



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Curso Académico:

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quisiera agradecer a mis tutores toda la ayuda que me han brindado a lo largo de la realización de este trabajo, y que me ha permitido, aprender más en el diseño de piezas mediante un software CAD. También agradecer al departamento de Ingeniería Gráfica el permitirme realizarlo.

A mis padres, porque siempre han estado conmigo y supieron apoyarme en todo momento incluso cuando mis fuerzas y mi motivación para seguir adelante eran mínimas. Y por supuesto al resto de mi familia, a mi hermano, a mis abuelas, a mis tíos y tías, a mis primos y primas... por toda vuestra confianza en mí.

A todos mis compañeros y amigos de la universidad, porque sin vosotros mi experiencia a lo largo de todos estos años no hubiese sido igual. He vivido momentos inolvidables con vosotros y siempre los llevaré en el corazón.

A todos mis amigos, que han sabido sufrir mis quejas y lamentos, y siempre han estado ahí para sacarme una sonrisa aunque la situación no lo mereciese.

Pero sobre todo a mis dos abuelos fallecidos. Me hubiese gustado que hubiesen podido ver esto, pero sé que en aquel momento en que por desgracia tuvieron que dejar este mundo, tenían plena confianza en que iba a superarme e iba a conseguir mi objetivo, aun sabiendo la dificultad que suponía.

Gracias.

## **RESUMEN**

En el presente Trabajo Fin de Grado, se ha simulado el comportamiento de una suspensión trasera de una bicicleta de montaña mediante el software Autodesk Inventor Professional, realizando diferentes ensayos de fuerza aplicables a un caso real. Asimismo, a partir de los estudios que se consideraron más apropiados, se extrajeron las tensiones de Von Mises provocadas en una parte crítica como lo es el eje. Hay que hacer alusión a que este proyecto se trata de una simplificación de una suspensión real, y no se han tenido en cuenta aspectos como los efectos del aceite y su consecuente dureza progresiva al final del recorrido, o detalles en la estructura que no afectaban al comportamiento de nuestro modelo.

En primer lugar, se ha tratado de dar una pincelada al lector sobre el mundo de la bicicleta y se han explicado las partes básicas de las suspensiones, las ventajas para el ciclista en portarlas, y los diferentes materiales en que se pueden fabricar, además de relacionar conceptos impartidos en las diferentes asignaturas del grado para su posterior aplicación. En segundo lugar, se ha descrito el modelado de las piezas más trascendentales y el consecutivo ensamblaje de éstas para conseguir el prototipo deseado. También se han mostrado algunos de los ensayos de fuerzas realizados y sus subsiguientes análisis de tensiones con sus respectivas conclusiones. En último lugar se han dejado, el presupuesto separado en dos partidas según se hable del número de horas empleadas o las herramientas y materiales usados, y los planos de las piezas pertenecientes a la suspensión modelada.

# RESUM

En el present Treball Fi de Grau, s'ha simulat el comportament d'una suspensió del darrere d'una bicicleta de muntanya mitjançant el programa Autodesk Inventor Professional, realitzant diferents assajos de força aplicables a un cas real. A més a més, a partir dels estudis que es van considerar més apropiats, es van extraure les tensions de Von Mises provocades en una part crítica com es l'eix. Cal fer al·lusió al fet que aquest projecte es tracta d'una simplificació d'una suspensió real, i no s'han tingut en compte aspectes com els efectes de l'oli i la seua conseqüent duresa progressiva al final del recorregut, o detalls en l'estructura que no afectaven al comportament del nostre model.

En primer lloc, s'ha tractat de donar una pinzellada al lector sobre el món de la bicicleta i s'han explicat les parts bàsiques de les suspensions, els avantatges per al ciclista a portar-les, i els diferents materials en què es poden fabricar, a més de relacionar conceptes impartits en les diferents assignatures del grau per a la seua posterior aplicació. En segon lloc, s'ha descrit el modelatge de les peces més transcendents i el consecutiu assemblatge d'aquestes per a aconseguir el prototip desitjat. També s'han mostrat alguns dels assajos de forces realitzats i els seus subsegüents anàlisis de tensions amb les seues respectives conclusions. En últim lloc s'han deixat, el pressupost separat en dues partides segons es parle del nombre d'hores emprades o els materials i eines usats, i els plànols de les peces pertanyents a la suspensió modelada.

## **ABSTRACT**

In this Final Degree Project, the behaviour of a mountain bike rear shock has been simulated performing several strength tests applied to a real case using Autodesk Inventor Professional software. Furthermore, Von Mises stresses for critical parts of the shock, as it is the shaft, have been taken from studies that were considered appropriate. It is important to indicate that this project is a simplification of a real rear shock, and aspects such as the effects of oil and its consequent progressive hardness at the end of the route, or details on the structure that don't affect the behaviour of our model have not been taken into consideration.

Firstly, the world of cycling, the basic parts of a rear shock, the advantages of using them for the rider, and the different materials that can be manufactured, along with related concepts taught on the degree that can be useable for the subsequent application have been introduced to the reader. Secondly, the modelling of the most significant parts and its consecutive assembly to achieve the desired prototype has been described. Also, some of the performed force tests and subsequent stress analysis with its respective conclusions are shown. Finally, two separate budgets related to the number of hours worked or to the materials and tools used are presented, along with the planes of the rear shock modelled pieces.

# **DOCUMENTO 1.**

## **MEMORIA**

# ÍNDICE DE LA MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS .....	11
1.1. INTRODUCCIÓN .....	11
1.2. OBJETIVOS .....	15
CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LAS PIEZAS DEL AMORTIGUADOR CON AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2014 .....	17
2.1. AUTODESK INVENTOR .....	17
2.2. METODOLOGÍA Y PARTES FUNDAMENTALES DE LA SUSPENSIÓN .....	17
2.2.1. Cabeza inferior .....	19
2.2.2. Cuerpo inferior .....	22
2.2.3. Cuerpo .....	24
2.2.4. Depósito .....	25
2.2.5. Parachoques .....	28
2.2.6. Resorte .....	30
2.2.7. Soporte inferior .....	32
2.2.8. Tornillo.....	33
2.3. RESTRICCIONES DE ENSAMBLAJE DEL MODELO 3D .....	35
CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA SUSPENSIÓN CON AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2014 .....	43
3.1. SIMULACIÓN DINÁMICA.....	43
3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	46
CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN.....	51
4.1. ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS .....	51
4.2. EXTRACCIÓN DE RESULTADOS .....	52
4.3. CONCLUSIONES .....	55
BIBLIOGRAFÍA.....	57

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

### 1.1. INTRODUCCIÓN

La bicicleta es un vehículo de transporte movido por la fuerza humana y sirve para poder desplazarse tanto por zonas rurales, como por ciudad. Tiene muchas ventajas entre las cuales destaca por ser un medio de transporte sano, sostenible, ecológico y económico. Fueron muy populares en la década de 1890 y posteriormente, en los 50 y en los 70. Actualmente se ha podido observar un aumento en su uso debido al alto precio del combustible, a una tendencia por mejorar la salud y el físico, y por su diseño moderno y elegante.

La diferencia principal entre una bicicleta de montaña con otra de otro tipo es que las primeras tienen unos componentes más resistentes a los impactos del terreno. Las cubiertas, con un grosor mayor a las demás y con tacos para absorber mejor las irregularidades del terreno, consiguen una mejor tracción sobre el suelo. Las bicicletas de montaña actuales poseen todas suspensión, ya sea simple, (suspensión en la horquilla delantera) o doble (suspensión en horquilla delantera y suspensión trasera). Y aunque las bicicletas con suspensión simple aparecieron unos años antes, (no teniendo la reducción de peso y el recorrido que pueden tener las actuales) las primeras con doble suspensión empezaron a presentarse a finales del siglo XX, concretamente sobre el 1994 (ver Figura 1).

El uso de las suspensiones a través de tramos montañosos se hace indispensable ya que se encuentran terrenos totalmente distintos a los que pueden aparecer por carretera o ciudad como desniveles, saltos, baches, etc. Si no fuesen incluidas, podría generar una incomodidad evitable y una falta de garantía en el manejo del vehículo pudiendo ser peligrosa para el ciclista. Esto generó que las empresas dedicadas a ello innovasen más y mejor en sus amortiguadores, por seguridad y confort del ciclista, y por mejorar el rendimiento en ciclistas de élite.

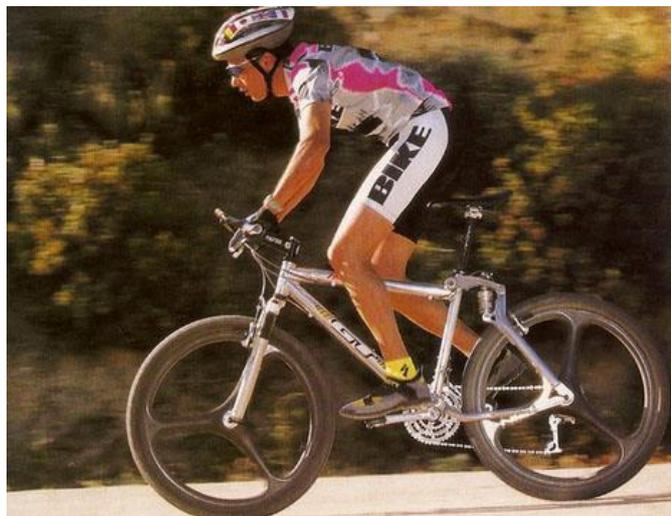


Figura 1. La marca GT presenta su nuevo modelo de bicicleta con doble suspensión. Fuente: Escuderos4x4.com

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

Las suspensiones tienen dos cometidos primordiales. En primer lugar se busca que los componentes de la bici fijados a las ruedas, (masa no suspendida) se prolonguen de tal manera que sigan una trayectoria rectilínea con respecto al suelo. Por otro lado, el segundo objetivo es que ambas ruedas se mantengan en contacto con el piso tras cualquier circunstancia que pueda modificar la posición de éstas.

Hay que diferenciar dos partes básicas en una suspensión y son el amortiguador y el resorte. La función del primero es prevenir a las suspensiones de hacer un esfuerzo continuo de compresión y de tracción mientras la bicicleta vaya en movimiento. Esto perjudicaría al ciclista negativamente, de tal manera que podría perder el control del vehículo y/o no tener la comodidad adecuada para poder disfrutar de lo que supone un paseo en bicicleta. Por lo que respecta al resorte, éste absorbe la energía que ocasiona el movimiento de la masa suspendida y lo retorna a su posición de inicio una vez finalizada la causa que provoca el movimiento anteriormente mencionado.

Cada una de las dos partes anteriores dependerá de dos parámetros distintos. El recorrido del resorte será función de la cantidad de fuerza a la que se le someta, (en uno o en ambos extremos) mientras que el amortiguador, dependerá de la velocidad de desplazamiento. Cuanta más fuerza se le aplique al muelle, más se comprimirá; Por su parte el amortiguador endurecerá al aumentar la velocidad de desplazamiento. Hay que tener muy en cuenta esto ya que según el problema, habrá que separar la regulación de ambos sistemas. Si el problema fuese provocado por la fuerza aplicada que ocasiona movimiento, (falta de recorrido en la suspensión o topes) se debe regular el resorte. En caso contrario, si el problema fuese provocado por oscilaciones o rebotes, (afectando a la velocidad de trabajo) habría que regular el amortiguador.

La mayoría de usuarios suele usar la suspensión trasera que viene por defecto en su bicicleta de montaña, pero si se pretende ir más allá y mejorar la experiencia sobre ella, habrá que elegir una suspensión que con el ciclista montado, proporcione un hundimiento determinado (SAG) para evitar que las ruedas pierdan el contacto con el suelo tras circular a través de agujeros o baches. La longitud del SAG se verá modificada dependiendo del peso del ciclista y de la bicicleta, y de la geometría de ésta. El que controle esta extensión será el resorte y sus distintos parámetros, (ver Figura 2) y dependiendo del uso que se le vaya a dar a la bici, el valor del SAG tomará una medida distinta.

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA



Figura 2. Parámetros a tener en cuenta del resorte. Fuente: Marca KS

La longitud del resorte es la distancia entre los dos extremos apoyados sobre los planos de los soportes. Depende de la longitud total de la suspensión y suele admitir cierto rango de variación, sobre todo en amortiguadores largos. La carrera es la longitud máxima que se puede comprimir el resorte sin sobrepasar el máximo que su construcción permite, es decir, admitiendo que las espiras nunca llegarán a estar en contacto. Y en último lugar la constante elástica  $K$ , la cual indica la fuerza a aplicar al resorte para que éste se comprima una distancia determinada.

Los valores de la rigidez (o constante elástica) y la carrera suelen venir inscritos en el mismo resorte, y de no ser así el fabricante los proporcionará en su catálogo. En este caso (ver Figura 3), se aprecia primero el nombre del fabricante y a continuación, los dos parámetros anteriores. El valor de la izquierda es el valor de la rigidez e indica la fuerza aplicada en libras para comprimir el resorte una pulgada, y a su derecha el valor de la carrera, indicado en pulgadas.

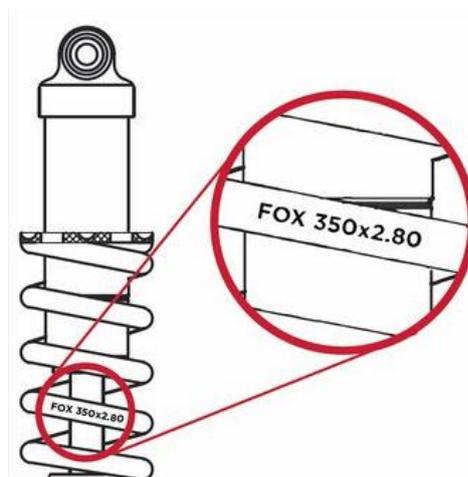


Figura 3. Valores de la constante elástica y de la carrera, inscritas en el resorte. Fuente: Marca FOX

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

De entre los posibles materiales para fabricar un muelle para una suspensión de bicicleta, el titanio es el más adecuado, incluso más que el acero, ya que a veces estos últimos se ven limitados. Los requerimientos de tamaño y peso reducidos junto a grandes aplicaciones de fuerza llevan a los resortes de acero a sus límites físicos.

La reducción de peso del orden de 400 gramos respecto al muelle de acero es muy destacable, como también lo es la ganancia en sensibilidad en pequeños impactos. Aunque todo esto tiene sus desventajas, y es que el precio del titanio es mucho más alto que el del acero y, sin un correcto mantenimiento de éste y de la bicicleta al completo, no servirán de nada estas diferencias. Podemos ver algunas de las desigualdades entre el acero y el titanio en la siguiente figura (ver Figura 4).

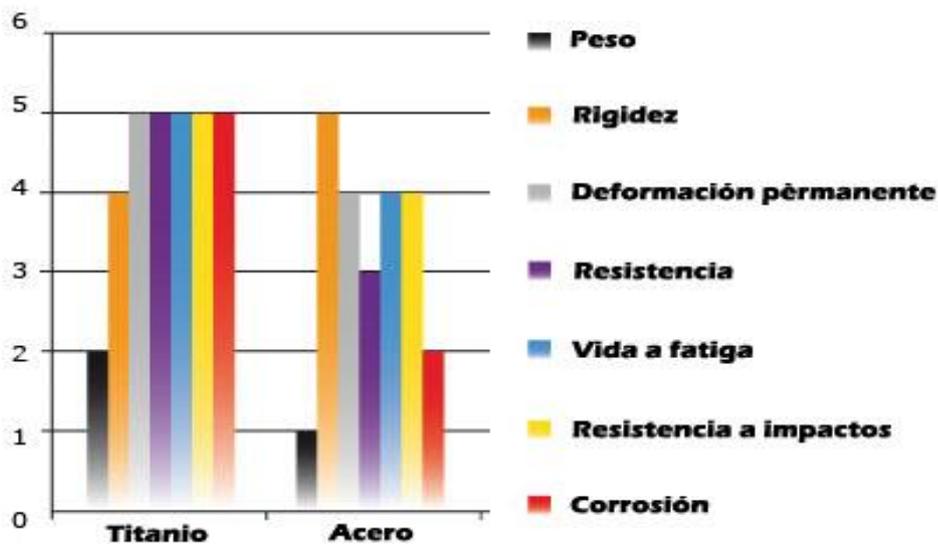


Figura 4. Comparativa entre el titanio y el acero. Fuente: Jeronymocycles.com

La única ventaja apreciable del acero frente al titanio es la rigidez, (o la cantidad de fuerza que podrá aguantar por unidad de longitud) mientras que el titanio, destaca notablemente frente al acero en cuanto a resistencia y a la oposición de la corrosión. En aspectos como el peso, la deformación permanente, la vida a fatiga o la resistencia a impactos, muestra únicamente una pequeña ventaja.

En nuestra simplificación se ha usado un resorte de acero, (ya que así se indicaba en el catálogo usado por el fabricante RockShox) con el objetivo de aproximar al máximo los parámetros de nuestro diseño al modelo original.

También es importante hacer hincapié en el material usado para el eje, y es que se han hecho ensayos de simulación dinámica para ejes de aluminio y de acero inoxidable. El material de aluminio presenta una ventaja notoria frente al acero y es que su densidad es un tercio de la de éste. Esto es muy importante para ciclistas de élite ya que ven reducido en parte el peso

total que portan. Además el aluminio posee un buen límite elástico, lo que le favorece frente a posibles deformaciones permanentes. Por otra parte, el acero presenta un gran módulo de elasticidad (casi el doble que el del aluminio) lo que equivale a que habría que aplicarle una fuerza de valor elevado para que deformase un poco.

### 1.2. OBJETIVOS

El objetivo general de este TFG ha sido poder relacionar los conocimientos adquiridos en algunas de las asignaturas impartidas a lo largo de todo el Grado en Ingeniería en Tecnologías Industriales, mediante el modelado y posterior simulación de un mecanismo simple consistente en una suspensión trasera para bicicleta de montaña.

Las asignaturas que principalmente me han ayudado a realizar este trabajo han sido las de Expresión e Ingeniería Gráfica, donde he podido aprender a interpretar y a realizar dibujos de ingeniería, además de adquirir una destreza básica en el modelado tridimensional asistido por ordenador mediante la herramienta Autodesk Inventor. A parte de las ya citadas, las asignaturas de Teoría de Máquinas, Tecnología de Máquinas y Materiales y Sistemas de Producción y Fabricación, han servido para poder desarrollar mi creatividad, para saber manejarme entre catálogos de fabricantes y elegir la opción que más se adecuaba a nuestros objetivos, para seleccionar el material más conveniente entre los posibles y conocer mejor sus operaciones de ensamblaje (ya sea soldadura u operaciones de agujereado entre otros) y por último, para aplicar los conocimientos adquiridos de mecánica y resistencia de materiales para el diseño de nuestra suspensión.

El objetivo principal del proyecto se ha basado en el diseño y modelado de un mecanismo abordando algunas fases de diseño como el modelado y montaje, el diseño de detalle mediante la generación de los planos normalizados, la simulación dinámica del conjunto y el análisis de una de las piezas que lo integran. Para este caso concreto, el mecanismo ha sido una suspensión trasera para una bicicleta de montaña y la pieza a analizar, el eje de la suspensión.

Los objetivos concretos han sido modelar todos los componentes de la suspensión y montarlos, realizar la simulación dinámica para ver cómo se comportaba el mecanismo bajo determinadas fuerzas, y elaborar un análisis de elementos finitos del eje dependiendo de las fuerzas aplicadas y el material escogido mediante el software utilizado en la asignatura de Ingeniería Gráfica de la titulación, Autodesk Inventor Professional 2014.

## **CAPÍTULO 2. DISEÑO DE LAS PIEZAS DEL AMORTIGUADOR CON AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2014**

### **2.1. AUTODESK INVENTOR**

El software Autodesk Inventor es uno de los programas de diseño CAD con más prestigio a nivel mundial ya que su interfaz permite al usuario usar numerosas herramientas, con una interfaz fácil de interpretar, para el diseño mecánico y la simulación de objetos tridimensionales. Y es que gracias a él, podemos reducir costes de desarrollo y visualizar el producto antes de su salida a mercado.

Entre tales herramientas, Autodesk Inventor incorpora dos muy importantes como son la simulación dinámica y el análisis de elementos finitos. Esto permite acercarse más a la realidad, ya que se puede añadir cargas reales a diversas zonas del producto y/o movimientos entre los propios mecanismos del objeto para más tarde, poder ver e interpretar como afectará cada fuerza a cada parte del modelo.

### **2.2. METODOLOGÍA Y PARTES FUNDAMENTALES DE LA SUSPENSIÓN**

Para el diseño en 3D de la suspensión trasera de una bicicleta de montaña se han usado las herramientas que proporciona Autodesk Inventor Professional 2014. En primer lugar se crearon los bocetos de cada pieza y más tarde, se modelaron para formar todas las piezas pertenecientes a la suspensión. Una vez se tuvieron las piezas modeladas se pasó a ensamblarlas de tal manera que sólo quedó un grado de libertad, y éste fue el movimiento rectilíneo del eje.

En este trabajo no se ha explicado el diseño pieza por pieza ya que muchas son de revolución y no vale la pena entrar en detalles por su simplicidad, aunque sí se ha hecho en piezas que se ha considerado de más interés y que puedan tener una complejidad mayor. Se ha explicado paso a paso desde el bocetado hasta acabar con las restricciones, para así poder dar información útil al lector en caso de querer obtener un mismo resultado.

