

# Trabajo Fin de Grado

## Nuevo Desarrollo de Bicicleta de Cargo Transformable

Autor

Alejandro Villota Bello

Directores

D. David Ranz Angulo  
D. Jesús Cuartero Salafranca

Escuela de Ingeniería y Arquitectura  
2018/2019

---

## **Nuevo Desarrollo de Bicicleta de Cargo Transformable**

### **Resumen:**

Este proyecto ha sido realizado al advertir la necesidad real de un método alternativo de transporte en las principales ciudades europeas. Una problemática que afecta a un gran número de ciudadanos, tanto del sector profesional como privado. Tras realizar un estudio de mercado y de la situación actual se abstraen los requerimientos de este vehículo, los cuales son ligereza, comodidad, agilidad y capacidad de carga media-baja. A lo que se encuentra una respuesta con un ciclo cargo transformable.

Se planteará el diseño y desarrollo de una solución en la que se resuelve el conflicto entre capacidad de carga del ciclo y la comodidad para su uso cotidiano con una transformación sencilla. Se procederá entonces al desarrollo de los diferentes diseños, estudiando cada uno de ellos y finalmente, se decidirá el más conveniente. Este será modelado geométricamente mediante el software Solidworks, para luego, emplear el programa Patran para la discretización e introducción de propiedades del modelo. Por último, los diferentes casos de carga se resolverán mediante la herramienta de cálculo Abaqus, cumpliendo en todo momento con la legislación vigente y los requerimientos encontrados.

## Tabla de Contenidos

0	Introducción.....	3
0.1	Motivación.....	4
0.2	Antecedentes.....	5
0.3	Objetivos y Alcance.....	6
0.4	Estructura del Proyecto .....	6
1	Investigación Previa.....	7
1.1	Análisis del Mercado .....	7
1.2	Situación Actual e Impacto Social y Comercial .....	8
1.3	Conclusión.....	9
2	Conceptualización.....	10
2.1	Planteamiento de Posibles Soluciones.....	10
2.2	Elección del Diseño.....	12
3	Desarrollo del Concepto .....	13
3.1	Software Solidworks .....	13
3.2	Modelado de Partes .....	13
4	Análisis del Modelo.....	16
4.1	Introducción a Patran.....	16
4.2	Discretización de las Piezas.....	16
4.3	Ensamblaje del Modelo .....	17
4.4	Condiciones de Contorno y Estados de Carga .....	17
5	Resultados y Optimización del Modelo.....	19
5.1	Introducción a Abaqus .....	19
5.2	Resultados del Prototipo .....	19
5.3	Proceso Resolutivo .....	21
5.4	Optimización .....	22
5.5	Resultado Último.....	23
6	Conclusión y Líneas de Futuro.....	25

## Anexos

Anexo I – Análisis de Mercado .....	28
Anexo II – Planos de Piezas .....	30
1. Cuadro .....	30
2. Macho de Plataforma .....	31
3. Horquilla .....	32
4. Tubo de Dirección .....	32
5. Rodamiento .....	33
Anexo III – Propiedades de los Materiales .....	34
1. Aluminio 6061 .....	34
2. Acero AISI 4130 .....	36
Anexo IV - Normativa Aplicada.....	37
1. Anexo A UNE-EN ISO 4210_3.....	37
2. Apartado 4.4 UNE-EN ISO 4210_6 .....	39

## 0 Introducción

### 0.1 Motivación

En los últimos años, los núcleos de las grandes ciudades están sufriendo un importante cambio en cuanto a los medios de movilidad se refiere. El impacto medio ambiental de los vehículos motorizados y la descongestión del tráfico en el centro de estas urbes están desempeñando un papel importante en la política actual. Desde el año 2015, en la ciudad de Barcelona los *carriles bici* aumentaron de 116 a 209 kilómetros y el uso de la bicicleta ha crecido un 40% [1]. Por otro lado, en la capital española se puso en marcha el plan *Madrid Central* el 30 de noviembre de 2018 con el fin de restringir el tráfico motorizado en el centro de la ciudad. Gracias a este plan se ha conseguido descender los niveles de  $\text{NO}_2$  en la zona afectada desde 42,1 mg. en abril de 2018 a 21,7 mg. un año después, representado por la curva marrón de la *fig. 1*. De esta bajada se deduce con facilidad una reducción del tráfico contaminante en esta zona.

**Niveles de  $\text{NO}_2$  en Abril, Madrid**

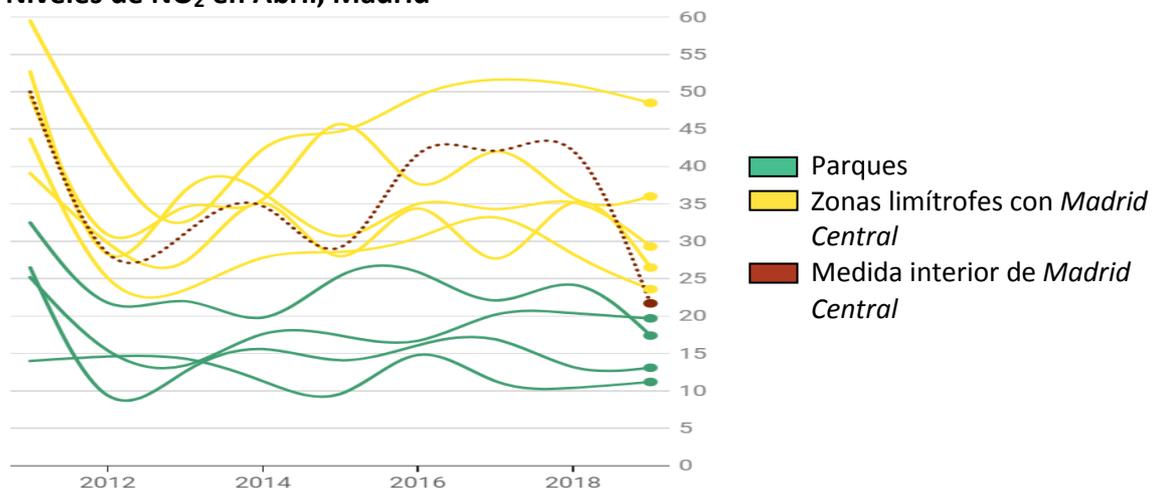


Figura 1: Microgramos de  $\text{NO}_2$  por metro cúbico medidos en abril en la ciudad de Madrid

Fuente: Javier G. Fernandez (2019, 1 de Junio). Madrid Central: ¿ha funcionado la medida estrella de Carmena?, *EXPANSIÓN*.

Esto afecta a un espectro de usuarios muy amplio, con unas necesidades de transporte de carga media-baja. En los núcleos urbanos se concentran habitantes con requerimientos diversos; desde profesionales de mensajería y/o transporte ligero, hasta cabezas de familia o cualquier comprador de bienes de uso cotidiano. Por otro lado, es imprescindible poder llegar a aportar una maniobrabilidad adecuada en los cascos históricos de las ciudades europeas, en las cuales calles estrechas y callejones son predominantes. Tener en cuenta de igual forma que los espacios de almacenaje en los domicilios de los centros metropolitanos son reducidos. En dichas áreas de las principales ciudades españolas el tamaño medio de las viviendas se presenta en una horquilla de entre 73 y 115 metros cuadrados [2]. En la presente coyuntura, se crea la situación de encontrar soluciones a corto plazo y asequible para la mayoría del público. Respondiendo a esta problemática se plantea el diseño y desarrollo de una solución en la que se resuelve el conflicto entre capacidad de carga del ciclo y la comodidad para su uso cotidiano mediante la posibilidad de una transformación sencilla que la convierta en una bicicleta convencional, es decir una bicicleta de cargo transformable.

## 0.2 Antecedentes

Una bicicleta cargo es un ciclo diseñado y construido específicamente para el transporte de carga. Estos vehículos pueden llegar a tomar diferentes formas y tamaños dependiendo del fabricante. Como se discutirá posteriormente, el presente trabajo se centrará en el diseño de una bicicleta de carga frontal, también conocidas como *Long John* (imagen 1) o *Bakfiets*, con el emplazamiento del espacio de carga de forma intermedia entra manillar y rueda delantera.

Las bicicletas como herramienta de carga han venido a ser utilizadas con mayor o menor capacidad desde la aparición del primer ciclo. La *draisana* o *velocípedo* fue creada por Karl von Drais en 1818 en Alemania, y según el diseño avanzaba se añadían elementos para transporte de carga conformes a las necesidades de la época. Sin embargo, no es hasta finales de los años 20 del siglo XX cuando se tiene constancia de la primera aparición de una bicicleta de carga frontal en Dinamarca. Esta constaba de una rueda delantera adelantada y separada del manillar, permitiendo un espacio de carga posterior. El ciclo era dirigido por un tirante rígido con rótula que transmitía el movimiento del manillar a la rueda directriz y era acoplado por debajo de la plataforma. Este tipo de bicicletas cobraron especial popularidad en la ciudad de Copenhague, donde recibieron el nombre de *Long John*. El diseño pronto se extendió por otras ciudades del norte de Alemania y de Holanda, a las cuales se les asoció el nombre comúnmente utilizado en la actualidad de *Bakfiets* [3]. Hoy en día el diseño de este tipo de ciclos poco ha variado, siendo los progresos asociados meramente a materiales más sofisticados que aportan mayor ligereza y resistencia.



Copenhagen City Museum / Bymuseum

Imagen 1: Bicicleta de carga frontal clásica *Long John*, Dinamarca 1950.

