



Universidad de  
Oviedo



**ESCUELA POLITÉCNICA DE INGENIERÍA DE GIJÓN**

**GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA**

# CDIO Worldwide Challenge

---

(CDIO Reto Universal)



**D. Guadalupe Fernández, Jorge**

**TUTOR: Dña. Lamela Rey, María Jesus**

**COTUTOR: Professor Jim Boyle**

**FECHA: 05/2015**

## **ABSTRACT**

El reto CDIO (Conceive, Design, Implement, Operate) consiste en el diseño y construcción de una bicicleta plegable que sea expuesta y compita en la Competición Regional CDIO el 2 de mayo de 2015 en Belfast (Irlanda). La Bicicleta debe ser un diseño ligero e innovador que permita a los transeúntes moverse con facilidad.

El proyecto consta de diferentes pasos, el primero es el estudio del mercado existente para encontrar un hueco donde introducirse. Se ha encontrado que existe el hueco en bicicletas asistidas eléctricamente con un diámetro de ruedas de 20". A partir de esa información varios conceptos fueron generados y utilizando un Proceso Total de Diseño de Pugh se ha desarrollado un diseño final. Este diseño incluye la asistencia eléctrica requerida así como un sistema "deslizamiento y plegado" para el plegado que permite un tamaño reducido de plegado.

A partir de aquí SolidWorks y ANSYS fueron utilizados para hacer realidad el diseño y permite la creación de un prototipo funcional que será construido. Tras comprobar que ANSYS es preciso el prototipo se llevará finalmente a la Competición Regional CDIO.

## **INTRODUCCIÓN**

Teniendo en cuenta el desarrollo continuo de las grandes ciudades y el continuo crecimiento además de las continuas medidas que de los gobiernos con el objetivo de reducir las emisiones de Dióxido de Carbono con el objetivo de atraer a los ciudadanos a desplazarse con vehículos respetuosos con el medio ambiente.

De esta manera la bicicleta se considera la mejor solución a los problemas de atascos, aparcamiento y emisiones de CO<sub>2</sub>. Se considera de todos modos un problema el poco espacio de almacenaje en los apartamentos de las ciudades y de las estaciones de trenes y autobuses. Este problema se puede resolver mediante la utilización de bicicletas plegables. Por estas razones el objetivo de este proyecto es el diseño y construcción de una bicicleta plegable para el ciudadano que se tenga que desplaza pequeñas distancias utilizando la estructura del CDIO (Conceive-Design-Implement-Operate) .

Desde la aproximación inicial el plan de proyecto ha sido creado para incluir todos los objetivos del trabajo. Se ha realizado un horario con el objetivo de aprovechar al

máximo del tiempo y los recursos. El estudio de mercado se ha realizado para conocer realmente que quería el cliente de un producto de este tipo. A partir de los objetivos obtenidos se ha realizado un Proceso Total de Diseño de Pugh utilizando una serie de conceptos. A través de estos conceptos un último diseño fue obtenido el cual reflejaba lo mejor posible las necesidades del mercado.

## **RESUMEN DEL PROYECTO Y PLANTEAMIENTO**

El objetivo es la creación de un diseño innovador de una bicicleta plegable y su construcción que sea capaz de realizar un desplazamiento urbano que incluya el uso de autobuses y trenes. La bicicleta debe ser compacta, ligera y agradable estéticamente. El prototipo funcional competirá en la Competición Regional CDIO del 2 de Mayo de 2015 donde será testada mediante pruebas de la vida cotidiana. Las siguientes son las tareas requeridas satisfactoriamente para el desarrollo del proyecto para completar la tarea principal que es el llegar a la competición en mayo.

- Realizar un estudio del mercado de las bicicletas plegables
- Estudio conceptual del diseño final
- Realización de un informe del diseño/proyecto
- Diseño CAD y Análisis de elementos finitos del chasis.
- Modelado CAD y Visualización del conjunto completo y montado
- Búsqueda de financiación extra si la aportada por la Universidad de Strathclyde no es suficiente.
- Entrega de los planos al taller de Ingeniería de la Universidad
- Construcción y prueba del prototipo preparado para la competición
- Creación de una página web
- Presentación grupal ante un tribunal
- Competición del prototipo funcional

## **PLAN DE PROYECTO**

Con toda esta información se crea un plan de proyecto en Microsoft Project. Este genera automáticamente un Grafico de Gantt para la información introducida indicando que tareas deben ser realizadas antes de que otras se puedan empezar.