Como anteriormente se ha mencionado, las medidas de nuestra suspensión corresponden a una aproximación que se ha hecho a partir del modelo Kage R de la marca RockShox. A partir de las medidas de ojo a ojo, (distancia entre centros de los casquillos, 200 mm) de la carrera, (57 mm) y del diámetro del eje, (12.7 mm) se hizo un modelo semejante mediante el software Autodesk AutoCAD 2014 (ver Figuras 5 y 6).

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

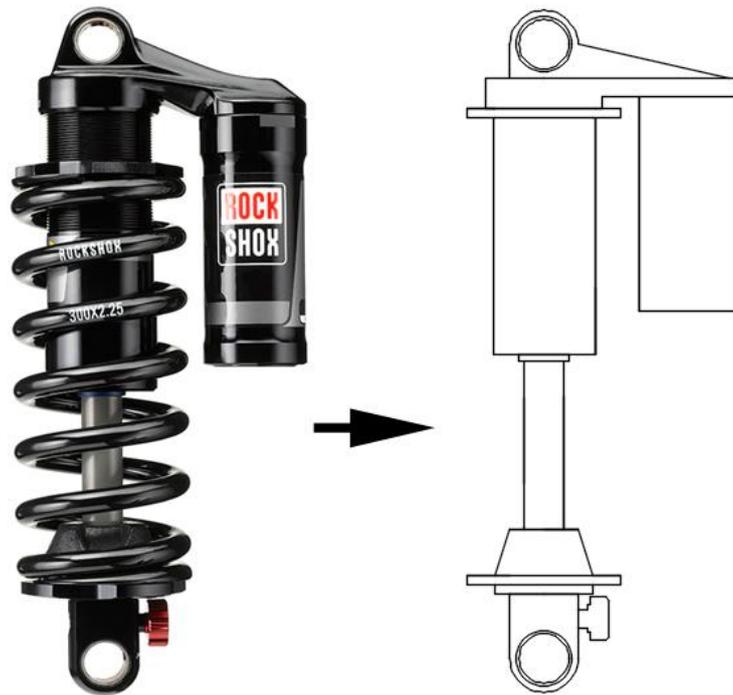


Figura 5. Simplificación en 2D mediante Autodesk AutoCAD 2014. Fuente: RockShox



Figura 6. Deducción de las medidas del eje mediante Autodesk AutoCAD 2014. Fuente: RockShox

Las partes de la suspensión que se han modelado son:

- Cabeza inferior
- Casquillo (2)
- Conjunto del eje
- Cuerpo inferior
- Cuerpo
- Depósito
- Eje
- Parachoques
- Resorte
- Soporte inferior
- Soporte superior
- Tope

- Tornillo

Y además, se ha introducido un elemento normalizado desde el Centro de Contenido de Autodesk Inventor, como es una Junta tórica (ver Figura 7).



Figura 7. Pieza normalizada

### 2.2.1. Cabeza inferior

Para empezar a modelar cada pieza de nuestra suspensión se siguieron en todo momento estos pasos. En primer lugar se iba a la opción Nuevo, a continuación Normal.ipt, (donde las letras “ipt”, del inglés, significan “i” de Inventor y “pt” de parte) y finalmente se pulsaba sobre el botón Crear. Generado el archivo, se creaba un nuevo boceto sobre el plano que se deseaba (en nuestro caso, se empezaron todos los bocetos desde el plano XZ, aunque se podía haber optado por cualquiera de los tres, ver Figura 8).

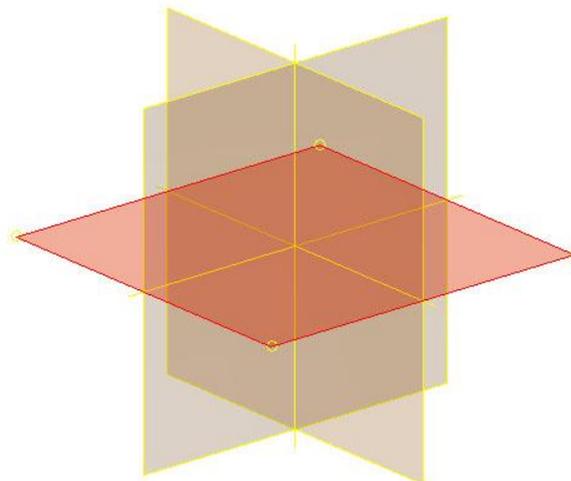


Figura 8. Boceto sobre el plano XZ

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

Centrándonos ya en la pieza que se ha modelado, se dibujó en primer lugar una circunferencia con un diámetro de 32 mm. Fue muy conveniente que se dibujase proyectando los planos donde se creaba el boceto mediante la herramienta Proyectar geometría del panel Dibujar, y así tener fijas las coordenadas del centro del círculo dibujado.

Finalizado el boceto, se hizo una extrusión en ambas direcciones, de 3 mm, mediante la herramienta ya mencionada desde el panel Crear y de esta manera, se obtuvo la base de nuestra Cabeza inferior. Modelada la base, (un cilindro de pequeño espesor) se creó un boceto 2D sobre el plano XY ya que el siguiente paso fue dibujar la cabeza.

Para poder realizar este paso previamente se proyectaron las aristas de corte mediante la herramienta que toma este nombre, y también la geometría para tener los planos marcados en todo momento. Primeramente se trazó una línea vertical de 21 mm a 16 mm de un extremo de la base para posteriormente dibujar una circunferencia de 22 mm diámetro, la cual dio forma a la cabeza. Una vez hecha la circunferencia, se dibujaron dos líneas verticales tangentes a ésta hacia la base, de tal manera que éstas quedaron a 5 mm de cada vértice.

Acabado esto, se consiguió la forma que se deseaba para la cabeza, (borrando la primera línea que iba desde el centro de la base hasta el origen de la circunferencia) y ya sólo faltó por restringir el boceto. Mediante las herramientas del panel Restringir, (tangencia, paralelismo y perpendicularidad) y algunas cotas, el boceto quedó totalmente restringido (ver Figura 9). Una vez hecho el boceto, se hizo una extrusión simétrica con una longitud de 18 mm.

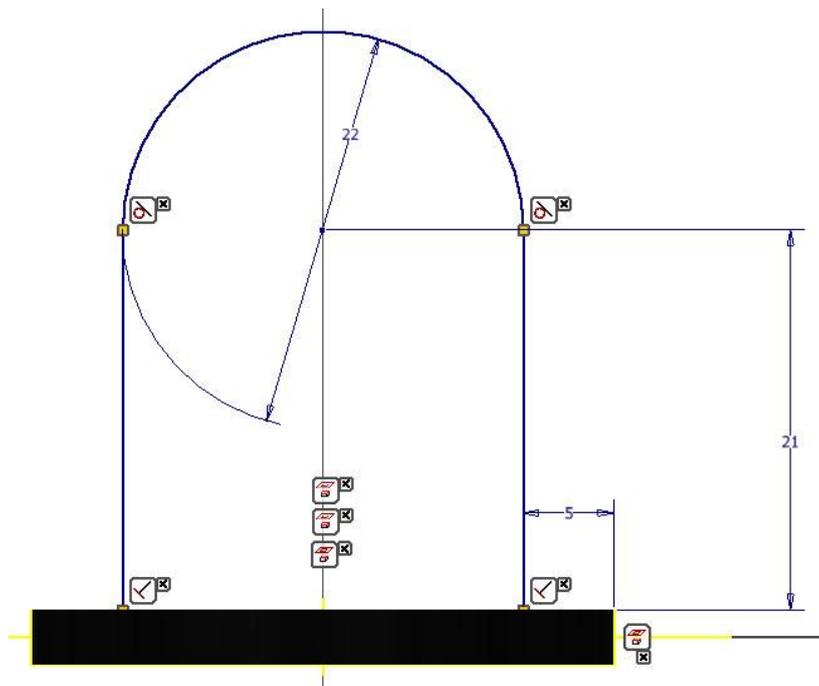


Figura 9. Boceto de la cabeza con sus respectivas restricciones

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

Prácticamente acabada la pieza, quedaba por hacer dos agujeros. El primero fue el ocupado por el Casquillo, y para hacerlo se creó un boceto sobre el plano XY colocando un punto sobre el origen de la circunferencia de la cabeza. Concluido el boceto, mediante la herramienta Agujero en el panel Modificar, se hizo un agujero pasante de 18 mm de diámetro. Para el segundo, se volvió a crear un boceto (pudiendo ser en cualquiera de las dos caras paralelas al plano YZ) trazando una línea a una altura de 8 mm de la base desde el centro de la misma y colocando un punto sobre el vértice de ésta. La línea simplemente fue por colocar el punto a una distancia deseada, de modo que finalmente se borró quedando sólo el punto marcado en el boceto.

Mediante la herramienta Agujero se hizo un agujero con una rosca de 6 mm de diámetro, con una extensión de 12 mm y una longitud total de 13 mm acabada en punta (ver Figura 10). Éste fue el hueco donde posteriormente se ensambló el Tornillo.

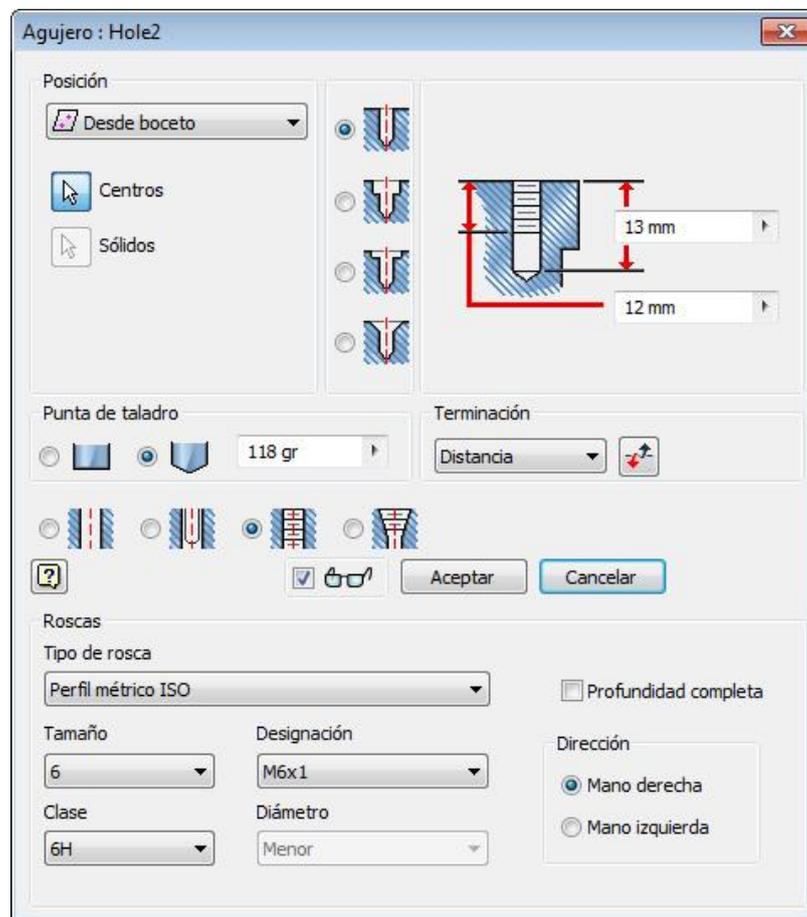


Figura 10. Parámetros del agujero con rosca

Para terminar la pieza, se creó un boceto en el plano XZ (parte inferior de la base) y se dibujó una circunferencia de 15 mm de diámetro. La extrusión fue sobre el mismo plano y de 3 mm. Posteriormente se volvió a crear un nuevo boceto en la misma zona que antes aunque con una circunferencia de 13 mm de diámetro, donde se alojará el

eje más tarde. Finalmente se hizo una extrusión eliminando material, de 3 mm de profundidad (ver Figura 11).

Para aproximar más nuestra pieza al modelo real, se le asignó un material de Aluminio 6061-AHC desde el Navegador de materiales. Esta elección fue personal, al igual que darle un color Negro suave desde el Navegador de aspecto, ya que se deseaba probar un material distinto al Aluminio 6061 (aunque se ha podido comprobar desde Autodesk Inventor, que tienen las mismas propiedades mecánicas y resistentes). Para el interés del lector, este material tiene una densidad de  $2,71 \text{ g/cm}^3$  y un límite de elasticidad de 310 MPa.



**Figura 11. Resultado final de la Cabeza inferior**

### **2.2.2. Cuerpo inferior**

La siguiente pieza no ha presentado una complejidad elevada, aunque se seleccionó para describir su proceso de modelado por ser una de las partes más importantes de la suspensión como es la tapa del cilindro por donde el eje se moverá internamente.

Se empezó creando un boceto en el plano mencionado anteriormente, dibujando una circunferencia de 35 mm (al igual que el diámetro del Cuerpo) y siempre proyectando geometría para tener fijas las coordenadas.

Una vez creado el boceto se pasó a hacer una extrusión simétrica de 5 mm, de tal forma que quedó un cilindro con un pequeño espesor. Para darle un pequeño detalle a la tapa, se le aplicó un chaflán al vértice inferior de la pieza extruida desde la herramienta que toma ese nombre en el panel Modificar, de 1 mm con un ángulo de 90 grados (ver Figura 12).

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA



Figura 12. Parámetros del chaflán a asignar

Siguiendo con el modelado de nuestra pieza, se creó un nuevo boceto desde la cara donde no se le aplicó el chaflán dibujando una circunferencia de 25.8 mm de diámetro y posteriormente, extruyéndola 3 mm. Este hueco quedará ocupado (una vez hecho el montaje) por la Junta tórica, aunque existirá una cierta tolerancia entre las paredes y los extremos de la junta.

Continuando sobre el mismo plano, se creó un nuevo boceto dibujando una circunferencia de 31.1 mm de diámetro (siempre desde el mismo centro). La medida de este diámetro tiene su explicación, y es que para tener el cuerpo de la suspensión bien cerrado, esta parte debía tener el mismo diámetro que el diámetro exterior de la Junta tórica. Luego se extruyó con un valor de 5 mm.

Para que el eje atravesase la pieza entera necesitaba un agujero pasante, de modo que se creó un nuevo boceto dibujando un punto sobre el origen de todas las circunferencias anteriores, (fue indiferente en qué cara plana de la pieza hacer el boceto mientras perteneciese al plano XZ) y luego se usó la herramienta Agujero para hacer uno de 13 mm de diámetro (el del eje).

Finalmente se le asignó un material de Aluminio 6061 y un color Negro suave, y esta ha sido su forma final (ver Figura 13).



Figura 13. Resultado final del Cuerpo inferior

### 2.2.3. Cuerpo

El siguiente modelado tampoco ha sido demasiado complejo aunque complementa al descrito anteriormente y será la pieza que tomará contacto con el eje y su conjunto.

En primer lugar se creó un boceto en el plano XZ dibujando una circunferencia de 35 mm de diámetro, (al igual que el Cuerpo inferior) extruyéndolo después simétricamente a una distancia de 79 mm (ver Figura 14). En este caso la extrusión simétrica tampoco tiene demasiada trascendencia aunque se quiso hacer de esa manera.



Figura 14. Parámetros de la extrusión a asignar

El paso consecutivo fue hacer el agujero por donde el eje y su conjunto pudiesen moverse (cámara). Para ello, se creó un boceto sobre la cara plana inferior y se marcó un punto sobre el origen de la circunferencia anterior. Seguidamente mediante la herramienta Agujero, se hizo uno tal que la longitud fue de 77 mm y el diámetro de 31,1 mm. De esa forma la Junta tórica estará en todo momento en contacto con la pared interior del Cuerpo y en un caso real evitaría pérdidas de aceite por la cámara.

Para simular la rosca en la que se mantenga el Soporte superior se usó la herramienta Rosca, aunque se han tenido que establecer unos parámetros distintos a los vistos en la pieza de la Cabeza superior ya que esta vez, la rosca no se ha situado a lo largo de toda la pieza, sino que lo ha hecho en la parte superior del cilindro. Lo que se ha hecho es que una vez dentro de la herramienta, se ha tenido que deseleccionar la opción de Longitud total y eligiendo la cara curva superior (la contraria a la cara del agujero) se dieron los valores de 4 mm de desfase y 38 mm de longitud (ver Figura 15).

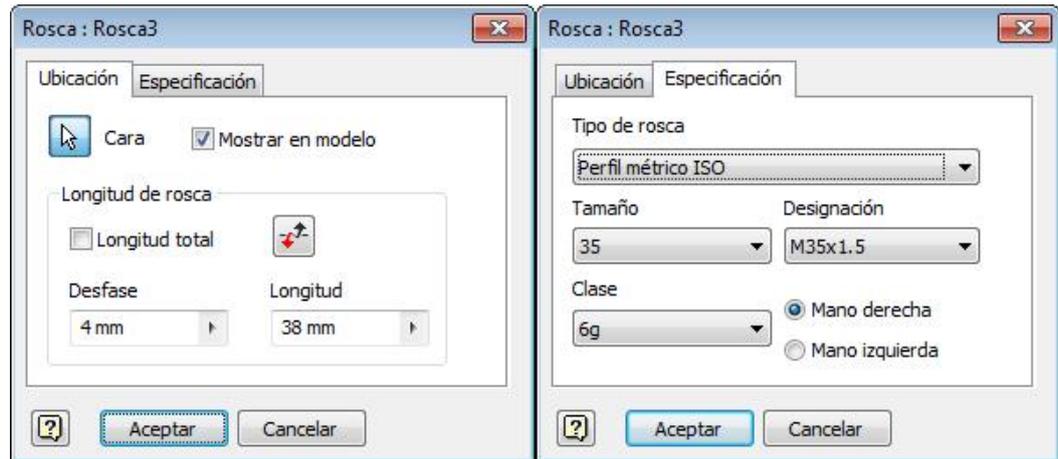


Figura 15. Parámetros de la rosca a asignar

Finalmente y como a todas las piezas, se le atribuyó el material desde el Navegador de materiales y éste fue de Aluminio 6061-AHC y un color Negro suave desde el Navegador de aspecto, de modo que la pieza final quedó tal que así (ver Figura 16).



Figura 16. Resultado final del Cuerpo

#### 2.2.4. Depósito

La siguiente pieza ha sido la más compleja de entre todas las que se han modelado, por ello se hará hincapié en los aspectos más importantes y se seguirá paso a paso cómo se ha modelado. En primer lugar, se empezó dibujando la forma de la base creando un boceto en 2D y proyectando geometría. En segundo lugar, se dibujaron dos circunferencias las cuales se distanciaban entre centros 47 mm. La primera tiene un diámetro de 40 mm y la segunda un radio de 16 mm.

Posteriormente se tuvieron que unir mediante dos líneas tangentes a los extremos de cada circunferencia tal que así (ver Figura 17). Se borraron todas las líneas sobrantes y se restringió todo el boceto mediante las técnicas ya comentadas en piezas anteriores.

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

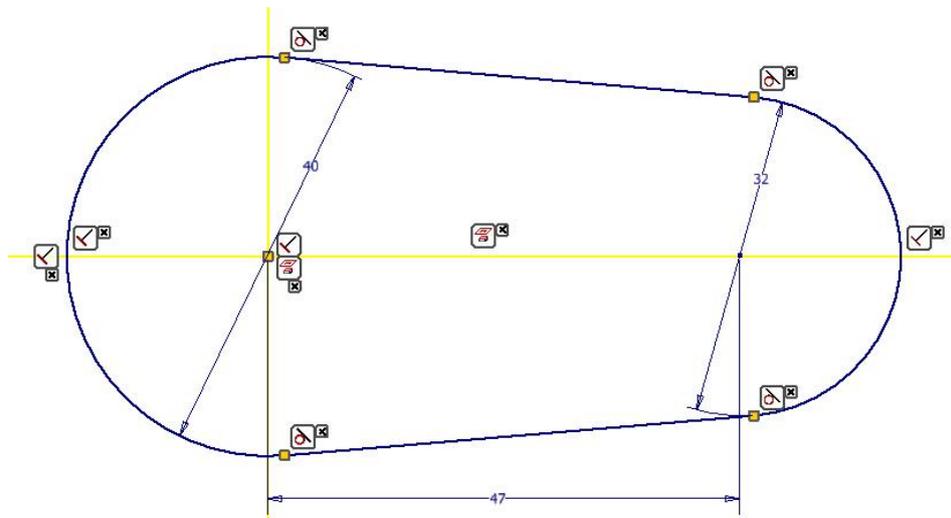


Figura 17. Boceto de la base

Una vez se tuvo el boceto totalmente restringido, se hizo una extrusión simétrica de 6 mm, de modo que ya se tenía la base de nuestra pieza llamada Depósito. Se ha llamado así porque las suspensiones de este estilo llevan un suministrador de aceite para regular el movimiento del eje. En nuestro caso se ha hecho una simplificación y se modeló simplemente con un agujero en su interior que posteriormente se comentará. Además se añadieron otras partes que aunque se podían haber modelado por separado, se hicieron todas juntas.

El siguiente paso fue modelar el hueco que posteriormente será ocupado por el Cuerpo. De modo que se creó un nuevo boceto sobre una de las dos caras planas (plano XZ) y se centró la atención en la circunferencia de mayor diámetro. Se dibujó una circunferencia totalmente idéntica a la de la base y luego se extruyó a 4 mm, de modo que quedó un escalón con respecto a la base. Para darle un pequeño detalle se le aplicó un chaflán de 1 mm a 90 grados a la parte exterior de la circunferencia extruida. Para finalizar con esta parte y dejar un pequeño hueco donde se inserte el Cuerpo, se creó un nuevo boceto sobre la misma zona y se dibujó una circunferencia de 35 mm de diámetro. Hecho esto, se extruyó hacia dentro (quitando material) a una profundidad de 4 mm.

Para modelar el depósito en sí, se creó un nuevo boceto sobre la misma cara que se estaba trabajando, solo que sobre la otra circunferencia. Se dibujó una idéntica a la de la base, y seguidamente se realizó una extrusión de 66 mm que dio paso al depósito de aceite. Hecha la extrusión se dibujó un punto en un nuevo boceto sobre el centro de la cara inferior circular de la extrusión y a continuación, se hizo un agujero mediante la herramienta que toma este nombre con un diámetro de 28 mm y a una profundidad de 64 mm.

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

De nuevo se volvió a crear un boceto sobre la cara inferior, dibujando una circunferencia con el mismo diámetro que ya existía. Se le aplicó una extrusión de 4 mm y finalmente un chaflán sobre el vértice de 2 mm a 90 grados.

Nuestro siguiente objetivo fue modelar la Cabeza superior, y se hizo mediante un boceto sobre el plano XY. Antes de empezar a dibujar sobre él, se proyectó la geometría y las aristas de corte. Para dibujar la figura con comodidad, se trazó una línea horizontal de 19 mm desde el extremo de la base que está situado encima de la circunferencia de mayor diámetro. Desde el extremo de esta línea, se trazó otra de 11 mm a 90 grados donde se situó el centro de la próxima circunferencia de 11 mm de radio que dio forma a la cabeza. Una vez dibujada, se trazaron dos líneas verticales tangentes a la circunferencia que llegaron hasta la base para completar la figura. Hecho esto, se borraron las líneas sobrantes, y se restringió el boceto (ver Figura 18). Para acabar definitivamente esta zona, se realizó una extrusión de 18 mm aunque faltó el detalle del agujero para el Casquillo. Para ello, se creó un boceto sobre una de las caras planas de la cabeza y se dibujó un punto en el centro de la anterior circunferencia. Mediante la herramienta Agujero, se hizo uno pasante de 18 mm.

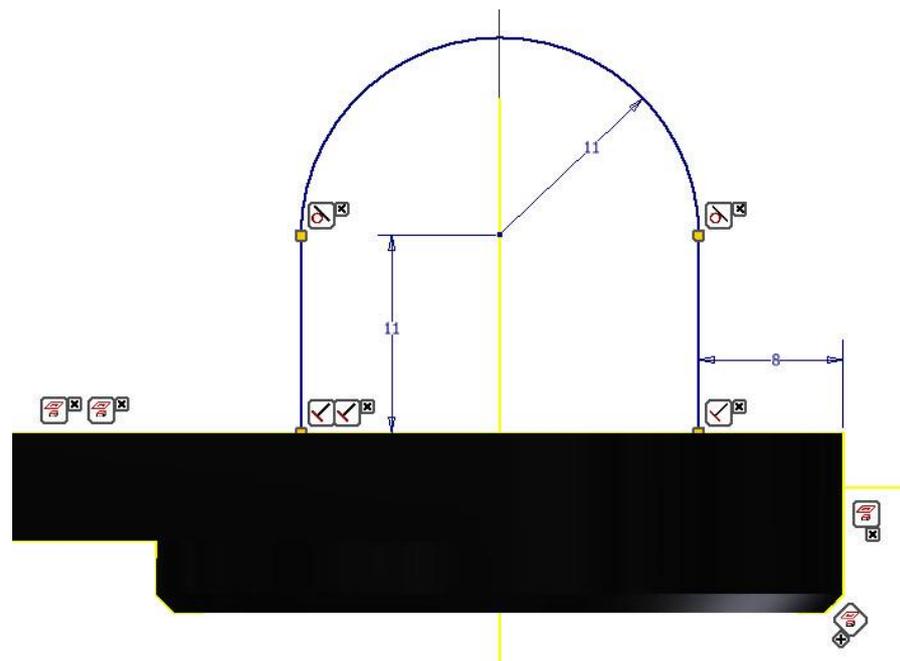


Figura 18. Boceto de la cabeza

Lo último por acabar la pieza fue crear un nervio que fuese desde una de las paredes de la cabeza, hasta la base. Para hacerlo, se creó un nuevo boceto en el plano XY proyectando las aristas de corte y se trazó una línea desde uno de los extremos de la circunferencia de la cabeza hasta la base, de tal forma que en línea horizontal midiese 49 mm (ver Figura 19).

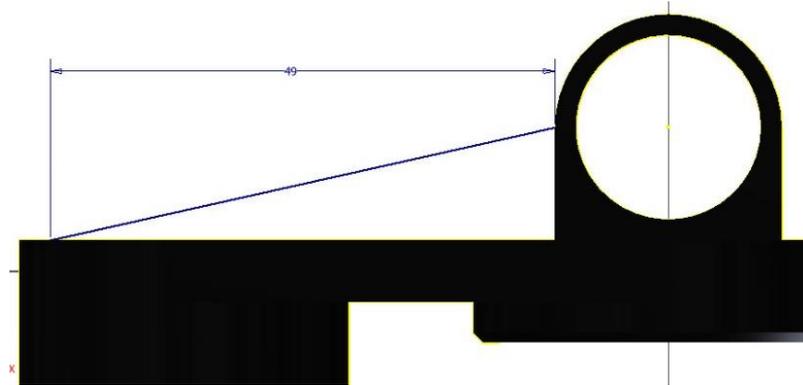


Figura 19. Boceto del nervio

Para modelar el nervio, se fue al panel Crear Nervio, se seleccionó la línea dibujada y se le asignó que fuese paralelo al plano del boceto y tuviese un grosor simétrico de 18 mm.

Como dato de interés para el lector, se creó una pieza análoga a ésta ya que el nervio realizado mediante la herramienta no se podía cortar en los planos normalizados. Por lo tanto, en lugar de usar la herramienta para nervios, se hizo una extrusión simétrica sobre la línea dibujada de 49 mm en horizontal, de 18 mm de ancho. Finalmente se le asignó un material de Aluminio 6061-AHC y un color Negro suave, y esta fue su forma final (ver Figura 20).



Figura 20. Resultado final del Depósito

### 2.2.5. Parachoques

La siguiente pieza también es de revolución, aunque varía con respecto a las demás ya que la parte inferior tiene mayor superficie que la superior (es un conoide). Ésta sirve

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

para amortiguar un posible choque contra el Cuerpo en el caso de que el resorte estuviese comprimido al máximo.

Se empezó con el boceto, primeramente proyectando la geometría y luego usando la herramienta Línea del panel Dibujar para seguir la forma que tendrá una sección del cono. Se dibujó la altura paralela al plano YZ con el objetivo de que el plano XY quedase en el centro de la figura y ésta fue de 15 mm. La parte inferior de la base, tangente al extremo de la altura dibujada y en dirección hacia derechas, se dibujó con una longitud de 16 mm (por lo que el diámetro de la base del Parachoques quedó como el doble de lo dibujado). La parte superior de la pieza, tangente al extremo de arriba de la altura, fue de 11 mm. Finalmente, para cerrar el boceto se unió un extremo de la parte superior con el otro extremo de la parte inferior tal y como podemos ver en la siguiente figura (ver Figura 21).

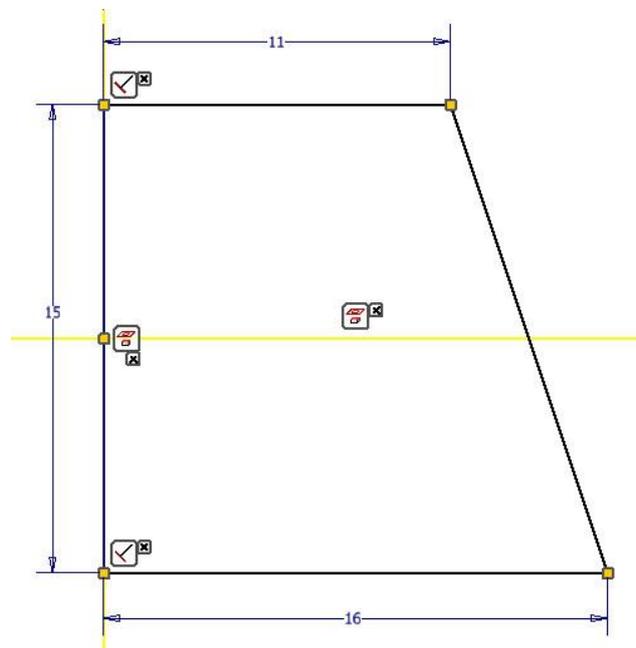


Figura 21. Boceto del Parachoques

Para darle la forma deseada, acabado y restringido el boceto, se fue al panel Crear y se usó la herramienta Revolución. Como ya teníamos una sección dibujada, (boceto) lo que se hizo fue seleccionar el perfil y el eje de revolución, (línea vertical) y darle una extensión completa.

El segundo paso fue hacerle un agujero desde la parte superior para que el eje pasase a través de éste (es indiferente en qué cara hacer el agujero mientras sea una de las dos planas). Por lo tanto, desde la herramienta Crear boceto 2D se dibujó un punto justo en el centro de la circunferencia de la parte superior, y luego se hizo un agujero pasante de 13 mm de diámetro mediante la herramienta correspondiente.

No se quiso dejar una pieza demasiado simple, por lo que se optó por darle un pequeño detalle como es una ranura alrededor del agujero del eje. Este detalle no es en vano, ya que aunque no se vaya a describir su modelado, hay una pieza llamada Tope y está situada justo debajo del Cuerpo inferior. Sirve al igual que la actual, para amortiguar un posible choque en caso de compresión máxima del resorte. De modo que si sucediese el caso anterior, el tope no golpearía con la parte superior del Parachoques sino que habría un margen al entrar por la ranura.

Para modelarla lo que se hizo fue crear un boceto sobre la cara superior de nuestra pieza, dibujando una circunferencia de 16 mm de diámetro y posteriormente, se usó la extrusión para quitar 2 mm de material del boceto creado.

Finalmente, se le asignó un material de Goma desde el Navegador de materiales y un color Negro suave, y esta fue su forma final (ver Figura 22). Posee una densidad de  $0.93 \text{ g/cm}^3$  y un límite de elasticidad de 27,6 MPa.

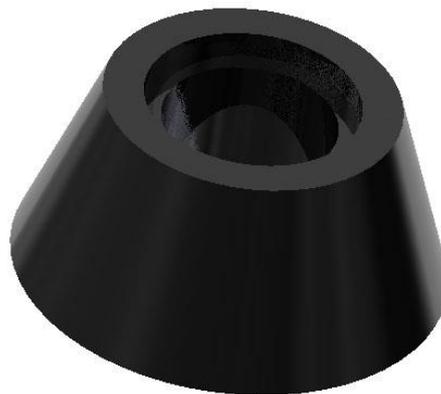


Figura 22. Resultado final del Parachoques

### 2.2.6. Resorte

El resorte se ha modelado para poderse incluir en los planos y aunque no se incluyó en el ensamblaje, se insertó posteriormente como una unión de fuerza en la simulación dinámica. De todos modos, se ha hecho idéntico ya que desde la unión también necesitaba que se le insertasen diferentes parámetros como los que se comentará a continuación.

Para ello se fue a la opción Nuevo, a continuación Normal.iam (donde "am" significa assembly, ensamblaje en inglés). Luego a la pestaña Diseño, panel Muelle, Compresión. Desde esta herramienta se podrán insertar todos los parámetros que se desee para nuestro muelle, de tal manera que los calculará y si son válidos creará el resorte (ver Figura 23).

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

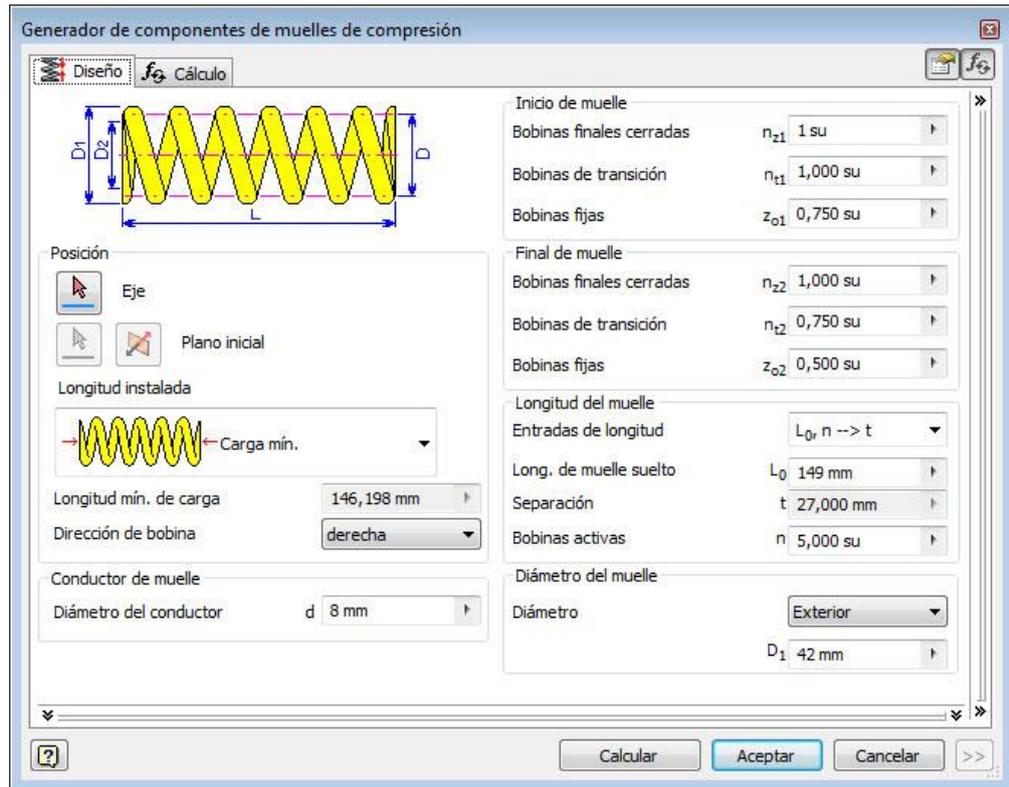


Figura 23. Generador de componentes de muelles de compresión

En la figura anterior no se muestran los parámetros que verdaderamente se le dieron al muelle. Los que realmente se le asignaron fueron una longitud de 149 mm, una rigidez de 63,1 N/mm, un diámetro de las espiras de 51 mm con un radio de conductor de 4 mm y 5 bobinas.

Finalmente, desde el Navegador de materiales se le atribuyó un material de Acero, con una densidad de 7,85 g/cm<sup>3</sup> y un límite de elasticidad de 345 MPa. En esta figura podemos ver el resultado del modelado (ver Figura 24).



Figura 24. Resultado final del Resorte

### 2.2.7. Soporte inferior

El soporte modelado se sitúa entre la Cabeza inferior y el Parachoques y sirve como uno de los dos apoyos del resorte. Habrá otro superior, aunque por su facilidad de modelado no se ha incluido en la memoria. Éste presenta una pequeña diferencia que se describirá a continuación.

El primer paso fue crear un boceto 2D en el plano XZ proyectando antes la geometría. Se dibujó una circunferencia de 51 mm de diámetro y posteriormente se extruyó simétricamente con un valor de 3 mm, de modo que nos quedó un cilindro con un pequeño espesor.

El segundo paso fue hacer el agujero por donde se colocará la pieza sobre la Cabeza superior, así que se volvió a crear un nuevo boceto en una de las dos caras planas, (plano XZ) y se colocó un punto sobre el centro de la circunferencia para luego usar la herramienta Agujero y realizar uno pasante con un diámetro de 15 mm.

El tercer paso y a modo de detalle, se le hizo una abertura en una zona del soporte. Para ello, creamos un boceto en una de las dos caras planas, se proyectó la geometría y se dibujó una circunferencia de 13 mm de diámetro (como el eje) a partir del centro del soporte. Después se trazaron dos líneas verticales, tangentes a la circunferencia dibujada hasta tocar a los vértices del soporte. Se borraron las líneas sobrantes y posteriormente se extruyó totalmente el perfil quitando material (ver Figura 25).

Figura 25. Boceto del detalle para el Soporte

32

Para terminar el modelado, se le asignó un Aluminio 6061-AHC como material y un color Negro suave, y después de todos los pasos nuestro soporte quedó tal que así (ver Figura 26).

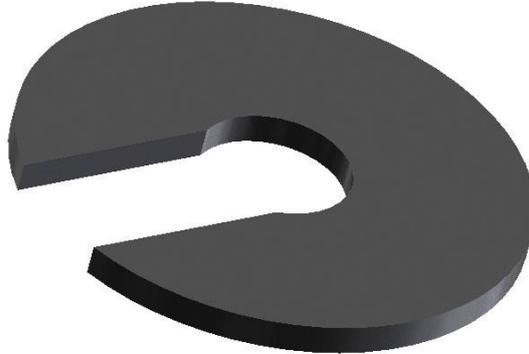


Figura 26. Resultado final del Soporte inferior

### 2.2.8. Tornillo

El Tornillo va a ser la última pieza en ser descrita. No presentó demasiada complejidad a la hora de modelarla pero, como se le quisieron dar bastantes detalles, podría resultarle útil al lector tener conocimiento de todo ello.

En primer lugar lo primero en modelarse fue la cabeza y para ello se creó un nuevo boceto, se proyectó la geometría y se dibujó una circunferencia de 14 mm de diámetro. Seguidamente, se extruyó simétricamente con un valor de 6 mm y se le aplicó un chaflán de 1 mm a 90 grados.

El segundo paso fue dibujar una circunferencia de 9 mm de diámetro en un nuevo boceto sobre una de las dos caras planas, aunque a partir de entonces, todas las extrusiones fueron siguiendo la misma dirección. La extrusión de ésta fue de 1 mm.

El tercer paso fue crear un nuevo boceto y dibujar otra circunferencia sobre el mismo plano aunque esta vez, de 6 mm de diámetro con una extrusión de 14 mm. Sobre esta última extrusión, se usó la herramienta Rosca para hacerla con longitud total y con unos valores iguales a la figura 10, es decir, con una rosca de perfil métrico ISO de tamaño 6.

El último detalle para esta pieza, fue crear unas pequeñas ranuras semicirculares sobre la cara curva de la cabeza del Tornillo. Para ello, se creó un boceto sobre la cara plana de la cabeza en la que se habían hecho extrusiones posteriormente. Se dibujó una circunferencia de 0,5 mm sobre un vértice de esta y luego se borró la línea sobrante. Acabado el boceto, se extruyó el perfil dibujado para quitar material de la cabeza con una longitud de 5,1 mm y, para que se aplicase sobre toda la cabeza, se usó la

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

herramienta Patrón circular del panel Patrón, seleccionando el perfil extruido y aplicando los siguientes parámetros (ver Figura 27).



Figura 27. Parámetros del patrón circular a asignar

Por último quedó por asignar el material y el color, que fue de Aluminio 6061-AHC y un color Rojo (ver Figura 28).



Figura 28. Resultado final del Tornillo

A continuación y para acabar este apartado, se ha mostrado una tabla de las piezas que no se han descrito pero que fueron también modeladas (ver Tabla 1).

Tabla 1. Piezas modeladas no descritas

		
Casquillo (2)	Conjunto del eje	Eje
		
Soporte superior	Tope	

### 2.3. RESTRICCIONES DE ENSAMBLAJE DEL MODELO 3D

En el siguiente apartado se va a describir cómo se ha realizado el ensamblaje de todas las piezas que se han ido modelando para finalmente obtener el conjunto deseado. Una vez se tuvo la suspensión ensamblada, se pasó a realizar la simulación dinámica y el estudio de elementos finitos (esto se verá en el próximo capítulo). Por lo tanto, se debe realizar correctamente ya que sino el estudio de las fuerzas y el comportamiento real no será el adecuado.

Para empezar a ensamblar se siguieron estos pasos: se creó un nuevo ensamblaje (Normal.iam) y una vez abierto, se fue insertando pieza a pieza mediante la herramienta Insertar de la pestaña Ensamblar, del panel Componente. La primera que se insertó debía ser una pieza clave, como lo es el Cuerpo, por lo tanto se centró en el eje de coordenadas y se hizo fija para que a partir de ahí se fuesen insertando las demás. En nuestro caso, antes de ensamblar toda la suspensión en un mismo archivo, se hizo en dos partes para que resultase un poco más cómodo. La que se realizó a parte fue el eje.

En primer lugar se hicieron visibles los 3 planos (XY, XZ, YZ) para tener controlado el origen de coordenadas. Hecho esto se insertó el eje dentro del archivo de ensamblaje. Mediante la herramienta Restringir del panel Relaciones en la pestaña Ensamblar, se fijó el eje al origen de coordenadas. Además, mediante el botón derecho del ratón se le dio la característica de que fuese fijo (esto no es necesario ya que al estar restringido por los tres planos, no afectará).

En segundo lugar se insertó la pieza Conjunto del eje, y se restringió en tres pasos desde la herramienta Restringir. Primeramente se le dio coincidencia del eje del mismo eje, (valga la redundancia) con el eje imaginario que atraviesa a la pieza de revolución, de modo que podía trasladarse a través de él. La segunda restricción fue la de coincidencia de una de las caras planas del eje, (plano XZ) con la cara plana del conjunto que se sitúa dentro de su agujero. Así

que una vez colocado el conjunto en el eje el único movimiento que tenía era girar sobre sí misma, y esto se evitó mediante la restricción de ángulo. Se eligió el plano YZ y se hizo una restricción de 0 grados con el mismo plano del eje, de modo que la figura quedó totalmente restringida (ver Figura 29).