Fuente: *Copenhagen City Museum / Københavns*

Conociendo el punto del cual partir en el rediseño de una alternativa a la ya existente, se realiza en primer lugar un análisis del mercado de bicicletas cargo, el entorno social actual en el que tendrá impacto y la posible penetración en diferentes segmentos de mercado del transporte comercial. Para ello, se recogen datos de catálogos de fabricantes de bicicletas de carga cuya información es ordenada, categorizada y estudiada posteriormente. Por otro lado, el apartado social se apoya en el informe de resultados del Barómetro de la Bicicleta en España, estudio realizado por el Gabinet d'Estudis Socials i Opinió Pública (GESOP) de 2015. Se obtiene entonces una serie de requerimientos que son claves para la generación de conceptos iniciales.

### **0.3 *Objetivos y Alcance***

Con este proyecto se pretende desarrollar una solución a los requerimientos encontrados mediante un ciclo de carga frontal. El cual debe ser ligero, compacto y fácilmente transformable para que sea apto para todos los mercados citados. Tendrá que reunir por otra parte la resistencia necesaria que asegure su integridad estructural. Para lo que el presente trabajo se centrará pues en el desarrollo de la solución y el análisis estructural bajo cargas estáticas en diferentes casos según la norma UNE-EN ISO 4210. Sin embargo esta norma estipula los métodos de ensayo a realizar en ciclos, siendo estos físicos experimentales. Así que el alcance del proyecto, además de la obtención del diseño estructural final, llegará hasta la conversión virtual del ensayo estático de cargas.

### **0.4 *Estructura del Proyecto***

Una vez completado el proceso analítico del mercado y sintetizado los conocimientos adquiridos, se procede al planteamiento de diferentes diseños que cumplan con las demandas abstraídas del estadio anterior. Así como la resolución de un sistema óptimo de transformación en el que el diseño clásico no tendrá cabida. Procediendo mediante croquis y anotaciones simples se materializan las ideas ocurridas, resultando tres posibles recursos. Se analizan entonces las distintas propuestas observando los pros y los contras de cada una de ellas relativos al cumplimiento de las exigencias y su grado de conformidad. Finalmente argumentando la elección final, se completa el esbozo más detallado de la propuesta, indicando el proceso seguido en las fases del desarrollo del producto seleccionado.

Para el modelado geométrico se utilizará el software SolidWorks. Todos los elementos pertenecientes al diseño propio tendrán medidas normalizadas, de esta forma las partes no estructurales no serán diseñadas por el presente trabajo. Toda la estructura es creada por elementos superficie en tres partes diferentes: cuadro, macho de plataforma y horquilla. Además de otros elementos auxiliares diseñados de forma básica para asegurar la continuidad en el modelo.

Tras finalizar el diseño completo se emplea el programa Patran para la discretización e introducción de propiedades del modelo. Se presta atención a la creación del número finito de elementos, el cual deberá ser suficiente como para guardar las geometrías de las superficies sin llegar a excederse, evitando así un sobrecálculo innecesario. Se proponen diferentes materiales que puedan llegar a asegurar la ligereza y resistencia buscada.

Por último, se resuelven diferentes casos de carga mediante la herramienta de cálculo Abaqus. La estructura es analizada en el caso de orden de marcha (peso de un conductor adulto medio) con la carga distribuida estáticamente según lo establecido en la norma UNE-EN ISO 4210. Así como también en el caso de carga máxima del ciclo, que se fija en primera instancia como una carga mayorada de 150 Kg., tanto para el modo plegado como para el abierto. Con los resultados obtenidos, se procede a la optimización del ciclo, rebajando lo máximo posible el peso del miso, llegando a los resultados y conclusiones finales.

# 1 Investigación Previa

## 1.1 Análisis del Mercado

Se procede a recoger datos de bicicletas de cargo de los principales fabricantes, mediante la consulta de los catálogos puestos a disposición on-line, creando una tabla referenciada al Anexo I (tabla 1). En la fecha de la consulta (Diciembre, 2018), la oferta de bicicletas cargo en España era reducida. El tamaño de la muestra consta de 32 elementos, cada uno ha sido categorizado en los siguientes campos:

Respecto del ciclo:

*Dimensiones (longitud, anchura y altura) totales del ciclo en cm*

*Formato de la bicicleta: Triciclo/Biciclo*

*Suspensión: Indicando la posición de montaje si la hubiese*

*Velocidades: Relativo al cambio de marchas*

*Precio en euros*

Respecto del espacio de carga:

*Capacidad del espacio de carga en litros.*

*Carga máxima en kilogramos.*

*Dimensiones (longitud, anchura y altura) del espacio de carga en cm.*

*Posición del espacio de carga: Trasera/Delantera*

*Transporte de pasajeros: Si/No*

Respecto a extras:

*Asistencia al pedaleo (Tipo y Autonomía)*

*Transformable: Si/No*

*Otros*

Se observa que el mercado está distribuido equilibradamente entre bicilos, entendidos como ciclos de dos ruedas, y tricilos, teniendo estos un peso algo menor como se muestra en la figura 1.1. Debido a los requisitos encontrados, se busca un diseño lo más compacto posible. El formato elegido para seguir con el proyecto se decanta por la opción del biciclo.

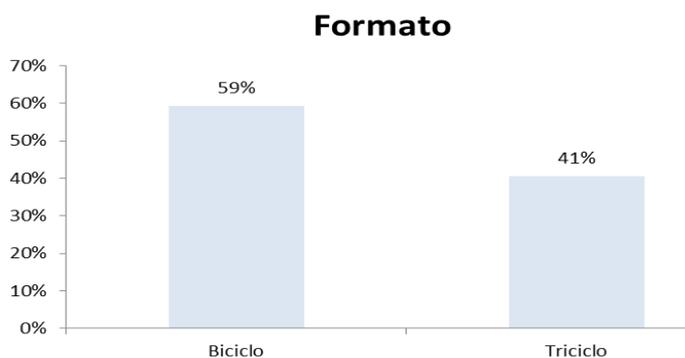


Figura 1.1: Distribución porcentual del formato del ciclo

Fuente: Anexo I

Respecto a la posición del espacio de carga se encuentra una clara tendencia a situarla en la parte delantera (figura 1.2). La carga delante del manillar presenta notables ventajas ya que aporta al conductor una visibilidad constante de ella durante todo momento de la conducción. De esta forma, existe menos peligro de colisión con elementos exteriores, aportando así mayor seguridad que una bicicleta cargo con el espacio tras el conductor. También cabe destacar que para conseguir un espacio de carga trasero, manteniendo el formato de biciclo, el sistema de transmisión resultaría más complicado y poco recomendable. Por lo que la plataforma debería sortear la rueda trasera, elevando la carga. La elevación de la masa al ser transportada aumenta la altura del centro de gravedad del vehículo, lo que conlleva una mayor inestabilidad durante la conducción. La plataforma de carga en las bicicletas cargo frontales se encuentra en la cota más inferior, reduciendo la altura del centro de masas y por consiguiente, el momento inestable. Otra clara desventaja de la situación de carga atrasada ocurre al alejar el centro de gravedad de la rueda directriz, produciendo una desmejora notable de la dirección pudiendo llegar a desembocar en una trepidación incontrolable.

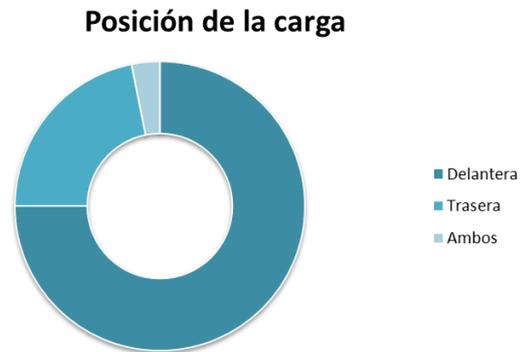


Figura 1.2: Distribución de la muestra de la posición de la carga

Fuente: Anexo I

Habiendo decidido las principales características del ciclo a desarrollar, se observa que no se ha encontrado en el mercado actual ningún ejemplo que presente la posibilidad de transformación (entendida como dos modos factibles de uso), mas solo existe la opción de plegado de componentes propios de la bicicleta con el fin de favorecer el almacenaje del vehículo. Esta sería pues la característica diferenciadora, estableciendo los demás parámetros estudiados como medios a la población.

## 1.2 Situación Actual e Impacto Social y Comercial

En España 9 de cada 10 personas saben montar en bicicleta, sin embargo solo la mitad de la población lo hace con alguna frecuencia. Siendo los hombres y los más jóvenes los que hacen un uso más intensivo de ella. El principal inconveniente alegado por los usuarios de bicicletas sobre este método de transporte es la falta de facilidades, desembocando en una apreciación del medio como peligroso e incómodo. Y por consiguiente, se da preferencia a otros medios de transporte. Sin embargo la realidad de las ciudades está cambiando, imposibilitando el uso de medios privados contaminantes y creando mejores infraestructuras para el uso de la bicicleta. Es importante encontrar una solución en la que la bicicleta sea capaz y conveniente para recorrer las ciudades y sus obstáculos. Tal y como se muestra en el estudio, “6 de cada 10 usuarios de la bici la utilizan para desplazamientos cotidianos” (GESOP, 2015), y es visto como el tercer medio más rápido para moverse por

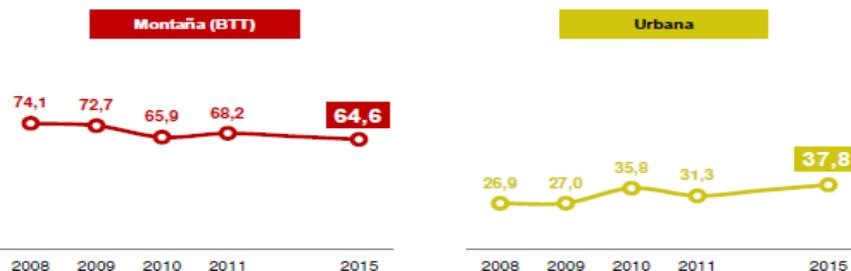


Figura 1.3: Comportamiento del porcentual del tipo de bicicletas en España

Fuente: GESOP (2015), Informe de resultados del Barómetro de la Bicicleta en España

la ciudad antes que cualquier transporte público. Por último indicar que el tipo de bicicleta más popular ha venido siendo durante años la de montaña, no obstante se aprecia en la figura 1.3 una tendencia significativa a la alza de bicicletas urbanas. Esto puede ser una clara señal del incremento del uso del ciclo por la ciudad como opción de transporte y no meramente de ocio, dando muestras de cambio en lo que a logística privada se refiere [4].