Con el plan de proyecto realizado es más fácil ver el número de tareas a realizar y como se pueden dividir entre los integrantes del grupo. Esta división ha sido realizada democráticamente con cada miembro del grupo eligiendo cada uno las tareas que mejor podría realizar.

## **EVALUACION DE RIESGOS**

Se realiza una evaluación de los riesgos posibles para poder afrontarlos en caso de que surjan planeando las posibles soluciones con el objetivo de reducir los tiempos para los imprevistos.

- Posibilidad de no llegar a construir la bicicleta debido a restricciones tecnológicas o del taller.
- El presupuesto aportado por la universidad podría no ser suficiente para comprar todas las piezas.
- Coordinación del grupo y organización debido a exámenes presión de trabajo imprevistos, enfermedad.
- Cierre de la Universidad debido a catástrofes naturales o humanas.
- Infracción accidental de patentes.

## **HABILIDADES INFORMÁTICAS**

Cualquier diseño o construcción en ingeniería necesita modelado en ordenador y simulación, el grupo decide utilizar SolidWorks debido a su sencillez a la experiencia de usuario y la mayor profesionalidad del programa.

El modelo de la bicicleta desarrollado completamente en SolidWorks es sencillamente exportado a ANSYS donde se realizan las simulaciones estructurales.

## **GESTION DEL PRESUPUESTO**

Con el presupuesto limitado aportado por la universidad (100 libras por cada miembro del grupo) se decidió que un miembro del grupo debía de gestionar el presupuesto para poder aprovecharlo al máximo. Esta persona también se dedicó a buscar como ampliar el presupuesto y poder llevar el proyecto a un estado lo más desarrollado posible.

## **GESTION DEL TIEMPO**

Con un proyecto de tanto alcance y carga de trabajo era necesario gestionar las tareas y el tiempo para poder llegar a buen puerto. Por lo que gestionando el horario de clases y carga de trabajo de cada miembro del grupo se desarrollo un esquema semanal de las personas que podían quedar y a qué horas para trabajar en el proyecto y de esa manera avanzar mucho mas rápido. De esta manera se organizaban reuniones

grupales para gestionar los aspectos más importantes del proyecto y reuniones de subgrupos para gestionar tareas específicas.

## **DINÁMICA DE GRUPO**

En los pasos iniciales el grupo trató de trabajar junto por un mismo objetivo lo que supuso un claro beneficio para el proceso de diseño. El grupo unánimemente decidió no nombrar un líder de equipo debido a la heterogeneidad de las formaciones y experiencias por lo que la persona con más formación y conocimiento en cada apartado del trabajo adoptó un rol de supervisión asegurando que las tareas se realizaban correctamente.

## **ANÁLISIS DE MERCADO**

Un dilema a la hora de diseñar una bicicleta plegable es que de alguna manera el mercado ya estaba relativamente saturado. El uso de bicicletas plegables está creciendo alrededor del mundo, particularmente en Asia que ya supone el 30% del mercado de bicicletas. El departamento de transporte de Reino Unido ha doblado recientemente la inversión hasta £314m además de invertir £622m en mejorar las infraestructuras para ciclistas. De esta manera se puede asegurar de alguna manera que existe una clara demanda de este producto y probablemente la demanda se incremente en Reino Unido.

Echando un vistazo al mercado existen gran cantidad de bicicletas plegables a un precio razonable sobre £110±10, las bicicletas plegables eléctricas sin embargo son mucho más caras (£500+)

## **ENCUESTA DE CONSUMIDORES**

El grupo generó una encuesta de consumidores en Google Docs Forms. La encuesta fue centrada a un rango de edades entre 18-30 años incluyendo estudiantes y profesionales jóvenes. Esto se realizó publicando la encuesta en foros públicos (Facebook, Reddit). Con 84 respuestas se pudo llegar a resultados representativos. Los medios de transporte más comunes son: bicicleta (29%), autobús (30%), coche (33%) y caminando (41%) y la mayoría de los encuestados debían realizar un desplazamiento entre 1-10 millas (58%). Debido a que un número significativo de encuestados debían realizar un desplazamiento combinado se realiza una bicicleta plegable para una mochila o arrastrable con método de "trolley" para el transporte de la bicicleta una vez plegada. Un 45% de los encuestados prefirieron una mochila por lo que los consumidores esperan un producto muy ligero. Además los consumidores no esperan pagar una suma muy alta de dinero por el producto (92% pagarían menos de £500)

De las respuestas se deduce también que el tamaño de ruedas preferido es de 20" lo que supone que el marco de la bicicleta puede ser relativamente compacto y desean un producto fácil y rápido de plegar y que el tamaño final una vez plegado sea pequeño y tenga un motor eléctrico además de un sistema mecánico de pedales

## **REGULACIONES**

La bicicleta tiene un sistema a pedales asistido eléctricamente y debe entrar en transportes públicos, por lo que las regulaciones gubernamentales y de transporte público deben tenerse en cuenta.

