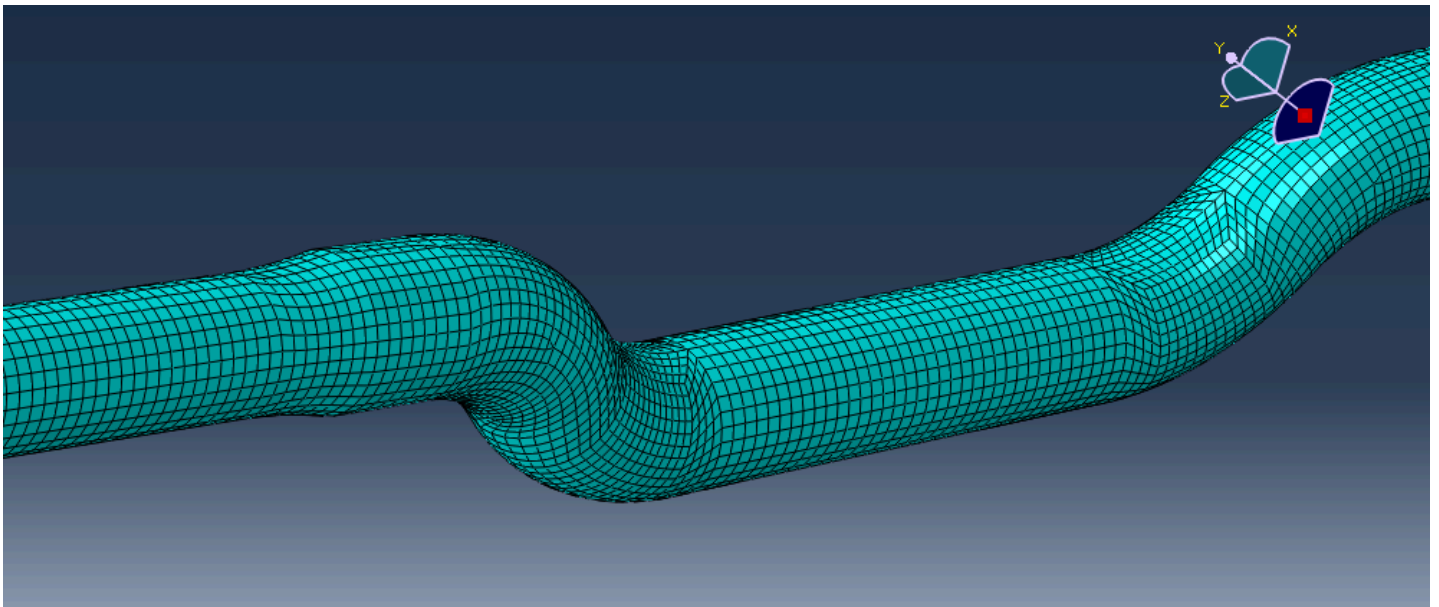


Figura 6.8. Detalle de la malla

8.4 Resultados de cálculos (FEM)

Vamos a analizar los resultados obtenidos con Abaqus, para ello utilizaremos el criterio de fallo de Tsai-Wu el cuál se desarrolla más en profundidad en el Anexo 2.

Se comparan los resultados con los del manillar anterior que podemos ver en el Anexo 3. Ese manillar se obtuvieron resultados mediante el criterio de fallo de Hashin.

Los criterios de Hashin y Tsai-Wu son herramientas fundamentales en el análisis de materiales compuestos, especialmente para predecir el fallo de estructuras como manillares de fibra de carbono. Aunque ambos criterios evalúan las condiciones de fallo, tienen diferencias clave en su formulación y aplicación:

Criterio de Hashin

El criterio de Hashin es un modelo de fallo específico para materiales compuestos y considera diferentes mecanismos de fallo, como la rotura de fibras, el fallo de la matriz o la interacción entre ambos. Su enfoque se basa en distinguir entre los modos de fallo según las tensiones aplicadas. Esto lo hace especialmente útil en análisis más detallados.

Características principales:

1. Modo de fallo: Diferencia entre fallo de las fibras (a tracción o compresión) y fallo de la matriz (a tracción o compresión).
2. Precisión: Ofrece predicciones más precisas para materiales compuestos anisótropos como la fibra de carbono, donde los modos de fallo varían dependiendo de la orientación de las fibras.
3. Aplicación: Es útil en situaciones donde se requiere entender qué componente (fibras o matriz) está fallando primero.

Ejemplo de aplicación: En el análisis de un manillar, este criterio podría indicar si el daño inicial ocurre por compresión en las fibras longitudinales o por cizalladura en la matriz.

Criterio de Tsai-Wu

El criterio de Tsai-Wu es más general y se basa en una combinación de tensiones para determinar si el material alcanzará su límite de resistencia. Este criterio utiliza una superficie de fallo que considera interacciones entre diferentes componentes de tensión (tensiones normales y de cizalladura), pero no diferencia explícitamente entre los modos de fallo de fibras y matriz.

Características principales:

1. Generalidad: No identifica los modos de fallo específicos (por ejemplo, matriz o fibras), lo que puede limitar su utilidad en análisis detallados.
2. Fórmula simplificada: Usa un enfoque basado en una combinación de tensiones, lo que facilita su cálculo en comparación con criterios más detallados como el de Hashin.
3. Aplicación: Es útil para estimar el fallo global de un material compuesto sin entrar en detalles sobre los mecanismos subyacentes.

Ejemplo de aplicación: En el análisis de un manillar, este criterio proporciona una estimación global de la carga máxima que puede soportar antes de fallar, pero sin especificar cómo ocurre el fallo.

Comparación

Aspecto	Hashin	Tsai-Wu
Enfoque	Modos de fallo específicos (fibras, matriz)	Predicción global del fallo
Precisión	Alta (especialmente para materiales anisótropos)	Menor precisión en modos de fallo
Facilidad de cálculo	Más complejo	Más sencillo
Aplicación típica	Análisis detallado de materiales compuestos	Estimaciones rápidas del fallo

8.4.1 Comparativa de resultados

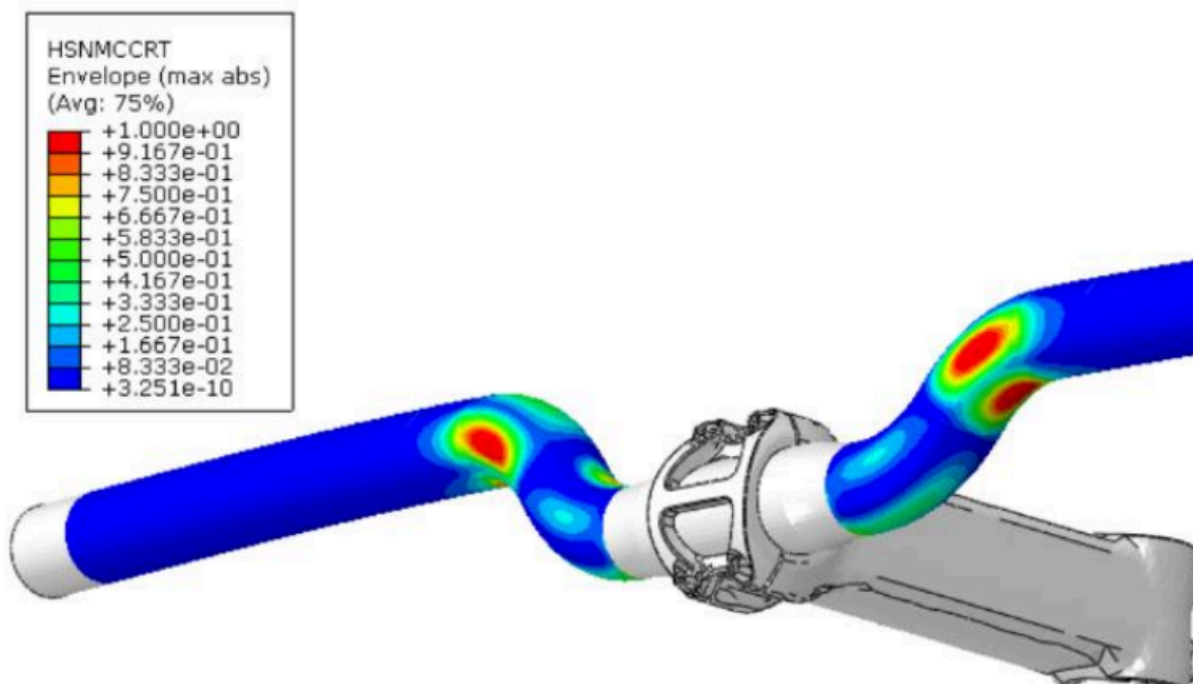


Figura 7.1. Manillar anterior (criterio de Hashin)