Existe un gran rango de segmentos de transportes comerciales indicados como posibles usuarios de bicicletas cargo aún sin ser explotados. Los cuales van a ser enumerados a continuación [5]:

Los *servicios postales* se encargan en gran medida del envío de paquetería ligera. De acuerdo con Wessels (2013), los viajes diarios de estos servicios comprenden una distancia media de 13 kilómetros con un número de paradas aproximado de entre 100 y 200 veces. Por lo que las bicicletas de cargo pueden llegar a ser importantes para cumplir con el servicio.

Los *servicios de mensajería y entrega a domicilio* están sufriendo un crecimiento exponencial en los últimos años. La carga de trabajo de estos servicios no es constante, ya que la mayoría de mensajeros son autónomos y dependen de las exigencias puntuales del mercado. Los envíos son recogidos y entregados personalmente, con distancias recorridas diariamente que raramente exceden los 100 kilómetros (Gruber et al., 2014). Es por esto que un vehículo que aporte esa flexibilidad necesaria es recomendable.

La logística de las entregas de “última milla” de los *servicios de paquetería* se vería fortalecida por ciclos de carga para entregas en áreas urbanas con alta densidad o con acceso restringido. El mayor inconveniente se encuentra en la insuficiente capacidad de carga.

Otro sector en el que la inserción de ciclos de carga puede llegar a ser factible son los *viajes de servicio*. En los que profesionales necesitan transportar determinadas herramientas para poder llegar a dar el servicio in situ, como por ejemplo obreros y servicios de mantenimiento, médicos a domicilio, empleados del hogar... También para aquellos empleados que necesitan desplazarse dentro de grandes plantas de producción.

### 1.3 Conclusión

El uso de la bicicleta está notablemente en aumento, por lo que la oportunidad existente que ello conlleva es más que aprovechable. La forma de transporte y movilidad en los centros de las ciudades están sufriendo grandes cambios. Es por ello que el ciclo es diseñado para el cumplimiento tanto de las necesidades logísticas privadas, como comerciales. En el que una bicicleta de carga flexible, ligera y de transformación sencilla es requerida, existiendo un gran nicho de mercado si las condiciones y las facilidades de las ciudades para su utilización lo permiten. Debido a que existe una gran dependencia del posible uso relacionado directamente con la infraestructura con la que una ciudad cuenta, con respecto al ámbito ciclista. Así como también a la concienciación social sobre el medio ambiente y la imagen que el ciclo genera. La serie de requerimientos abstraídos se enumeran a continuación:

- *Formato:* Biciclo
- *Posición de la Carga:* Delantera
- *Peso Estructural:* Ligero – Medio (10/15 Kg)
- *Longitud del Ciclo:* menor de 220 cm
- *Carga Máx:* alrededor de 100 Kg
- *Capacidad de Transformación*

## 2 Conceptualización

### 2.1 Planteamiento de Posibles Soluciones

Tras abstraer las conclusiones anteriores, se comienza a responder las necesidades encontradas mediante un ciclo de dos ruedas, con el emplazamiento de carga en la parte frontal y que permita una transformación rápida y sencilla. Por lo cual se llega a tres posibles soluciones con un planteamiento de transformación diferente que son estudiadas en función de su viabilidad y satisfacción de los requerimientos. La forma de proceder consta de una croquizado simple de la idea en cuestión y su estudio posterior de ventajas e inconvenientes. Finalmente se elige la propuesta que será desarrollada en su totalidad.

#### 2.1.1. Plegado

La primera transformación propuesta se trata del plegado del espacio de carga, juntando la rueda delantera con la dirección directamente y convirtiéndose la plataforma en una bandeja por encima de la rueda. En el croquis de la imagen 2.1 se muestra el ciclo en modo de carga máxima, y el resultado de la transformación del plegado compactando el ciclo en la imagen 2.2. El sistema de dirección en este caso contaría con el sistema clásico de tirante rígido con rotula, capaz de ser desacoplado para conseguir el plegado. En modo recogido, la transmisión del movimiento de rotación se realiza de forma directa acoplando el tubo de la dirección a la horquilla.

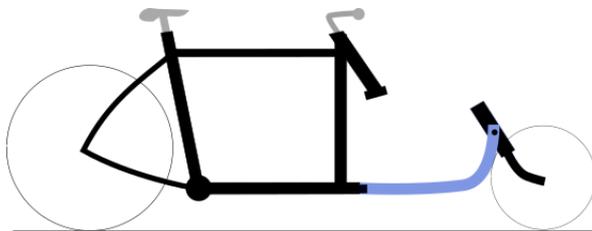


Imagen 2.1: Croquis de la bicicleta en modo de carga

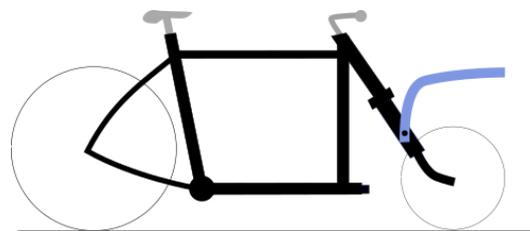


Imagen 2.2: Croquis de la bicicleta en modo plegado

Al analizar el sistema de plegado se puede llegar a encontrar las siguientes características básicas que definirían el resultado final:

#### *Ventajas:*

- Alta flexibilidad al disponer en ambos modos de espacio de carga
- Rigidez del sistema bajo carga
- Operación de transformación sencilla
- Bajo almacenaje necesario para el ciclo

#### *Inconvenientes:*

- Modo plegado poco compacto
- Diseño relativamente complicado
- Limitación del espacio de carga debido a la proyección de la bandeja en modo plegado

### 2.1.2. Tubos telescópicos

En este caso la transformación del espacio de carga se lleva a cabo mediante el sistema de tubos telescópicos. Los largueros que forman la plataforma son de sección circular, generando la longitud necesaria gracias a dos tubos concéntricos con la suficiente tolerancia para que exista juego entre ellos. De esta forma la medida puede ser variada a gusto del usuario, como es mostrado en las imágenes 2.3 y 2.4. Tener en cuenta que el sistema clásico de dirección deberá ser del mismo modo telescópico.

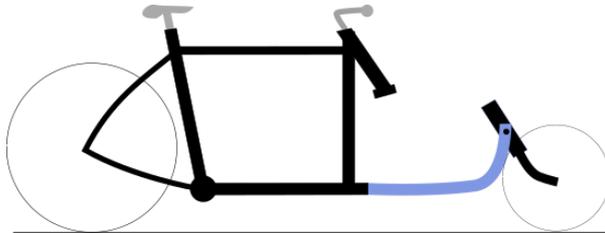


Imagen 2.3: Croquis de la bicicleta en modo de carga

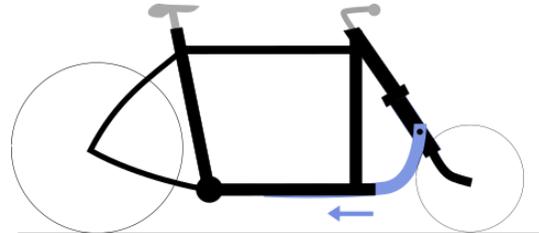


Imagen 2.4: Croquis de la bicicleta en modo plegado por tubos telescópicos

Asimismo, se procede a analizar la propuesta:

#### *Ventajas:*

- Facilidad y rapidez de plegado
- Sistema altamente compacto
- Flexibilidad en la cantidad de espacio
- Bajo espacio necesario para el almacenaje del ciclo
- Diseño sencillo

#### *Inconvenientes:*

- Baja rigidez del estado extendido
- Desgaste de los componentes

### 2.1.3. Desmontaje de la plataforma

Por último se presenta el sistema más obvio, el cual trata simplemente de retirar el espacio de carga cuando no sea necesario su uso. El proceder es sencillo, la plataforma consta de uniones no fijas las cuales serán abiertas para separarlas. Una vez realizado este proceso, la bandeja es guardada y la rueda delantera acoplada al sistema de dirección. Se deberá encontrar entonces un sistema de tirante rígido rotulado lo suficientemente resistente y capaz de ser desmontado de forma sencilla.