## **REGULACIONES GUBERNAMENTALES**

Regulaciones gubernamentales del Reino Unido para bicicletas eléctricas:

- La bicicleta debe tener pedales que puedan utilizarse para propulsarla.
- El motor eléctrico no debe de poder impulsar la bicicleta cuando viaja a más de 15mph
- La bicicleta no puede ser más pesada de 40kg en caso de ser individual o 60kg si es un triciclo o un tándem.
- El motor no debe tener una potencia máxima mayor de 200W o de 250W si es un triciclo o tándem.
- La bicicleta debe tener una chapa mostrando el fabricante, el voltaje nominal de la batería y la potencia del motor
- Debe estar aprobada por el gobierno

## **REGULACIONES PUBLICAS**

Las restricciones del transporte público fueron también investigadas en profundidad:

Tamaños generales

- 90x70x30
- Menos de 50kg
- Puede ser rechazada si mide más de 100cm en cualquier dirección
- 20" de tamaño de rueda

## CONCLUSIONES DEL ESTUDIO

Tras realizar el estudio de mercado parece ser que los usuarios valoran claramente que la bicicleta tenga el tamaño aproximado de una bicicleta normal para que la sensación sea similar. El usuario seguramente deba utilizar la bicicleta combinada con el transporte público o el coche, de esta manera se deduce que el plegado de la bicicleta debe de ser rápido, intuitivo y con un tamaño plegado reducido que entre en el transporte público. Teniendo en cuenta estas consideraciones cada diseño potencial debería juzgarse teniendo en cuenta:

- Cuanto se parece la experiencia con una bicicleta normal.
- Dificultad de plegado
- Volumen de plegado
- Comodidad de transporte

Como resultado del análisis de mercado se genera una especificación detallada del producto usando un Diseño Total de Pugh.

### PROCESO DE DISEÑO TOTAL DE PUGH

#### REQUERIMIENTOS

Se ha decidido diseñar y construir una bicicleta ligera a pedales con opción de ser asistida eléctricamente. La bicicleta debe de doblarse para cumplir las especificaciones de transporte en buses y trenes. La bicicleta plegada de ser compacta y fácil de transportar teniendo un final estético que pueda resultar agradable al usuario. Las ruedas tendrán 20" que es el máximo tamaño aceptado en el transporte público pero es lo suficientemente grande para que la bicicleta funcione como una común. Para competir en el mercado el precio máximo debe ser alrededor de £500 como mucho.

#### ESPECIFICACIONES DE DISEÑO DEL PRODUCTO

1. Limitaciones
  - Los productos existentes limitan nuestras posibilidades de diseño
  - La bicicleta debe de cumplir los volúmenes máximos en transportes públicos
  - La bicicleta plegada debe ser lo más pequeña posible lo que limita el tamaño total
2. Patentes/Estándares
  - La bicicleta no debe infringir ninguna patente
3. Peso/tamaño
  - La bicicleta debe de poder ser transportada fácilmente por una persona

- Tamaño regulado por las empresas de transporte
  - No debe de pesar más que sus competidoras en el mercado
  - Debería de plegarse en un tamaño menor que sus competidores
4. Consumidor
- Debe de poder usarse por personas de diferentes edades
  - Debe de ser un producto unisex para no excluir automáticamente la mitad del mercado potencial
5. Funcionamiento
- Debe de ser capaz de recorrer por lo menos 10 millas al día
  - El tiempo de plegado debe de ser lo menor posible
  - Debe de ser comparable en términos de comodidad de utilización con sus competidores
  - Debe de tener una transmisión adaptada al terreno
  - Los frenos deben de poder frenar la bicicleta en una distancia de seguridad
6. Estética
- Los mecanismos de plegado deben de disimularse para que no sea obvio que es una bicicleta plegable y que no impidan al ciclista montar.
  - Los colores serán unisex y agradables estéticamente
7. Ergonomía
- La posición del ciclista debe de ser natural y no provocar ninguna lesión en el ciclista
  - La posición del ciclista debe de ser ajustable para que cualquier ciclista sin importar la altura pueda utilizarla.
  - Debe de plegarse en una forma y tamaño que sea cómoda de llevar/transportar
8. Materiales
- Deben de utilizarse materiales ligeros de baja densidad para reducir el peso final
  - Debe de mantenerse un precio final asumible por lo que no pueden utilizarse materiales muy complejos o exóticos
  - El material debe de ser lo suficientemente rígido para soportar las cargas potenciales
9. Calidad/Fiabilidad
- El prototipo debe de ser funcional para poder montar en el en la competición
  - Cualquier componente eléctrico debe de ser fiable
10. Tiempo
- Existe un tiempo limitado por el día de la competición para completar el diseño y la fabricación