**Figura 29. Eje y su conjunto ensamblados**

Para el ensamblaje del eje no nos ha hecho falta, pero una gran recomendación para ensamblajes donde haya muchas piezas en él es que las restricciones de coincidencia entre planos, se hagan entre piezas que estén en contacto ya que de no ser así, en la simulación dinámica se crearán uniones por defecto que no serán correctas y tendremos que borrarlas y crearlas de nuevo. Es un trabajo costoso y puedo contar de primera mano ya que me sucedió eso y pude arreglarlo siguiendo la recomendación anterior que me aportó el tutor.

La primera pieza que se insertó y la cuál fue referente de las demás fue el Cuerpo. Pero antes de ello creamos un nuevo ensamblaje y mostramos los 3 planos. Como se ha explicado antes, mediante la herramienta Restricción, se fijó la pieza mencionada al origen de coordenadas. Hecho esto, se le dio al botón derecho pulsando a la pieza y se le aplicó la condición de fijo.

La siguiente pieza a insertar fue el Depósito, por ser una de las más grandes, y porque se deseaba tener completa la parte superior de la suspensión. La primera restricción que se le impuso fue la de coincidencia de la parte superior del Cuerpo (la que no tiene agujero) con la cara plana donde ya se había dejado un hueco a propósito para que éste lo ocupase (ver Figura 30). La segunda restricción fue la de coincidencia del eje del Cuerpo con el eje Y del Depósito y finalmente, restringimos a 180 grados el plano XY de una pieza con la otra, aunque restringiendo a cualquier ángulo también hubiese valido, solo que se hizo para una mejor visualización del conjunto.



**Figura 30. Coincidencia entre caras planas**

En el agujero de la Cabeza superior faltaba un Casquillo, de modo que fue la siguiente pieza a insertar. Se restringió por coincidencia de eje del agujero de la cabeza y el eje Y del Casquillo. Por coincidencia de caras en el plano XY y aplicándole un ángulo de 0 grados entre el plano XY del Casquillo con el plano YZ del Depósito. Esta parte será una de las dos que esté en contacto con la unión de la suspensión al cuadro de la bicicleta de montaña.

La última pieza para tener la zona superior completa era el Soporte superior, y es uno de los dos apoyos del resorte. En nuestro caso se optó por situarla en la parte más alta del Cuerpo, pero en el caso real podemos variar esta altura según se desee tener el muelle más o menos comprimido. Una vez insertada la primera restricción fue la coincidencia del eje del Cuerpo con el eje Y del soporte. La segunda fue la coincidencia entre la cara plana del soporte con la cara plana que quedaba libre en el Depósito (ver Figura 31). Por último, la restricción de ángulo que se le impuso a la pieza fue el del plano YZ del soporte con el mismo plano del Cuerpo.



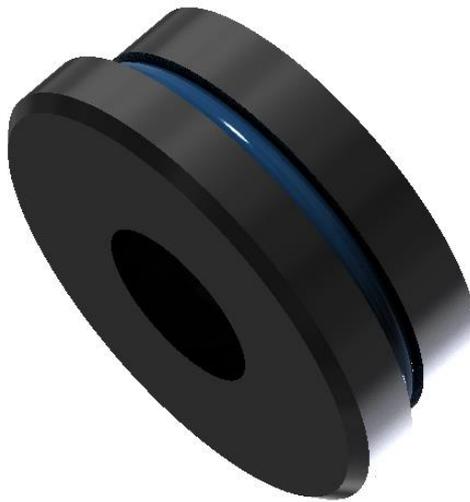
**Figura 31. Coincidencia entre caras planas**

De modo que sólo falta describir el proceso de ensamblaje de la parte inferior, que tiene mayor complejidad por estar formada por un mayor número de piezas, aunque básicamente el proceso es bastante repetitivo en todos los casos.

El siguiente paso fue insertar dos piezas más, y fueron dos y no una por el siguiente motivo, y es que por cuestión de comodidad y visualización se hizo de ese modo (se podía haber hecho

como con en el caso del eje, creando un ensamblaje nuevo). Estas dos piezas fueron el Cuerpo inferior y la Junta tórica y, empezaron restringiéndose entre ellas (será la tapa del Cuerpo) para posteriormente restringirse al Cuerpo.

En primer lugar, se aplicó coincidencia de ejes entre el Cuerpo y la junta, y fue el eje X de la junta con el eje Y del Cuerpo. La segunda restricción fue de coincidencia de planos, concretamente el plano YZ de la junta con el plano XZ del Cuerpo. Este caso tiene una particularidad y es que como la junta no tiene ninguna cara plana, se creó un plano de trabajo paralelo al plano YZ a una distancia de 1,325 mm de este, de modo que fuese tangente a la pieza. Mediante este plano se aplicó coincidencia con la ranura del Cuerpo inferior y se le aplicó a una distancia de 0,195 mm para que la junta quedase justo en el centro (ver Figura 32). La tercera restricción fue para que la junta no girase sobre sí misma de modo que se le atribuyó un ángulo de 0 grados entre su plano XZ con el plano YZ del Cuerpo.



**Figura 32. Ensamblaje entre el Cuerpo inferior y la Junta tórica**

Una vez ensamblados el Cuerpo inferior y la Junta tórica, se pasó a ensamblar el conjunto de estos dos al Cuerpo. Para ello se aplicaron las restricciones que veníamos usando anteriormente. En primer lugar la de coincidencia de caras planas, (plano XZ) en segundo lugar la coincidencia de ejes, (eje Y) y finalmente al estar en contacto con el Cuerpo para que la tapa no gire, la restricción de ángulo entre los planos YZ de las piezas (ver Figura 33).



**Figura 33. Media vista seccionada del conjunto con el Cuerpo**

La siguiente pieza que se añadió al conjunto fue el eje, elemento clave para el desarrollo de la suspensión de la bicicleta. Como se ha dicho anteriormente, éste iba ensamblado con su conjunto y, la ventaja de Inventor y de los ensamblajes es que aparte de piezas, también se pueden añadir otros ensamblajes.

De modo que una vez añadido se le aplicaron las respectivas restricciones. En este caso no sólo fueron tres como en anteriores piezas sino que esta vez fueron cinco y se van a explicar a continuación. La primera restricción fue la de coincidencia de eje con el Cuerpo, las dos restricciones siguientes fueron para limitar el movimiento del eje a través del Cuerpo y fue asignándole una coincidencia a la cara superior del Conjunto del eje, con la cara superior de la cámara de dentro del Cuerpo, dándole un valor mínimo de 0 mm para que no traspasase el Cuerpo. La otra fue en la parte inferior del Conjunto del eje con la cara superior del Cuerpo inferior dándole un mínimo de 0 mm por la misma razón anterior. La cuarta restricción fue darle un valor de 0 grados entre el plano XY del Cuerpo y el plano YZ del eje.

La quinta y que se ha dejado la última, forma parte de una restricción con una pieza que todavía no se ha insertado y es la Cabeza inferior (ver Figura 34). Fue una restricción simple, una coincidencia entre la cara inferior plana del eje con la cara plana en el pequeño hueco que se dejó en la cabeza para que se insertase el eje. Así que una vez insertada esta pieza y ya restringida por una parte, sólo faltó por asignarle otras dos. La segunda fue la coincidencia de ejes de revolución de ambas piezas y la última, la restricción de ángulo entre el plano YZ del eje con el plano XY de la Cabeza inferior, de tal forma que quedase el agujero para el Tornillo en la parte donde está situado el compartimento del Depósito. En nuestro caso se dio un valor de 180 grados.



**Figura 34. Ensamblaje entre el Eje y la Cabeza inferior**

La siguiente pieza que se insertó fue el otro Casquillo. Para ensamblarlo a la Cabeza inferior se le aplicó coincidencia de su eje Y con el eje del agujero, (eje Z) otra coincidencia entre cualquiera de las dos caras planas pertenecientes al plano XY de la cabeza y cualquiera de las dos caras planas del Casquillo y finalmente, una restricción de ángulo de 0 grados entre los planos YZ de ambas piezas.

El Tornillo el cuál en la realidad regula el ajuste del rebote en la suspensión, fue el siguiente en insertarse al ensamblaje. Éste está situado en el agujero que se realizó en el modelado de la Cabeza inferior. Para colocarlo en su sitio, se usó la restricción de coincidencia de eje de rotación del Tornillo (eje Y) con el eje del agujero de la cabeza. Al ser una simplificación del modelo real, la pieza no hará su función de regulación de modo que se restringieron totalmente sus movimientos. La segunda restricción fue la de coincidencia de las caras planas al fondo del agujero de la cabeza, (plano YZ) con la del final de la rosca. Y finalmente para que éste no girase, se le dio un valor de 0 grados entre el plano YZ del Tornillo y el plano XY de la Cabeza inferior.

El Soporte inferior fue la siguiente pieza a insertar. La primera restricción fue la de coincidencia de caras planas (plano XZ) entre éste y la Cabeza inferior. La segunda fue la coincidencia de ejes de revolución, de modo que el soporte se colocó en la pequeña extrusión que se hizo en el modelado de la cabeza. Por último, faltó restringir la pieza para que no girase, y se hizo de tal manera que la ranura que se le hizo al soporte quedase al costado contrario en el que estaba el Tornillo. Se hizo entre el plano YZ del Soporte inferior y el plano XY de la Cabeza inferior, con un valor de 0 grados entre estos.

La última pieza que quedaba por añadir en la parte de la Cabeza inferior fue el Parachoques (ver Figura 35). Una vez se insertó, se le impusieron las restricciones correspondientes las cuales fueron una coincidencia en el eje de revolución (eje Z) con la cabeza, otra coincidencia de caras planas entre la cara inferior del Parachoques con la cara superior del Soporte inferior y por último, una restricción de 0 grados entre los planos YZ del Parachoques y el eje.



Figura 35. Ensamblaje completo de la parte inferior de la suspensión

Para acabar de ensamblar la suspensión, se insertó el Tope. Éste iba situado justo debajo del Cuerpo y rodeando al eje. La primera restricción que se le impuso fue la coincidencia de eje de revolución con el eje de revolución del eje (eje Y). La segunda fue la coincidencia de una de las dos caras planas de la pieza con la cara inferior del Cuerpo y por último, una restricción de ángulo de 0 grados entre el plano YZ del Tope con el plano XY del eje.

Como se comentó en el anterior apartado, el resorte no se ensambló ya que se añadió como una unión de fuerza en la simulación dinámica. En la siguiente figura, podemos ver una comparativa entre el diseño hecho por Autodesk Inventor (con el resorte incluido) y el modelo real (ver Figura 36).



Diseño Autodesk Inventor

Modelo real

Figura 36. Comparativa entre ambas suspensiones. Fuente: RockShox

## **CAPÍTULO 3. SIMULACIÓN DINÁMICA DE LA SUSPENSIÓN CON AUTODESK INVENTOR PROFESSIONAL 2014**

### **3.1. SIMULACIÓN DINÁMICA**

Como brevemente se ha comentado ya en el capítulo anterior, la simulación dinámica permite dar a nuestro diseño 3D un sentido más realista ya que, después del modelado de piezas, se le añadieron materiales reales a las piezas correspondientes y se crearon uniones para permitir el movimiento relativo entre los distintos componentes. Esta tecnología ha permitido a las empresas dedicadas al diseño de productos (que dependan de fuerzas aplicadas y movimientos) a mejorar, ya que sin tener físicamente el modelo podrán analizar y estudiar el comportamiento que tendrá su artículo tras aplicarle diferentes parámetros.

Hay una gran variedad de programas en los que se hacen posibles estos estudios como son el Ansys (visto en la asignatura de Métodos Matemáticos en 2º GITI) o el ADAMS entre otros. Pagar la licencia de cada uno no resulta nada económico y es que tienen tal cantidad de algoritmos complejos con la finalidad de acercar nuestro diseño a la realidad, que hace aumentar su valor, y cuanto más se acerque la simulación a un modelo real, más caro resultará. Aun así, para este trabajo se ha usado el software Autodesk Inventor Professional 2014 y su herramienta llamada simulación dinámica.

Una vez se tuvo la suspensión bien ensamblada se pasó a realizar la simulación dinámica mediante el software mencionado. Nuestra atención se ha fijado en el movimiento del eje y el resorte (creado mediante una unión desde la herramienta) tras aplicarle una fuerza exterior a la Cabeza inferior en dirección paralela al eje. Se hicieron diversos ensayos con distintas fuerzas y formas de aplicarlas, con dos materiales distintos para el eje y distintos coeficientes de amortiguamiento del resorte para estudiar su comportamiento real en una hipotética situación.

Para seguir el ensayo de la simulación, en primer lugar se convirtieron automáticamente las uniones estándar y se iniciaron todas las posiciones a 0, en segundo lugar se crearon las restricciones de entorno, aplicando fuerzas exteriores y analizando los resultados mediante el gráfico de salida. Y por último, una vez comprobado qué parámetros se acercaban más a una suspensión real, se simularon y se anotaron. A modo de detalle se le asignó al Cuerpo un tono semitransparente (ver Figura 37) para que se pudiese ver el movimiento del eje durante la simulación.

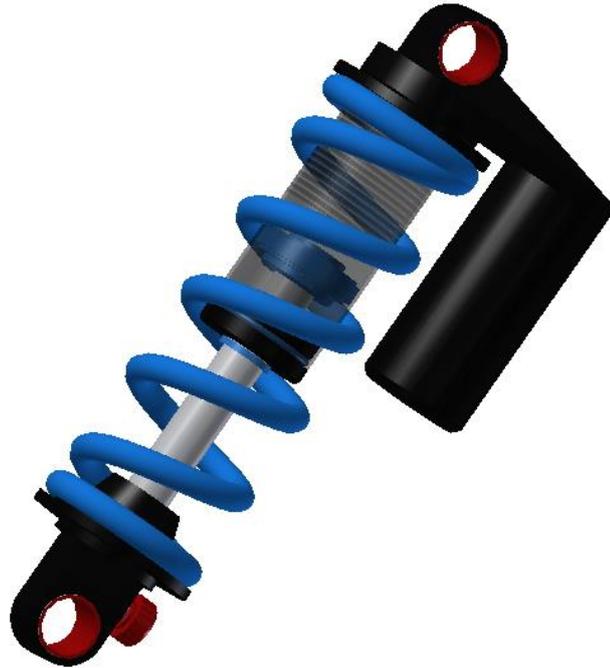


Figura 37. Vista de la suspensión desde la simulación dinámica

Antes de empezar se deben tener claros los tres parámetros que definirán nuestro resorte. Éste actuará según la ley definida por Newton, donde  $F$  es la fuerza que se aplica,  $K$  es la constante elástica, y  $X$  es la elongación del muelle.

$$F = K \cdot X \quad (1)$$

El primer parámetro a tener en cuenta fue la rigidez (o también llamada constante elástica). El valor de este parámetro lo encontramos en la web del fabricante y en nuestro caso fue de 350 libras para comprimir una pulgada, o lo que es lo mismo, 61.3 N/mm. Haciendo cálculos con el valor de la carrera (57mm), se supone que nuestro amortiguador soportaría un peso de unos 356 kg, lo que significa un valor bastante alto tratándose de un resorte para una bicicleta de montaña.

El segundo parámetro fue la longitud libre, que es la longitud del muelle cuando no se ejerce ninguna fuerza. En nuestro caso, en lugar de ser 149 mm, (lo que supondría que el muelle no tiene compresión alguna) fue de 139,805 mm. El motivo por el cual tomé este valor es lo que anteriormente se ha explicado como SAG. Las bicicletas de montaña de XC, Rally o Maratón suelen tener este valor, (10-20% SAG) y en nuestro caso se ha tomado un 16% aproximadamente. Se ha querido aproximar la simulación a partir de que el peso del ciclista influya, de modo que al estar montado en la bicicleta la longitud total del resorte se reduce unos 9 mm.

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

El último y tercer parámetro es el amortiguamiento del resorte. Sigue la siguiente ecuación, donde F es la fuerza, C es el amortiguamiento y V es la velocidad relativa entre ambos extremos del muelle.

$$F = C \cdot V \quad (2)$$

Mediante un número extenso de pruebas y ensayos para que el resorte tomase un comportamiento similar al real, se le asignó un valor de 0,003 Nmm/s.

En esta figura (ver Figura 38) podemos ver desde la ventana de Inventor los valores comentados anteriormente y además, las cotas y propiedades del resorte.

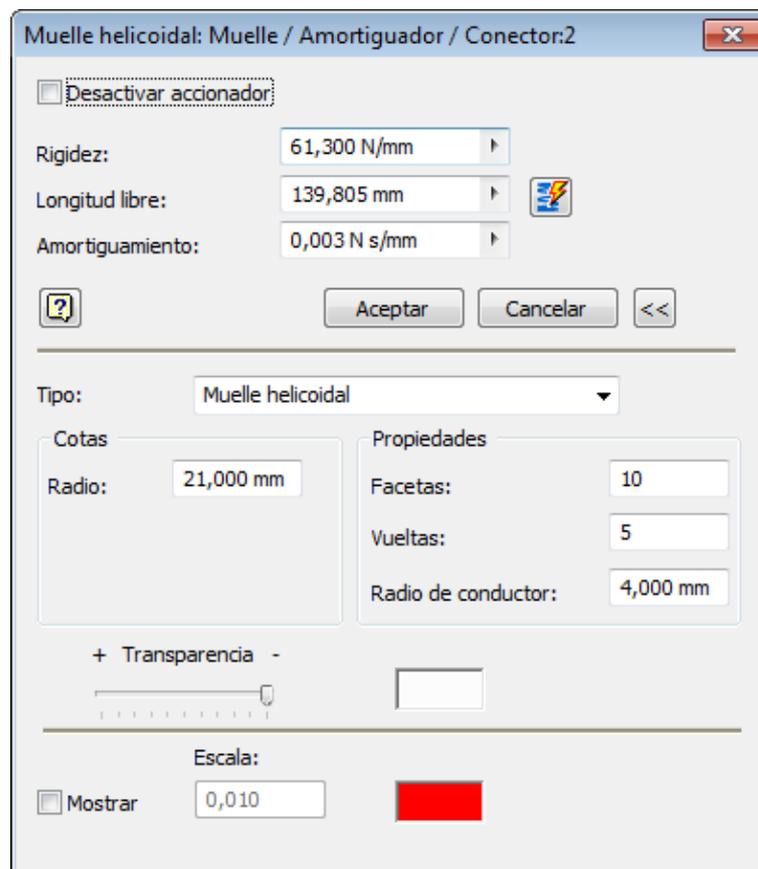


Figura 38. Parámetros, cotas y propiedades del muelle helicoidal

Para empezar la simulación, se abrió el archivo del ensamblaje de la suspensión, se fue a la pestaña Entornos, panel Iniciar y Simulación dinámica. Después se marcó la casilla para convertir automáticamente las restricciones en uniones estándar y se pulsó sobre el botón de colocar todas las posiciones a cero.

Cuando se entró en la herramienta de la simulación dinámica no se tenía un muelle en la suspensión, por lo que tuvimos que crearlo mediante la herramienta Insertar unión, Muelle helicoidal, y asignarle los parámetros mencionados antes.

Si todo se ha ensamblado bien, en teoría las uniones por defecto que nos da la herramienta serán las adecuadas, en nuestro caso ni se añadió ni se eliminó ninguna.

La parte fija está formada por el Cuerpo, el Depósito, el Casquillo de arriba, el Soporte superior, el Tope y un grupo soldado formado por el Cuerpo inferior y la Junta tórica.

Los grupos móviles son: el eje, el Parachoques y el grupo soldado formado por el Soporte inferior, el Casquillo de abajo, el Tornillo y la Cabeza inferior.

Las uniones estándar son: una unión prismática entre la parte fija y el eje, una unión de soldadura formada por el eje y su conjunto, una unión cilíndrica entre el Parachoques y el eje, una unión plana entre el Parachoques y el grupo soldado móvil y finalmente, una unión de soldadura formada por el grupo soldado móvil y el eje.

La unión prismática entre el eje y el grupo soldado móvil tiene unas propiedades y es que, para que el eje no se saliese del Cuerpo se le aplicaron dos límites. El límite mínimo con un valor de -70,5 mm y una rigidez de 4905 N/mm y un máximo de -13,5 mm con la misma rigidez anterior.

También se tiene la unión de fuerza formada por el resorte y las cargas externas, las cuales son la gravedad y una fuerza exterior que se añadirá desde el panel Carga y que explicaremos cómo se ha añadido en el próximo apartado.

### **3.2. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

En el anterior apartado se ha hablado de fuerzas pero no se ha dado un valor concreto para ellas, y es que se han hecho diversos ensayos con distintas formas de aplicarlas para ver si su comportamiento era el adecuado y si respondía de una manera similar a una suspensión real. Para realizar todas las simulaciones, el tiempo final se marcó en 5 segundos y el número de imágenes en 250.

En primer lugar se va a mostrar qué comportamiento tiene la suspensión otorgándole al eje un material de aluminio, (ver Figura 39) proporcionándole un valor de amortiguamiento de 0.0001 Nmm/s al resorte con una fuerza que empiece en rampa de 0 a 1 segundos hasta un valor de 3 veces el peso de un ciclista de 80 kilos, ésta se mantenga durante un segundo, y vuelva a 0 N en 0,05 segundos (instantáneo).

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

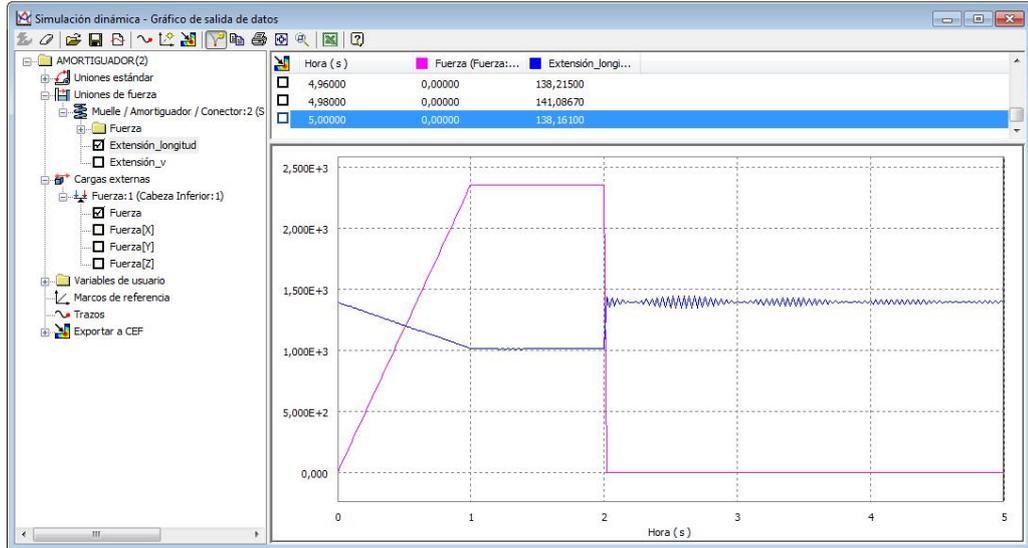


Figura 39. Amortiguamiento de 0.0001 Nmm/s para eje de Aluminio

Podemos observar como el coeficiente de amortiguamiento fue demasiado pequeño, las oscilaciones eran constantes y una vez se dejó de aplicar fuerza, nunca llegó a estabilizarse. Por lo tanto el valor proporcionado para el amortiguamiento no nos dio un modelo similar al real y tuvimos que aumentarlo.

En el siguiente ensayo, aumentamos el amortiguamiento unas 100 veces más, con el mismo valor de la fuerza y este fue el resultado (ver Figura 40).

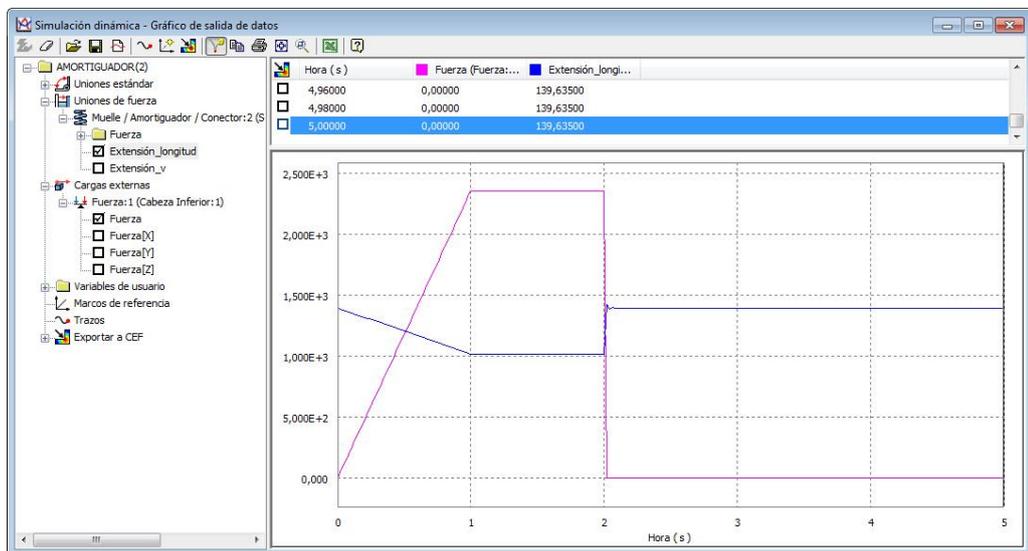


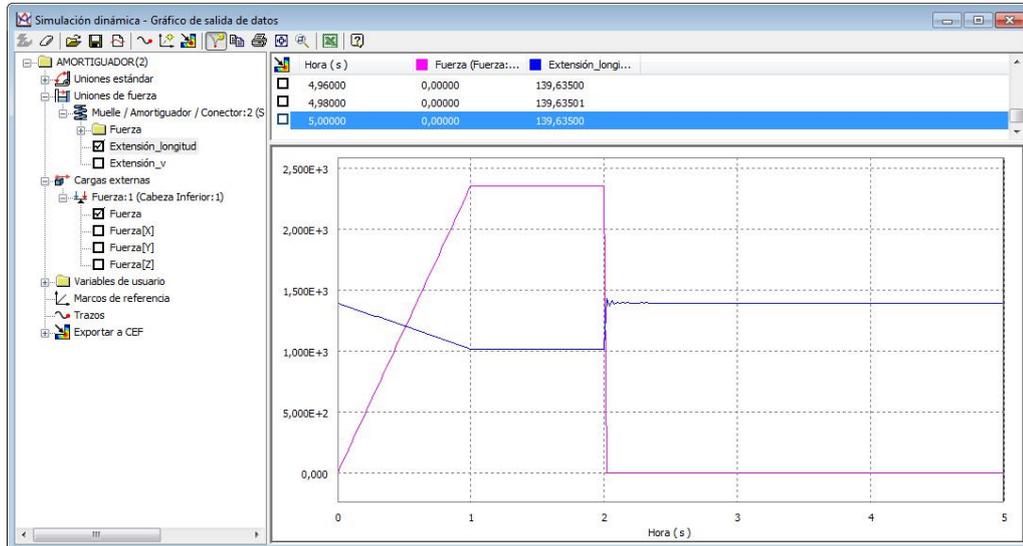
Figura 40. Amortiguamiento de 0.01 Nmm/s para eje de Aluminio

Este valor del amortiguamiento resultaría demasiado restrictivo. Como podemos observar en la gráfica, apenas sufrió una variación de la longitud y tardó unos 0,1 segundos en estabilizarse una vez finalizada la fuerza (un instante de tiempo demasiado pequeño). Ni siquiera en la vida

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

real existen suspensiones con un retorno a la posición inicial en tan poco tiempo, de modo que se redujo el valor de la amortiguación.

Veamos ahora cómo se comportó la suspensión tras aplicarle un valor de amortiguamiento de 0,003 Nmm/s (ver Figura 41).



**Figura 41. Amortiguamiento de 0.003 Nmm/s para eje de Aluminio**

Y tras este gráfico, comprobamos que tras aplicar el nuevo valor para el amortiguamiento, la suspensión adoptó un comportamiento bastante próximo a la realidad, aunque podemos observar que las oscilaciones no son senoidales y parecen mostrar un comportamiento demasiado brusco para nuestra suspensión. El motivo por el cuál elegir un valor de 0,003 Nmm/s y no de 0,001 Nmm/s fue personal. Se hicieron también pruebas con el segundo valor pero concluimos que el primero sacaba un valor más aproximado al comportamiento deseado.

Por último, se quiso hacer un ensayo con los parámetros elegidos, para una hipotética situación en la que la bicicleta tomase dos resaltos distintos en diferentes intervalos de tiempo y con una magnitud distinta, y este fue el resultado (ver Figura 42).

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

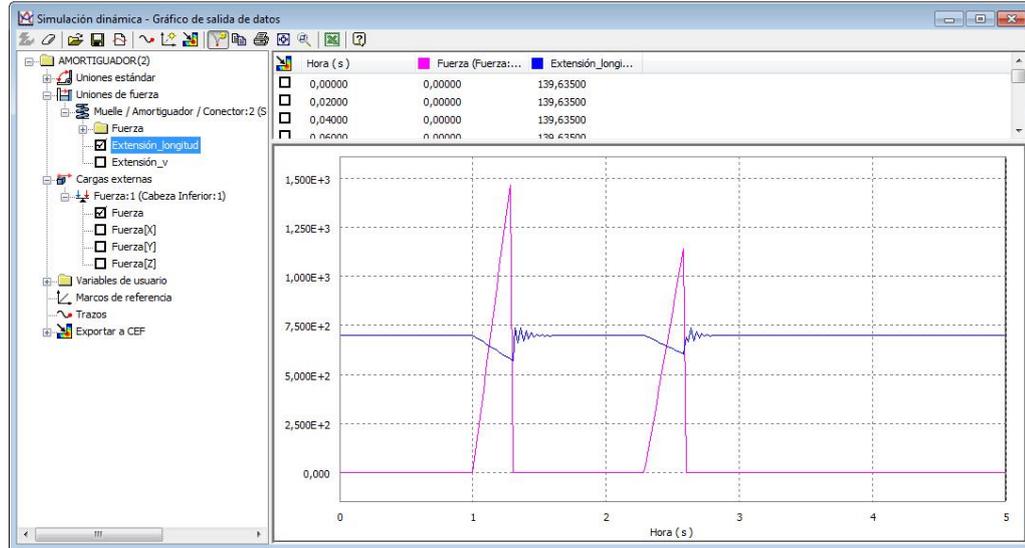


Figura 42. Comportamiento en un caso hipotético para eje de Aluminio

Donde podemos observar que tras dos fuerzas de valores considerablemente altos, (unas 2 veces el peso del ciclista) aplicadas en un intervalo de tiempo pequeño, la suspensión reacciona bastante bien ya que aun habiendo oscilaciones, vuelve a la posición inicial en un tiempo muy similar al que podía ser el real a pesar de los picos observados en la atenuación de la extensión del muelle.

Sin embargo, se quiso probar los ensayos anteriores con un material de acero inoxidable para el eje, ya sabiendo que es un material que soporta mejor las cargas. Para el ensayo que aumentamos la fuerza de 0 N a 2354.4 N en un segundo, se mantiene durante otro segundo y luego disminuye a 0 hasta acabar el tiempo total tuvimos esta gráfica (ver Figura 43).

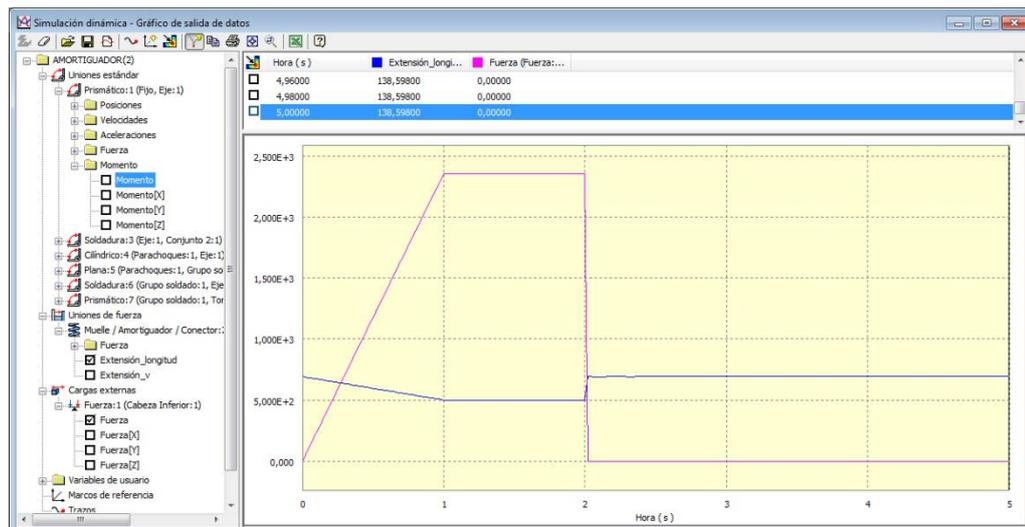


Figura 43. Amortiguamiento de 0.003 Nmm/s para eje de Acero inoxidable

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

Podemos observar cómo hay unas pequeñas oscilaciones después de la caída de fuerza durante unos 0.4 segundos. Esto indica que el cuadro de la bicicleta no sufrirá demasiado movimiento, y por tanto el ciclista, después de atravesar un terreno con una fuerza similar a la mostrada en el gráfico.

Además, para el caso hipotético que se estudió con el eje de aluminio, se realizó también para el eje de acero inoxidable y estos han sido los resultados (ver Figura 44).

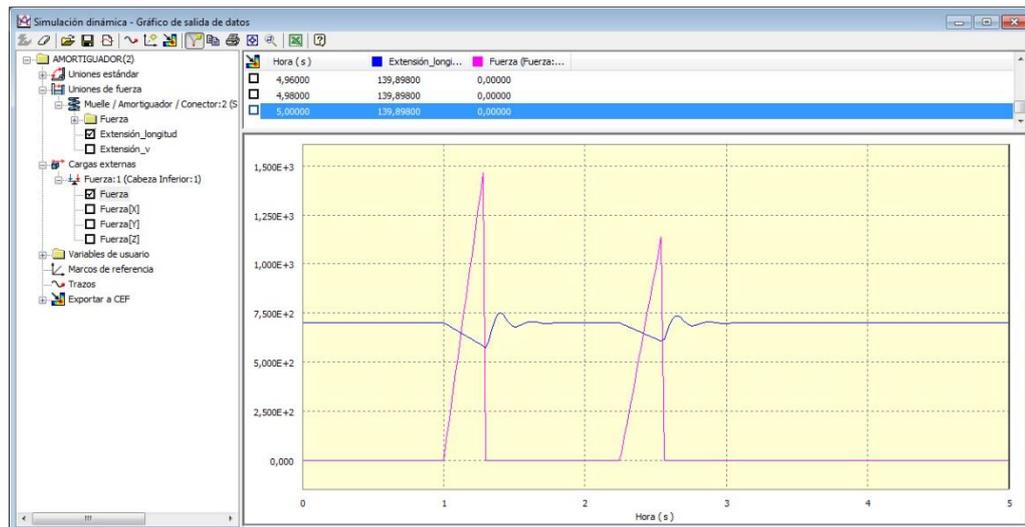


Figura 44. Comportamiento en un caso hipotético para eje de Acero inoxidable

Para este caso vemos como las oscilaciones son mayores que en el caso del eje de aluminio aunque podemos denotar unas cuantas diferencias. Las oscilaciones en este caso son senoidales y no con un comportamiento tan brusco como el primer caso, lo que demuestra un comportamiento más real. Además, hay únicamente dos ondas por cada vez que se le aplica una fuerza, lo que nos indica que vuelve rápidamente a su posición sin realizar movimientos excesivos.

## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS DE DISEÑO DE LA SUSPENSIÓN

### 4.1. ANÁLISIS MEDIANTE ELEMENTOS FINITOS

A partir de la herramienta que nos proporciona Inventor, se han analizado los valores de las tensiones provocadas en el eje mediante el método de elementos finitos. Así que de este modo se comprobó si las dimensiones que se le proporcionó a cada pieza de la suspensión fueron las adecuadas.

Se tuvo que exportar a CEF mediante el Gráfico de salida, en el cual se buscó en qué instante provocaba un momento mayor para ver las tensiones concentradas en el peor de los casos. La pieza que se seleccionó fue el eje, que es la pieza que estará en movimiento cada vez que se le aplique una fuerza y tuvimos que seleccionar en qué caras se situó cada unión (ver Figura 45).

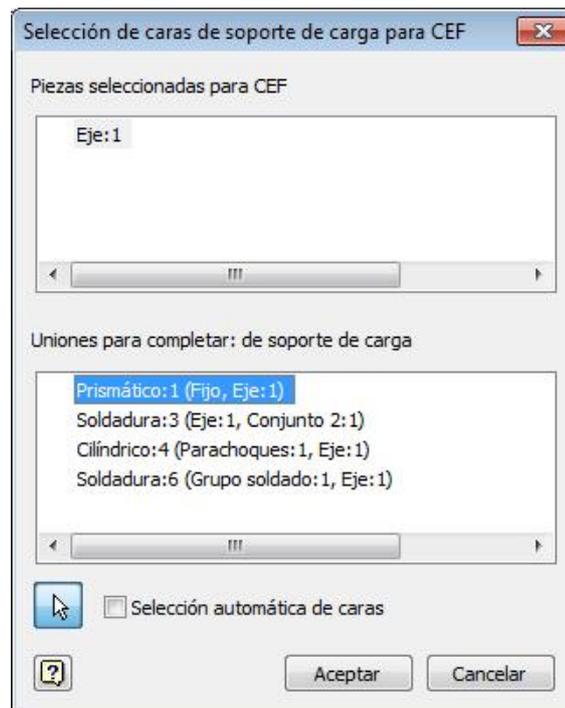


Figura 45. Selección de caras de soporte de carga

Finalmente, una vez resuelta la simulación, el programa generó unas tensiones equivalentes mediante el método de Von Mises, las cuales se compararon con el límite elástico del material elegido para el eje para así saber si podía soportar o no las fuerzas que se le aplicaron.

Se han hecho cuatro estudios para comparar cómo distaban las fuerzas de Von Mises tras realizar cada uno. Las fuerzas que se aplicaron fueron las vistas en las anteriores figuras 41, 42,

43 y 44. El momento máximo de la figura 41 al igual que en la figura 43, se situó en el instante  $t=2,02$  s mientras que el máximo en las figuras 42 y 44 fue en  $t=1,3$  s.

Empezando por las dos figuras que tenían el máximo en  $t=2,02$  s, el ensayo con el eje de aluminio dio un valor de la extensión del muelle de 143,425 mm, un valor del momento en la unión prismática de 189,674 Nmm y una fuerza de 0 N. En el segundo caso, (eje de acero inoxidable) dio un valor de la extensión del muelle de 140,3936 mm, un valor del momento en la unión prismática de 32,92334 Nmm y una fuerza de 0 N.

En los otros dos casos en que el máximo se situó en  $t=1,3$  s, resultó para el eje de aluminio que la extensión del muelle estuviese en 114,03508 mm, el momento en la unión prismática con un valor de 1233,04 Nmm y una fuerza de 0 N. En cambio, para el otro eje, la extensión del muelle fue de 113,567 mm, el valor del momento de 673.959 Nmm y una fuerza de 0 N.

### 4.2. EXTRACCIÓN DE RESULTADOS

Una vez seleccionados los tiempos en los que se iba a tratar el eje y se iban a analizar las tensiones, éstas se exportaron a CEF. Para ello se salió de la herramienta de simulación dinámica y se tuvo que entrar a la pestaña Entornos y Análisis de tensión. Una vez dentro de la herramienta, se fue al panel Administrar y Crear simulación, donde en la ventana se marcó que se deseaba detectar y eliminar los modos de cuerpo rígido, y un análisis de cargas en movimiento, donde se seleccionó el paso de tiempo correspondiente (dependiendo del estudio, 1,3 s o 2,02 s).

Hecho esto se fue al panel Resolver, y Simular. Se ha llamado Caso 1 al estudio de las fuerzas en la figura 41, Caso dos al de la figura 42, Caso 3 para la figura 43 y Caso 4 para la figura 44. Y estos han sido los resultados en nuestra suspensión (ver Figuras 46, 47, 48 y 49).

# DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

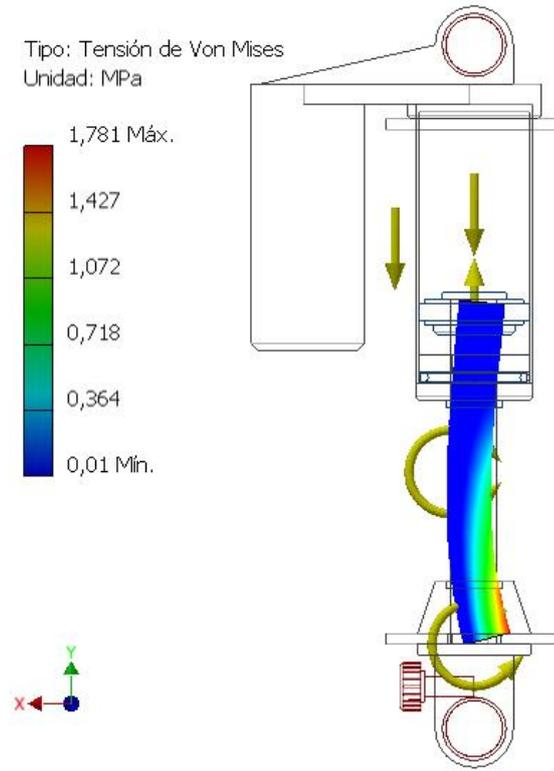


Figura 46. Análisis de tensión en el Caso 1

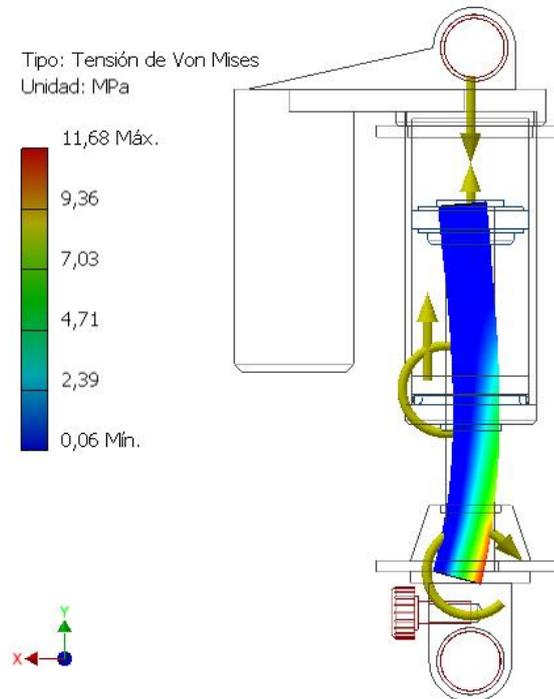


Figura 47. Análisis de tensión en el Caso 2

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

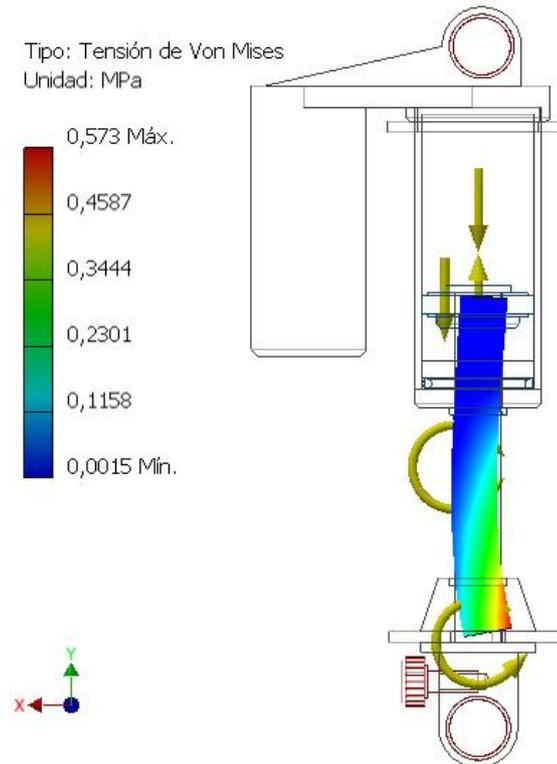


Figura 48. Análisis de tensión en el Caso 3

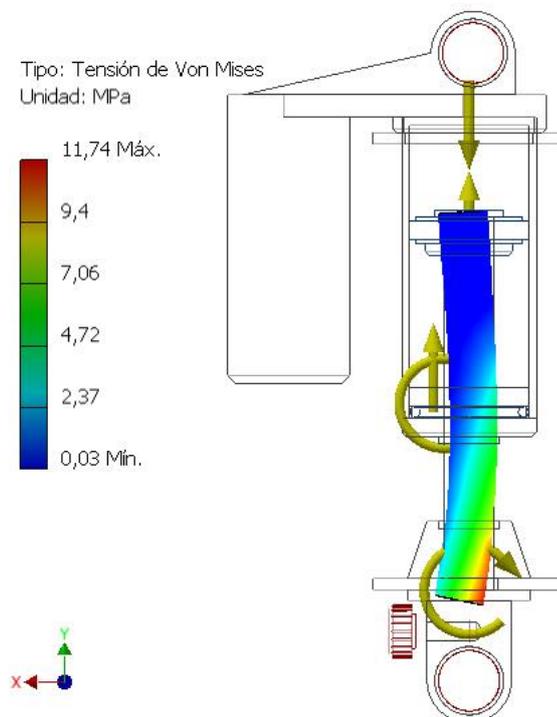


Figura 49. Análisis de tensión en el Caso 4

Tras la simulación realizada por la herramienta, podemos ver cómo rompería el eje en caso de hacerlo. Cabe hacer una alusión importante al modo en que podemos observar cómo están

doblados los ejes, y es que se trata de un caso exagerado con el objetivo de ver de qué modo rompería, aunque no comparezca al caso real.

Centrándonos en el caso de la figura 46, podemos observar que la fuerza aplicada en rampa, aún ser una cifra elevada, provocó un valor máximo en el eje de 1,781 MPa situado en extremo inferior derecho del eje. Comparado con el límite elástico del material nos indicó que en caso de deformar permanentemente, lo haría después de mucho tiempo ya que existe una gran diferencia entre ellos. Para el caso en que el eje fuese de acero inoxidable (figura 48) la máxima tensión de Von Mises será de 0.573 MPa, menos del doble que en el Caso 1.

En la figura 47, aun siendo fuerzas menores y aplicadas durante menos tiempo, provocaron en el eje una tensión máxima de 11,68 MPa (casi 10 veces mayor a la máxima vista precedentemente). Sin embargo, en el caso del eje de acero inoxidable nos salió una tensión máxima de 11,74 MPa, algo superior al Caso 2 aunque bastante similares.

En todos los casos se puede observar como la parte crítica fue la parte inferior del eje, y su explicación viene a que las fuerzas aplicadas fueron en la parte inferior y no en los dos lados. Las formas que adoptaron los ejes en las figuras fueron distintas y, aunque al principio se creía que podría ser por la menor sección en el acabado del muelle, no fue así, y es que tras la aplicación de algoritmos el software lo calculó de ese modo.

### 4.3. CONCLUSIONES

En primer lugar, se han cumplido todos los objetivos concretos del proyecto, los cuales eran modelar todos los componentes de la suspensión, montarlos, y realizar ensayos de fuerza para posteriormente estudiarlos mediante un análisis de tensiones. Y aunque haya supuesto bastante tiempo empleado para todo ello, las sensaciones han sido muy positivas tras ver la semejanza con el modelo real.

Tras los estudios de la simulación dinámica y su posterior visualización en los gráficos de salida, nos han proporcionado una visión positiva de que nuestra suspensión posee un carácter aproximado al real ya que, tras aplicarle fuerzas de un valor considerablemente alto y de distintas maneras, respondió notablemente estabilizándose en tiempos reales.

Además, los ensayos se realizaron para dos materiales distintos del eje (aplicando conocimientos de la asignatura de Tecnología de Materiales) y una conclusión personal que podemos tomar es que el fabricante podía haber usado un acero inoxidable si hubiese querido soportar unas cargas mayores, aunque el aluminio soporta cargas lo suficientemente elevadas para el trabajo que desempeñará con la ventaja de ser mucho más ligero (concretamente un tercio del peso del acero) y tener un coste más reducido.

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

También cabe decir que este trabajo ha consistido en una simplificación y podría mejorarse teniéndose en cuenta el efecto del fluido aceite en el comportamiento de la suspensión, aunque esto implicaría el uso de otro software, lo que queda fuera del ámbito de este TFG y pudiendo plantearse como Trabajo Fin de Máster.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] *Unos años atrás en la bici de montaña 1993-1998*. [Fecha de consulta: 9 de marzo de 2015]. Disponible en <<http://www.escuderos4x4.com/HISTORIA%20DE%20LA%20BICI.htm>>.
- [2] *Guía sobre muelles para amortiguadores de mountain bike*. [Fecha de consulta: 9 de marzo de 2015]. Disponible en <<http://www.mundobiker.es>>.
- [3] Estévez D. (2012). *PFC Modelado y simulación dinámica de bicicletas de montaña*. [Fecha de consulta: 24 de marzo de 2015].
- [4] Younis W. (2012). *Inventor y su simulación con ejemplos prácticos*. [Fecha de consulta: 12 de abril de 2015].
- [5] *El SAG de la suspensión. ¿Qué es y cómo ajustarlo correctamente?* [Fecha de consulta: 16 de abril de 2015]. Disponible en <<http://www.todomountainbike.es/art/el-sag-de-la-suspension-que-es-y-como-ajustarlo-correctamente>>.
- [6] Jerónimo Cycles, S.L. (2015). *¿Por qué en titanio?* [Fecha de consulta: 16 de abril de 2015]. Disponible en <<http://www.jeronimocycles.com/porque-en-titanio.html>>.
- [7] Wikipedia (2015). *Suspensión de bicicleta*. [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2015]. Disponible en <[https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n\\_de\\_bicicleta](https://es.wikipedia.org/wiki/Suspensi%C3%B3n_de_bicicleta)>.
- [8] Wikipedia (2015). *Bicicleta de montaña*. [Fecha de consulta: 3 de mayo de 2015]. Disponible en <[https://es.wikipedia.org/wiki/Bicicleta\\_de\\_monta%C3%B1a](https://es.wikipedia.org/wiki/Bicicleta_de_monta%C3%B1a)>.
- [9] Aleixos N. (2015). *Apuntes de generación de planos*. [Fecha de consulta: 19 de mayo de 2015].
- [10] Albert F. (2015). *Prácticas de Ingeniería Gráfica. Sesión 5. Planos*. [Fecha de consulta: 16 de junio de 2015].

# **DOCUMENTO 2.**

# **PRESUPUESTO**

# ÍNDICE DEL PRESUPUESTO

1.1.	PARTIDA 1: PROGRESO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO.....	63
1.2.	PARTIDA 2: HERRAMIENTAS Y MATERIALES EMPLEADOS .....	64
1.3.	PRESUPUESTO GENERAL .....	65

## **PRESUPUESTO**

### **1.1. PARTIDA 1: PROGRESO DEL TRABAJO FINAL DE GRADO**

Para poder llevar a cabo este Trabajo Final de Grado se han empleado 300 horas divididas en tres fases, las cuales se han separado según ha variado la dificultad, el número de horas dedicadas y el salario a recibir.

En primer lugar se consideraron las horas empleadas en el estudio, análisis y diseño de la suspensión trasera para una bicicleta de montaña. Se tuvo que investigar qué medidas deberían ser más adecuadas para fabricarla, examinar qué materiales eran los más apropiados para que el diseño funcionase con un mayor rendimiento, y trabajar con la simulación dinámica y hacer un posterior análisis de elementos finitos para conocer el comportamiento de la suspensión modelada en la vida real. Para ello se destinaron un total de 220 horas.

Al ser un trabajo principalmente de diseño, la tarifa tuvo un valor elevado (aun tratándose de una simplificación) aunque asumible por el cliente, y en este caso fue de 40€/hora.

El número total de horas dirigidas a la documentación y a la confección del presente TFG fue la segunda fase a tener en cuenta. Esta parte tuvo una ocupación total de 68 horas, a un precio de 26€/hora, ya que aun presentándolo de forma atractiva para el lector, no precisó de conocimientos técnicos.

La elaboración de planos ha sido la última fase en esta primera partida, y se aplicaron un total de 12 horas. Para esta parte era necesario poseer conocimientos previos, y contar si fuese posible, con la supervisión de una segunda persona para comprobar si el trabajo realizado fuese aceptable y en este caso, fueron los tutores quienes ayudaron a comprobarlo. Cualquier entendido en la materia los podría haber confeccionado a partir de las piezas ya modeladas, por ese motivo no se estimó la tarifa de la misma forma como la primera parte y finalmente se consideró un importe de 34€/hora.

Se ha confeccionado un presupuesto a partir de las partes mencionadas precedentemente, y se ha expuesto de una forma más visual para el lector a partir de una tabla hecha mediante Excel 2013 (ver Tabla 2).

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

**Tabla 2. Presupuesto de la partida 1**

Unidad	Descripción	Cantidad (ud)	Precio unitario (€/ud)	Subtotal
h	Estudio, análisis y diseño	220	40	8800 €
h	Documentación y confección del TFG	68	26	1768 €
h	Elaboración de planos	12	34	408 €
%	Costes indirectos	0,02	10976	219,52 €

TOTAL P1	11195,52 €
----------	------------

### 1.2. PARTIDA 2: HERRAMIENTAS Y MATERIALES EMPLEADOS

En esta partida se han definido los materiales y herramientas que han hecho posible la realización de este Trabajo Final de Grado.

En primer lugar, el coste de la licencia del software Autodesk AutoCAD 2014 supuso unos 5000€. Se amortizaría en unos 4 años, (ya que en más tiempo el programa quedaría obsoleto) y se ha usado para poder averiguar las medidas de cada pieza de la suspensión a partir de una imagen de un modelo real. Su uso fue de 80 horas aproximadamente y, suponiendo unas 8 horas de trabajo durante 5 días a la semana durante un año, la amortización sería de 7680 horas. No se pudo consultar el precio en la web de la versión mencionada, de modo que se puso el precio de la última (2016).

También se utilizó otro software de Autodesk, el Inventor Professional 2014. Adquirir la licencia de éste significó un desembolso de 8250€ y se amortizaría también en 4 años por los mismos motivos que se ha mencionado primeramente. Se aprovechó para el modelado de cada pieza de la suspensión, para el ensamblaje de éstas, y para el posterior estudio de simulación dinámica y análisis de elementos finitos. Su uso ha sido de unas 140 horas y su amortización es igual a la del anterior. Como en el caso anterior, tampoco se pudo consultar el precio de esta versión y se ha puesto el precio de la última (2016).

Para incluir algunas figuras en la memoria fue necesario el software Adobe Photoshop CC, el cual tuvo un coste de 236€. Su amortización es igual a las anteriores y su uso fue de aproximadamente 8 horas.

La licencia de Microsoft Office implicó un coste de 80€ y aproximadamente se amortizaría en un año. Se ha usado a lo largo de toda la redacción del TFG y ha supuesto unas 60 horas de trabajo con él.

## DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN PARA BICICLETA DE MONTAÑA

Todos estos programas hubiesen sido inútiles de no tener un ordenador portátil que los hiciese funcionar. En este caso funcionaron mediante un ordenador portátil Acer Aspire 5820T, con un precio (en su momento) de 500€. Su amortización se previó en 3 años.

Por último se ha incluido el material usado como apuntes, material para escribir y la impresión y encuadernación de este trabajo. El presupuesto total asciende a 80€.

Tal y como se ha hecho en el apartado anterior, se ha expuesto mediante una tabla (ver Tabla 3) el presupuesto de la Partida 2.

**Tabla 3. Presupuesto de la partida 2**

Unidad	Descripción	Amortización (ud)	Cantidad (ud)	Precio unitario (€/ud)	Subtotal
h	Autodesk AutoCAD 2014	7680	80	5000	52,08 €
h	Autodesk Inventor Professional 2014	7680	140	8250	150,39 €
h	Adobe Photoshop CC	7680	8	236	0,25 €
h	Microsoft Office 2013	1920	60	80	2,50 €
h	Acer Aspire 5820T	5760	300	500	26,04 €
	Material de oficina y reprografía		1	80	80 €
%	Costes indirectos		0,02	311,26	6,23 €

<b>TOTAL P2</b>	<b>317,49 €</b>
-----------------	-----------------

### 1.3. PRESUPUESTO GENERAL

No se ha tenido en cuenta el impuesto sobre el valor añadido en ninguna de las dos partidas anteriores por lo que en la siguiente tabla, (ver Tabla 4) se ha mostrado el presupuesto final con él incluido.

**Tabla 4. Presupuesto general**

TOTAL P1	11195,52 €
TOTAL P2	317,49 €
TOTAL SIN IVA	11513,01 €
IVA	21%
<b>COSTE TOTAL TFG</b>	<b>13930,74 €</b>

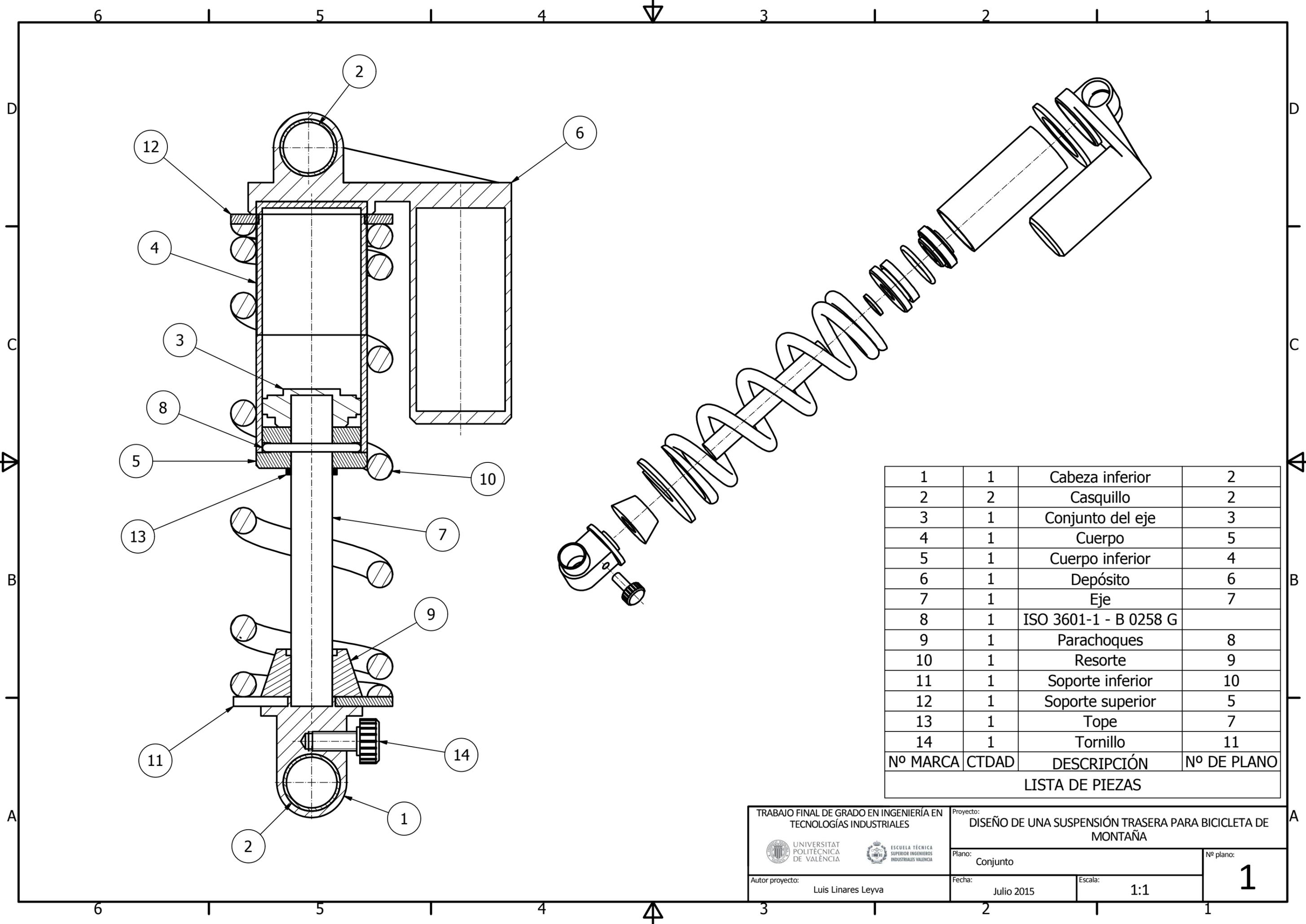
El coste total asciende a: TRECE MIL NOVECIENTOS TREINTA EUROS CON 74 CÉNTIMOS.

# **DOCUMENTO 3.**

## **PLANOS**

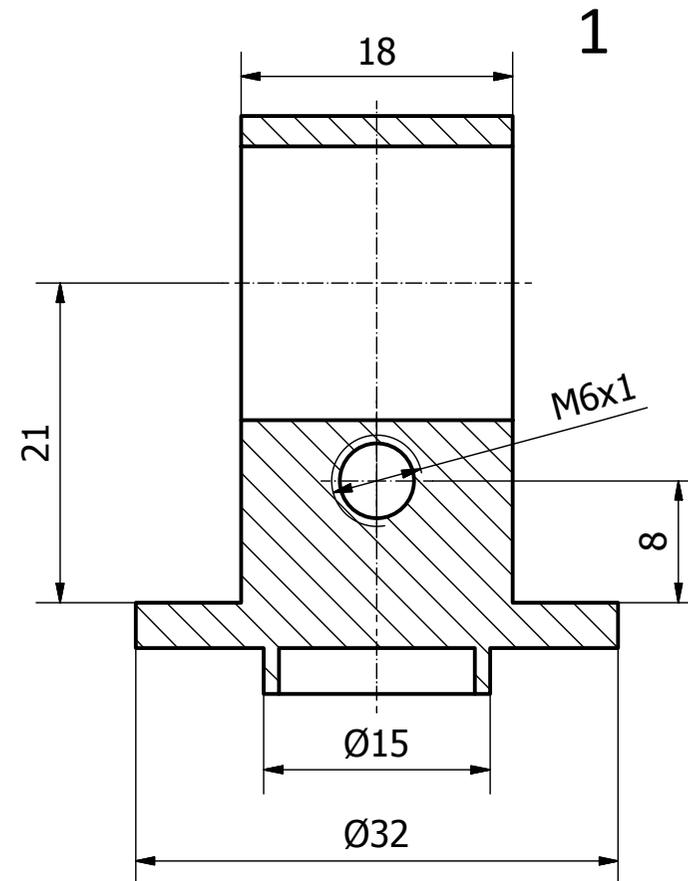
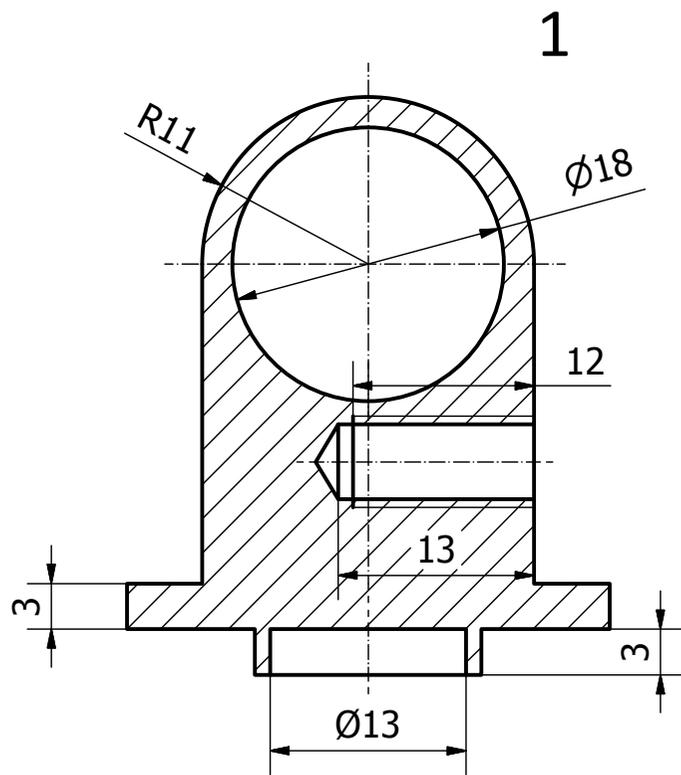
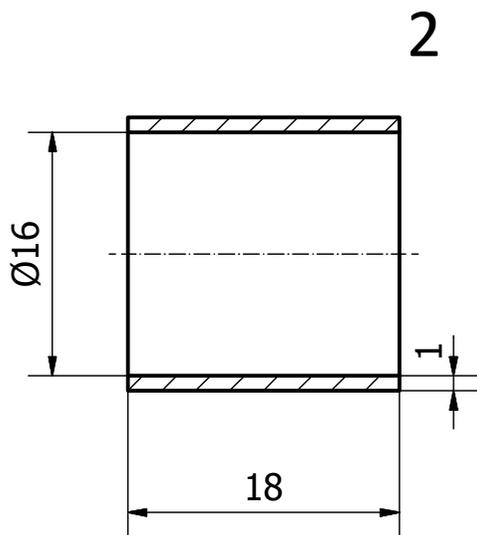
# ÍNDICE DE PLANOS

1.	Conjunto .....	1
2.	Cabeza inferior + Casquillo .....	2
3.	Conjunto del eje .....	3
4.	Cuerpo inferior .....	4
5.	Cuerpo + Soporte superior .....	5
6.	Depósito .....	6
7.	Eje + Tope .....	7
8.	Parachoques .....	8
9.	Resorte .....	9
10.	Soporte inferior .....	10
11.	Tornillo.....	11



1	1	Cabeza inferior	2
2	2	Casquillo	2
3	1	Conjunto del eje	3
4	1	Cuerpo	5
5	1	Cuerpo inferior	4
6	1	Depósito	6
7	1	Eje	7
8	1	ISO 3601-1 - B 0258 G	
9	1	Parachoques	8
10	1	Resorte	9
11	1	Soporte inferior	10
12	1	Soporte superior	5
13	1	Tope	7
14	1	Tornillo	11
Nº MARCA	CTDAD	DESCRIPCIÓN	Nº DE PLANO
LISTA DE PIEZAS			

TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Proyecto: DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE MONTAÑA	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Autor proyecto: Luis Linares Leyva		Plano: Conjunto	Nº plano: <b>1</b>
		Fecha: Julio 2015	Escala: 1:1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALÈNCIA

Autor proyecto:  
Luis Linares Leyva

Proyecto:  
DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE  
MONTAÑA

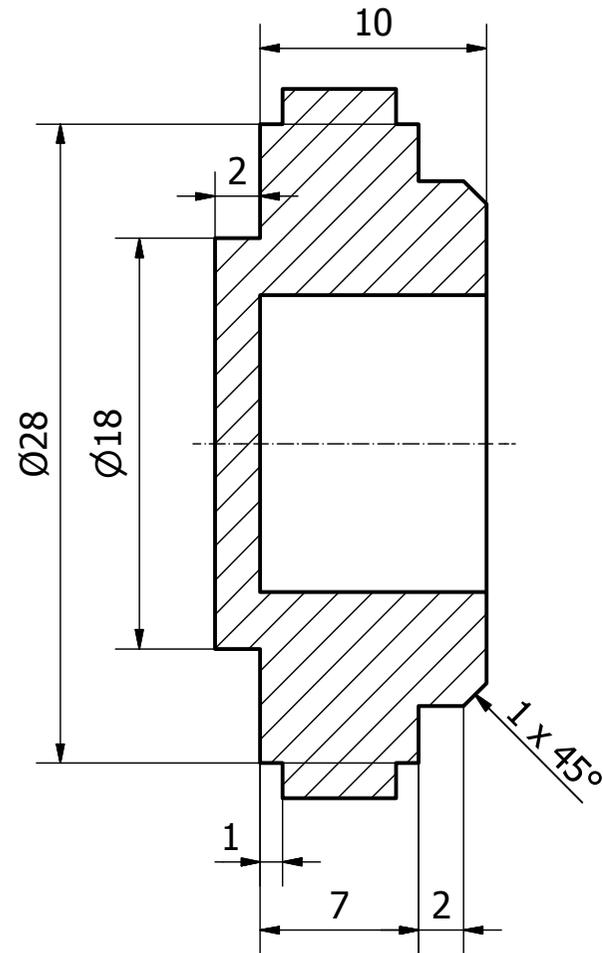
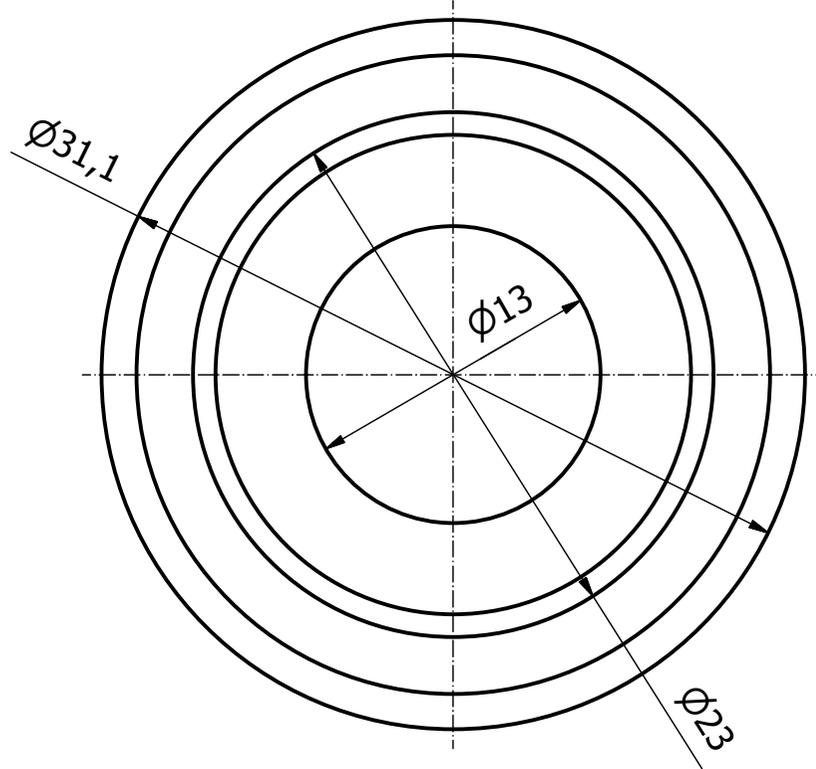
Plano:  
Cabeza inferior + Casquillo

Nº plano:

2

Fecha:  
Julio 2015

Escala:  
2:1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALÈNCIA

Proyecto:

DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE  
MONTAÑA

Plano:

Conjunto del eje

Nº plano:

3

Autor proyecto:

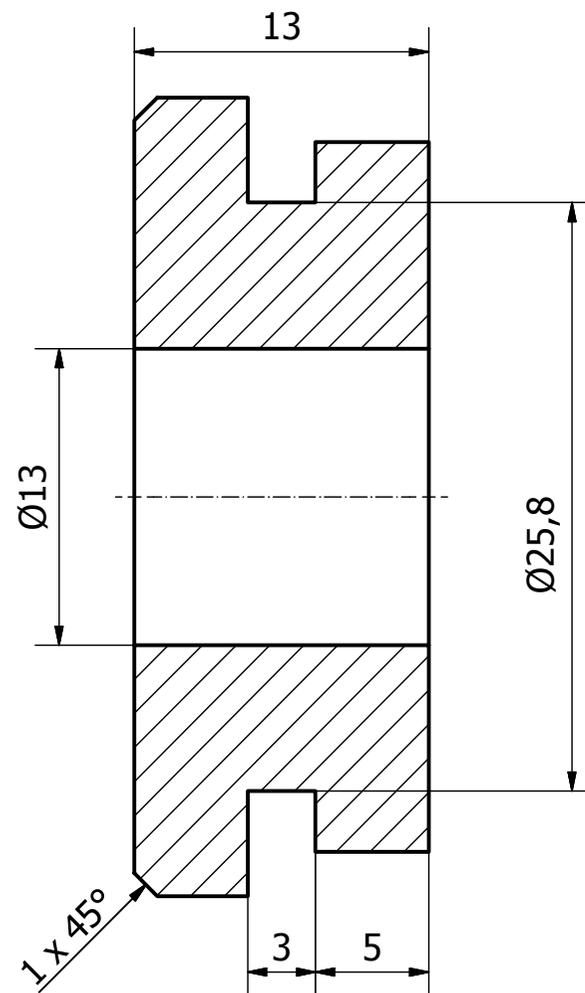
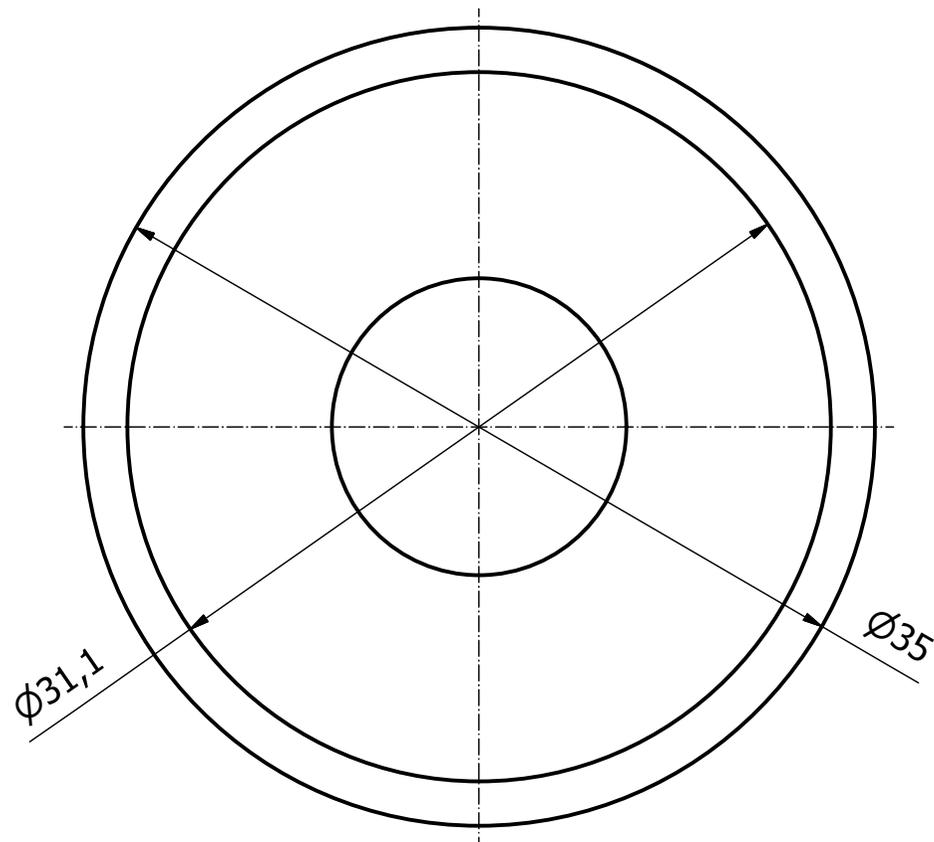
Luis Linares Leyva

Fecha:

Julio 2015

Escala:

3:1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT  
POLITÀCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE  
MONTAÑA

Plano:

Cuerpo inferior

Nº plano:

4

Autor proyecto:

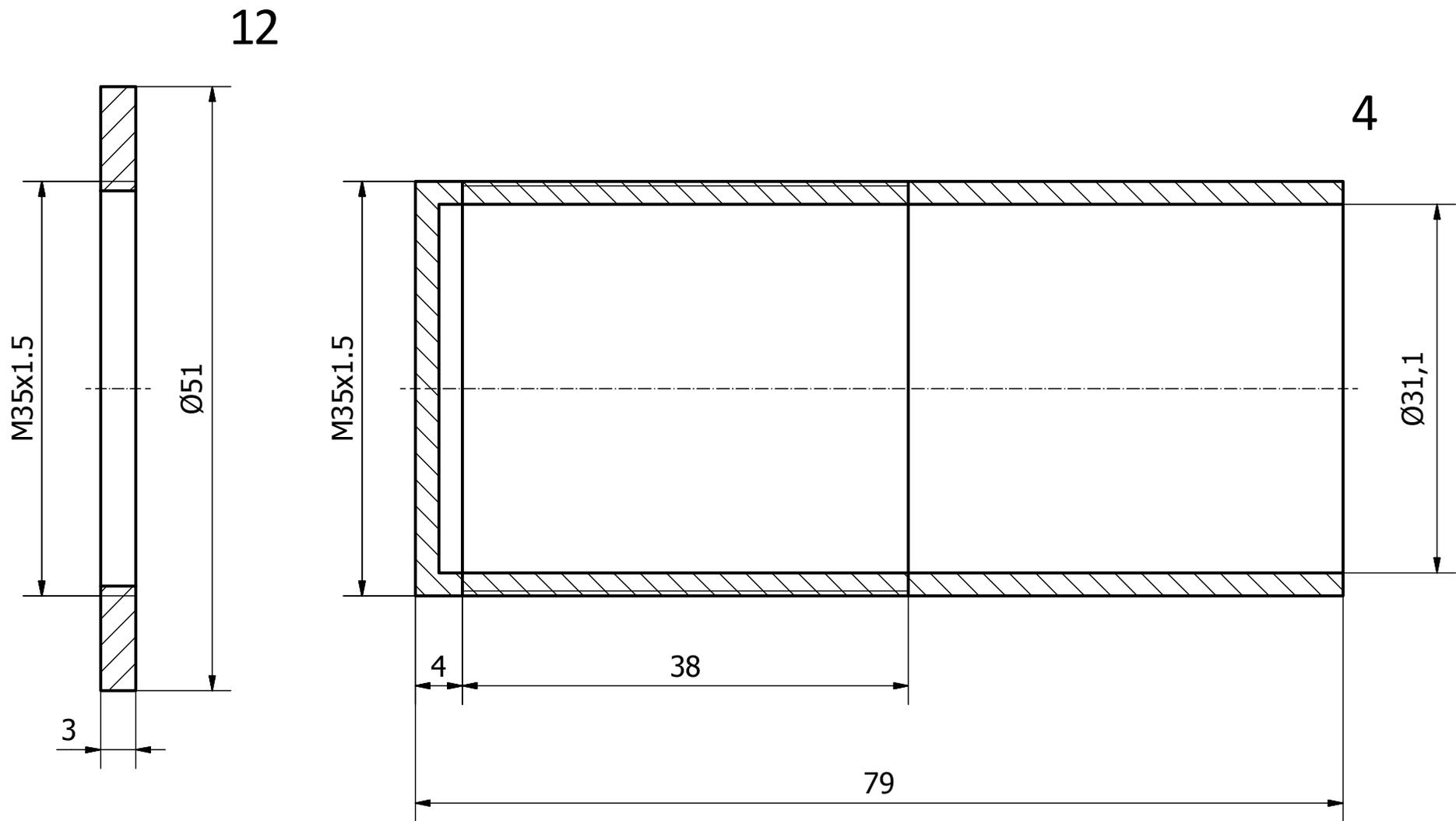
Luis Linares Leyva

Fecha:

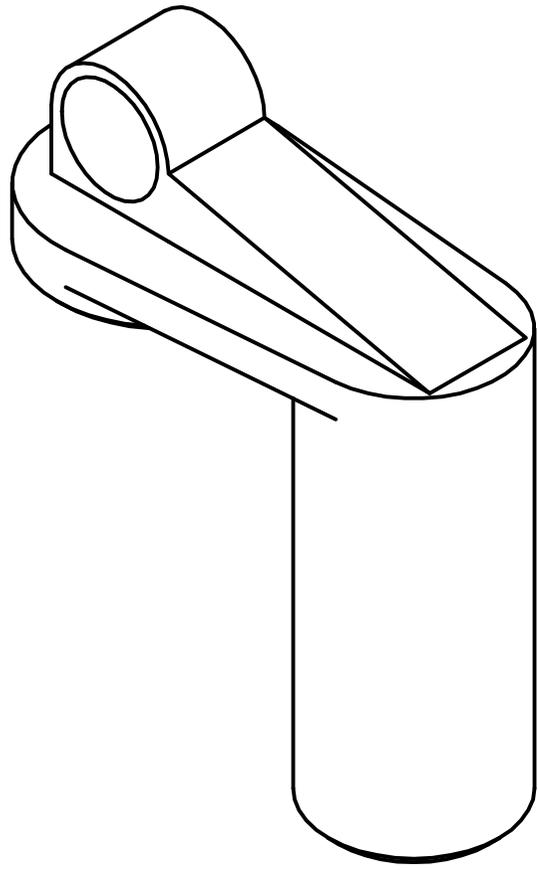
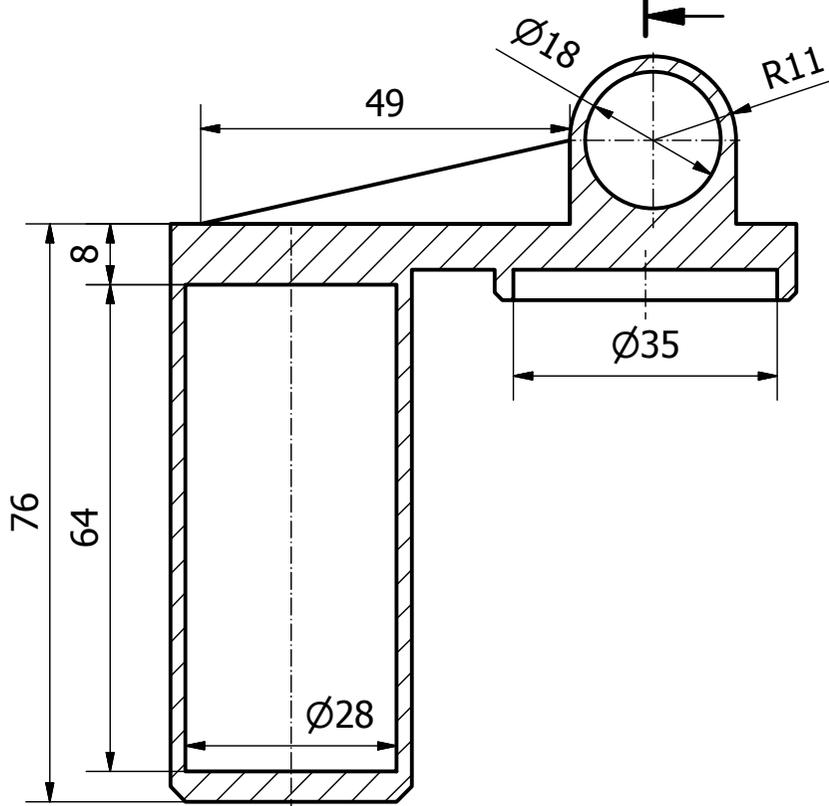
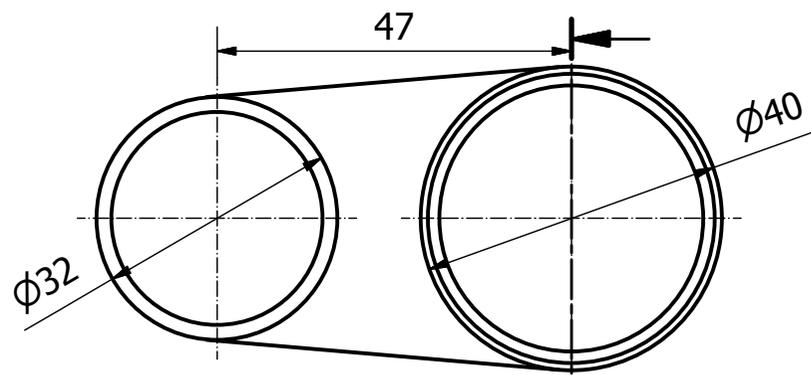
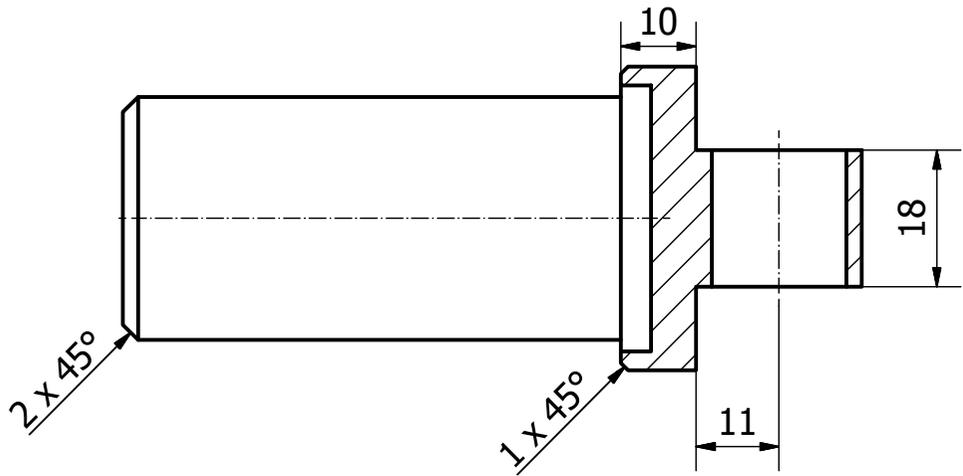
Julio 2015