#### *Ventajas:*

- Mayor rigidez y resistencia de la estructura
- Diseño sencillo

#### *Inconvenientes:*

- La transformación requiere más esfuerzo y tiempo
- Necesidad de almacenaje de componentes del ciclo
- Sistema de dirección complicado

## 2.2 Elección del Diseño

Tras estudiar detenidamente los diseños surgidos se llega a la conclusión de que debido a las características reunidas por el segundo caso, este es la opción escogida para su desarrollo completo. El sistema de *tubos telescópicos* presenta una serie de ventajas, en especial la facilidad y rapidez del plegado y su flexibilidad, que lo convierten en el más indicado para cumplir con los requisitos impuestos. La idea principal es optimizada en un primer paso, de forma que el espacio de carga sea el máximo posible manteniendo un ciclo de dimensiones longitudinales apropiadas, como se muestra en la imagen 2.5. De esta forma se consigue evitar una medida sobredimensionada que incomodaría enormemente la conducción y la seguridad. Esto se consigue aportando una curvatura a la columna que soporta el manillar, así el espacio de carga comienza de forma más anterior. Esta operación conlleva otra consecuencia relevante, al estar la carga situada más próxima al conductor, el centro de masas se encuentra más intermedio en el vehículo, mejorando la conducción y equilibrio.

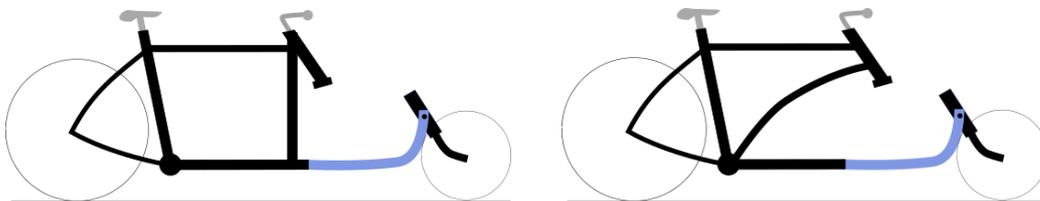


Imagen 2.5: Croquis de la operación de optimización del sistema de transformación por *tubos telescópicos*

Sin embargo, al proceder de esta manera se crea una nueva problemática. Normalmente, la dirección de bicicletas cargo frontales consta de un tirante rígido rotulado que transmite la rotación del manillar a la rueda delantera. No obstante, al crear un espacio diáfano por debajo del manillar, este método se vuelve inviable. La solución propuesta trata de una transmisión del movimiento por medio de elementos flexibles, en este caso sirgas. Estos cables de acero trenzados son fijados a pares, para repartir la tensión necesaria, tanto a la cabeza de la horquilla como al final del tubo de la dirección, (Imagen 2.6). Una vez acoplados al tubo de dirección, se introducen por el interior del cuadro pasando por el alojamiento del buje del pedaliar y atravesando la plataforma de carga. Finalmente alcanzan la horquilla y emergen de nuevo al exterior, donde se anclan a ella en su parte superior. De esta forma se consigue trasladar el movimiento rotativo de forma flexible. (Sistema extraído de ciclos de la marca Cargo Bike Monkeys). Al ser plegada la bicicleta, los cables pierden la tensión necesaria anulando su actividad. No obstante, en el modo recogido, la horquilla es acoplada al tubo de dirección por un sistema de fijación que permita la transmisión directa de la rotación del manillar.

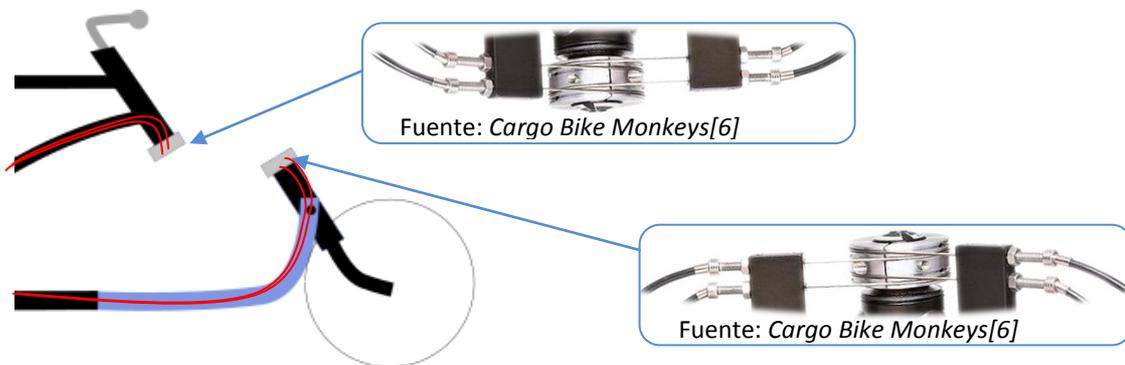


Imagen 2.6: Explicación del sistema de dirección por cables metálicos trenzados

## 3 Desarrollo del Concepto

### 3.1 *Software Solidworks*

Una vez decidido el diseño en el que se centra la solución final, con las dimensiones y geometría planteada, se procede al modelado de la propuesta por medio de Solidworks.

SOLIDWORKS es un software de diseño CAD 3D (diseño asistido por computadora) para modelar piezas y ensamblajes en 3D y planos en 2D. El software (...) ofrece un abanico de soluciones para cubrir los aspectos implicados en el proceso de desarrollo del producto. Sus productos ofrecen la posibilidad de crear, diseñar, simular, fabricar, publicar y gestionar los datos del proceso de diseño. [7]

El estudio se centra únicamente en la estructura principal del ciclo. Esto conlleva ajustar las medidas a elementos normalizados encontrados en diferentes catálogos de fabricantes. Por lo que el modelado constará principalmente del cuadro, el elemento transformable de la plataforma de carga y la horquilla. Además, será necesario implantar otros elementos auxiliares, que no formarán parte del producto final, pero necesarios para aportar continuidad al modelo y completar el análisis. Estos últimos son el tubo de la dirección, que une la horquilla en el modo plegado, y los diferentes rodamientos que permiten el giro entre el alojamiento y horquilla y tubo de dirección, los cuales hacen también la función de roscas en el modelo.

El proceder del modelado consiste en primera instancia en la creación del croquis del alzado con las medidas pertinentes para cada una de las piezas que formarán parte del ciclo. Para después construir los elementos tubos en base a este primer croquis. Destacar que la construcción de los elementos se llevará a cabo por medio de superficies, es decir, los tubos no tendrán espesor. Esta técnica facilitará y acelerará el posterior proceso de discretización por medio de Patran, donde se configurará el espesor en función de los requerimientos, entre otras cosas. Una vez creado las superficies cilíndricas mediante extrusiones, barridos o recubrimientos para aquellas con cambios de sección, se procede al recorte de las superficies intersecantes para generar un único objeto.

Como último paso, una vez finalizadas las diferentes partes, se crea una archivo de ensamblaje que servirá meramente para comprobar cómo encajan entre ellas y que todas las dimensiones hayan sido calculadas correctamente.

### 3.2 *Modelado de Partes*

La primera parte a modelar consiste en el cuadro principal, en el que se integra la parte hembra de la bandeja, imagen 3.1. Para la construcción del croquis base se toman las medidas que vaya a tener el ciclo, diseñándolo para un adulto medio, tomadas del análisis de ciclos que figura en el Anexo I. Tanto para el tubo vertical que aloja la tija del sillín, el tubo horizontal y el alojamiento de la dirección se ha seguido el proceso de barrido, siguiendo una línea conforme el croquis para los ejes longitudinales y ajustando el radio deseado. Por otro lado, para el alojamiento del buje del pedalier, se extruye la sección circular en dirección transversal con la anchura requerida. Los casos de los soportes de la rueda trasera y la parte hembra de la bandeja es algo más complicada. Se aprovecha la semejanza a pares con respecto al eje longitudinal, construyendo una parte y aplicando simetría para ambos casos. El método de construcción en este caso es mediante recubrimientos, se crean las secciones circulares o elipsoides y se restringe el recubrimiento de ellas por medio del eje longitudinal. Los soportes han de terminar de forma que el enganche de la rueda sea factible. Por lo que se crea este enganche con la configuración típica en las bicicletas, consiguiendo un cambio de forma suave y progresiva

evitando así posibles acumulaciones de tensiones; como se muestra en detalla en la figura 3.2. Esto es conseguido gracias a la herramienta de recubrir, ya que se ha diseñado el contorno de las secciones exteriores de las partes de progresión. Una vez terminado todo ello, se procede a recortar las superficies que se entrecruzan, generando una única pieza.



Imagen 3.1: Modelo de cuadro principal



Imagen 3.2: Detalle de los enganches de la rueda trasera perteneciente al cuadro

Se continúa con la construcción de la parte transformable de la bandeja, mostrada en la imagen 3.3. Esta albergará el alojamiento para la horquilla, y dos largueros que serán parte de la plataforma de carga siendo coaxiales con la parte de la bandeja del cuadro. El sistema telescópico se consigue diseñando ambas partes de los dos largueros con el mismo diámetro, pero atribuyendo tolerancias que permitan el juego entre ambos. Las tolerancias se aplicarán como *agujero* para el diámetro interior de los tubos de la parte de la plataforma del cuadro, y como *eje* para el diámetro exterior de la otra parte. El tope hasta donde penetra el macho de la plataforma se logra ajustando la tolerancia del diámetro exterior a partir de ese punto como de interferencia. Además, tanto la parte hembra como el macho de la plataforma cuentan con hendiduras mecanizadas en los tubos para permitir el bloqueo de la posición por medio de un pasador, que además hace la función de travesaño y soporta parte de la carga.

En este caso, los tubos también son construidos por medio de barridos para las partes rectas, y por recubrimientos para las formas sinuosas. Las cuales son dirigidas por curvas proyectadas desde croquis en la planta y el perfil. Cabe destacar que el alojamiento de la horquilla debe tener la misma inclinación que el alojamiento de la dirección del cuadro, para poder llegar a conseguir una correcta conexión del sistema de dirección en el modo plegado. Otro detalle a analizar son las hendiduras rectangulares que permitirán la adición de un pasador posibilitando la inmovilización longitudinal durante la marcha en los modos de plegado y extendido.