- Exámenes y vacaciones reducen el tiempo a 24 semanas

#### 11. Procesos

- Los procesos de fabricación serán limitados debido a la falta de experiencia y de la disponibilidad del laboratorio técnico
- Se utilizarán componentes estándar en las partes en las que sería demasiado difícil construirlos en el laboratorio de la Universidad

#### 12. Coste de producto

- El presupuesto del proyecto está limitado a £100 por cada miembro del grupo que hace £600
- Se solicita una solicitud de ampliación del presupuesto para poder construir un mejor prototipo

#### 13. Testado

- El prototipo debe de ser construido a tiempo para permitir testarlo antes del día de la competición

#### 14. Seguridad

- El prototipo final debe de ser suficientemente seguro para poder montar sin riesgo para el ciclista
- Durante la fabricación las normas de seguridad y el espacio de trabajo debe de cumplir las condiciones de seguridad necesarias

#### 15. Viabilidad

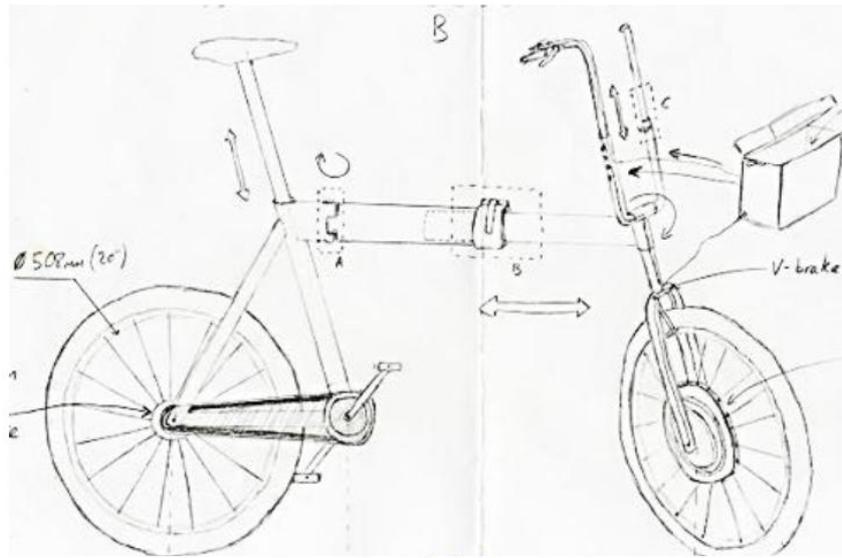
- El producto final debe ser realista teniendo en cuenta las tecnologías de fabricación disponibles

## **GENERACION DE CONCEPTOS**

La toma de decisiones relativas al diseño se tomarán mediante matrices de convergencia, sobre los diferentes modelos generados o ideas se comparan los diferentes aspectos a tener en cuenta comprendiendo las ventajas e inconvenientes de estos comparándolos de una manera cualitativa para poder ir iterando el diseño hasta obtener un diseño final lo mejor posible y más optimizado.

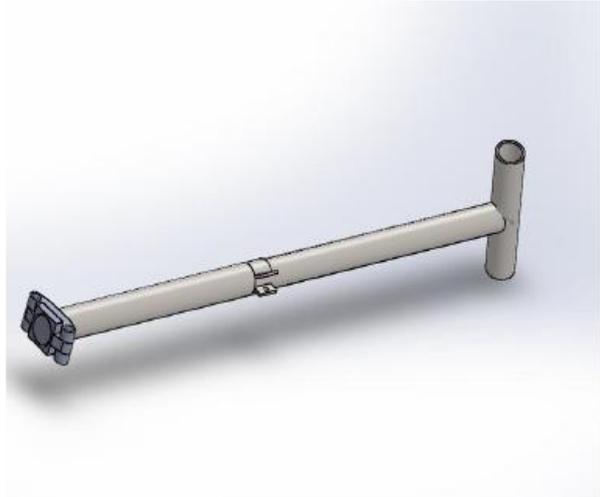
## DISEÑO FINAL

El diseño final generado tras comparar e iterar los modelos generados es el que se muestra en la imagen. En este modelo se combinan los mejores conceptos de los diferentes modelos convergiendo de esta manera en el mejor producto posible.