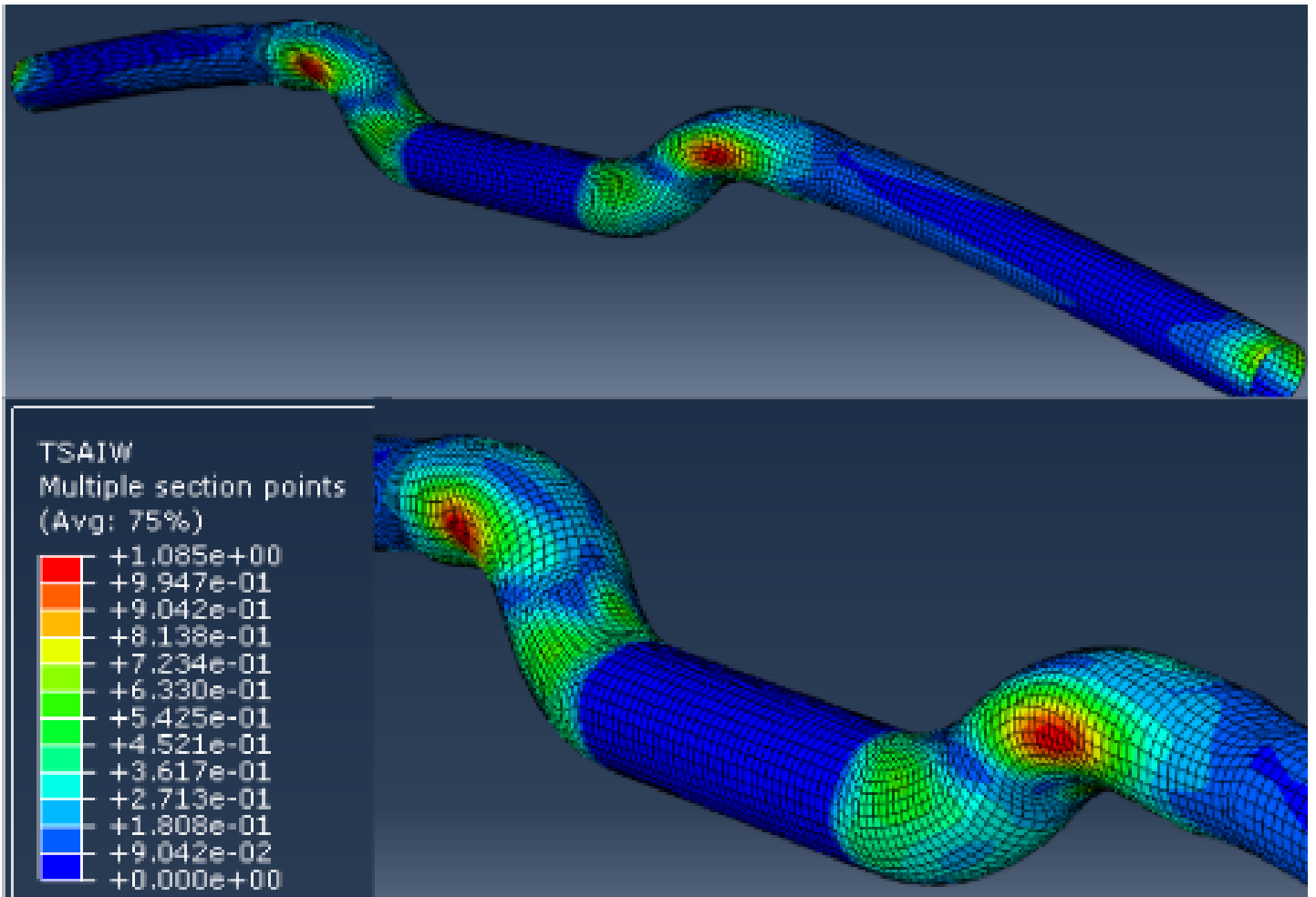


Figura 7.2. Manillar actual (criterio de Tsai-Wu)

Según el criterio de Tsai-Wu el fallo se da al superar 1. Por lo que vemos que con las cargas añadidas, el nuevo manillar debería fallar con una carga de unos 300kg (150kg por lado), lo que nos da unos 3 KN frente a los 2 KN obtenidos en el manillar anterior si comparamos con los resultados del Anexo 3. Por lo tanto concluimos que la mejora es significativa

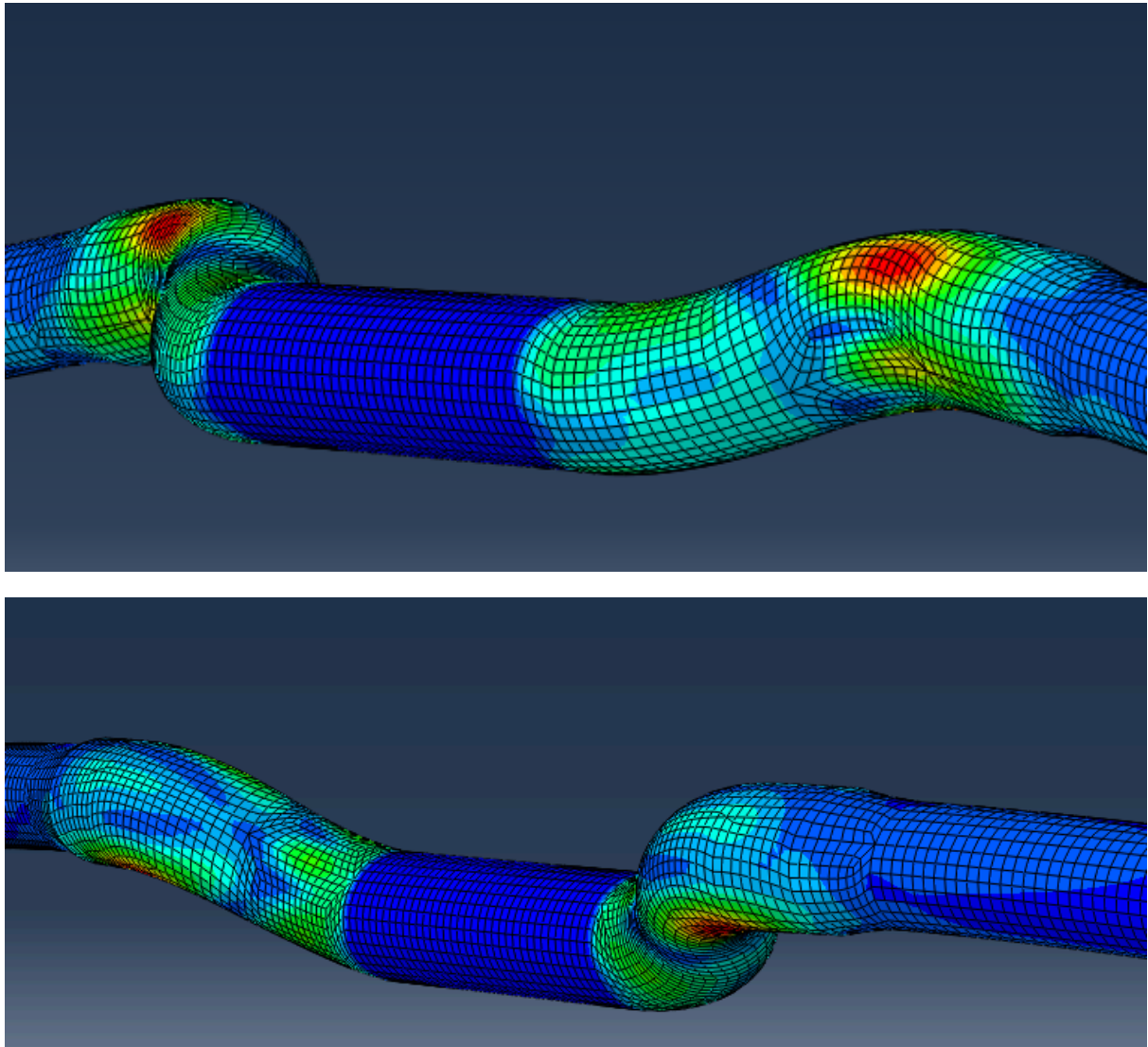


Figura 7.3. Detalles del cálculo de Tsai-Wu

9. ENSAYO MECÁNICO

El ensayo mecánico se va a realizar en el mismo taller que hemos realizado todo el proceso de fabricación de la misma manera que en el manillar anterior que podemos ver en el Anexo 3. Para llevar a cabo las pruebas, se fabricó una potencia con la herramienta adecuada. Los manillares se fijaron a la potencia con un par de 5 Nm y se aseguraron mediante pinzas hidráulicas. Tal como se muestra en la Figura 8.1, se utilizó una máquina de pruebas Instron 8032. Se aplicó una velocidad de 2,5 mm/min a las muestras hasta que se alcanzó la falla completa.



Figura 8.1. Setup de ensayo

Se fabricaron dos muestras siguiendo las especificaciones del diseño y se probaron. Ambos manillares muestran un comportamiento similar pesando 130 g aproximadamente, al igual que el manillar previo. El fallo que experimenta la primera capa de fibra de carbono provoca un pico en la curva de carga. Después de que este primer fallo ocurre, el manillar sigue soportando carga, pero el material pierde resistencia progresivamente, hasta llegar al fallo final de todas las capas.

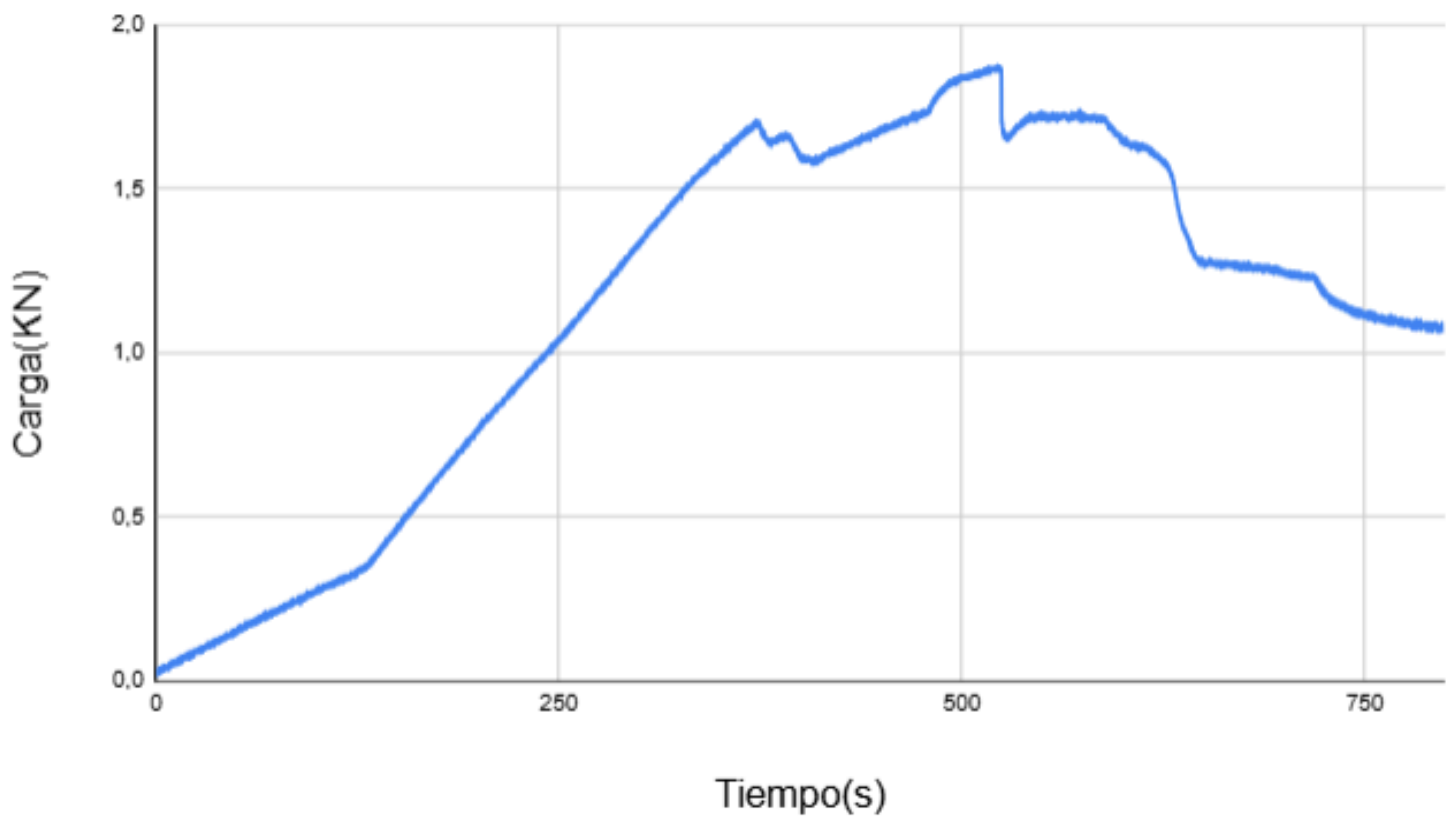
El fallo de la primera capa lleva a un pico alrededor de 1.8 KN (gráficas de manillar 1 y 2), frente a los 3 KN esperados y frente a los 2 KN sobre los que fallaba el manillar anterior que vemos en el Anexo 3.