Por último solo resta la creación de la horquilla que alberga la rueda delantera, (imagen 3.4). Para ello se ha diseñado mediante barrido el tubo que penetrará en el alojamiento, seguido por el tope del que emergen los dos brazos simétricos. La operación de recubrimiento apoyado de curvas proyectadas ha vuelto a ser utilizada para el desarrollo de estos brazos de forma complicada. Del mismo modo que en el caso del cuadro, ha hecho falta crear sendos enganches de forma progresiva para la rueda delantera.



## 4 Análisis del Modelo

### 4.1 Introducción a Patran

*Patran* es la herramienta que va ser utilizada para la discretización de las partes, el ensamblaje del conjunto, imponer las condiciones de contorno y estados de carga y la configuración de materiales y espesores. El programa proporciona la capacidad del modelado mediante el método de elementos finitos. A grandes rasgos consiste en convertir superficies continuas en pequeñas unidades elementales discretas, de esta forma se posibilita la evaluación numérica e implementación computacional.

Para conseguir esta discretización de las superficies se crea una malla que recubre las formas a calcular, imitando lo máximo posible la geometría de estas. Esta malla virtual está formada por elementos tanto cuadrados como triangulares con un tamaño semejante. Los nodos formados por las uniones, serán los puntos con los que el programa de cálculo se ayudará para aproximar el resultado de las deformaciones y tensiones de forma finita. Para conseguir la correcta lectura de los modelos por parte de *Patran*, se han de importar con formato STEP como parasólidos, prestando atención las unidades con las que se llevará a cabo el proceso. Estas corresponden a las utilizadas en el modelado por Solidworks, es decir, en milímetros. Por último se lanzará el archivo una vez completado para ser analizado en Abaqus.

### 4.2 Discretización de las Piezas

El procedimiento para conseguir la discretización de las partes comienza con el mallado automático de estas, aplicando un tipo de elemento híbrido (*hybrid*). El tamaño creado de los elementos ha de ser convenientemente configurado para asegurar la conservación de la forma de la superficie en cuestión. Sin embargo, no deben de ser excesivamente pequeños ya que conllevaría un número de elementos demasiado alto provocando un sobre-cálculo innecesario. Una vez creada se debe comprobar los contornos creados en la pieza, con el comando de *boundaries*, para verificar que no existen discontinuidades que imposibiliten el cálculo. Cuando esto ocurre, se ha de editar la malla elemento a elemento de forma manual. Pudiendo mover los nodos, o incluso borrando y creando elementos singulares que casen convenientemente. En el momento que la continuidad de cada parte ha sido aprobada, se examina las duplicidades de los elementos, eliminando de forma automática los errores. Esta cadena de procesos se efectúa para cada uno de los componentes por separado, como se muestra en la Imagen 4.1, y finalmente se unificarán en un mismo archivo. Resultando un total de 55337 elementos repartidos entre:

- Cuadro: 26651
- Macho Plataforma: 9639
- Horquilla: 7397
- Tubo Dirección: 6652
- Resto de Partes Auxiliares: 4998

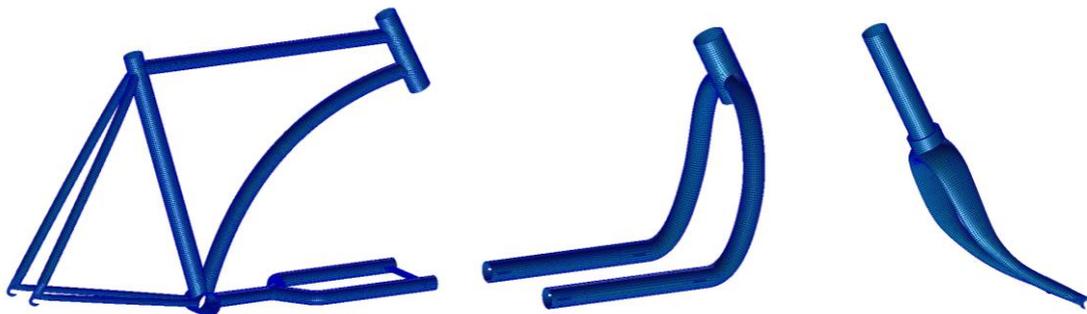


Imagen 4.1: Partes individuales discretizadas

### 4.3 Ensamblaje del Modelo

Una vez completado el mallado y teniendo todas las partes en un mismo archivo se ha de especificar al programa que todas ellas están en determinado contacto, para así crear el modelo ensamblado a analizar. Para ello se ejecuta la orden *tie* que crea el contacto en cuestión según los elementos seleccionados (Imagen 4.2). La entrada de este comando son los elementos y nodos a relacionar entre un cuerpo y otro, siendo uno de ellos el *Master* y el otro el *Slave*. Es importante tener en cuenta que esto significa que una de las partes será dependiente de la otra, por lo que si en un punto diferente se desea hacer otro contacto entre las mismas dos, los roles han de permanecer constantes. En caso contrario, se creará un sistema sobre restringido, apareciendo errores que imposibilitan el cálculo posterior. Por otra parte, será necesario crear dos modelos diferentes que representen el modo desplegado por un lado y el cerrado por otro. Esto se debe a que los contactos son diferentes, en el primer caso la relación se basa en una pequeña parte de los extremos de la plataforma de la parte del cuadro y del macho de la bandeja; mientras que en el segundo, la penetración es mayor, y por consiguiente el contacto. Aparte es necesario añadir un contacto entre el principio de la horquilla y la parte baja del tubo de dirección en el modo plegado.



Imagen 4.2: Ejemplo de contactos en la parte frontal del ciclo

### 4.4 Condiciones de Contorno y Estados de Carga

Las condiciones de contorno son aquellas restricciones en los grados de libertad de los distintos ejes coordinados impuestas al modelo para que se asemeje en la mayor medida posible a la realidad. La bicicleta está en contacto con el sistema externo por medio de las ruedas, sin embargo, el modelo solo estudia la estructura de esta. Por lo que las condiciones se aplicarán a los enganches de las ruedas. Se establece un sistema de referencia en el enganche trasero, en el que las traslaciones en los tres ejes son restringidas (Imagen 4.3), así como las rotaciones en el eje longitudinal y vertical. Del mismo modo, para el enganche posterior, se procede del mismo modo con la salvedad de que la traslación longitudinal es permitida en este caso.

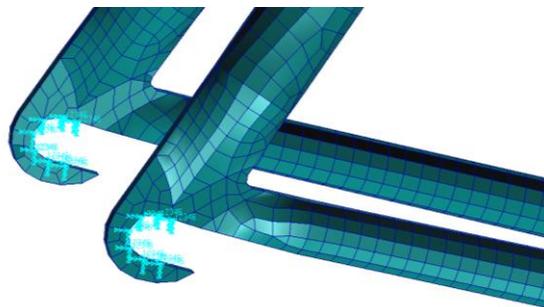


Imagen 4.3: Detalle de las condiciones de contorno sobre los enganches traseros

Tras realizar este proceso se debe aplicar las fuerzas y cargas a las que el ciclo va a ser analizado y calculado con el fin de poner a prueba su viabilidad estructural bajo determinadas sollicitaciones. Estas se considerarán estáticas, y pueden ser divididas en dos grupos: la carga generada por el propio peso del conductor por un lado y las fuerzas

distribuidas a lo largo de la plataforma por la carga transportada. En un primer momento se estudiará simplemente el ciclo en orden de marcha, es decir, con el peso de un conductor medio; para luego en la situación de masa máxima admisible, en la que se suma la carga máxima. La carga máxima media que son capaces de llevar los ciclos cargo se corresponde alrededor de 140 Kg. como se muestra en el Anexo I. Por lo que se aplica una carga máxima de estudio de 150 Kg. Mientras que el peso del conductor se estipula según el Anexo A de la norma UNE-EN ISO 4210\_3 en 85,5 Kg, distribuidos estáticamente entre 36 Kg sobre el sillín, 13,5 Kg en el manillar y 36 Kg sobre los pedales. Esta última carga se reducirá uniformemente a lo largo del alojamiento del buje del pedalier. Ambos casos serán aplicados tanto al modo desplegado del ciclo, como al modo en el cual la bandeja ha sido plegada, obteniendo cuatro resultados de estudio.

El proceder para la correcta configuración de las cargas en el programa consiste en la distribución de fuerzas equivalentes sobre los diferentes nodos que conforman la zona de aplicación, como es mostrado en la Imagen 4.4. Por lo que es necesario contabilizar el número de nodos encerrados en el área concreta y dividir la carga en tanto como sea el resultado, de forma que la resultante de aquellas fuerzas sea la carga total deseada. Añadir también, que para guardar la coherencia con las unidades es necesario introducir los valores de las fuerzas en Newtons.