## DISEÑO CAD

Tras conocer la viabilidad del diseño realizando cálculos simplificados de resistencias con el material seleccionado se realiza el diseño 3D en Solidworks. Las diferentes partes son diseñadas interrelacionadas dimensionalmente para crear el diseño final



Reuniendo todas las partes diseñadas mas las partes estándar como pueden ser los pedales o el sillín y las ruedas el diseño final de la bicicleta es el que aparece en la figura.

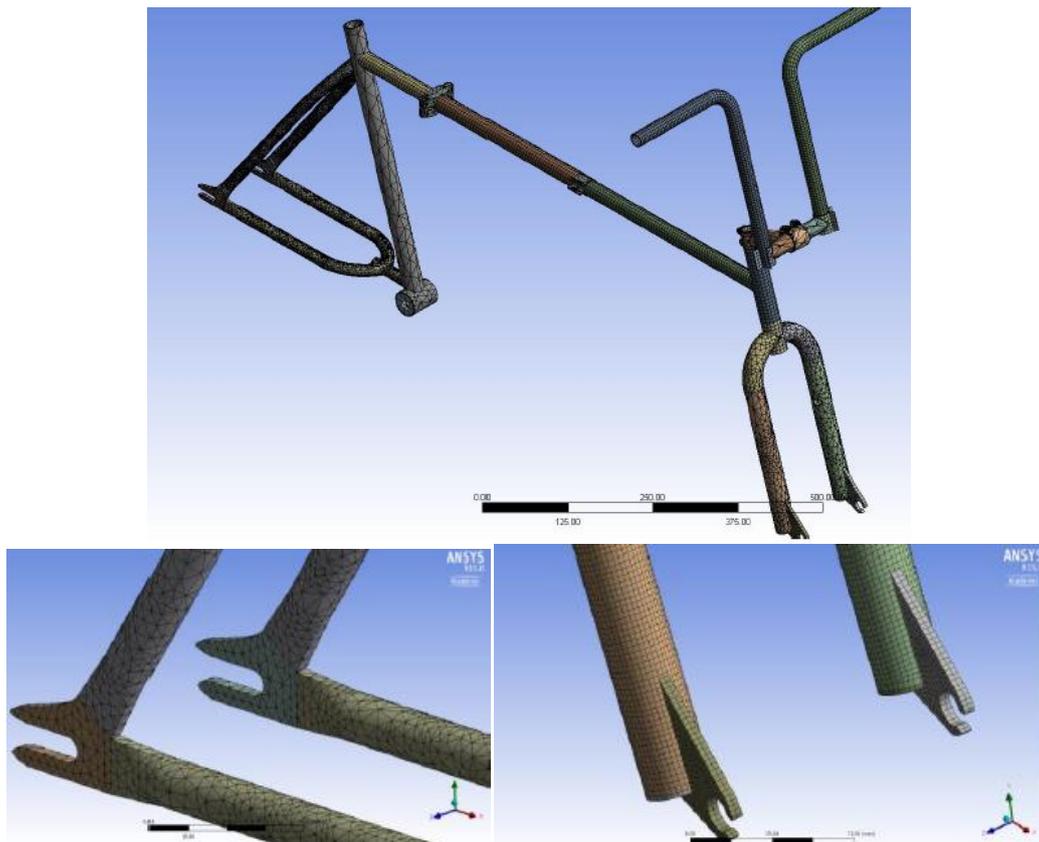


## ANALISIS ESTRUCTURAL EN ANSYS

Una vez realizado el diseño en CAD se realiza un análisis estructural

### MALLA

La bicicleta directamente de Solidworks se importa en ANSYS y se crea una malla para poder realizar los cálculos puesto que un cálculo continuo no sería posible por lo que es la mejor manera de simplificar los cálculos sin perder exactitud, se refina la malla en los puntos críticos para mejorar aún la realidad de los resultados.