Escala:

3:1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE          MONTAÑA</b>	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALÈNCIA	
Autor proyecto: Luis Linares Leyva		Plano: Cuerpo + Soporte superior	Nº plano: <b>5</b>
		Fecha: Julio 2015	Escala: 2:1



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



Autor proyecto:  
Luis Linares Leyva

Proyecto:  
DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE  
MONTAÑA

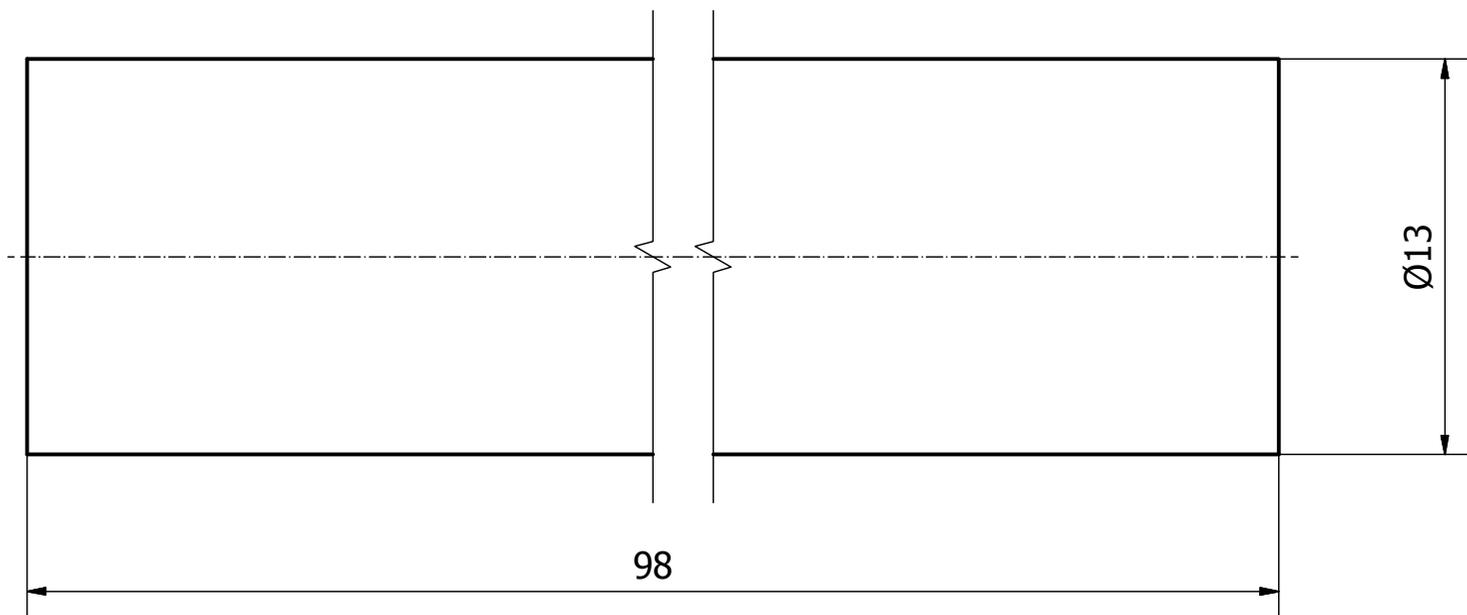
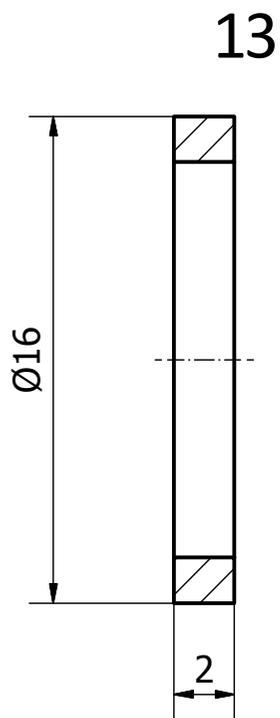
Plano:  
Depósito

Nº plano:

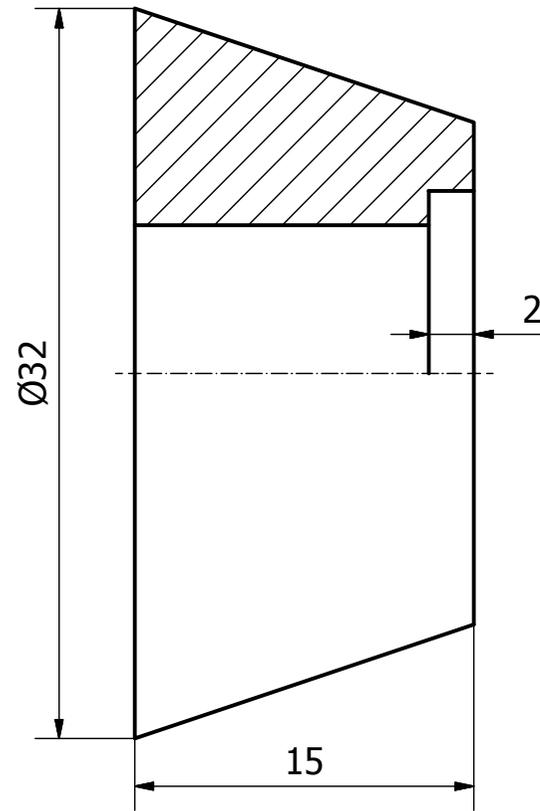
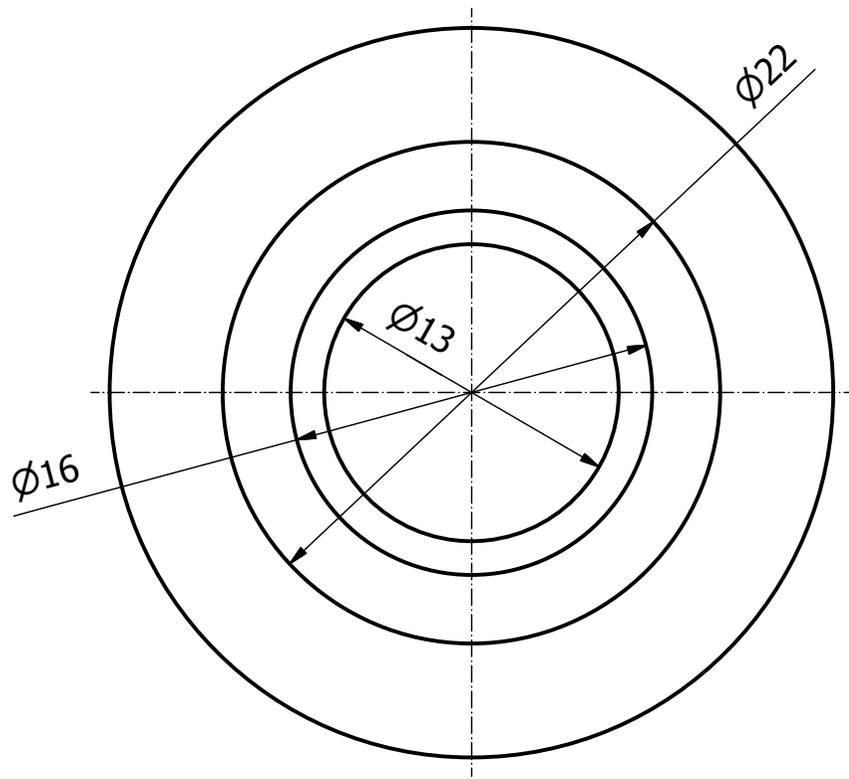
Fecha:  
Julio 2015

Escala:  
1:1

6



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE          MONTAÑA</b>	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Autor proyecto: Luis Linares Leyva		Plano: Eje + Tope	Nº plano: <b>7</b>
		Fecha: Julio 2015	



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE  
MONTAÑA

Plano:

Parachoques

Nº plano:

8

Autor proyecto:

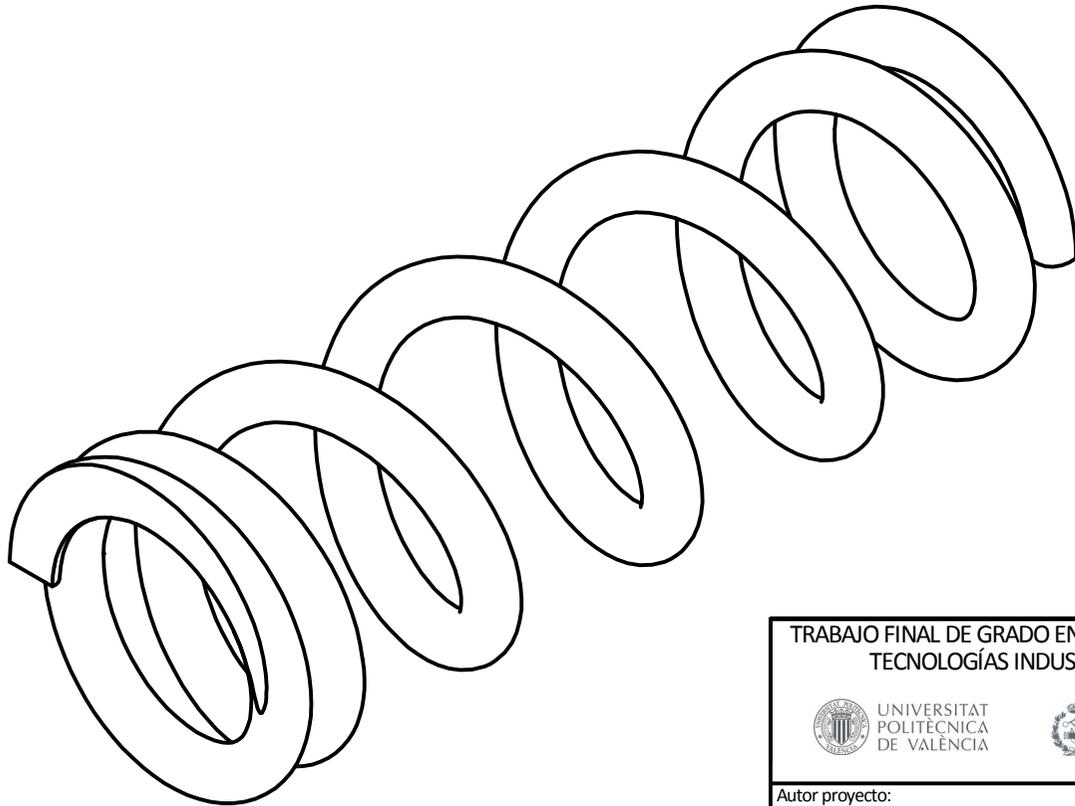
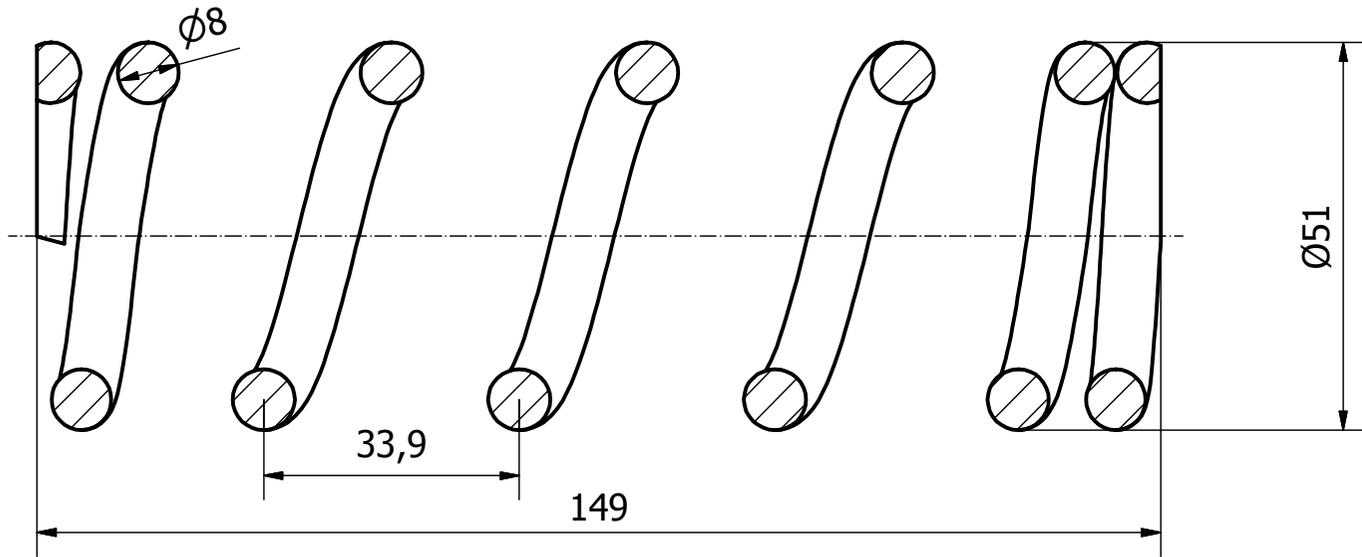
Luis Linares Leyva

Fecha:

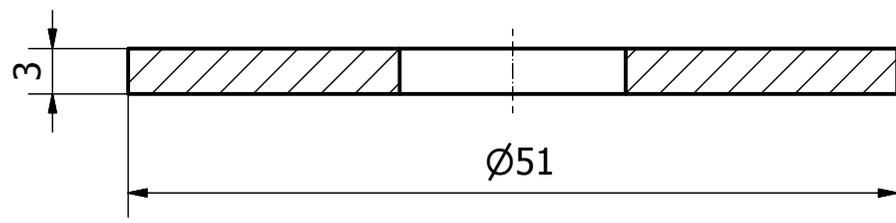
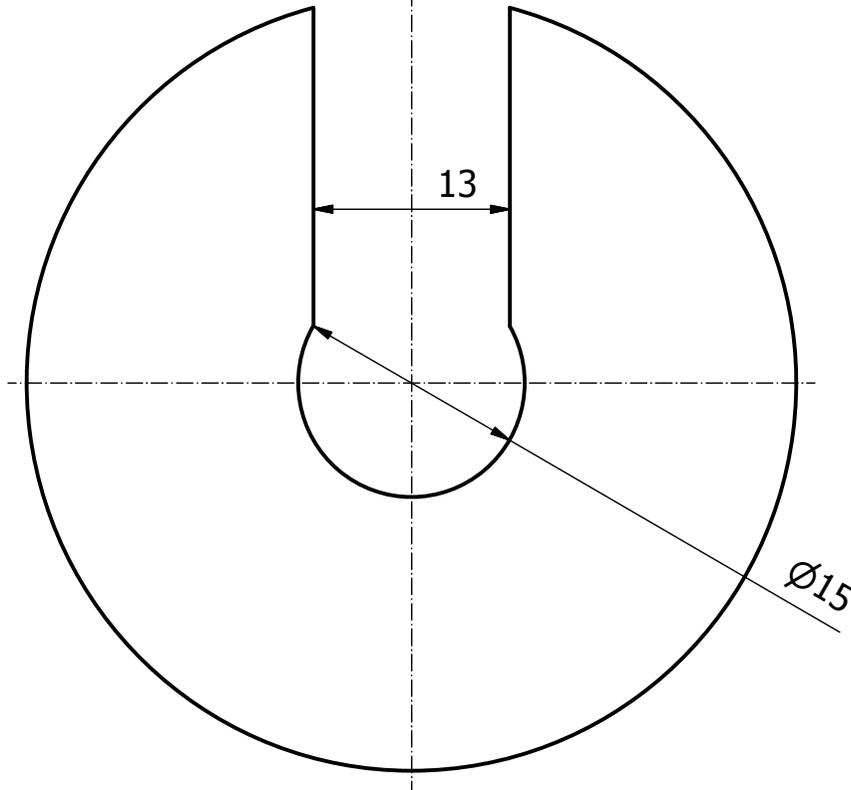
Julio 2015

Escala:

3:1

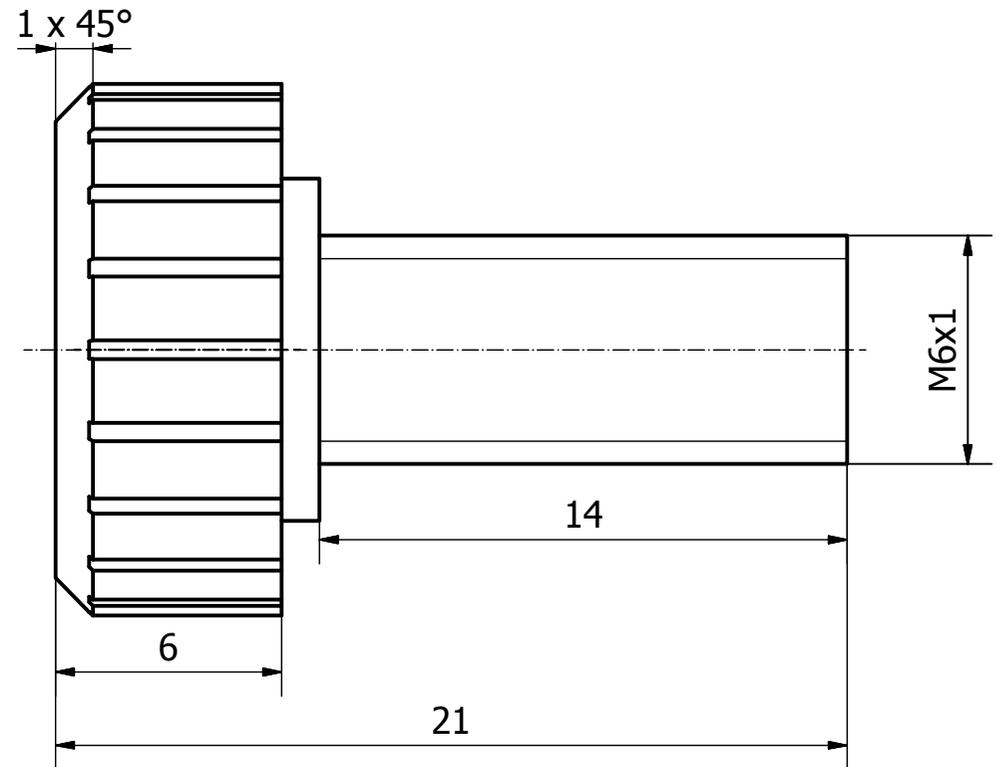
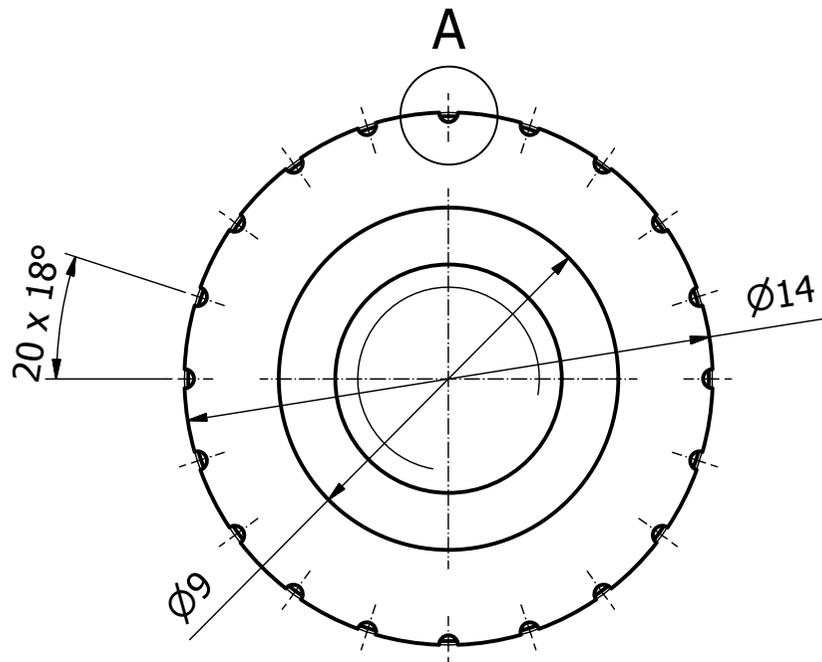
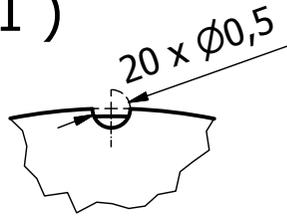


TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE          MONTAÑA</b>	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Autor proyecto: Luis Linares Leyva		Plano: Resorte	Nº plano: <b>9</b>
		Fecha: Julio 2015	



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES		Proyecto: <b>DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE          MONTAÑA</b>	
 UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Autor proyecto: Luis Linares Leyva		Plano: Soporte inferior	Nº plano: <b>10</b>
		Fecha: Julio 2015	

A ( 10 : 1 )



TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN  
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

Proyecto:

DISEÑO DE UNA SUSPENSIÓN TRASERA PARA BICICLETA DE  
MONTAÑA

Plano:

Tornillo

Nº plano:

11

Autor proyecto:

Luis Linares Leyva

Fecha:

Julio 2015

Escala:

5:1