Este resultado tan alejado de lo esperado lo explicamos ya que tuvimos unos problemas con el molde al hacer el refuerzo de fibra de carbono, lo que supuso que se deformase y que no toquen bien las caras y se escape un poco la resina y en las curvas clave no se llene bien, por lo que como podemos ver el manillar fabricado está deformado en las curvas (Figura 8.2). La solución es volver a imprimir el molde y conseguir unos manillares esta vez sí que con los resultados esperados, lo que no se ha podido incluir esos resultados en este TFG.

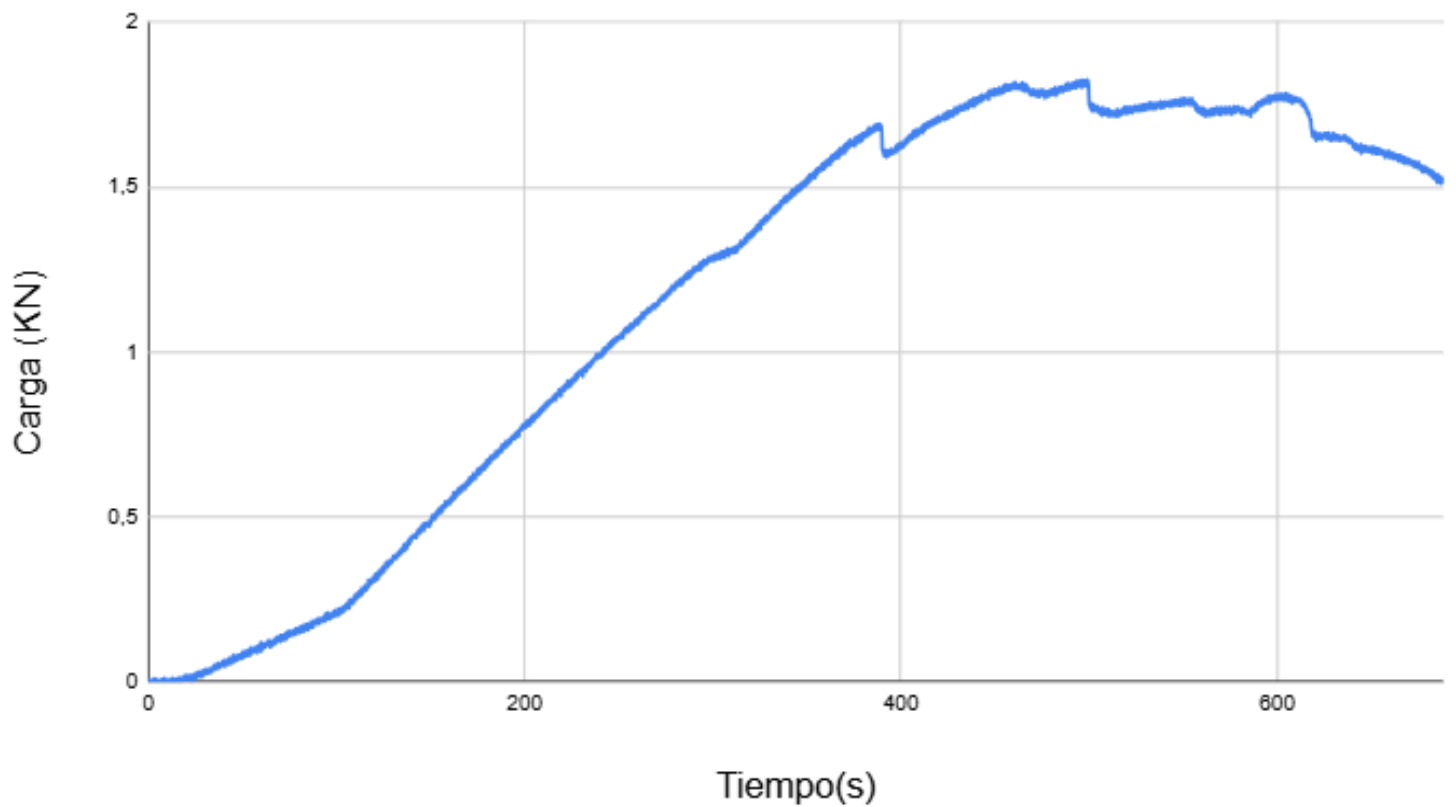


Figura 8.2. Detalle del fallo de fabricación

MANILLAR 1



MANILLAR 2



9.1 Correlación entre los resultados experimentales y numéricos

La correlación entre los resultados experimentales y numéricos en términos de las curvas de **Fuerza-Desplazamiento** para el diseño del manillar de este TFG es baja pero era esperable al ver los defectos de fabricación de los que partimos al hacer los ensayos. Según lo visto en el Anexo 3, no tiene sentido esperar una curva de Fuerza-Desplazamiento precisa obtenida numéricamente después del primer punto de fallo.

Desde ese momento, el comportamiento mecánico solo es representativo cuando se obtiene de manera experimental. Es decir, los modelos numéricos dejan de ser fiables para predecir con exactitud el comportamiento post-fallo, ya que la ley de Hashin o de Tsai-Wu no capturan adecuadamente el daño progresivo en el material después de que ocurre el primer fallo.

Este tipo de observaciones es crucial en la ingeniería de materiales compuestos, ya que resalta las limitaciones de los modelos numéricos y la necesidad de validar las simulaciones con pruebas experimentales.

ANEXO 1:

INTRODUCCIÓN

La fabricación de un manillar de bicicleta en fibra de carbono involucra varios aspectos que combinan el diseño, la ciencia de materiales, la mecánica estructural y la fabricación avanzada.

Tareas principales:

- Modelado del manillar modificado en SolidWorks:** Se realizará un rediseño del manillar original con un engrosamiento en las zonas de mayor estrés, utilizando el software SolidWorks para crear el modelo 3D del manillar modificado.
- Diseño del molde en SolidWorks:** Se llevará a cabo el diseño de un molde adecuado para la fabricación del manillar en fibra de carbono, garantizando la precisión y funcionalidad del proceso de producción.
- Impresión del molde en 3D:** Utilizando una impresora 3D, se fabricará un prototipo del molde diseñado en la fase anterior, para luego ser utilizado en la producción del manillar de fibra de carbono.
- Análisis y cálculo de esfuerzos con Abaqus:** Se realizarán simulaciones de los esfuerzos y la deformación del manillar original y el modificado utilizando el software de simulación Abaqus, para obtener un análisis comparativo de su comportamiento estructural.
- Fabricación de prototipos en fibra de carbono:** Se fabricarán varios manillares utilizando la técnica de fibra de carbono, siguiendo el molde previamente diseñado, con el fin de verificar la viabilidad del proceso y obtener piezas funcionales.
- Ensayos en máquina de pruebas:** Finalmente, se someterán los manillares fabricados a ensayos mecánicos para evaluar su rendimiento en términos de resistencia, durabilidad y comportamiento frente a esfuerzos.

1. Diseño del Manillar

- **Geometría del Manillar:** El diseño debe tener en cuenta la ergonomía y la funcionalidad, además de las limitaciones estructurales. ¿Ya tienes una forma básica del manillar, o estás buscando orientación sobre cómo determinar su geometría ideal? Aquí se deben considerar los ángulos de las empuñaduras, el alcance y las dimensiones en función de la comodidad del ciclista y la resistencia estructural.
- **Análisis de Cargas:** Un manillar debe resistir fuerzas significativas, como las que se generan durante el frenado, las curvas y los impactos. Esto involucra definir las fuerzas de torsión, compresión, y flexión que actúan sobre él.

2. Cálculos Estructurales

- **Materiales y Propiedades:** La fibra de carbono es una excelente opción por su relación resistencia/peso, pero hay que considerar varias características como la orientación de las fibras, el tipo de resina y el número de capas (lay-up).
- **Cálculo de Esfuerzos:** Un aspecto fundamental será calcular los esfuerzos que experimentará el manillar, especialmente si estás utilizando un enfoque de simulación o cálculo teórico. En este caso, los cálculos pueden incluir esfuerzos de torsión, flexión y tracción. Dependiendo del diseño, tal vez necesites hacer estos cálculos con fórmulas básicas de la mecánica de materiales o usar software de simulación como ANSYS o COMSOL para un análisis más detallado.
- **Simulación por Elementos Finitos (FEM)**

3. Fabricación

- **Proceso de Fabricación:** La fibra de carbono se fabrica típicamente mediante procesos como el moldeo por compresión, la resina preimpregnada (prepreg) o el moldeo por vacío.
- **Control de Calidad y Ensayos:** Después de fabricar el manillar, es crucial probar que el componente cumple con las especificaciones de resistencia y durabilidad. Se hacen pruebas de impacto, flexión y torsión en manillares de fibra de carbono.

4. Otras Áreas de Interés

- **Ergonomía y comodidad:** Además de la resistencia, un buen diseño debe ser cómodo para el ciclista.
- **Sostenibilidad:** Si estuviéramos interesados en el uso de fibra de carbono sostenible o procesos más ecológicos, también podríamos explorar eso.

ANEXO 2:

TEORÍA DE TSAI-WU

La **teoría de Tsai-Wu** es un criterio de fallo desarrollado específicamente para materiales compuestos, utilizado para predecir la falla de estos materiales bajo condiciones de carga generales. Este criterio se basa en una aproximación fenomenológica, lo que significa que se deriva empíricamente de observaciones experimentales más que de una formulación teórica pura. Es especialmente aplicable a **materiales compuestos anisotrópicos**, como la fibra de carbono, que presentan resistencias diferentes en tracción y compresión a lo largo de distintas direcciones debido a su estructura interna.

El **criterio de Tsai-Wu** predice la falla de un material cuando el **índice de falla** alcanza un valor de 1. Este índice se calcula a partir de una combinación de las tensiones normales y de corte que actúan sobre el material. El criterio de Tsai-Wu se deriva del **criterio de fallo cuadrático general** propuesto inicialmente por Gol'denblat y Kopnov, y se ha perfeccionado para adaptarse específicamente al comportamiento de los materiales compuestos. Se puede expresar en la forma:

$$F_i \sigma_i + F_{ij} \sigma_i \sigma_j \leq 1$$

dónde $ij=1\dots 6$ y los índices repetidos indican suma, y F_i , F_{ij} son parámetros de resistencia del material determinados experimentalmente. Las tensiones σ_i se expresan en notación de Voigt (matricialmente). Si la superficie de falla debe ser cerrada y convexa, los términos de interacción F_{ij} debe satisfacer

$$F_{ii}F_{jj} - F_{ij}^2 \geq 0$$

lo que implica que todos los términos F_{ii} deben ser positivos.

La teoría de Tsai-Wu tiene en cuenta tanto las tensiones normales (en direcciones de la fibra y transversalmente) como las tensiones de corte, lo que permite una evaluación más completa del riesgo de fallo en materiales que no tienen una respuesta uniforme en todas las direcciones. Esta capacidad para tratar materiales anisotrópicos es una de las principales razones por las que el criterio se ha convertido en una herramienta estándar en la ingeniería de materiales compuestos.

El manillar de bicicleta que se presenta en este proyecto está compuesto por fibra de carbono, por lo que se utilizará la teoría de Tsai-Wu para evaluar su resistencia y garantizar la integridad estructural del componente.

1. Introducción a la teoría de Tsai-Wu

La teoría de Tsai-Wu fue propuesta por **E.M. Tsai** y **H.T. Wu** en 1971 como una extensión del criterio de falla de Tsai-Hill, con el objetivo de proporcionar una predicción más precisa para la falla de materiales compuestos. A diferencia de los materiales homogéneos, los materiales compuestos como la fibra de carbono tienen propiedades mecánicas que varían en función de la dirección de las fibras. La teoría de Tsai-Wu tiene en cuenta tanto las interacciones entre las tensiones normales como las tensiones de corte, lo que la convierte en una herramienta eficaz para predecir el fallo en este tipo de materiales.

El criterio de Tsai-Wu se expresa matemáticamente como:

$$F_1\sigma_1 + F_2\sigma_2 + F_3\sigma_3 + F_4\sigma_1^2 + F_5\sigma_2^2 + F_6\sigma_3^2 + F_7\tau_{12}^2 = 1$$

Donde:

- $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ Son las tensiones normales en las direcciones 1, 2, y 3 (direcciones de las fibras y la matriz).
- τ_{12} Es la tensión de corte en el plano 12.
- $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7$ son los coeficientes que dependen de las propiedades del material compuesto.

2. Coeficientes del modelo de Tsai-Wu

Los coeficientes $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7$ son parámetros que se determinan a partir de las propiedades del material y las direcciones de las fibras. Para un material compuesto, estos coeficientes se calculan mediante pruebas experimentales que nos proporcionan la resistencia a las tensiones normales y de corte, tanto en dirección longitudinal (fibra) como transversal (matriz).

Las propiedades que se necesitan para determinar estos coeficientes incluyen:

- X_t, X_c : resistencia a la tracción y compresión en la dirección de las fibras.
- Y_t, Y_c : resistencia a la tracción y compresión en la dirección transversal.
- S_{12} : resistencia al corte en el plano 12.
- E_1, E_2, G_{12} : módulos de elasticidad en las direcciones 1, 2 y el módulo de corte en el plano 12.

3. Aplicación de la teoría de Tsai-Wu en el análisis de manillar de fibra de carbono

En el caso del manillar de bicicleta diseñado en fibra de carbono, la teoría de Tsai-Wu se utilizará para evaluar el comportamiento del material bajo las cargas experimentadas durante su uso. En particular, se analizarán las tensiones generadas por las fuerzas de torsión, compresión y flexión en las diferentes direcciones de la fibra.

Para aplicar esta teoría en el análisis del manillar, se sigue el siguiente procedimiento:

1. **Determinación de las propiedades del material:** Se obtienen las propiedades mecánicas del material compuesto utilizado para fabricar el manillar (fibra de carbono), incluyendo las resistencias en tracción, compresión y corte, así como los módulos de elasticidad.
2. **Generación de las tensiones:** Mediante la simulación en Abaqus/CAE, se calculan las tensiones normales $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ y de corte (τ_{12}) que actúan sobre el manillar bajo las condiciones de carga aplicadas.
3. **Evaluación con la teoría de Tsai-Wu:** Se sustituye cada valor de tensión obtenido en las simulaciones dentro de la ecuación del criterio de Tsai-Wu. Si la ecuación resulta en un valor mayor o igual a 1, se puede considerar que el manillar ha fallado en esa zona. En cambio, si el valor es menor que 1, la estructura se encuentra dentro de los límites de seguridad.

4. Ventajas de la teoría de Tsai-Wu

La teoría de Tsai-Wu ofrece varias ventajas importantes al evaluar materiales compuestos, especialmente en aplicaciones como el manillar de fibra de carbono:

- **Considera la anisotropía:** A diferencia de los materiales isotrópicos, los compuestos tienen propiedades que varían con la dirección. Tsai-Wu tiene en cuenta esta anisotropía, lo que permite un análisis más preciso.

- **Multiaxialidad:** La teoría permite tratar situaciones de carga multiaxial, es decir, cuando las cargas no se aplican en una sola dirección, lo cual es común en el diseño de componentes mecánicos como manillares de bicicleta.
- **Aplicabilidad en diferentes configuraciones de carga:** El criterio puede aplicarse no sólo en análisis estáticos, sino también en situaciones de carga dinámica, lo que es relevante para los manillares de bicicleta que experimentan fuerzas variables durante el uso.


5. Limitaciones de la teoría de Tsai-Wu

Aunque la teoría de Tsai-Wu es una herramienta poderosa, también presenta algunas limitaciones que deben ser consideradas:

- **Dependencia de los coeficientes experimentales:** Los resultados de la teoría dependen de la precisión de los coeficientes que se utilizan, los cuales deben ser obtenidos mediante ensayos específicos para cada material compuesto.
- **Comportamiento del material en condiciones extremas:** En situaciones de cargas muy altas o en condiciones extremas de temperatura, los resultados pueden no ser completamente representativos debido a la posible variabilidad del comportamiento del material.

6. Conclusión

La teoría de Tsai-Wu es un criterio de fallo muy útil para evaluar la resistencia de materiales compuestos como la fibra de carbono. En el contexto de este proyecto, su aplicación en el manillar de bicicleta permitirá predecir su comportamiento estructural y garantizar que el diseño sea seguro y eficiente en condiciones de carga reales. Además, el uso de esta teoría en conjunto con herramientas de simulación como Abaqus/CAE permite obtener un análisis detallado y preciso, lo que facilita la optimización del diseño.

	BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE	New materials and nanotechnologies
RESEARCH ARTICLE	J Cuartero, D Ranz, A Poniecka	0404.01 New Materials

BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE

Jesus Cuartero ¹ , David Ranz ¹ y Agata Poniecka ²
¹ Universidad de Zaragoza. Calle Maria de Luna, s/n – 50018 Zaragoza (Spain)
² Lodz University of Technology. Faculty of Material Technologies and Textile Design. Institute of Architecture of Textiles. 116, Zeromskiego Street - 90-543 Lodz (Polland)
DOI: https://doi.org/10.6036/11103 Received: 07/nov/2023 • Reviewing: 09/nov/2023 • Accepted: 29/feb/2024
To cite this article: CUARTERO-SALAFRANCA, Jesus; RANZ-ANGULO, David; PONIECKA, Agata. BEHAVIOUR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE. DYNA. vol. 0. DOI: https://doi.org/10.6036/11103

ABSTRACT:

The mechanical design of a bike handlebar made of carbon fibre is presented. Usually carbon fibre handlebars are constituted by unidirectional (UD) carbon fibre prepreg. That configuration usually leads to a light design of the piece but fragile. The proposed design allows the handlebar to withstand as high efforts as a steel bar could. On the contrary the carbon handlebar presents a weight much lower. This can be achieved thanks to the selected carbon braiding. Design, manufacturing on cheap PolyLactic Acid (PLA) 3D printed moulds, FEM calculation and testing of the developed carbon fibre handlebar are shown in this paper.

Keywords: handlebar, carbon fibre, numerical simulation, test, braiding

1. INTRODUCTION


Handlebars for bikes made of carbon fibre are important components of the bicycle overall structure [1]. Carbon fibre is a popular constitutive material choice for handlebars due to its strength, light weight, and vibration-damping properties. Handlebars made of carbon fibre [2] offer several advantages over traditional aluminium or steel handlebars.

One of the main benefits of carbon fibre handlebars is their weight. Carbon fibre is much lighter than other materials commonly used for handlebars, which can help to reduce the overall weight of the bike [3]. Therefore, the bike is easier to handle and manoeuvre, especially during climbs and other challenging riding tricks or situations.

Another advantage of carbon fibre handlebars is their high stiffness. Carbon fibre is an extremely strong and rigid material, which means that it can resist bending under heavy loads. This can provide a more stable and responsive ride, especially during high-speed descents or aggressive cornering.

Finally, carbon fibre handlebars offer excellent vibration-damping properties. The material can absorb and dissipate vibrations that would otherwise be transferred to the bicyclist hands, arms, and shoulders. This fact implies a reduction of bicyclist fatigue and discomfort during long rides and can improve the overall ride quality.

	Publicaciones DYNA SL -- c) Mazarredo nº69 - 2º -- 48009-BILBAO (SPAIN) Tel +34 944 237 566 – www.revistadyna.com - email: dyna@revistadyna.com	Pag. 1 / 14
ISSN: 0012-7361 eISSN: 1989-1490 / DYNA Vol.0 DOI: https://doi.org/10.6036/11103		

	BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE	New materials and nanotechnologies
RESEARCH ARTICLE	J Cuartero, D Ranz, A Poniecka	0404.01 New Materials

Altogether, carbon fibre handlebars are a great choice for cyclists looking to optimize their bike performance and ride quality. However, it is important to note that carbon fibre components can be more expensive than those made of traditional materials and may require more careful handling and maintenance to avoid damage or failure.

In this paper, the mechanical design of a carbon handlebar is presented. Usually carbon fibre handlebars are constituted by unidirectional (UD) carbon fibre prepreg. That configuration usually leads to a light design of the piece but fragile. The proposed design allows the handlebar to withstand as high efforts as a steel bar could. That is because of the selected carbon braiding. As far as we are concerned no handlebars are made of braided carbon fibre. A new design based on braided carbon is presented. Braiding is a textile technique which ensure a full fibre continuity throughout the full length of a fabric. That would improve security of users allowing them to come back home in case of crash. The braiding technique will allow the handlebar to behave as a metal piece with the carbon fibre weight advantage. Design, manufacturing on cheap PolyLactic Acid (PLA) 3D printed moulds, FEM calculation and testing of the developed carbon fibre handlebar are shown in this paper.

2. DESIGN

There is an infinite number of possibilities applicable to a new handlebar design, depending on the type of cycling, each one with its corresponding shape, size and weight [4,5]. The handlebar should not be considered as one of the accessories for bicycles, but as a main component of this, since they are the key piece in the bike manoeuvring and cyclist position. It could be highlighted:

- Straight or flat handlebars, common on all-terrain or gravel bikes. It can also be found on mountain bikes. They have high control over the bike, by having a posture wider and higher.
- Dropbar handlebars, with two downward bends extending from the grip zone.
- And bullhorn handlebars, similar to the previous ones, but with the end zones ascenders in place. Both used mainly on road bikes, favouring an aerodynamic and comfortable shape for the cyclist.
- Double height handlebars, they are the most widespread. In these handlebars, the central part lies closest to the bike frame, while the sides are slightly elevated.

The riser bar by and large is a versatile option that offers to bicycle riders the possibility of adapting to different terrains. This is the reason why it is used both in mountain as in city bikes. As a matter of fact, this study focuses on this type of handlebar. Its manufacturing process was developed as the first step.

The handlebar used for this paper is based on a commercial handlebar, shown in Figure 1, of a popular sports store; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** [5]. It is a MTB/gravel Bicycle Handlebar with the following characteristics:

- Length: 620mm.
- Stem diameter: 25.4mm.
- Diameter at the ends: 22mm.
- Material: steel
- Height: 50mm.
- Back camber angle: 6°
- Top bend angle: 5°
- Weight: 540g. (official). Actual weight is 630g.
- Thickness: 2.25mm (at the ends)

Bearing in mind design, thickness, and weight of some other handlebars commercially available an initial design of 4 layers of braided carbon fibre was considered.

The main reasons for such design are the shown bellow:

- Braided carbon fibre is very well known at University of Zaragoza [6,7]

- The application of braided carbon fibre would allow the handlebar to behave as a handlebar made of unidirectional (UD) carbon prepreg, but having a substantially better transverse mechanical properties.
- This configuration will allow the handlebar to withstand efforts without a catastrophic failure as unidirectional (UD) carbon pieces use to behave.

Such initial decision of applying 4 braiding layers must be supported by a FEM [8] analysis of the handlebar that has to be previously carried out.

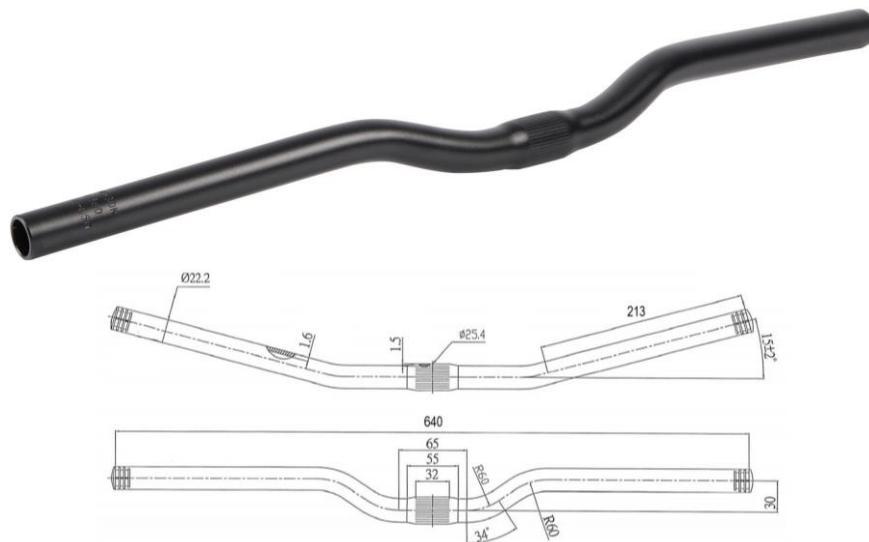


Figure 1. Steel handlebar [5].

3. MATERIALS AND MANUFACTURING

3.1 CARBON FIBRE BRAIDING

Only a carbon fibre material type was used for manufacturing. Material models representing the braided composite materials behaviour were obtained from the test results carried out by the University of Leuven [9] and from backup results carried out in 2023 at University of Zaragoza.

Mechanical and physical properties of the applied braided carbon fibre that are the following:

- Carbon fibre Braid (12K):
Braiding yarns: 12K
Braiding angle +/- 25°
Resin was Greenpoxy33 + SD4770
Fibre volume was measured as a 45%.

Elastic properties and 1 st ply failure				
Property	unit	value	Property	Value
E ₁₁	MPa	76100	X	680
E ₂₂	MPa	18100	X'	540
G ₁₂	MPa	12700	Y	100

μ	-	0.18	Y'	80
Density	kg/m ³	1560	S_{12}	125

Table 1 Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) braiding mechanical properties [9].

Being:

X: tensile strength axis 1.

X': compressive strength axis 1.

Y: tensile strength axis 2.

Y': compressive strength axis 2.

S₁₂: interlaminar shear strength.

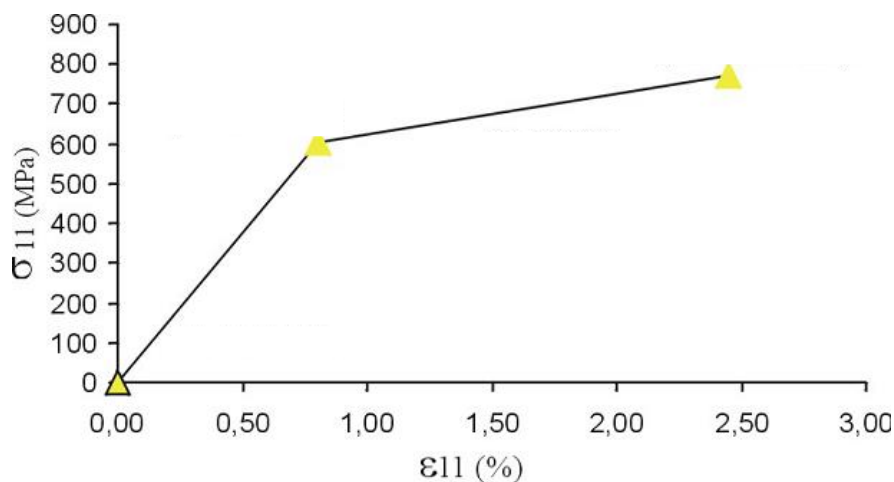


Figure 2. σ_{11} vs ϵ_{11} behaviour of braiding [9]

Figure 3.


Braided carbon/epoxy specimens are subjected to ASTM D 3039/D 3039M in order to experimentally measure elastic moduli and tensile and compressive strength in both longitudinal and transversal direction. Five test repetitions were performed in order to obtain the mechanical values in this work as the average of the bunch of samples, achieving a 5% of deviation in terms of stiffness and a 10% of deviation in terms of strength.

Figure 2 shows a first point corresponding to the first ply failure of the braided carbon fibre (680 MPa). However, bearing in mind that applied carbon fibre braiding includes 25°/30° carbon orientation, there is a second section. Therefore, the stress-strain function in longitudinal direction is represented as a bilinear curve model material.

3.2 MOULD MANUFACTURING

The applied mould was made by 3D printing and presents a common shape similar to other handlebars.

It is possible to use 3D printing to create moulds for composites. 3D printing allows the production of intricate and customized moulds quickly and efficiently. These moulds can be used in the fabrication of composite parts by applying the composite materials to the mould and allowing them to cure or solidify. By 3D printing moulds, you have the advantage of designing complex geometries and internal structures that are not really difficult to achieve with traditional mould-making methods but expensive. This flexibility enables the production of lightweight and optimized composite parts. It is important to consider the materials used for 3D printing of the moulds [10,11], as they should be able to withstand the temperatures and pressures involved in the composite manufacturing process. 3D printing moulds for

	BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE	New materials and nanotechnologies
RESEARCH ARTICLE	J Cuartero, D Ranz, A Poniecka	0404.01 New Materials

composites can streamline the manufacturing process, reduce costs, and enable the production of experimental or prototype composite parts.

3D printing moulds for composites using PLA (polylactic acid) is a common and accessible method. PLA is a widely used filament material for 3D printing due to its affordability and ease of use. However, it has limitations when it comes to high-temperature applications. When using PLA for composite moulding, it is essential to consider the operating temperature of the composite material and the demoulding process. PLA has a relatively low glass transition temperature (around 65°C), which means it may soften or deform when exposed to higher temperatures. To overcome this limitation, several strategies can be applied. This current mould has been enhanced by covering all of it by a protective coat of epoxy resin instead of gelcoat barrier. That was due to a bad experience with gelcoat. First attempts to cover PLA mould with gelcoat led to delamination of gelcoat from mould. Therefore, an epoxy coat was selected and no further problems raised.

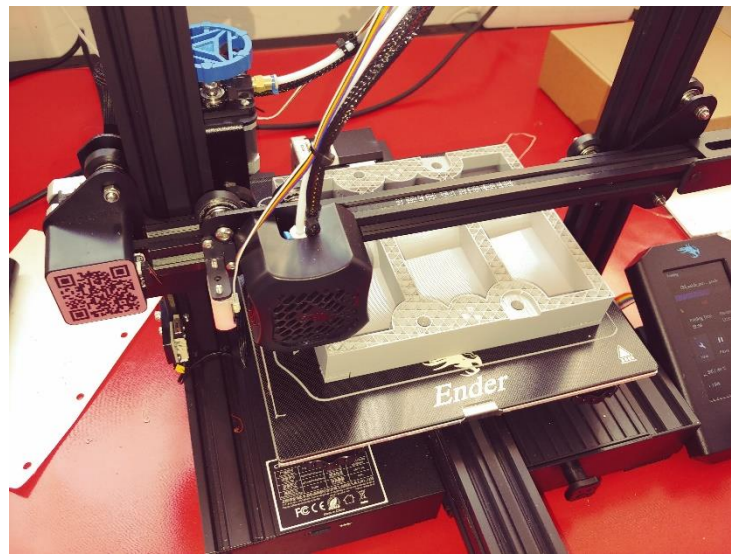


Figure 4. Manufacturing of PLA mould.

Also bottom parts were reinforced with carbon fibre layers and fibreglass, as shown in Figure 5, in order to achieve a relatively high stiffness, specifically taking into account demoulding. Also because of the manufacturing in four parts of each valve of the mould due to length limitations.

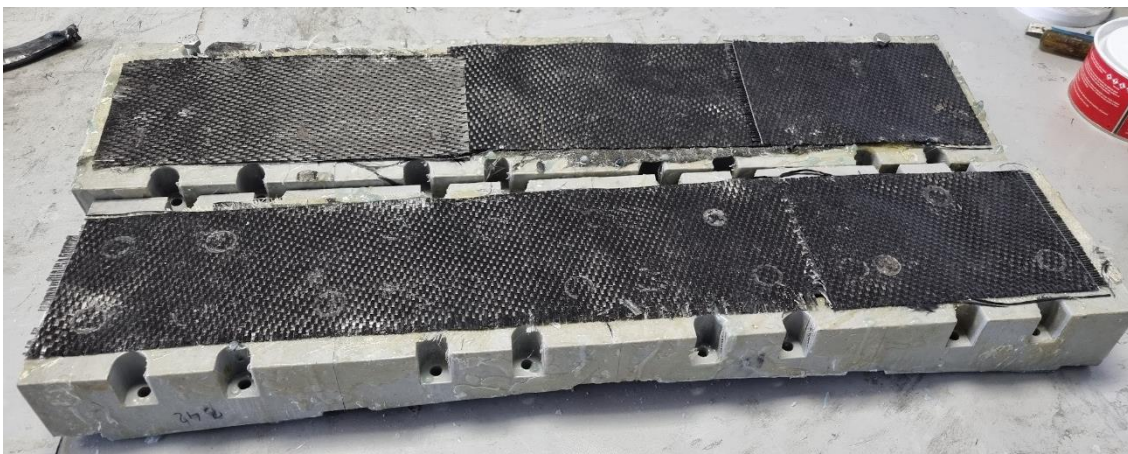


Figure 5. Carbon reinforcement on the bottom part.

The choice between PLA and aluminum moulds depends on the specific requirements of the project. PLA moulds are cost-effective for rapid prototyping and simpler applications, while aluminium moulds are more suitable for high-temperature processes and situations where durability is crucial, despite the higher initial costs and potentially longer construction times. The decision should consider factors such as project budget, expected production volume, mould lifespan, and required precision. Table 2 perfectly summarizes this dilemma between metal mould options and PLA

Material	cost	lead time	durability
Aluminium	2200€	25 days	1500-2500 pieces
PLA by FDM	200€	4 days	25-50 pieces

Table 2 Cost benefit analysis.

3.3 HANDLEBAR MANUFACTURING

To carry out the manufacturing process of a handlebar, first of all, the carbon fibre braiding should be cut using the mould as a reference. All layers should be unrolled in order to put the internal bag for positive pressure compaction. Each layer is wetted out by hand lay-up once the bag is placed. Once all layers are wetted up mould is closed and bag is inflated up to 2 bars. Pressure is critical in order to achieve a good fibre percentage and compaction. Also is a key issue in order to shape correctly mould curves. Pressure bag is made of 80% Rubber - Isobutylene-isoprene rubber (IIR) - Butyl, 20% or 90% IIR. Usually there is no need to use wax or any demold agent and internal bag can be easily taken out.

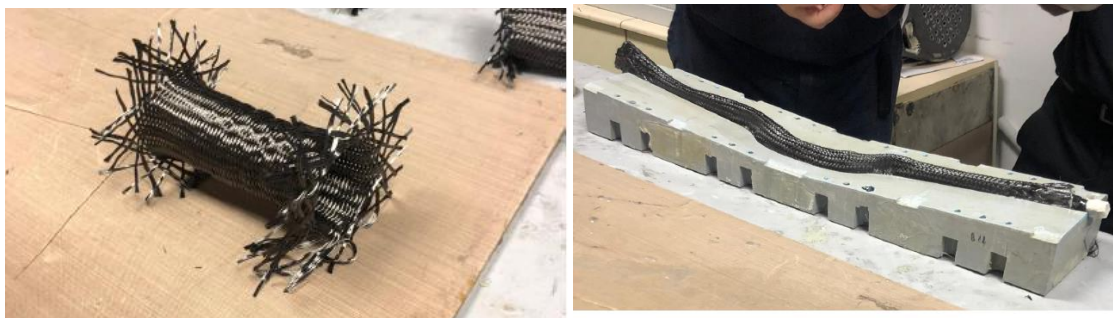


Figure 6. Manufacturing of braided handlebar.




	BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE	New materials and nanotechnologies
RESEARCH ARTICLE	J Cuartero, D Ranz, A Poniecka	0404.01 New Materials



Figure 7. Final handlebar.

Handlebar final piece is quite good in terms of finish and wetting, shown in Figure 7. Problems might raise from low pressure essentially.

4. NUMERICAL MODEL AND FEM CALCULATION

FEM calculation of handle bar was the first step in the development of this project. Firstly, the handlebar design had to fulfil the strength requirement. However, stiffness was not taken into account as an initial target. Two main options [4,5] were considered as the requirement in terms of strength. A target load of 2000-2500N applied at each one the handlebar extremes had to reached previously to first ply failure. That load value for first ply failure was considered high enough, bearing in mind that in combination with bilinear carbon braiding behavior, not showing fragile failure, would allow the bicyclist to come back home without a catastrophic failure [12-14] of the handlebar. Therefore, bike would be fully functional after initial failure even to continue cycling without problems. No matter handle bar should be replaced afterwards. That was the key point for this new design. Typical load cases can be observed in EN 4210-5:2014 [15]. As Blanchard and Sobey [16] consider fatigue testing for their handlebars, the option for the authors was to consider carbon fibre as a fatigue resistant material [17], being the design peak load below 70% of peak load producing first ply failure. It is considered that this statement will ensure a long term behavior [18].

As first approach, Hashin [12,13] damage initiation criteria was selected to model behavior of carbon braiding in terms of failure. This model is not absolutely correct for such simulation but it would give a rough and cheap estimation for the handlebar in terms of strength. A much more complex bilinear model should be needed to model correctly such behavior. FEM calculations have been performed using Abaqus® [5] as core solver and MSC Patran® as preprocessor.

4.1 HASHIN


The applied damage initiation criteria for fibre reinforced composites are based on Theory of Hashin [12,13]. These criteria consider four different damage initiation mechanisms: fibre tension, fibre compression, matrix tension, and matrix compression.

The damage initiation criteria have the following general forms:

$$\frac{1}{X_{\varepsilon T}} \left(\varepsilon_{11} + \frac{V_{f12}}{E_{f11}} \cdot m_{of} \cdot (\sigma_{22} + \sigma_{33}) \right) \geq 1 \quad \text{Ecc. 1}$$

$$\frac{1}{X_{\varepsilon C}} \left(\varepsilon_{11} + \frac{V_{f12}}{E_{f11}} \cdot m_{of} \cdot (\sigma_{22} + \sigma_{33}) \right) + (10 \cdot \varepsilon_{12})^2 \leq -1 \quad \text{Ecc. 2}$$

$$\frac{1}{Y_T^2} (\sigma_{22} + \sigma_{33})^2 + \frac{1}{S_T^2} (\sigma_{23}^2 + (\sigma_{22} \cdot \sigma_{33})) + \frac{1}{S^2} (\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2) \geq 1 \quad \text{Ecc. 3}$$

	BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE	New materials and nanotechnologies
RESEARCH ARTICLE	J Cuartero, D Ranz, A Poniecka	0404.01 New Materials

$$\frac{1}{Y_C} \left[\left(\frac{Y_C}{2S_T} \right)^2 - 1 \right] (\sigma_{22} + \sigma_{33}) + \frac{1}{S_T^2} (\sigma_{23}^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2) + \frac{1}{S^2} (\sigma_{12}^2 + \sigma_{13}^2) \geq 1 \quad \text{Ecc. 4}$$

The effective stress tensor is used to evaluate the damage initiation criteria. This tensor is computed from:

$$\sigma = E_d \cdot \varepsilon = E_0 \cdot (1 - d) \cdot \varepsilon \quad \text{Ecc. 5}$$

Damage, d , are variables that characterize fibre, matrix, and shear damage, corresponding to the four modes previously discussed, as follows.

Before any damage initiation and evolution occurs the damage operator is equal to the identity matrix. Once damage begins and evolves the damage operator becomes significant. The effective stress is intended to represent the stress acting over the damaged area that could withstands internal forces.

A value of 1.0 or higher for the damage operator shows that the initiation criterion has been fulfilled.

To decrease mesh dependency during material softening, it is possible to introduce a characteristic length into the formulation, so that the constitutive law is expressed as a stress-displacement equation. The positive slope of the stress-displacement curve prior to damage initiation corresponds to linear elastic material behavior; the negative slope after damage initiation is achieved by evolution of the respective damage variables.

4.2 FEM CALCULATION

FEM calculation has been developed in a nonlinear way due to the possible complexity of calculation, given that this calculation encloses large displacements and degradation of material.

Six different sections are needed in order to match braiding orientation [6] on handlebar. Stem and testing supports were modelled together due to the existent nonlinear behavior. That is to say, if stem and supports were neglected, then displacements would be lower than real. On the contrary, extreme sections of handlebar were considered as fully elastic.

Boundary conditions were considered as follows:

- Fixed and vertically displacement restriction on the base of testing support.
- Distributed load at both extremes of handlebar.

Handlebar was divided into two sections, central part and lateral parts. Central part encloses 40% of the straight part of handlebar.

Finally, two options were calculated.

Design 1

4 layers central part 4.2mm thickness

3 layers at the rest of the handlebar length, 3.15mm

Weight: 136 gr

Design 2

5 layers central part 5.25mm thickness

3 layers at the rest of the handlebar length, 3.15mm

Weight: 160 gr

4.3 FEM RESULTS

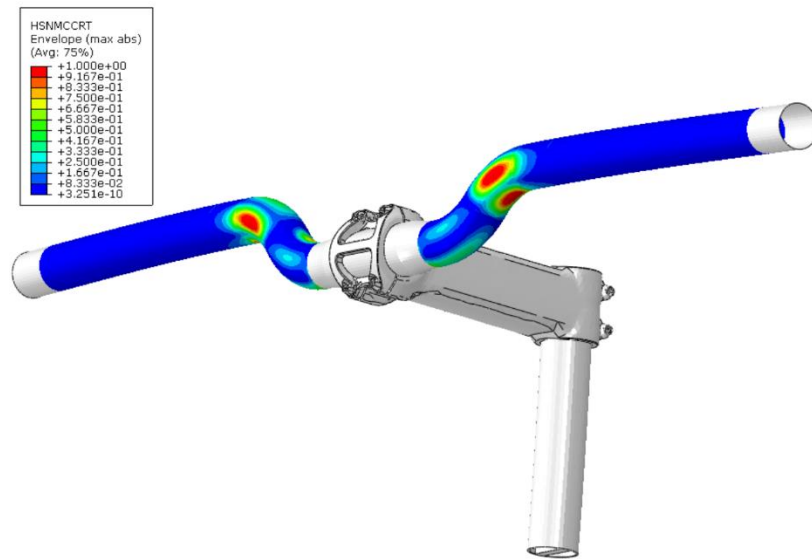


Figure 8. Design 1 before failure Hashin's matrix compressive damage initiation criterion.

Initially, It was expected that central and extreme sections where loads and boundary conditions were applied were not to be considered for degradation in order to avoid mathematical stress concentrations. However, once results were plot, it was checked that it was a wrong assumption.

This fact was fully corroborated by testing, given that extreme sections were not damaged under loading brackets and the central part attached to the stem was not damaged at all. A stress concentration can arise in the central part just in case of a high torque on the stem bolts. If torque is beyond 5Nm carbon might fail due to that excessive torque.

FEM results in terms of Force-Displacement for both handlebar designs are quite similar, showing around 2KN of maximum force before first ply failure.

5. MECHANICAL TESTING OF HANDLEBARS

A stem with appropriate tooling was manufactured in order to perform testing. Handlebars were attached to the stem with 5Nm torque and fixed by means of hydraulic clamps. As shown in Figure 9 an Instron 8032 testing machine was used. Figure 9 shows the three point testing arrangement for the handlebar.

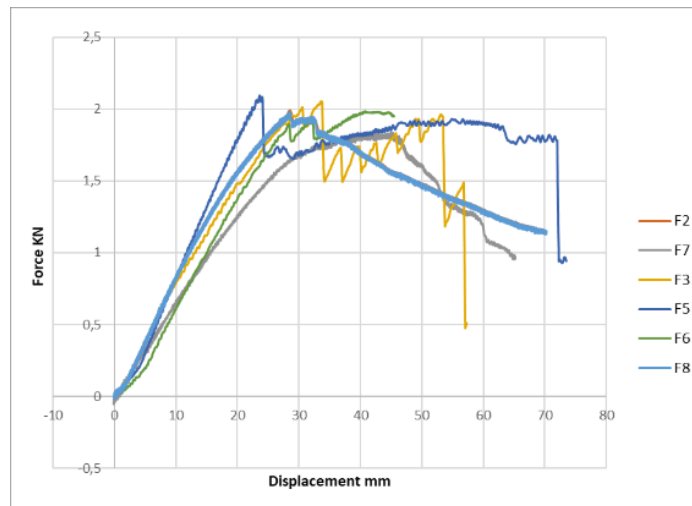


Figure 9. Testing setup.

2.5mm/min velocity was applied to the samples as far as complete failure was reached.

In addition to presenting the results for both designs, this article includes a comparison with a similar handlebar manufactured from unidirectional carbon fibre (UD). The commercial handlebar in question weighs approximately 130 grams, a weight closely resembling the handlebars discussed in this article. The primary distinctions lie in the angles of the sides and the length of the central part.

5.1 BRAIDING TESTING RESULTS



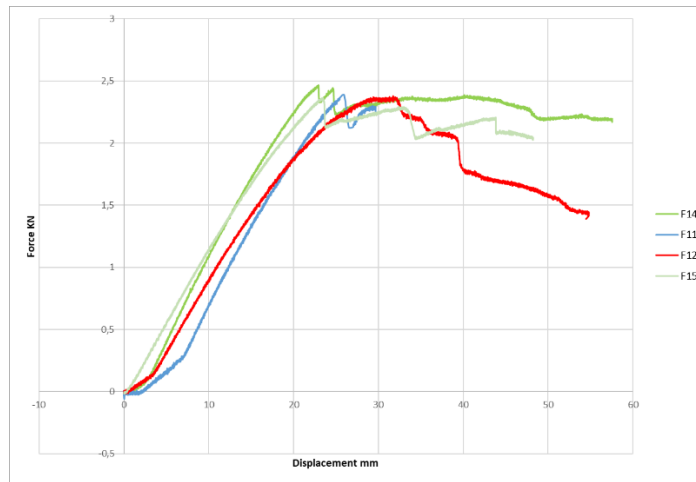


Figure 10. Option 1 and option 2 Testing Force-Displacement curves.

Ten samples were manufactured following the design 1 specification, and five for design 2.

Six out of the ten design 1 handlebar samples and four out of the five design 2 handlebar were tested. Some of them were reserved for further testing and actual evaluation on bicycle.

Both designs behave in a similar manner. First ply failure leads to a peak around 2KN and 2.5 KN for design 1 and 2 respectively. Once the maximum peak is reached handlebar continues withstanding load as far as final failure. Design 1 and 2 use to fail in the curve shown in Figure 13. Secondary failures use to occur in the symmetric curve. Once both fail handlebar continues to withstand load as far as all layers fail. Design 1 use to fail catastrophically in the laminate joint of zone1 and zone2, whereas design 2 does not fail in such part and testing is stopped due to time issue. Sample F11 behave in the same way but data record stopped at 30mm.

5.2 UD-BRAIDING TESTING RESULTS

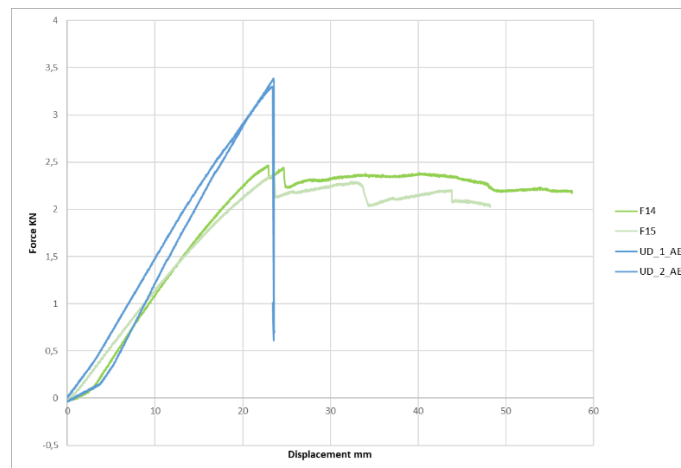


Figure 11. UD vs braiding testing.

The commercial UD handlebars exhibit failure closer to the center and reach higher load values. However, these elevated values are not pertinent in the context of comparing them to the braided handlebar. The objective of this comparison is to highlight the inherently fragile behavior of the UD handlebar. Only two handlebars are depicted in the figure to provide a clear representation of their behavior. Samples F14 and F15 are compared against the commercial UD handlebars UD_1_AE and UD_2_AE and shown in Figure 11.

6. NUMERICAL-TESTING CORRELATION ANALYSIS

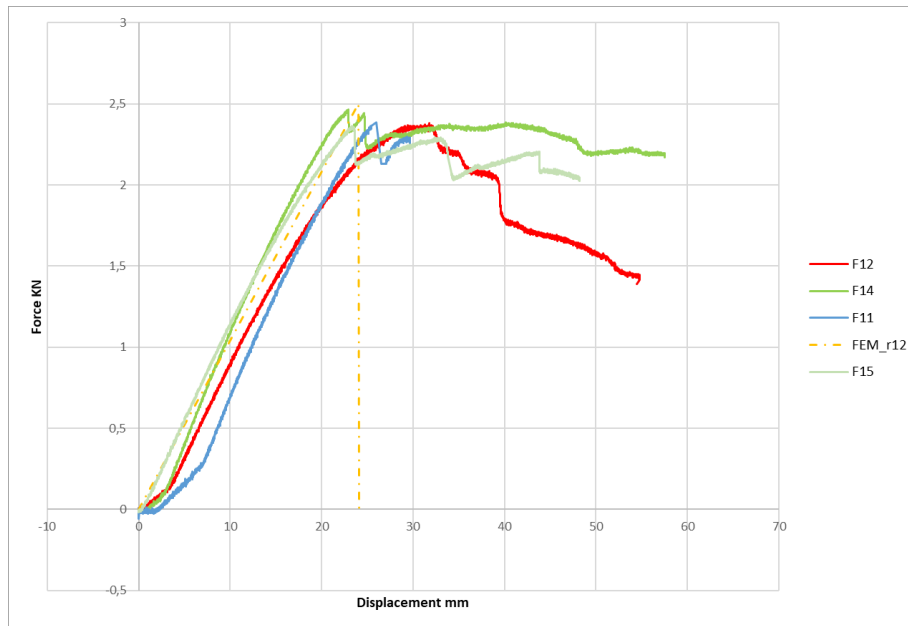


Figure 12. Design 2 Comparison numerical – experimental.

Correlation between experimental and numerical results in terms of Force-Displacement curves for both design 1 and 2 is very high until first ply failure takes place. Later on, once first ply failure has taken place, Hashin Law cannot represent correctly a damage model in the braided carbon. Therefore, it does not make sense to expect an accurate Force – Displacement curve obtained numerically. Thus, mechanical behavior from that moment is only representative when it is experimentally obtained.



Figure 13. Strain gauges.

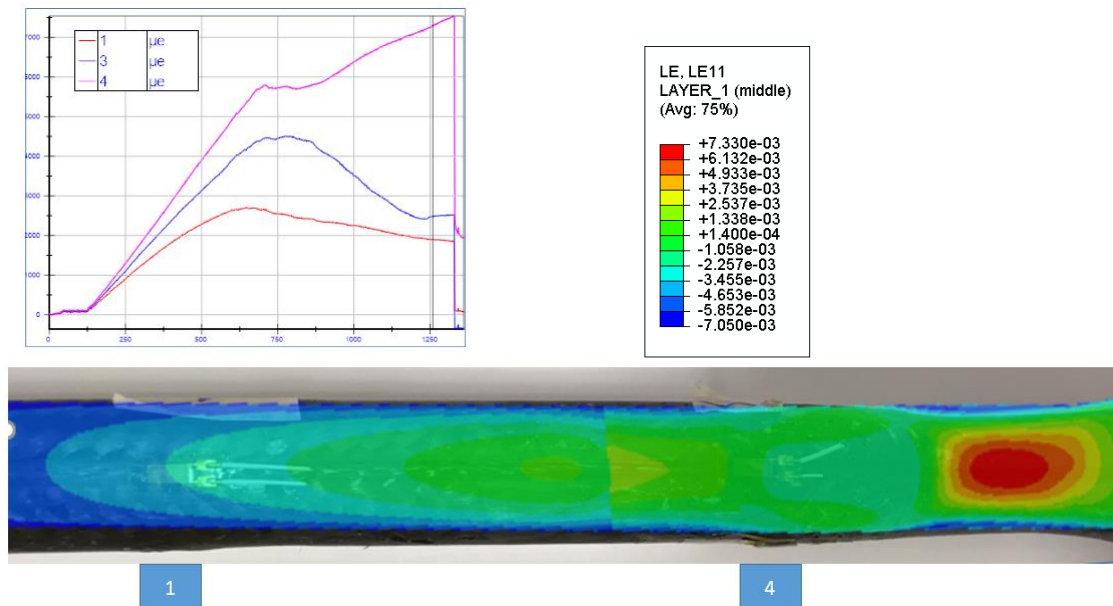


Figure 14. Engineering Strain along local 1 direction obtained by FEM and strain gauges.

For Design 1 strain gauges were placed on a handlebar. 4 strain gages were attached. Results for gages 1 and 4 are shown in Figure 11. FEM plot is over plotted on an actual picture of handlebar in Figure 14.

Correlation between numerical and testing results in terms of engineering strain at the points where gages were applied is very high, bearing in mind that midpoint of the curve should be considered. It corresponds to first ply failure.

7. CONCLUSIONS

The mechanical design of a carbon handlebar is presented.

The proposed design allows the handlebar to withstand as high efforts as a steel bar could, thanks to the selected braided carbon fibre. Additionally, extremely cost-effective moulds made of PolyLactic Acid (PLA) by 3D printing technique are shown.

Usually, carbon fibre handlebars are made of unidirectional (UD) carbon fibre prepreg, resulting in a quite light but fragile piece.

This new handlebar design, demonstrates its ability to withstand forces comparable to those of a steel bar.


The mechanical behaviour of this new handlebar design ensures that final user can at least come back home in case of a failure. Weight is almost the same as unidirectional carbon fibre handlebars but its behavior allows a safer cycling.

8. AUTHOR CONTRIBUTION

J Cuartero wrote the main manuscript text and performed design, manufacturing and FEM. D Ranz participate on testing and manufacturing. A Poniecka participate on future development and wrote some text. All authors reviewed the manuscript.

9. COMPETING INTEREST

I declare that the authors have no competing interests, or other interests that might be perceived to influence the results and/or discussion reported in this paper.

	BEHAVIOR OF BIKE HANDLEBARS MADE OF BRAIDED CARBON FIBRE	New materials and nanotechnologies
RESEARCH ARTICLE	J Cuartero, D Ranz, A Poniecka	0404.01 New Materials

REFERENCES

- [1] P BERE, M CRISTIAN, et al. Design and Analysis of Carbon/epoxy Composite Bicycle Handlebar. *Materiale Plastice* June 2014.
- [2] Bere P; Nemes O, Dudescu M. Design and Analysis of Carbon/Epoxy Composite Tubular Parts. June 2013. *Advanced Engineering Forum* 8-9:207-214. DOI:10.4028/www.scientific.net/AEF.8-9.207
- [3] Ranz D, Ochoa M, et al DISEÑO DE MANILLAR DE BICICLETA CON ALTA ABSORCIÓN DE VIBRACIONES UTILIZANDO COMPOSITOS NATURALES. *DYNA* 2024 Vol 99
- [4] <https://beast-components.de/>
- [5] https://www.decathlon.es/es/p/manillar-bicicleta-trekking-diametro-25-4-mm-longitud-640-mm-acero-negro/_R-p-339493?mc=8739576
- [6] Miravete A, JM Bielsa, A Chiminelli et al. “3D mesomechanical analysis of three-axial braided composite materials” *Composites Science and Technology* Vol 66(15) 2006, 10.1016/j.compscitech.2006.02.015
- [7] Castejon L, A Miravete, J Cuartero “Analytical formulation of 0,+45 Braided composites and its application in Crashworthiness simulation” *MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS AND STRUCTURES*, Volume 8, number 3, July-September 2001. 10.1080/10759410118129
- [8] “Abaqus User’s Manual” Version 6.14, Hibbit, Karlsson & Sorensen Inc.
- [9] Carrera M, Cuartero J, Miravete A et al. Crash Behaviour of a Carbon Fibre Floor Panel. *International Journal of Vehicle Design*, 44, 2007
- [10] Miralbes, R.; Cuartero, J.; Ranz, D et al. Numerical simulations of gyroid structures under compressive loads. *Mechanics of advanced materials and structures* 2023, DOI:10.1080/15376494.2023.2192712
- [11] Ranz D; Cuartero J; et al.. Experimental and numerical study of the influence of manufacturing parameters on the interlayer behavior of 3D printing materials with and without reinforcement fibres. *DYNA* 2023. DOI:10.6036/10625
- [12] Hashin Z, “Failure Criteria for Unidirectional Fibre Composites,” *Journal of Applied Mechanics*, vol. 47, pp. 329–334, 1980.
- [13] Hashin Z, and A Rotem, “A Fatigue Criterion for Fibre-Reinforced Materials” *Journal of Composite Materials*, vol. 7, pp. 448–464, 1973.
- [14] Davila C, Camanho P, Rose C, “Failure criteria for FRP Laminates” *Journal of Composite Materials*, vol. 39, no 4, 2005, 10.1177/0021998305046452.
- [15] EN 4210-5:2014 Ciclos. Requisitos de seguridad para bicicletas. Parte5: Métodos de ensayo de la dirección.
- [16] JM Blanchard, AJ Sobey, Comparative design of E-glass and flax structures based on reliability, *Composite Structures*, Volume 225, 2019, 111037
- [17] Revuelta, Cuartero, Miravete, Clemente. A new approach to fatigue analysis in composites based on residual strength degradation. *Composite Structures* Volume 48, Issues 1–3, January–March 2000, Pages 183-186
- [18] Jitendra S. Tate a, Ajit D. Kelkar. Stiffness degradation model for biaxial braided composites under fatigue loading. *Composites: Part B* 39 (2008) 548–555

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to express their gratitude to the workshop masters, MA Campos, JL Ibañez, JA Pastor and E Sarnago for their valuable contribution in the manufacturing of moulds, handles, and conducting tests.

	Publicaciones DYNA SL -- c) Mazarredo nº69 - 2º -- 48009-BILBAO (SPAIN) Tel +34 944 237 566 – www.revistadyna.com - email: dyna@revistadyna.com	Pag. 14 / 14
ISSN: 0012-7361 eISSN: 1989-1490 / DYNA Vol.0 DOI: https://doi.org/10.6036/11103		