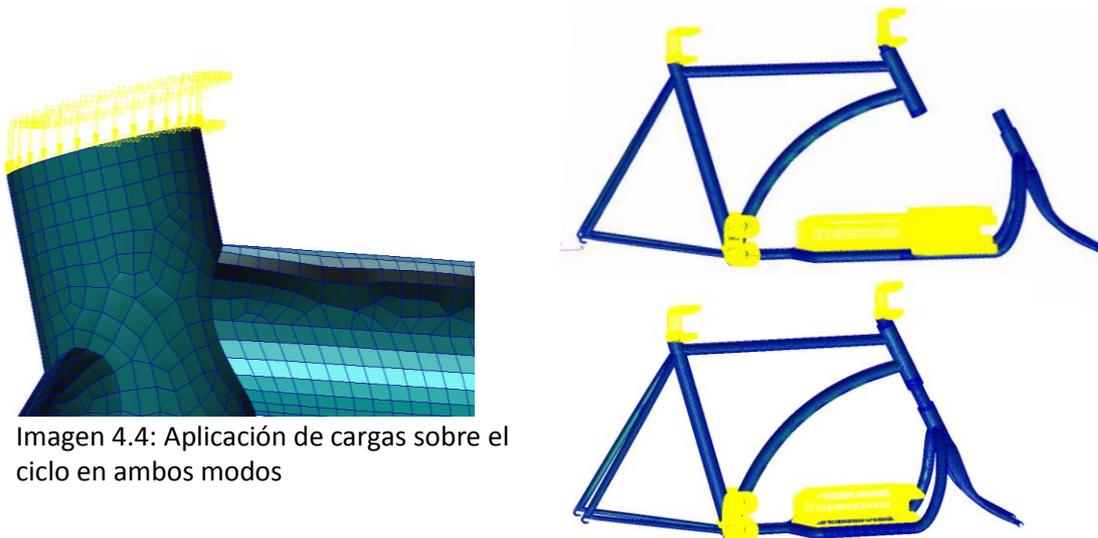


Imagen 4.4: Aplicación de cargas sobre el ciclo en ambos modos

El último paso consiste en la asignación del tipo de material y espesor que van a tener las partes de la bicicleta. Para ello es necesario crear el material introduciendo sus propiedades. En un primer momento se elige el aluminio 6061 con el proceso T6, ya que es un material muy ligero, con un peso específico de  $2,70 \text{ g/cm}^3$ , fácilmente conformable y con una resistencia aceptable bajo dicho tratamiento T6 (270 MPa) (Anexo III). Una vez creado, se ha de especificar los elementos a los que aplicar ese material creado y el espesor con el que contarán.

Una vez abordado todos los pasos anteriores ya se es capaz de lanzar el estudio, creando un archivo de entrada como puerto de análisis para ser ejecutado con el software Abaqus. Para cualquier cambio que se cree en el modelo, un archivo de entrada diferente será creado.

## 5 Resultados y Optimización del Modelo

### 5.1 Introducción a Abaqus

Una vez obtenido el archivo de entrada en el que todos los parámetros del modelo han sido configurados ya se puede proceder al cálculo de los resultados. Para ello se apoya en el software Abaqus, una potente herramienta para el cálculo y simulación por el método de elementos finitos. El archivo de entrada proveniente del paso anterior se ejecuta, y en el caso de que no haya ningún tipo de error, el resultado del cálculo estará disponible. De otra forma, se deberá solventar cualquier fallo surgido desde *Patran*, reemplazando posteriormente el archivo.

Se estudia los cuatro casos de carga, prestando especial atención a la tensión máxima de Von Mises y la zona de fallo, la deformación estructural y el peso total del ciclo. De este primer prototipo, se demuestra su viabilidad o en caso contrario se línea de mejora y solución. Tras la revisión de los resultados, se basará la optimización en el caso de carga más desfavorable, hasta llegar al objetivo final. En el cual se volverá a realizar un estudio completo.

### 5.2 Resultados del Prototipo

Resumiendo, el prototipo analizado presenta la geometría creada anteriormente, cuyos tubos son de aluminio 6061 aplicado el tratamiento T6 con un límite elástico de 270 MPa. Estos cuentan con un espesor uniforme de pared de 3 mm. En primer lugar se ha estudio los casos de carga en modo abierto, con la plataforma desplegada, para posteriormente proceder al estudio del modo plegado. En ambas situaciones, se ha distinguido entre orden de marcha (peso del conductor), y carga máxima admisible (peso del conductor y carga de 150 Kg distribuidos uniformemente).

#### 5.2.1. Modo Desplegado en Orden de Marcha

Para este caso, se ha distribuido una carga de 85,5 Kg que representa a un conductor medio entre sillín, manillar y pedalier. La tensión máxima de Von Mises resultante es de 265,2 MPa, acercándose peligrosamente al límite elástico. Esta se encuentra por las inmediaciones del buje del pedalier, con zonas de nivel tensional medio-alto a lo largo de los tirantes de la rueda trasera y la horquilla (Imagen 5.1). Respecto al desplazamiento máximo se encuentra en la zona de voladizo, tomando un valor de 15 mm.

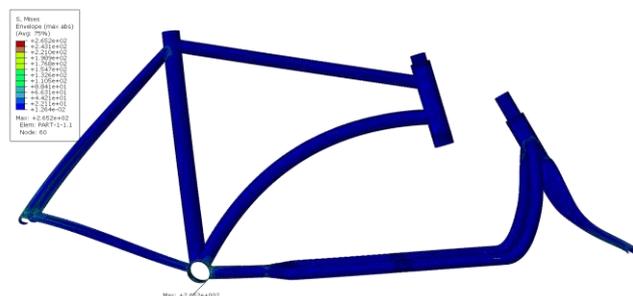


Imagen 5.1: Distribución de tensiones máximas de Von Mises sobre el ensamblaje completo

### 5.2.2. Modo Desplegado en Carga Máxima

Se añade una carga distribuida de 150 Kg sumada al peso del conductor. Esta carga es distribuida uniformemente sobre los largueros de la bandeja y a lo largo del pasador que hace la función de cierre para impedir el movimiento indeseado de plegado. Esta simplificación es tomada como correcta ya que la carga será transportada mediante una plataforma flexible que reparta el peso uniformemente. El espacio útil de carga es de 270 mm medidos longitudinalmente sobre la primera parte de la bandeja, perteneciente al cuadro, y 190 mm sobre la parte macho del sistema telescópico. La tensión máxima se vuelve a concentrar cerca del pedalier como en el caso anterior, sin embargo esta vez llega a valores de 380 MPa (Imagen 5.2). La situación de la tensión en esa zona no es azarosa, ya que por la geometría se crea un concentrador de tensiones. Todo el momento creado por la carga aplicada sobre la plataforma genera una gran flexión soportada por ese punto de empotramiento. En la zona baja de la horquilla también se encuentra una distribución de altas tensiones, llegando a 332 MPa Respecto al desplazamiento máximo se llega al elevado valor de 32 mm en el mismo punto que el estado anterior (Imagen 5.3).

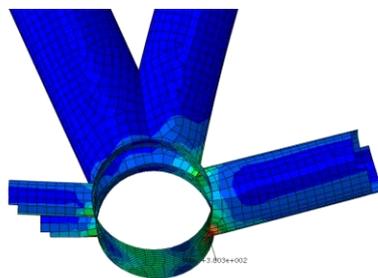


Imagen 5.2: Detalle de la distribución de tensiones máximas de Von Mises sobre el alojamiento del pedalier



Imagen 5.3: Distribución de desplazamientos máximos sobre el ensamblaje completo

### 5.2.3. Modo Plegado en Orden de Marcha

En este caso, la parte macho de la plataforma penetra en la parte del cuadro correspondiente, acoplando la parte última de la dirección con la horquilla. De esta forma el voladizo es eliminado, lo que conlleva un decrecimiento de las tensiones. La tensión máxima en este caso se encuentra en torno los 43 MPa situado en la parte de la horquilla. Respecto al desplazamiento máximo, en este caso corresponde a medio milímetro longitudinalmente en el enganche de la rueda delantera.

### 5.2.4. Modo Plegado en Carga Máxima

Del mismo modo, se realiza el estudio en el estado de carga máxima. Como se ha explicado anteriormente, la rebaja de las tensiones debido a la eliminación del voladizo es notable. Se consigue reducir en este caso hasta los 188 MPa, con un desplazamiento máximo de 1,7 mm en el mismo punto que el modo anterior (Imagen 5.4).



Imagen 5.4: Distribución de desplazamientos máximos

Para comprobar que la introducción de las cargas ha sido correcta se pide al programa que devuelva las reacciones en los apoyos. Para ello se ha de modificar el código de cualquiera de los archivos de entrada, exigiendo que se calcule RF en sus campos. La reacción total del modo abierto en carga máxima resulta en torno a 2308 N, es decir 235,3 Kg. Por lo que se comprueba que es correcto (150 + 85,5 Kg), despreciando la variación de 200 gramos.

El peso de la estructura total del ciclo conformado por aluminio es de 5,16 Kg, considerándose este favorablemente ligero. Sin embargo, apoyándose en los resultados aportados, la estructura con las características impuesta es inviable. Esto es debido a que en el modo desplegado bajo carga máxima, la tensión máxima de Von Mises (380 Mpa) supera excesivamente el límite elástico del material (270 MPa). Se descarta este prototipo ya que no se tolera deformaciones plásticas, por lo que se procede a trabajar en el modelo para remediar la situación. Debido a que el caso de la plataforma abierta bajo carga máxima es con diferencia el más crítico, las soluciones serán buscadas en base a este. Si dicho caso es funcional se asegura la viabilidad general.

### 5.3 *Proceso Resolutivo*

Para conseguir que la estructura tenga la suficiente resistencia para evitar deformaciones plásticas, se incrementa el espesor del material anterior. Sin embargo, para rebajar la tensión máxima a valores ligeramente inferiores de 300 MPa se ha necesitado espesores de hasta 6 mm, incrementando el peso de la estructura en torno a los 8 Kg. La conformación de tubos de semejantes dimensiones es extremadamente complicada, así como todo el trabajo relacionado con el ensamblaje del ciclo. Añadir por otro lado, que el precio de este tipo de tubos de Aluminio 6061 con el tratamiento T6 para llegar a aportar suficiente resistencia, es extremadamente alto como para que el prototipo pueda ser comercializado. Es por ello que se decide descartar el material y elegir otro diferente.