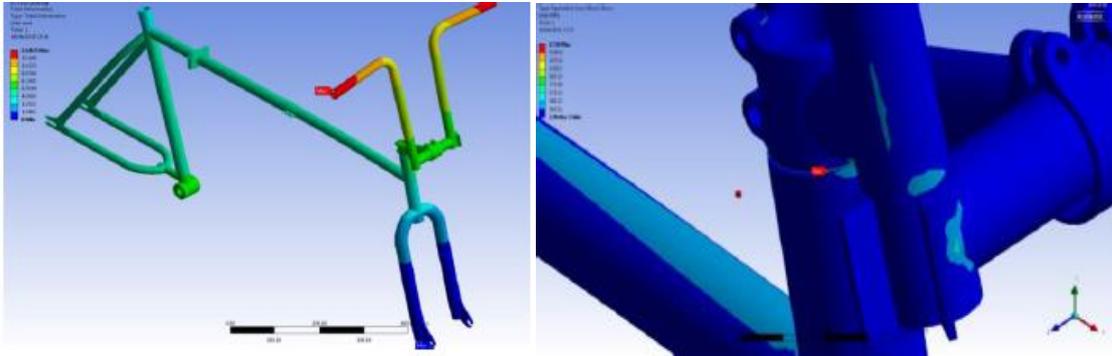
### COMBINACION DE FUERZAS

Las fuerzas aplicadas para la simulación tuvieron en cuenta el peso del usuario y las fuerzas de inercia sobre los manillares y el marco diferenciando utilizar el freno de delante o el freno de atrás obteniendo resultados diferentes.

### FRENO DE DELANTE

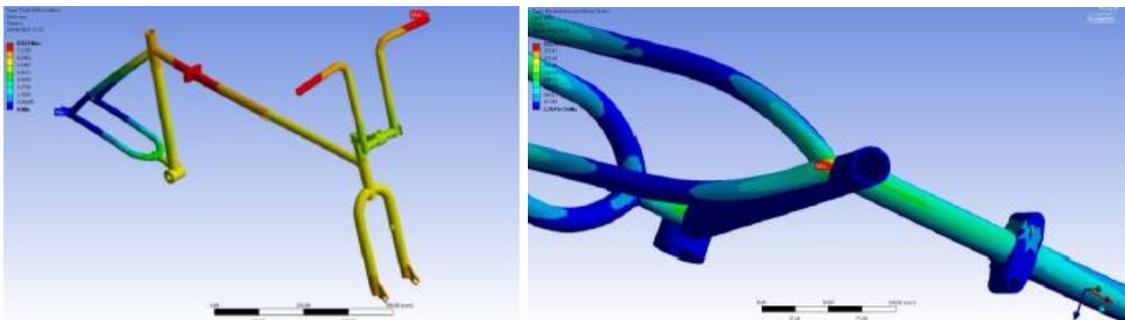
En el caso de que se frene con el freno de delante la distribución de fuerzas están impuestas en el manillar y en los pedales y los puntos fijos será la horquilla de delante.

Se analizan en la primera imagen la máxima deformación y y en la segunda el punto de máxima tensión.



## FRENO DE ATRAS

En caso de frenar con el freno de la rueda trasera la distribución de fuerzas estará también en el manillar y los pedales sin embargo el punto fijo será la horquilla de detrás cambiando la deformación y punto de mayor tensión.



## RESULTADOS

De los resultados obtenidos de las simulaciones se obtiene que el desplazamiento máximo es de alrededor de 15mm en los manillares y de unos 8 mm en el marco que se asume que no es significativo de cara a la viabilidad de la bicicleta además de que se aplica un coeficiente de seguridad de 1.5 para asegurar que el producto no falle.

En términos de tensiones el valor máximo aproximado en el caso de frenar con el freno de detrás es de alrededor de 490 MPa.

La simulación de ANSYS por tanto da unos resultados de que la bicicleta es viable y de que el material seleccionado es factible para este propósito por lo que la construcción de la bicicleta se puede comenzar.

## FINANCIACIÓN

A pesar de la financiación inicial de £600 se necesitaba más dinero para que el proyecto fuese viable por lo que la Universidad de Strathclyde aportó £1000 más al proyecto para que pudiese realizarse y £400 más para que el viaje a Belfast para la competición fuese viable.

## PRODUCTO FINAL

Tras la construcción y testado de la bicicleta el producto final llevado a la competición de Belfast es el siguiente.



Y el volumen que ocupa y la forma una vez esta plegada la bicicleta es el que aparece en la siguiente imagen, como se puede observar la bicicleta se mantiene de pie una vez plegada y puede ser fácilmente introducida en una bolsa para su transporte cumpliendo todas las regulaciones de transporte vigentes.