El nuevo material escogido es un acero en este caso, ya que en general es más indicado para soportar cargas. En concreto se escoge el acero AISI 4130 (Anexo III), ampliamente utilizado para fabricación de ciclos. El límite elástico de este material es de 460 MPa, siendo su resistencia última de 560 MPa, características muy superiores al aluminio anterior. Por contra, la densidad del material es más elevada, lo que causará un mayor peso del ciclo.

Tras modificar el ensamblaje cambiando el material y configurando un espesor de 3 mm, se crea un nuevo archivo de entrada solo para el caso del modo desplegado en estado de carga. En él se obtiene que la tensión máxima de Von Mises sea de 377 MPa, con un desplazamiento máximo de 11,4 mm en la zona del voladizo. La tensión máxima se vuelve a encontrar en el empalme entre la plataforma y el alojamiento del pedalier, como se muestra en detalle en la Imagen 5.5, Estos resultados son aceptables, sin embargo el peso del ciclo es de alrededor de 15 Kg. Es necesario conseguir una optimización centrada en aligerar la estructura sin descuidar las zonas de máxima tensión.

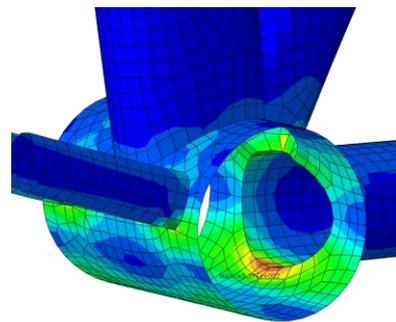


Imagen 5.5: Detalle de distribución tensiones máximas sobre buje

## 5.4 Optimización

Es necesario conseguir aligerar la estructura lo máximo posible. La norma no especifica el coeficiente de seguridad con el que diseñar un ciclo, por lo que el proceso de optimización se lleva a cabo mediante un proceso iterativo en el que se busca enrasar la tensión máxima con el límite elástico. Pese a trabajar con un coeficiente de unidad, no implica un diseño inseguro, ya que los casos de carga máxima han sido estudiados con una alta mayoración de las cargas.

Para conseguir el propósito, se ha de encontrar soluciones que requieran un mayor trabajo que simplemente disminuir el espesor del material; ya que en el primer caso del estudio del acero de 3 mm, se está relativamente cerca del límite elástico. Analizando la situación de las tensiones máximas se abstrae que se concentran alrededor de la zona de unión entre la plataforma y el cuadro. Para conseguir reforzar esta zona se añade un nervio con el fin de distribuir la tensión en el área (Imagen 5.6), logrando disminuir la tensión sobre ella un 34% (249 MPa). De esta forma es posible poder llegar a aligerar la estructura sin comprometerla bajo las cargas impuestas.

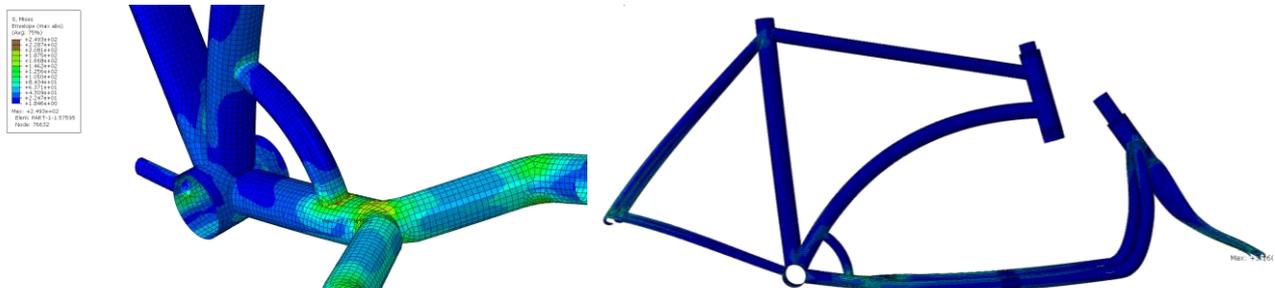


Imagen 5.6: Distribución de tensiones máximas tras adición de nervio

Se procede a configurar el espesor del material a 2 mm, de esta forma el peso del ciclo se rebaja hasta los 10,19 Kg. Sin embargo se encuentra un nueva problemática; la zona de máxima tensión en este caso se ha trasladado a lo largo de la horquilla delantera, y de los tirantes en la rueda trasera, llegando a 470 MPa (Imagen 5.7). Por lo que la reducción de peso en estas zonas no es recomendable.

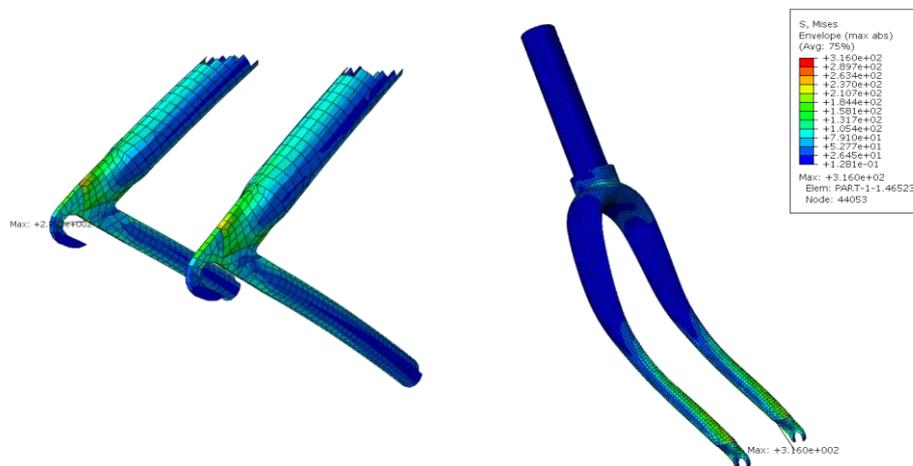


Imagen 5.7: Detalle de la distribución de tensiones máximas con espesor de 2 mm.

Conociendo las zonas más críticas del modelo (la horquilla y los tirantes de la rueda trasera) se deberán reforzar aquellas partes. Así que por último se estudia un diseño en el que el espesor de los tubos se establece en 1,5 mm, salvo en las áreas delicadas, en las cuales se vuelve a fijar en 3 mm. De esta forma se ha llegado a aligerar la estructura hasta los 9,50 Kg, ajustando la máxima tensión de Von Mises en 458 MPa, es decir, con un coeficiente de seguridad de 1 respecto el límite elástico del material. Respecto al desplazamiento máximo se obtiene 13,5 mm en el punto crítico del voladizo. Este modelo se considera favorable, al llegar el peso a ser semejante al del material aluminio, con un coeficiente unitario con las cargas altamente mayoradas.

### 5.5 Resultado Último

El proceso seguido hasta llegar al punto óptimo de la estructura estudiada en el estado de carga máxima del modo desplegado se muestra resumido en la tabla 5.1. En la que se categoriza los parámetros de tensión máxima, material y su límite elástico, deformación máxima y peso de la estructura. Así como el número del modelo, el cual hace referencia a:

Tipo	Material	Límit. Elást. [MPa]	Estructura	Espesor [mm]	Tensión Máx. [MPa]	Desplaz. Máx [mm]	Peso [Kg]
1	Aluminio 6061 T6	270	Inicial	3	380,3	32,65	5,16
2	Aluminio 6061 T6	270	Inicial	6	296,4	20,31	8,12
3	Acero AISI 4130	460	Inicial	3	377,6	11,44	14,98
4	Acero AISI 4130	460	Con Nervio	3	316	8,74	15,17
5	Acero AISI 4130	460	Con Nervio	2	478	13,95	10,19
6	<b>Acero AISI 4130</b>	<b>460</b>	<b>Con Nervio</b>	<b>1,5/3</b>	<b>458,4</b>	<b>13,49</b>	<b>9,51</b>

Tabla 5.1: Características de los diferentes modelos

El modelo elegido es el elaborado con Acero AISI 4130 con los diferentes espesores para las zonas críticas, y con la geometría modificada por medio del nervio en cuestión. Se realiza el estudio completo de la estructura para los cuatro estados, tanto para la bicicleta plegada como desplegada, en los casos de orden de marcha y carga máxima (resultados recogidos en la tabla 5.2)

Estado	Tensión Máxima [MPa]	Situación Tensión Máx.	Desplazamiento Máx. [mm]	Situación Desplaz. Máx.
Desplegada en Orden de Marcha	240,5	Apoyo del nervio	5,90	Voladizo
Desplegada en Carga Máx.	458,4	Bifurcación de la plataforma	13,49	Voladizo
Plegada en Orden de Marcha	74,1	Horquilla	0,268	Enganche Delantero
Plegada en Carga Máx.	202,1	Horquilla	8,29	Pasador

Tabla 5.2: Características del modelo final

Se observa del mismo modo que el estado más crítico se trata del modo desplegado en estado de carga máxima. Es importante estudiar con detalle las diferentes distribuciones de tensiones respecto un parte y otra. Como se muestra en la Imagen 5.8, la máxima tensión se concentra en la bifurcación de la plataforma, esto es debido a que la carga ha sido distribuida uniformemente a lo largo de los largueros. Esto causa una alta concentración de tensiones en dicha zona.

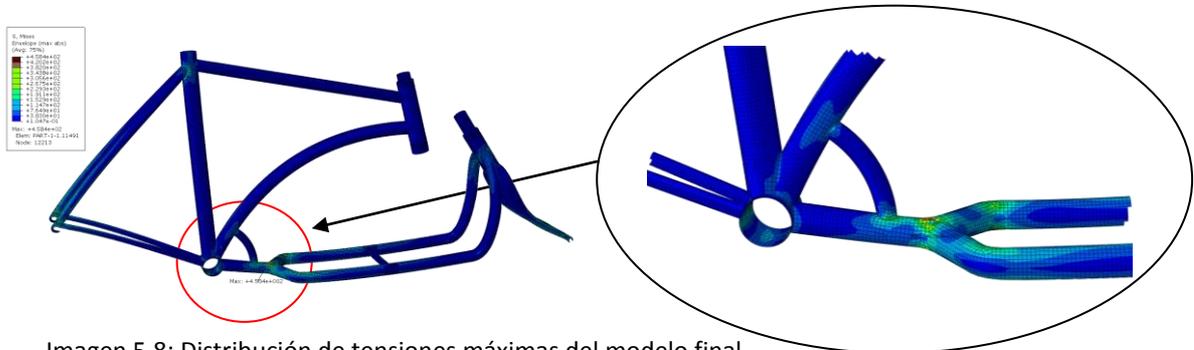


Imagen 5.8: Distribución de tensiones máximas del modelo final

Sobre la horquilla y los tirantes de la rueda trasera se encuentra una tensión media de alrededor de 300 MPa. Mientras que en la parte hembra de la plataforma y la zona de unión de los tirantes con el cuadro apenas se superan los 100 MPa, como se muestra en la imagen 5.9. Por lo que se concluye que el diseño de este último modelo es adecuado.

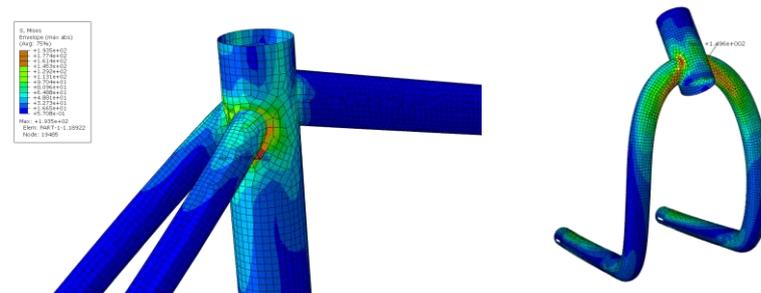


Imagen 5.9: Distribución de tensiones sobre diferentes partes del modelo final

Por último se implementa el caso de estudio del ensayo correspondiente al apartado 4.4 de la norma UNE-EN ISO 4210\_6 modificando las cargas para fijarlas de forma estática. Se ha configurado dos casos de ensayo introduciendo una fuerza horizontal de 450 N sobre el enganche de la rueda delantera. El primero con la fuerza en sentido positivo y el otro, negativo. De esta forma se simula la fuerza horizontal generada por el movimiento. Los resultados son favorables, alcanzado en ambos casos una tensión máxima de Von Mises de alrededor de 90 MPa en la zona de la plataforma mostrada en la imagen 5.10. Respecto al máximo desplazamiento se da para ambos casos sobre el voladizo siendo de 1 mm (Imagen 5.11).

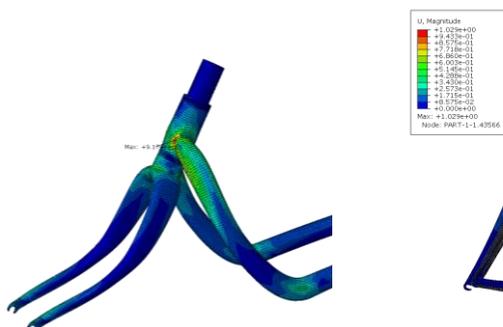


Imagen 5.10: Distribución de tensiones máximas por carga frontal



Imagen 5.11: Distribución de desplazamientos máximos por fuerza frontal

## 6 Conclusión y Futuras Líneas de Trabajo

Se ha diseñado y desarrollado una respuesta a los requerimientos abstraídos de la problemática de la movilidad en las ciudades actuales. Esta se ha centrado en la creación de un ciclo de carga ligero y flexible, conseguido mediante la posibilidad de transformación. Esta variación es llevada a cabo de manera fácil y rápida para el usuario gracias al sistema de tubos telescópicos que permiten la compatibilidad de dos modos de uso, plegado y abierto. El ciclo posee una alta capacidad de carga relativa a otros de la misma familia (ciclos de carga frontales), contando con una superficie de carga de 853 cm<sup>2</sup> en el modo desplegado y de 465 cm<sup>2</sup> para el modo plegado, pasando de 25 a 14 litros de capacidad. Teniendo una longitud total máxima de la bicicleta de 140 cm, llegando aproximadamente a los 2,05 metros con la adición de las ruedas. Siendo estas recomendadas de 26 pulgadas para la rueda trasera y de 24 para la delantera. Se ha conseguido pues un vehículo más compacto que la media del mercado (2,30 metros). Así como una carga máxima de transporte estipulada en 90 Kg. Todo ello logrado con una estructura de Acero AISI 4130, contando con un peso total de 9,51 Kg.

En este proyecto se ha pretendido virtualizar solo los ensayos de carga estática según la norma UNE-EN ISO 4210 para llegar a ser cumplida. De esta forma se reduce la necesidad de inversión en prototipos físicos gracias a las simulaciones realistas. Esto conlleva una detección de los fallos y problemas en procesos tempranos del diseño, ahorrando así grandes cantidades de tiempo y dinero hasta llegar a obtener el producto final. El modelo ha sido testado computacionalmente bajo un caso extremo de carga mayorada de 150 Kg, más el peso del conductor de 85,5, hasta llegar el punto de coeficiente de seguridad 1. Sin embargo, se determina la carga máxima capaz de transportar en 90 Kg, asegurando así su fiabilidad de uso.

Durante la elaboración del proyecto se ha ejercitado varios campos necesarios para la correcta formación. Desde la abstracción de necesidades reales inherentes en un mercado auténtico y actual con problemáticas existentes y la capacidad de respuesta a ella. Con la consiguiente autocrítica objetiva de las soluciones encontradas y la decisión favorable argumentada de una de ellas. Hasta el uso y profundización de los programas Solidworks, Patran y Abaqus, estudiando la coherencia en sus resultados.

Este trabajo sirve como base para futuras implementaciones totales de los métodos de ensayo de la norma UNE-EN ISO 4210 que aquí no competen. Sería interesante completar la virtualización de ensayos de fatiga e impactos para el análisis completo de la estructura según la norma. Además es conveniente el estudio para la implementación de un sistema de asistencia al pedaleo, debido a las altas cargas que pueden llegar a ser transportadas con el ciclo, así como de un sistema Isofix para la sujeción segura de sillas de transporte de niños.



Imagen 6.1: Modelo de la bicicleta con componentes para ambos modos

## Referencias

[1] León, P. y Blanchar, C. (2018, 26 de Diciembre). La legislatura de la bici (o no), *EL PAÍS*. Extraído el 1 de Agosto de 2019 desde [https://elpais.com/ccaa/2018/12/25/madrid/1545732466\\_311250.html](https://elpais.com/ccaa/2018/12/25/madrid/1545732466_311250.html)

[2] AFI (Analistas Financieros Internacionales) (2016, 29 de Marzo). ¿Es tu casa grande o pequeña? Así es el tamaño de las viviendas de España, *EL PAÍS*. Extraído el 2 de Agosto de 2019 desde [https://elpais.com/economia/2016/03/24/actualidad/1458814797\\_669980.html](https://elpais.com/economia/2016/03/24/actualidad/1458814797_669980.html)

[3] Cyclelogistics (2011, Agosto). Moving Europe forward, Short History of Cargo Cycling. Extraído el 10 de Agosto de 2019 desde [http://one.cyclelogistics.eu/docs/111/D2\\_1\\_Analysis\\_of\\_Cargo\\_Cycling\\_v\\_2\\_Sept2013.pdf](http://one.cyclelogistics.eu/docs/111/D2_1_Analysis_of_Cargo_Cycling_v_2_Sept2013.pdf)

[4] Gabinet d'Estudis Socials i Opinió Pública (2015, Septiembre). "Informe de resustados". Barómetro de la bicicleta en España. Extraído el 15 de Agosto de 2019 desde <https://www.ciudadesporlabicicleta.org/>

[5] Rudolph, C. y Gruber, J. (2017). "Cargo cycles in comercial transport: Potentials, constraints, and recommendations". En: Ison, S. y Attard, M. *Research in Transportation Business & Management*. Elsevier, pp. 26-36.

[6] Sistema perteneciente a Monkey Cargo Bikes. Extraído el 3 de Mayo de 2019 desde <https://www.3ike.es/collections/cargo-bike-monkeys/products/radlader>

[7] *Definición* Solidworks, extraído el 26 de Agosto de 2019 desde <https://solid-bi.es/solidworks/>



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe entregarse en la Secretaría de la EINA, dentro del plazo de depósito del TFG/TFM para su evaluación).

D./D<sup>a</sup>. \_\_\_\_\_, en  
aplicación de lo dispuesto en el art. 14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de  
septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el  
Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,  
Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)  
(Título del Trabajo)

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser  
citada debidamente.

Zaragoza,

Fdo: