



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIERÍA  
INDUSTRIAL VALENCIA

**TRABAJO FIN DE GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

# **DISEÑO PARAMÉTRICO DE UNA SILLA DE RUEDAS ADAPTADA PARA LA MODALIDAD DE ATLETISMO PARALÍMPICO**

**AUTORA:** MARTA MONCHOLÍ MARCO  
**TUTORA:** NURIA ALEIXOS BORRÁS  
**COTUTOR:** FRANCISCO ALBERT

**Curso Académico: 2019-20**

# Agradecimientos

En primer lugar, gracias a mi familia por haberme apoyado siempre en todo este periodo universitario. Gracias también a todos mis compañeros y ahora ya amigos que he conocido gracias a esta experiencia, que han conseguido que sea muy especial.

En segundo lugar, gracias a mi tutora por su paciencia y su energía positiva. Sin su disponibilidad y sus consejos este proyecto no habría sido posible. De igual manera, agradecer a todos aquellos profesores que en estos cuatro años me han enseñado a pensar y a ver las cosas con otra perspectiva.

Por último, agradecer a la Federación de Deportes Adaptados de la Comunidad Valenciana por contribuir desinteresadamente en este trabajo prestándome una de sus sillas de ruedas de atletismo.

# Resumen

Desarrollo de un modelo totalmente paramétrico de una silla de ruedas para atletas discapacitados que compiten en atletismo paralímpico en las categorías T32-T34 y T51-T54. El objetivo principal es que el modelo se genere automáticamente según las características biométricas del atleta, de modo que se obtenga prácticamente al instante una silla totalmente adaptada al mismo, disminuyendo al mínimo el estudio inicial y pasando directamente a la fase de fabricación, con lo que los costes se reducen y se acortan además los plazos de entrega. Para ello se determinarán las medidas biométricas necesarias para el modelado paramétrico y se utilizará la herramienta CAD 3D Autodesk Inventor, validándose posteriormente.

**Palabras clave:** Diseño, Prototipo virtual, Parametrización, Deportes paralímpicos.

# Resum

Desenvolupament d'un model totalment paramètric d'una cadira de rodes per a atletes discapacitats que competeixen en atletisme paralímpic en les categories T32-T34 i T51-T54. L'objectiu principal és que el model es genere automàticament segons les característiques biomètriques de l'atleta, de manera que s'obtinga pràcticament a l'instant una cadira totalment adaptada al mateix, disminuint al mínim l'estudi inicial i passant directament a la fase de fabricació, amb la qual cosa els costos es redueixen i, endemés, s'acurten els terminis d'entrega. Per a això, es determinaran les mesures biomètriques necessàries per al modelatge paramètric i s'utilitzarà l'eina CAD 3D Autodesk Inventor, validant-se posteriorment.

**Paraules clau:** Disseny, Prototip virtual, parametrització, esports paralímpics.

# Abstract

Development of a utterly parametric model of a wheelchair for disabled athletes competing in Paralympic Athletics in T32-T34 and T51-T54 categories. The main objective is to generate the model automatically, according to the biometric characteristics of the athlete. In this way, a totally adapted wheelchair will be obtained almost instantly for the disabled athlete, reducing the initial study to a minimum and moving directly to manufacturing pase. Thus, costs are reduced and also delivery deadlines are shortened. For this purpose, biometrics dimensions needed for the parametric modelling will be determined. The CAD 3D Autodesk Inventor tool will be used, subsequently validated.

**Keywords:** Design, Virtual prototype, parametrization, paralympic sports.

## Índice general

Agradecimientos .....	2
Resumen.....	3
Índice de Figuras.....	8
Índice de Tablas.....	10
I MEMORIA .....	11
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	12
1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS.....	12
1.2 ALCANCE DEL PROYECTO.....	12
1.3 MATERIAL Y MÉTODOS.....	13
CAPÍTULO 2. LA SILLA DE RUEDAS DE ATLETISMO .....	13
2.1. MODELOS DE MERCADO .....	13
2.1. TIPOS DE SILLAS SEGÚN LA CLASE DE COMPETICIÓN .....	14
CAPÍTULO 3. NORMATIVA .....	15
CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE DISEÑO .....	16
4.1. AUTODESK INVENTOR .....	16
4.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO .....	16
CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LAS PARTES PRINCIPALES .....	16
5.1. CHASIS DE LA SILLA.....	17
5.2. ESTRUCTURA RUEDAS TRASERAS.....	22
5.2.1. RUEDAS TRASERAS .....	23
5.2.2. EJE RUEDA TRASERA.....	26
5.2.3. PIEZA ÁNGULAR.....	27
5.2.4. EJE PRINCIPAL TRASERO .....	29
5.2.5. ABRAZADERA EJE TRASERO .....	30
5.2.5.1. ABRAZADERA INFERIOR.....	30
5.2.5.2. ABRAZADERA SUPERIOR.....	31
5.3. ESTRUCTURA DIRECCIÓN Y RUEDA DELANTERA .....	32
5.3.1. RUEDA DELANTERA .....	32
5.3.2. EJE RUEDA DELANTERA .....	35
5.3.3. MANILLAR.....	36
5.3.4. AMORTIGUADOR.....	39

5.3.5. PIEZA DE DIRECCIÓN .....	39
CAPÍTULO 6. ENSAMBLAJE DEL MODELO.....	41
CAPÍTULO 7. PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO .....	46
7.1. PARAMETRIZACIÓN DEL CHASIS.....	47
7.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MANILLAR .....	51
7.3. PARAMETRIZACIÓN RUEDA TRASERA .....	51
7.4. CREACION DE PERFILES TIPO .....	53
CAPITULO 8. FEM.....	56
8.1. FEM DEL EJE DE LA RUEDA TRASERA.....	57
8.2. FEM DEL EJE PRINCIPAL TRASERO .....	60
BIBLIOGRAFÍA .....	63
II Presupuesto.....	65
PARTIDA 1. MANO DE OBRA .....	66
PARTIDA 2: MATERIAL Y HERRAMIENTAS .....	68
PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL .....	70
PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN.....	70
III Planos .....	71

## Índice de Figuras

Figura 1. Boceto chasis 1 .....	18
Figura 2. Boceto chasis 2 .....	18
Figura 3. Boceto chasis 3 .....	19
Figura 4. Extrusión asiento .....	19
Figura 5. Boceto tubo principal .....	20
Figura 6. Solevación tubo principal .....	21
Figura 7. Extrusión de unión tubo principal .....	21
Figura 8. Extrusión barra de apoyo del asiento.....	22
Figura 9. Resultado final del modelado de la pieza chasis .....	22
Figura 10. Boceto de revolución de la parte central de la rueda trasera.....	23
Figura 11. Revolución que simula el neumático de la rueda trasera .....	23
Figura 12. Modelado de las llantas de la rueda trasera .....	24
Figura 13. Modelado del aro de impulsión .....	24
Figura 14. Modelado de las piezas de sujeción del aro de impulsión a la llanta .....	25
Figura 15. Alzado del resultado final de la rueda trasera .....	25
Figura 16. Perfil del resultado final de la rueda trasera .....	26
Figura 17. Boceto de la revolución del eje de la rueda trasera.....	26
Figura 18. Resultado final del modelado del eje de la rueda trasera.....	27
Figura 19. Boceto de la extrusión del cuerpo de la pieza angular .....	27
Figura 20. Extrusión angular de la pieza.....	28
Figura 21. Resultado final del modelado de la pieza angular.....	28
Figura 22. Extrusión del eje principal trasero.....	29
Figura 23. Resultado final del modelado del eje principal trasero .....	29
Figura 24. Extrusión abrazadera inferior.....	30
Figura 25. Modelado de orejas de la abrazadera inferior .....	30
Figura 26. Modelado del acople de la abrazadera inferior con la superior .....	31
Figura 27. Resultado final del modelado de la abrazadera inferior .....	31
Figura 28. Extrusión y resultado final de la abrazadera superior.....	32
Figura 29. Boceto de la revolución de la parte central de la rueda delantera.....	33
Figura 30. Modelado que simula ser el neumático de la rueda delantera .....	33
Figura 31. Modelado de los radios de la rueda delantera .....	34
Figura 32. Resultado final del modelado de la rueda delantera .....	35
Figura 33. Resultado final del modelado del eje de la rueda delantera .....	35
Figura 34. Modelado de la zona cilíndrica del manillar.....	36
Figura 35. Plano de trabajo base para posteriores bocetos.....	36
Figura 36. Boceto de la parte final de la ruta .....	37
Figura 37. Boceto de la ruta total del barrido del manillar .....	37
Figura 38. Operación de barrido en el manillar .....	37
Figura 39. Operación de elevación del manillar .....	38
Figura 40. Resultado final del modelado del manillar.....	38
Figura 41. Conjunto de piezas que forman el amortiguador .....	39
Figura 42. Barrido de la pieza dirección .....	40

Figura 43. Modelado del elemento que une la pieza dirección con el chasis.....	40
Figura 44. Resultado final del modelado de la pieza dirección.....	40
Figura 45. Vista del montaje del eje con la rueda delantera y los rodamientos.....	41
Figura 46. Montaje del manillar y la rueda delantera.....	41
Figura 47. Montaje de los rodamientos con el manillar y el chasis.....	42
Figura 48. Montaje de la barra principal trasera y las abrazaderas.....	42
Figura 49. Montaje del eje de la rueda trasera con rodamientos.....	42
Figura 50. Vista de la restricción de la rueda trasera con el plano inclinado.....	43
Figura 51. Vista de la restricción de una de las caras de la pieza ángulo con el plano global.....	43
Figura 52. Ensamblaje del conjunto de piezas que forman el amortiguador.....	44
Figura 53. Vistas del alzado, planta y perfil del resultado final del ensamblaje de la silla de ruedas completa.....	45
Figura 54. Restricción del movimiento de la pieza dirección.....	46
Figura 55. Boceto de las cotas parametrizadas d0 y d27.....	48
Figura 56. Boceto de la cota parametrizada d10.....	48
Figura 57. Boceto de la cota parametrizada d61.....	49
Figura 58. Boceto de la cota parametrizada d21.....	50
Figura 59. Triángulo empleado para las operaciones.....	50
Figura 60. Boceto de la cota parametrizada d53.....	51
Figura 61. Boceto de la cota parametrizada d5.....	52
Figura 62. Boceto de la cota parametrizada d18.....	52
Figura 63. Hombre Vitruvio de Leonardo da Vinci.....	55
Figura 64. Respresentación de la carga puntual aplicada.....	56
Figura 65. Fuerzas transmitidas por los rodamientos al eje de la rueda trasera.....	57
Figura 66. Fuerza axial aplicada en el eje de la rueda trasera.....	58
Figura 67. Momento aplicado en el eje de la rueda trasera.....	58
Figura 68. Cortante aplicado en el eje de la rueda trasera.....	58
Figura 69. Representación de la deformación con aumento del eje de la rueda trasera.....	59
Figura 70. Estudio con MEF. Representación del coeficiente de seguridad.....	59
Figura 71. Fuerzas cortantes aplicadas al eje principal trasero.....	60
Figura 72. Momentos aplicados al eje principal trasero.....	60
Figura 73. Representación de la deformación con aumento del eje con MEF.....	61
Figura 74. Vista de detalle de la concentración de tensión del eje principal trasero.....	61
Figura 75. Estudio con MEF. Representación del coeficiente de seguridad.....	61

## Índice de Tablas

Tabla 1. Precios de mercado .....	13
Tabla 2. Relación de la estatura con la medida de la muñeca respecto a hombres y mujeres .....	53
Tabla 3. Medidas medias aproximadas de cada perfil .....	53
Tabla 4. Resumen de la variable 'ancho_tronco' asignada a cada perfil.....	54
Tabla 5. Resumen de la variable 'largo_brazo' asignada a cada perfil .....	55
Tabla 6. Gastos mano de obra.....	67
Tabla 7. Gastos material y herramientas .....	69
Tabla 8. Presupuesto de ejecución material .....	70
Tabla 9. Presupuesto base de licitación .....	70

# I MEMORIA

## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

El siguiente Trabajo de Fin de Grado consiste en el diseño parametrizado de una silla de ruedas de atletismo mediante el uso del programa 'Autodesk Inventor'.

### 1.1 MOTIVACIÓN Y OBJETIVOS

La idea de este proyecto surgió a partir de conocer, a través de eventos como los Juegos Paralímpicos, las distintas modalidades deportivas adaptadas a personas con discapacidad. Personalmente, la capacidad de adaptación de estas personas me pareció sorprendente, y no solo de los propios deportistas sino también de los mecanismos o máquinas que les ayudan.

Por este motivo decidí informarme un poco más acerca de estos mecanismos, y en concreto de las sillas de ruedas de atletismo. Descubrí que, debido a su elevado coste, no son accesibles para todos aquellos que quisieran practicar este deporte. La principal causa del aumento de precio de estas sillas es el hecho de que son completamente personalizadas a cada individuo, con lo que la fabricación del producto se hace bajo demanda y su proceso de diseño largo y de elevado coste.

Viendo este problema, se pensó en un programa con un modelado base de una silla con sus principales dimensiones parametrizadas. De manera que se pueda aproximar al modelo final introduciendo algunas medidas críticas del cliente al programa y así el modelado de la silla se rediseñe adaptándose a las particularidades físicas de cada deportista.

Por último, aplicando este programa se podría reducir considerablemente el tiempo de diseño del producto, y de esa manera economizar los costes para poder abrir mercado a otra parte de la población.

### 1.2 ALCANCE DEL PROYECTO

En este trabajo se persigue poner en práctica la idea de diseñar un modelo parametrizado de una silla de ruedas de atletismo usando como herramienta 'Autodesk Inventor'.

El objetivo del proyecto es aproximar lo máximo posible el resultado del modelo parametrizado al modelo de producción final. Demostrando que es un modelo aplicable mediante análisis con el método de elementos finitos (MEF).

### 1.3 MATERIAL Y MÉTODOS

La principal herramienta de este proyecto es 'Autodesk Inventor', un programa de modelado en 3D con el que nos enseñan trabajar en la asignatura de Ingeniería Gráfica de 4º. Este programa nos permite modelar piezas en 3D a partir de bocetos en 2D más sencillos.

Además, Autodesk facilita la obtención de la licencia de manera gratuita de todo su paquete de programas por el hecho de ser estudiantes de la UPV.

## CAPÍTULO 2. LA SILLA DE RUEDAS DE ATLETISMO

Las sillas de ruedas de atletismo constan de diferentes partes. El cuadro de la silla normalmente en forma de T, el tubo principal es de aluminio y se aplasta ligeramente con una prensa hidráulica para darle aerodinámica a la silla.

Por otro lado, tienen dos ruedas traseras inclinadas ligeramente para mantener la estabilidad del deportista. Estas ruedas suelen fabricarse con fibra de carbono ya que es un material resistente y muy ligero. Las sillas, además, tienen una tercera rueda delantera más pequeña que transmite la dirección deseada del recorrido.

Finalmente, otra de las partes importantes de una silla de ruedas de atletismo es el sistema de dirección que se encarga de fijar una dirección determinada mediante un amortiguador.

### 2.1. MODELOS DE MERCADO

Para comprender la finalidad de este proyecto, en el siguiente apartado se muestran distintos modelos actuales en el mercado de los principales fabricantes para competición. Los precios estipulados son los que aparecen en cada una de sus páginas webs.

Tabla 1. Precios de mercado

		
ORACING	DRAFT	TOP END
4004€ (precio base)	A definir	A definir

Tras buscar distintos modelos y sus precios para compararlos podemos observar que en las páginas de las principales marcas no establecen un precio fijo al producto si no que piden ponerse en contacto con el cliente y esto es debido a que únicamente son fabricadas bajo demanda y a medida del cliente.

Por otro lado, se ha observado que muchas de las marcas que fabrican sillas de ruedas deportivas no fabrican sillas de ruedas para atletismo concretamente debido a la baja demanda. Este es otro motivo que también encarece el producto.

Cabe comentar que también existen las sillas de ruedas de carretera para carreras exteriores o maratones. Las cuales son más robustas, menos aerodinámicas y más pesadas, por lo que probablemente su precio será menor. Sin embargo, este tipo de sillas no son objeto de este trabajo.

## 2.1. TIPOS DE SILLAS SEGÚN LA CLASE DE COMPETICIÓN

El atletismo es una disciplina que comprende varias modalidades: los eventos de pista, concursos, saltos, lanzamientos y maratones. En nuestro caso nos centramos en la disciplina de eventos dentro de pistas.

Además, el atletismo comprende un gran número de clases de discapacidad. Cada participante tiene una categoría asignada por dos dígitos, el primero indica el tipo de discapacidad funcional mientras que el segundo indica el grado de afectación. También se designa con una T o una F delante de los dígitos en función de si es en pista 'T' (carreras o saltos) o si es de campo 'F' (lanzamientos).

La clasificación es la siguiente:

- Clases 11-13: deportistas con discapacidad visual.
- Clase 20: atletas con discapacidad intelectual.
- Clases 31-64: personas con discapacidad física o parálisis cerebral.
  - o Clases 31-38: participantes con problemas de coordinación.
  - o Clases 40-41: deportistas con acondroplasia.
  - o Clases 42-44: atletas con afectación en las extremidades inferiores que compiten sin prótesis.
  - o Clases 45-47: atletas con afectación en las extremidades superiores.
  - o Clases 51-57: corredores en silla de ruedas o lanzadores que compiten sentados.
  - o Clases 61-64: atletas con afectación en las extremidades inferiores que compiten con prótesis.

Las sillas de ruedas que se tratan en este trabajo son las utilizadas por los deportistas de las clases T32-T34 y T51-T54, concretamente en la disciplina de carrera en pista.

### CAPÍTULO 3. NORMATIVA

Según el Reglamento y Normativa de Atletismo del IPC realizada por el Comité Paralímpico Español las normas respecto al diseño de las sillas de rueda de las pruebas de pista son:

1. En las competiciones del IPC las sillas de ruedas deben tener dos ruedas grandes y una pequeña. En otras Competiciones Reconocidas, la silla de ruedas podrá tener dos ruedas grandes y un máximo de dos ruedas pequeñas. En todas las competiciones la/s rueda/s pequeña/s deben estar en la parte delantera de la silla.
2. Dimensiones de la Silla de Ruedas: Ninguna parte del cuerpo principal (definido como el plano vertical del borde posterior y las ruedas, incluyendo el asiento) de la silla de ruedas debe sobresalir por delante del eje de la rueda frontal y su ancho no debe exceder el interior de los ejes de las dos ruedas traseras. La altura máxima desde el suelo hasta el cuerpo principal de la silla de ruedas debe ser de 50 cm. Ninguna parte de la silla de ruedas podrá sobresalir más allá del plano vertical del borde posterior de los neumáticos traseros.
3. Dimensiones de las Ruedas: El diámetro máximo de la rueda grande, incluyendo el neumático inflado, no debe superar los 70 cm. El diámetro máximo de la rueda pequeña, incluyendo el neumático inflado, no debe superar los 50 cm.
4. Sólo se permite un aro tipo estándar, sencillo y redondo, para cada rueda grande.
5. No se permiten engranajes mecánicos ni palancas que puedan utilizarse para impulsar la silla de ruedas.
6. No está permitido el uso de espejos retrovisores en carreras en pista.
7. Sólo se permiten dispositivos mecánicos de dirección impulsados manualmente.
8. En todas las carreras el deportista deberá poder girar la/s rueda/s delantera/s manualmente, tanto hacia la izquierda como hacia la derecha.
9. No está permitido el uso de carenados o mecanismos/aparatos similares diseñados específicamente para mejorar el rendimiento aerodinámico del deportista en la silla de ruedas.

## CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA DE DISEÑO

### 4.1. AUTODESK INVENTOR

Como ya se ha comentado previamente, para la realización de este trabajo se hará uso de la herramienta 'Autodesk Inventor Professional 2019'. Este programa es un potente software de diseño mecánico de sólidos.

### 4.2. ESPECIFICACIONES DE DISEÑO

El diseño del modelo debe ser coherente y permitir la parametrización de este con distintas medidas sin que afecte a la utilidad principal.

Por otro lado, debe ser un diseño funcional y adaptado a las necesidades de los atletas y siempre cumpliendo la normativa estipulada.

## CAPÍTULO 5. DISEÑO DE LAS PARTES PRINCIPALES

En primer lugar, se va a llevar a cabo el diseño en 3D de todas las piezas de la silla de ruedas de atletismo. El modelo por diseñar es aproximado ya que la información necesaria para poder abordar un modelo exacto no está disponible para un proyecto como este.

Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo no es proporcionar un modelo exacto, si no crear un prototipo lo más parecido a lo que podría ser el resultado final del proceso de diseño y fabricación del producto. En definitiva, crear un programa que pueda aproximarnos rápidamente al resultado final de las dimensiones más generales de una silla de ruedas dependiendo de las medidas del cliente.

Las dimensiones generales del modelado se han basado en una silla de ruedas de atletismo real que nos ha sido facilitada por la Federación de Deportes Adaptados de la Comunidad Valenciana (FESA). Esta silla ha sido tomada como referencia en algunas partes del diseño y algunas de las medidas. El prototipo de este trabajo no pretende ser igual que la silla prestada.



*Figura 1. Vistas de la silla de ruedas de la FESA*

En este capítulo se habla sobre el proceso del modelado del producto. En algunos casos podremos ver que en las imágenes aparecen cotas con la simbología 'fx' que representa que esa cota es una función dependiente de los parámetros biométricos de entrada. Estas funciones serán explicadas más adelante en el apartado de parametrización.

A la hora de explicar el procedimiento de modelado se ha dividido la silla de ruedas en tres grandes grupos. Por un lado, tenemos la pieza principal: el chasis. Por otro lado, la estructura de las ruedas traseras y por último la estructura de la rueda delantera junto al mecanismo de la dirección.

### 5.1. CHASIS DE LA SILLA

El chasis de la silla de ruedas podemos decir que es el esqueleto del producto. Normalmente, no tiene un diseño muy complejo y el material suele ser aluminio por sus propiedades. En este caso esta es una de las piezas fundamentales a la hora de la parametrización de la silla, como se verá más adelante.

Esta estructura está compuesta por distintos tubos de aluminio cortados y soldados entre sí de manera que el modelado se realizará en una pieza única.

La estructura de la parte del asiento, en general, esta modelada a base de barridos. En primer lugar, se efectúa el barrido de la parte inferior del asiento:

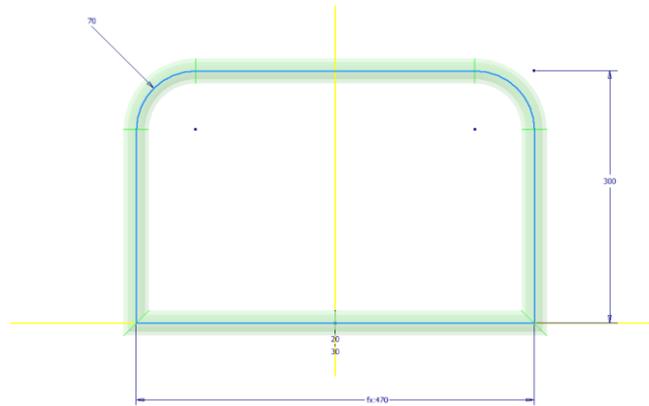


Figura 2. Boceto chasis 1

En este caso hemos empleado un perfil circular hueco con 30mm de diámetro exterior y 20mm de diámetro interior. Esta parte del chasis es la base donde casi todas las otras barras se sueldan.

A continuación, siguiendo con el método de barrido, se realizan los laterales que separan al deportista de las ruedas traseras, protegiéndole. La forma curva de la parte superior se hace con el fin de interponerse lo menos posible cuando el deportista tiene que impulsarse golpeando el aro de impulsión, pero también cubre toda la parte lateral interna de la rueda.

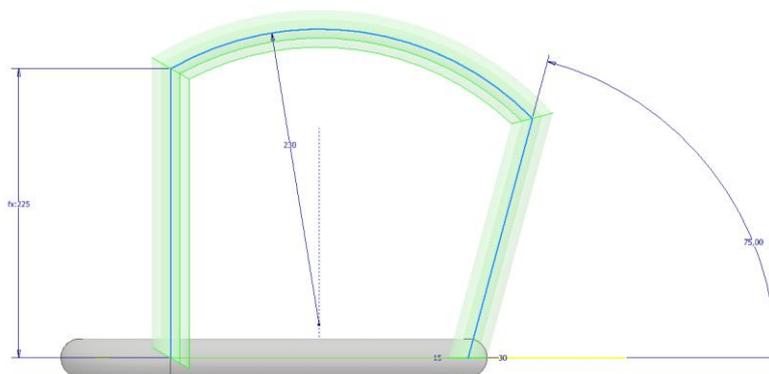


Figura 3. Boceto chasis 2

Una vez realizado uno de los laterales, se efectúa una operación de simetría respecto al plano XY de origen para que los posibles cambios de medidas sean solidarios entre los dos laterales.

Posteriormente, para modelar el tubo superior que une los dos laterales, se crea un plano de trabajo desfasado al plano XZ de origen. Como ya hemos visto anteriormente, en este caso también utilizamos el barrido como método de modelado.

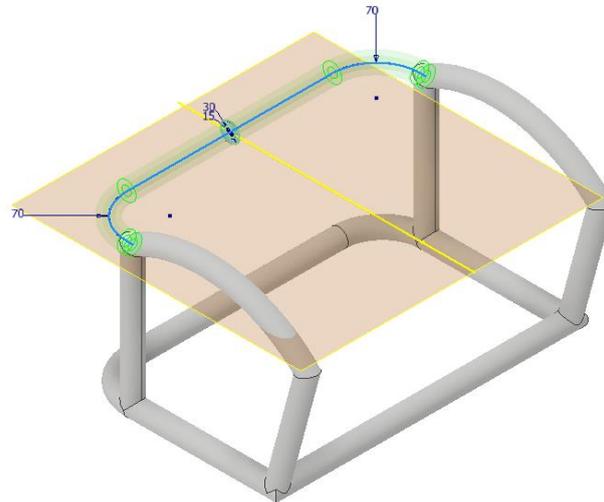


Figura 4. Boceto chasis 3

Para terminar la parte del asiento del deportista, se modela una pieza destinada a que el cliente apoye las rodillas, de manera que esta pieza debe acoplarse perfectamente a los volúmenes requeridos por el corredor.

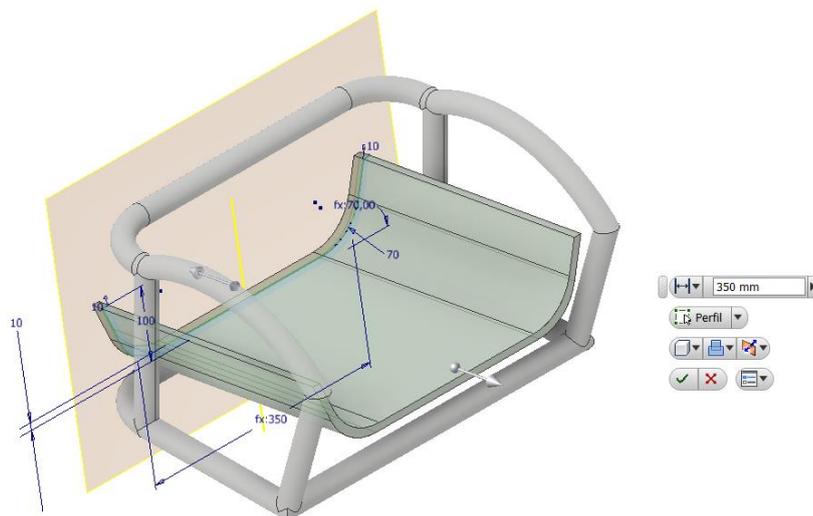
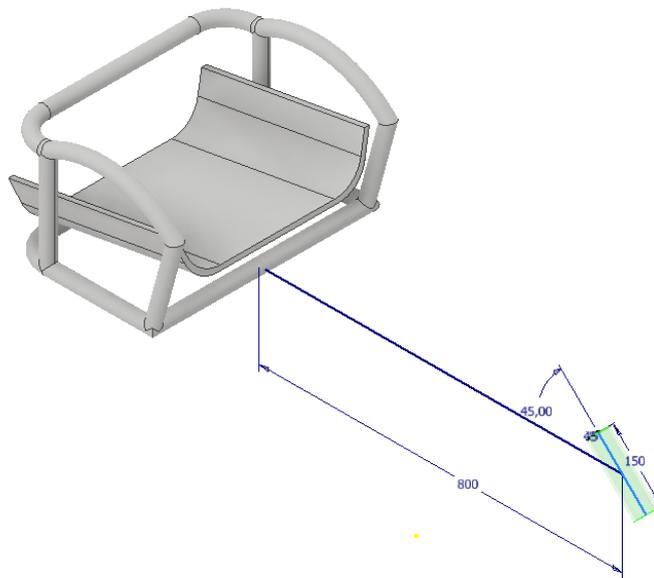


Figura 5. Extrusión asiento

Para la zona delantera del chasis, en primer lugar, creamos otro plano de trabajo que nos proporcione la inclinación deseada para la pieza. En este plano se realiza el boceto y posteriormente se extruye, en este caso 350mm.

A continuación, nos centramos en la parte delantera de la silla modelando el tubo que contendrá el eje de giro de la rueda pequeña. Para ello necesitamos de nuevo crear un plano de trabajo desfasado a una distancia aproximada, en este caso 800mm, y girado unos 45° donde realizaremos el boceto del perfil del tubo hueco de 45mm de diámetro exterior y 35mm de diámetro interior. Por último, se realiza una extrusión de 150mm:



*Figura 6. Boceto tubo principal*

Esta operación se realiza antes que el tubo principal para poder realizar las operaciones requeridas por dicho tubo.

A la hora de modelar el tubo principal necesitamos realizar 3 bocetos del perfil. El primero de ellos contenido en la base, otro a una distancia intermedia y el último al final del recorrido. De esta manera modelamos con la operación de elevación, un tipo barrido que se adapta a las formas de los distintos perfiles dibujados en cada uno de los bocetos:

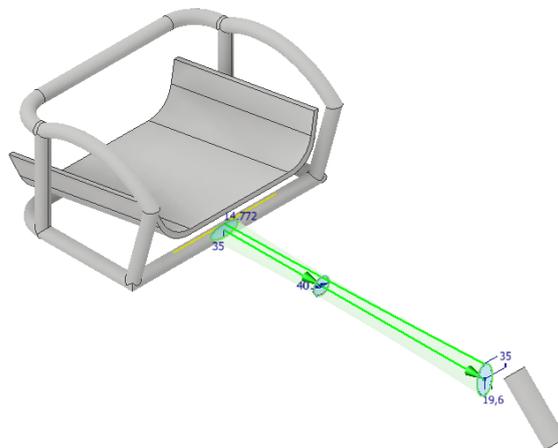


Figura 7. Solevación tubo principal

De esta manera conseguimos un tubo principal con la geometría requerida. Se hace de esta manera tanto para aumentar la resistencia como para aumentar la aerodinámica de la silla.

Por último, realizamos una última extrusión desde el boceto final de la elevación con la opción 'hasta' para terminar en el tubo que contendrá el eje de giro:

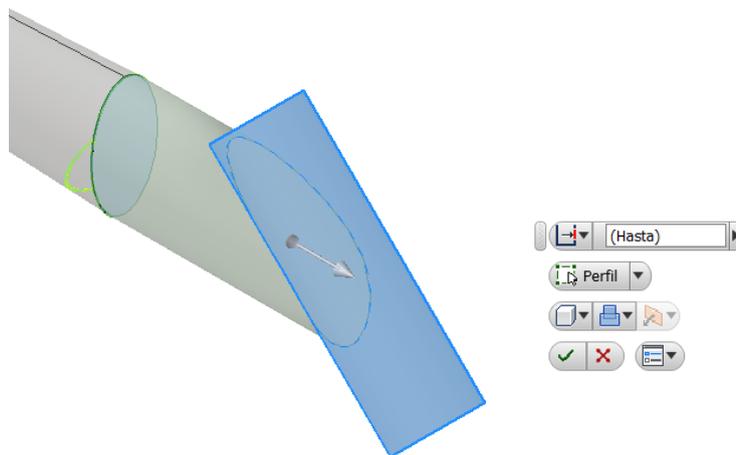


Figura 8. Extrusión de unión tubo principal

Así terminamos la parte del tubo principal.

Por último, para asegurar la estabilidad de la parte que sostiene el peso del deportista, se añade una barra al principio del asiento de manera que éste quede sujeto tanto por detrás apoyado a la base como por delante a través de la barra apoyada al tubo principal:

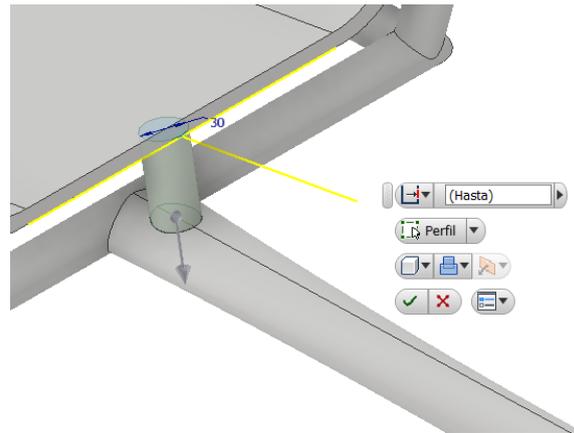


Figura 9. Extrusión barra de apoyo del asiento

Para modelar esta barra, de nuevo se emplea la herramienta de extrusión con la opción 'hasta'.

Cabe comentar que en el tubo principal se añaden varios elementos para poder unirse con la estructura de la dirección. Sin embargo, esta parte del modelado se comentará más adelante (apartado 5.4.).

Por último, el resultado final de la pieza modelada es el siguiente:

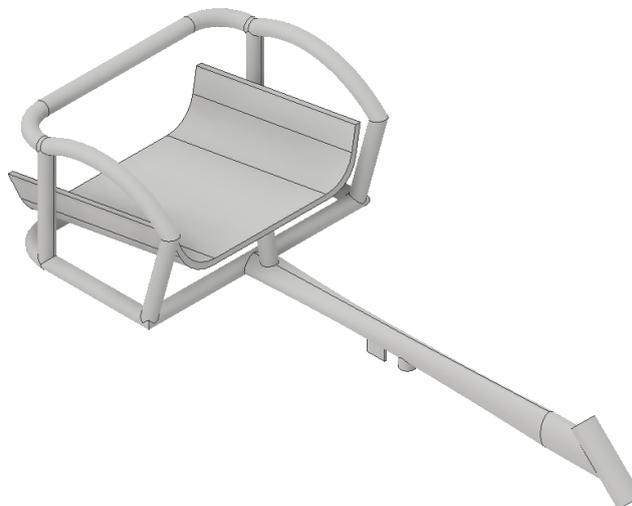


Figura 10. Resultado final del modelado de la pieza chasis

## 5.2. ESTRUCTURA RUEDAS TRASERAS

La estructura de las ruedas traseras está compuesta por varias partes. A continuación, se procede a explicar el modelado de las piezas más importantes:

### 5.2.1. RUEDAS TRASERAS

En primer lugar, cabe destacar que ambas ruedas son iguales por lo tanto en la figura final tendremos la misma pieza dos veces en una posición simétrica.

Se empieza a modelar la rueda trasera por el eje a partir de un boceto como el que podemos ver en la figura. A continuación, empleando la operación de revolución completa convertimos dicho boceto en una figura en 3D que será la que alojará en su interior al eje de la rueda.

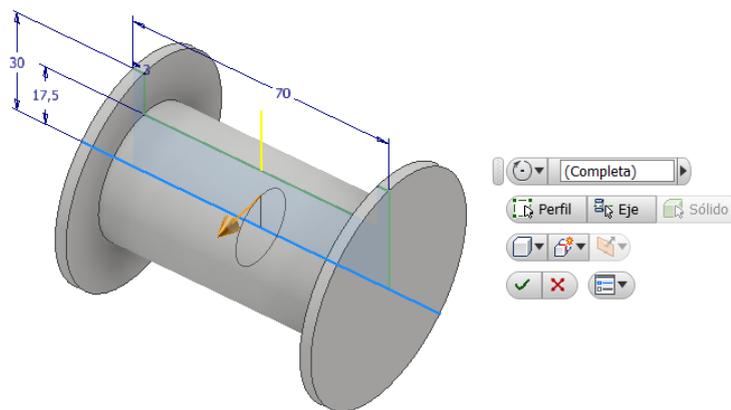


Figura 11. Boceto de revolución de la parte central de la rueda trasera

Seguidamente, se crea un boceto con un perfil que simule aproximadamente la rueda ya hinchada de la rueda y se repite la operación de revolución tomando como eje el centro de la figura anterior. El radio de giro, como podemos observar en la figura, se determina a partir de una función 'fx' que como ya hemos comentado anteriormente forma parte de la parametrización del modelo y se comentara con mayor profundidad en apartados siguientes.

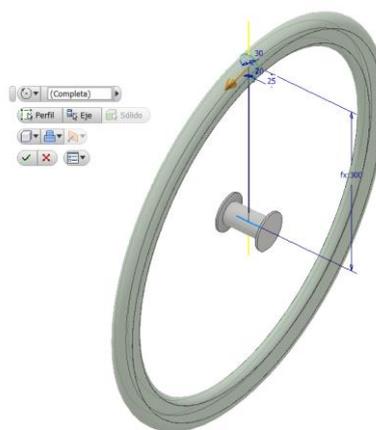


Figura 12. Revolución que simula el neumático de la rueda trasera

A continuación, se modelan las llantas de las ruedas. Para ello, necesitamos realizar un boceto en el cual las líneas importantes son las que unen el neumático con cada extremo de la primera

figura modelada. Después, se realiza de nuevo una revolución de manera que quedan en nuestra pieza dos llantas, una a cada lado, en la posición deseada, pero con espesor 0. Para darle espesor a cada una de las superficies empleamos la herramienta 'engrosamiento' y en este caso le adjudicaremos a cada llanta 3mm de espesor.

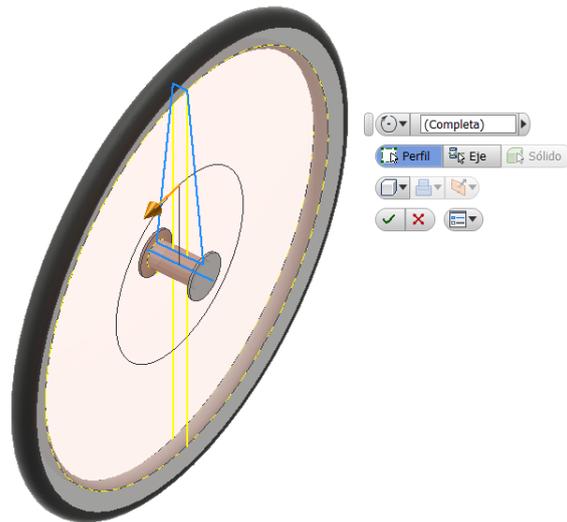


Figura 13. Modelado de las llantas de la rueda trasera

Por último, hay que añadir un aro de propulsión soldado en una de las llantas de la rueda.

Para el diseño del aro, en primer lugar, creamos un plano de trabajo en el cual se dibuja un boceto con el perfil circular del aro y posteriormente se revoluciona. La distancia del aro a la llanta es aproximada ya que se carece de dicha información.

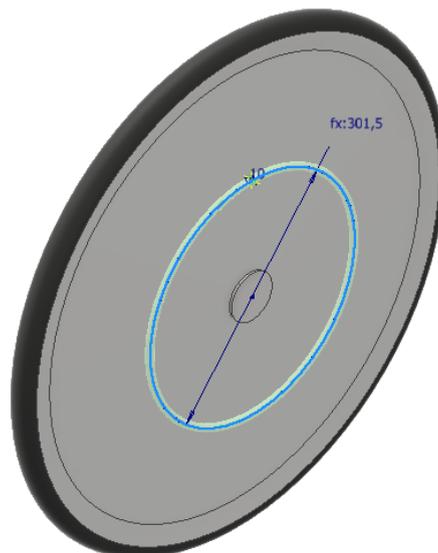
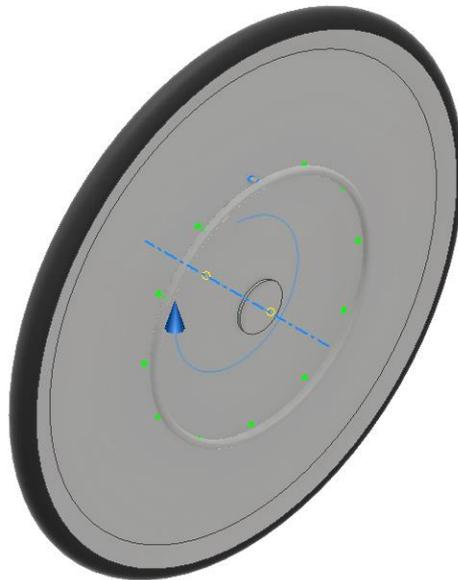


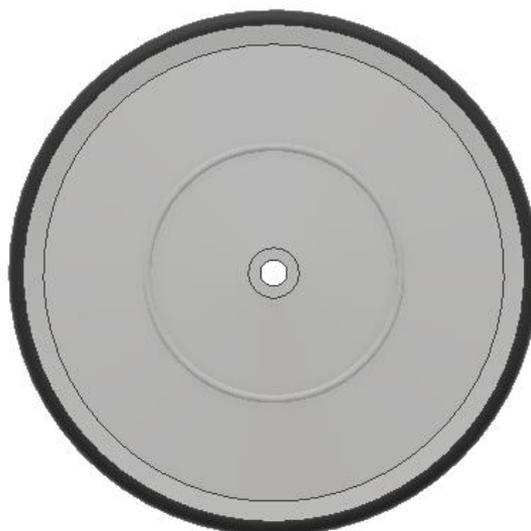
Figura 14. Modelado del aro de impulsión

Para una sujeción adecuada del aro a la llanta, necesitamos unas piezas pequeñas que soldadas unen perfectamente el aro a la llanta. En este caso, estas piezas las simulamos con una pequeña extrusión de una circunferencia que, con la herramienta 'matriz polar', está contenida en el perímetro de la circunferencia de dicho aro.



*Figura 15. Modelado de las piezas de sujeción del aro de impulsión a la llanta*

Finalmente, para concluir el modelado de la rueda trasera sólo falta hacer una extrusión negativa en el centro de la rueda para que posteriormente se aloje dentro el eje de la rueda. El resultado final es el siguiente:



*Figura 16. Alzado del resultado final de la rueda trasera*



Figura 17. Perfil del resultado final de la rueda trasera

### 5.2.2. EJE RUEDA TRASERA

El eje de la rueda trasera de la silla de ruedas es una de las piezas más críticas de todo el ensamblaje debido a su importante función. Sin embargo, la geometría de dicho eje es bastante sencilla a la hora de modelar.

En primer lugar, comenzamos realizando un boceto con la geometría deseada y tomamos un eje como eje de giro a partir de cual ejecutamos una revolución completa.

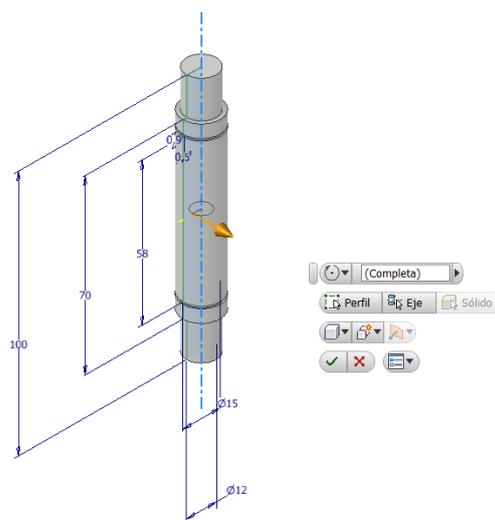


Figura 18. Boceto de la revolución del eje de la rueda trasera

Por otro lado, en uno de los extremos realizamos una extrusión negativa con la geometría de un hexágono. Esto nos facilitará el montaje y desmontaje del eje limitándolo al uso de una llave allen.

Por último, se aplica la operación de roscado en los extremos. El resultado final del eje de una de las ruedas traseras es el siguiente:



Figura 19. Resultado final del modelado del eje de la rueda trasera

### 5.2.3. PIEZA ÁNGULAR

La siguiente pieza es una de las más características en una silla de ruedas de atletismo ya que es la responsable del ángulo que forman las ruedas traseras. Este ángulo es fundamental ya que aporta estabilidad y rigidez a la propia silla.

El primer paso para el modelado de esta pieza tan singular es bocetar su perfil. Cabe comentar que la geometría principal cilíndrica necesita una pequeña muesca a lo largo de toda ella que sirva como guía a la hora de incorporarla en el eje principal que une las dos ruedas traseras.

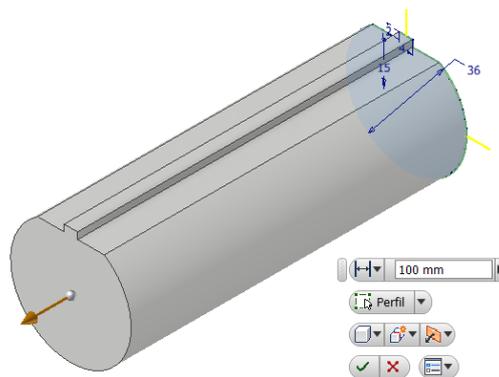
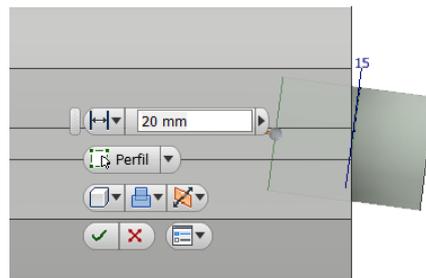


Figura 20. Boceto de la extrusión del cuerpo de la pieza angular

A continuación, se crea un plano de trabajo con el ángulo requerido, en nuestro caso 7, 5°. Dicho plano es donde se dibuja el boceto de una circunferencia y posteriormente se realiza una extrusión. La inclinación de esta extrusión es la culpable de la inclinación de las ruedas ya que posteriormente el eje de las ruedas irá enroscado en su interior.

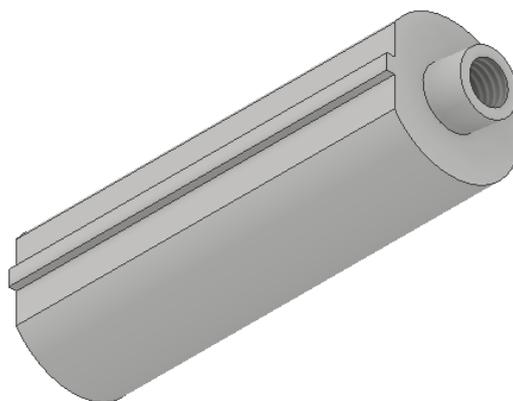


*Figura 21. Extrusión angular de la pieza*

Una vez realizado este último paso podemos entender porque es de vital importancia que la pieza incluya una guía. Esta guía es la encargada de que la pieza este colocada perfectamente y no se gire con el roce o la presión en el interior del eje que une las dos ruedas traseras.

Por último, solo queda realizar un agujero roscado en el interior de la extrusión inclinada. En su interior irá alojado uno de los extremos del eje de la rueda trasera.

A diferencia de las piezas comentadas hasta ahora, esta pieza no es igual en ambos lados si no simétrica. El resultado final de una de las piezas es el siguiente:



*Figura 22. Resultado final del modelado de la pieza angular*

#### 5.2.4. EJE PRINCIPAL TRASERO

Otra de las piezas importantes que tenemos que incluir en este apartado de la estructura de las ruedas traseras es el eje principal trasero que une las dos ruedas traseras.

En el modelado de esta pieza emplearemos como herramienta principal la simetría ya que las operaciones ejecutadas en uno de los extremos serán exactamente simétricas en el otro.

Primero creamos una extrusión de una barra muy simple a partir de un boceto de una circunferencia.

A continuación, se boceta en uno de los extremos exactamente el mismo perfil bocetado anteriormente en la pieza angular. Como podemos observar, realizamos una extrusión negativa con dicho boceto de manera que las piezas angulares anteriormente expuestas irán alojadas cada una en cada uno de los extremos.

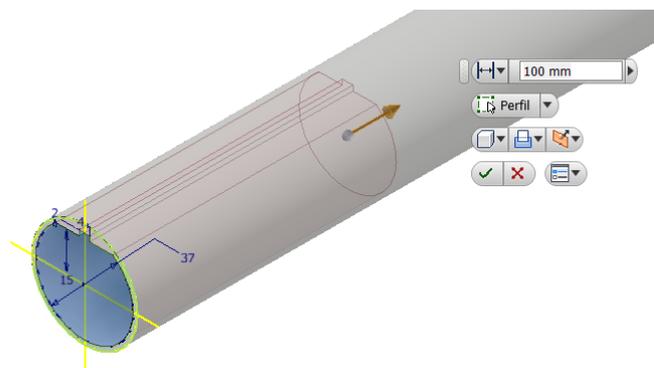


Figura 23. Extrusión del eje principal trasero

Por último, realizamos una pequeña abertura en el extremo del eje con la finalidad de dar cierta holgura para el posterior montaje. El resultado final de la pieza tras aplicar las correspondientes simetrías en las operaciones realizadas en los extremos es el siguiente:

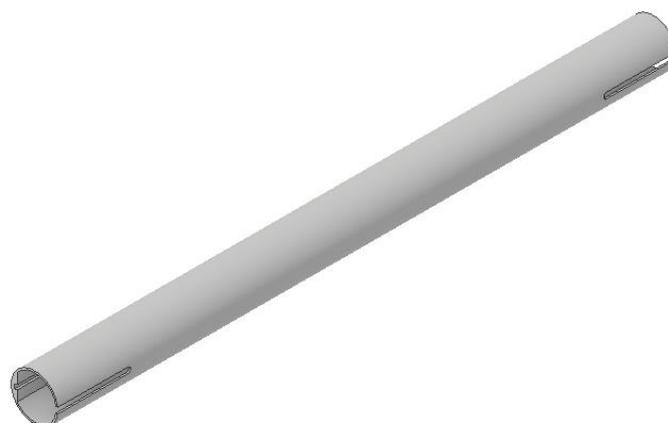


Figura 24. Resultado final del modelado del eje principal trasero

### 5.2.5. ABRAZADERA EJE TRASERO

Esta última pieza está dividida en dos partes. Tenemos la abrazadera inferior y la abrazadera superior.

#### 5.2.5.1. ABRAZADERA INFERIOR

El primer paso para el modelado de la parte inferior de la abrazadera es la operación revolución casi completa alrededor de un eje de giro de manera que obtenemos un cilindro abierto ligeramente.

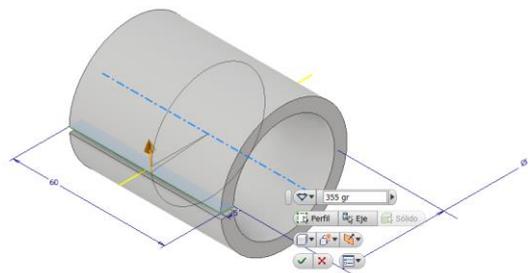


Figura 25. Extrusión abrazadera inferior

A continuación, en cada extremo de la parte abierta del cilindro realizamos una figura en forma de oreja donde posteriormente realizaremos unos agujeros roscados de manera que con un tornillo y una tuerca se pueda apretar y disminuir ligeramente el diámetro del cilindro interior.

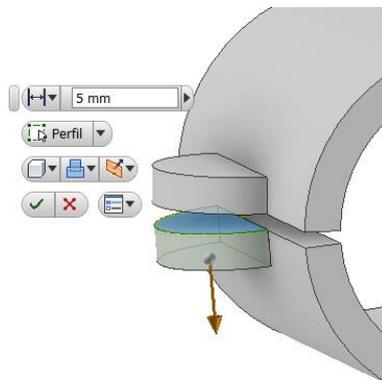
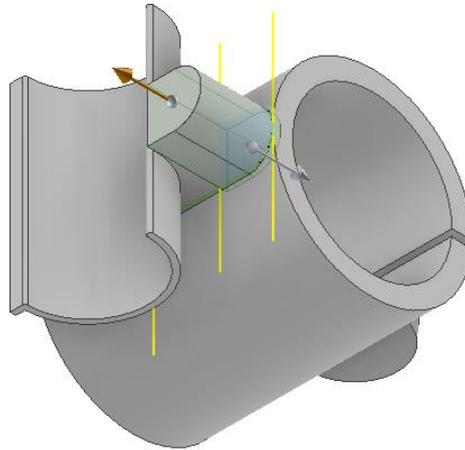


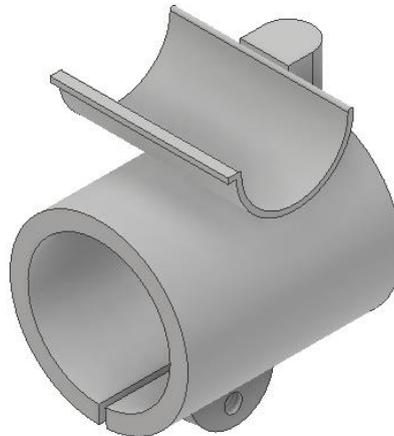
Figura 26. Modelado de orejas de la abrazadera inferior

El siguiente paso en el modelado es realizar un boceto en forma de semicírculo y posteriormente extruirlo. El resultado de esta operación es medio cilindro tangente al cilindro anterior con un saliente en uno de sus extremos:



*Figura 27. Modelado del acople de la abrazadera inferior con la superior*

Además, se añaden dos extrusiones con la forma predeterminada para unir los dos cilindros y alojar el agujero roscado que unirá la pieza inferior de la abrazadera con la superior. El resultado final de dicha pieza es el siguiente:



*Figura 28. Resultado final del modelado de la abrazadera inferior*

#### 5.2.5.2. ABRAZADERA SUPERIOR

Esta parte de la abrazadera es más sencilla que la inferior. La única operación que debemos realizar es la extrusión del boceto con la geometría necesaria. La parte más destacada de dicho modelado es la ranura necesaria para poder encajar ambas piezas.

Cabe comentar que la abrazadera no está completa, pues en el ensamblaje se realizan los dos últimos agujeros roscados necesarios para poder montarla.

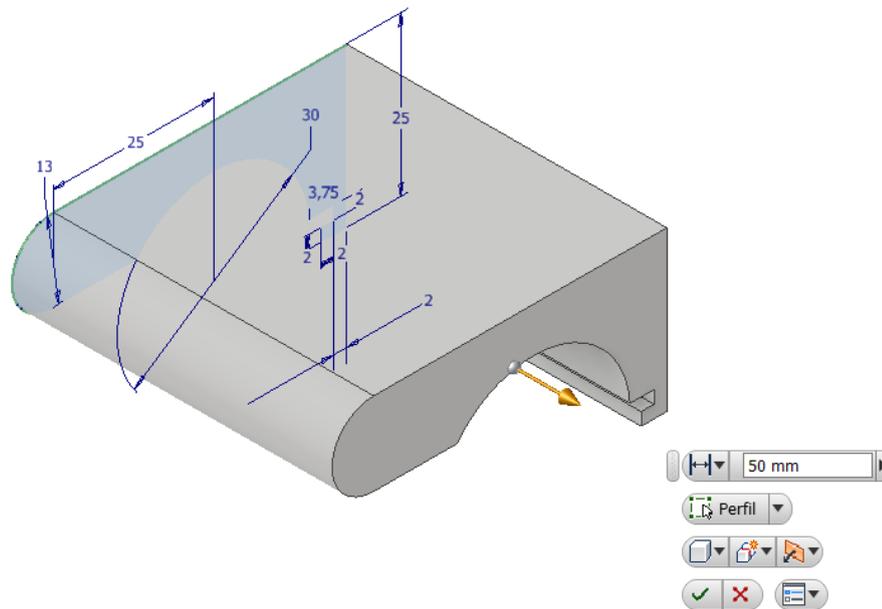


Figura 29. Extrusión y resultado final de la abrazadera superior

### 5.3. ESTRUCTURA DIRECCIÓN Y RUEDA DELANTERA

En este apartado se explica el modelado de la rueda delantera junto con el modelado del mecanismo de dirección ya que ambas partes están muy relacionadas. En primer lugar, se habla de la rueda y poco a poco se llega al mecanismo de dirección por orden de relación de unas piezas con las otras.

#### 5.3.1. RUEDA DELANTERA

Para el modelado de esta pieza, en primer lugar, se crea un sólido mediante la operación revolución, que actúa de eje y que en un futuro será donde se aloje el eje de la rueda. Estos primeros pasos son muy similares a los realizados con las ruedas traseras.

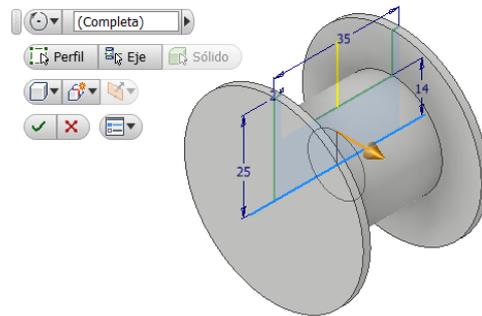


Figura 30. Boceto de la revolución de la parte central de la rueda delantera

A continuación, siguiendo los mismos pasos que en las ruedas explicadas anteriormente, se dibuja en un boceto de uno de los planos de origen un perfil que pueda simular la zona de las ruedas hinchadas. Después, se realiza una revolución de nuevo siendo este el resultado:

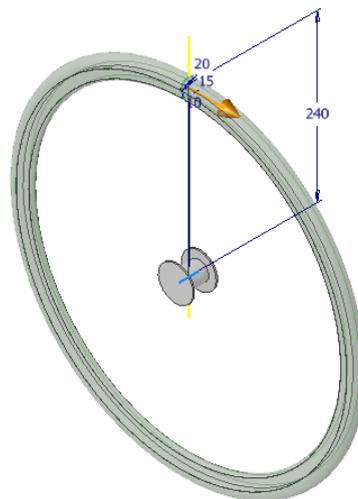
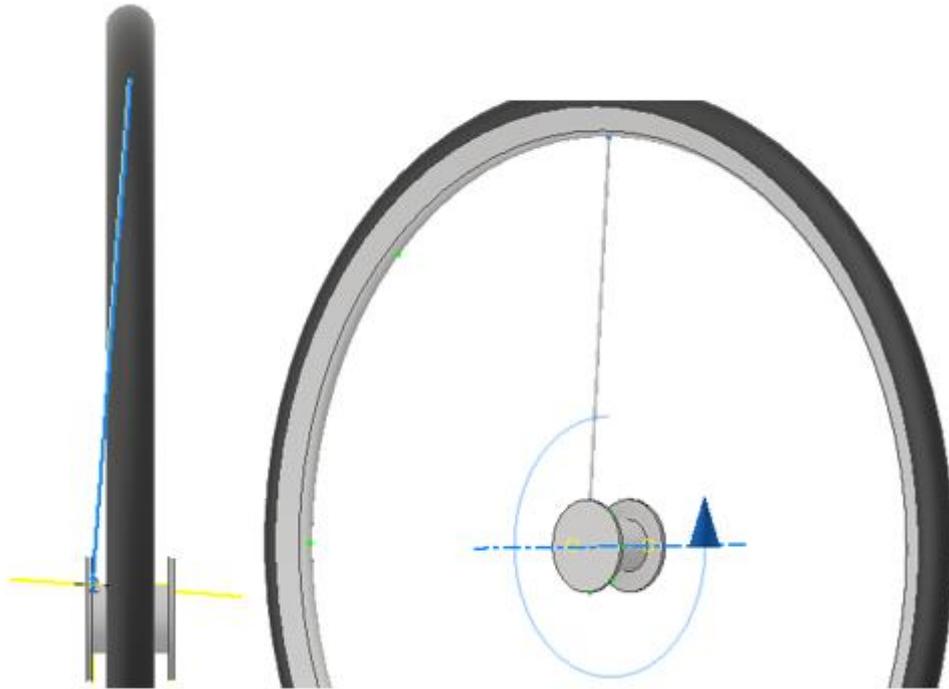


Figura 31. Modelado que simula ser el neumático de la rueda delantera

El siguiente paso es modelar los radios de la rueda. Para ello necesitamos dibujar en uno de los extremos del radio el perfil circular y además necesitamos otro boceto que represente la ruta que queremos que siga nuestro perfil circular para aplicar la operación de barrido.

En nuestro caso, se ha dibujado el perfil en la zona del eje en un plano de trabajo asegurándose que el barrido cubra desde el cilindro central hasta la zona de la rueda. Precisamente, la línea de la ruta nos cubre dicho recorrido, sin embargo, la unión debe tener cierto ángulo desde el exterior del cilindro hasta justo el medio del toroide ya modelado como podemos observar en la imagen:

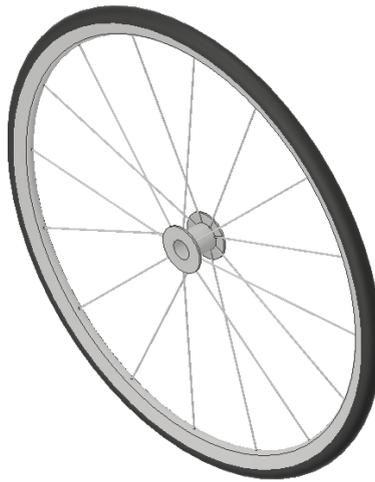


*Figura 32. Modelado de los radios de la rueda delantera*

Una vez realizado el primero de los radios de uno de los lados ahora aplicamos la operación de matriz polar para que automáticamente se modelen el resto alrededor del eje.

Ahora ya estarían completos todos los radios de uno de los lados. Para modelar el otro lado con los radios necesarios se repiten las operaciones comentadas anteriormente, pero en este caso con un desfase de la mitad de los grados que separan un radio con el siguiente de manera que los radios de un lado y de otro se queden intercalados como podemos observar en la siguiente imagen:

Finalmente, solo hay que realizar una extrusión negativa en el centro de la rueda ya modelada para poder alojar el eje de la rueda. El resultado final de la rueda delantera completa es el siguiente:

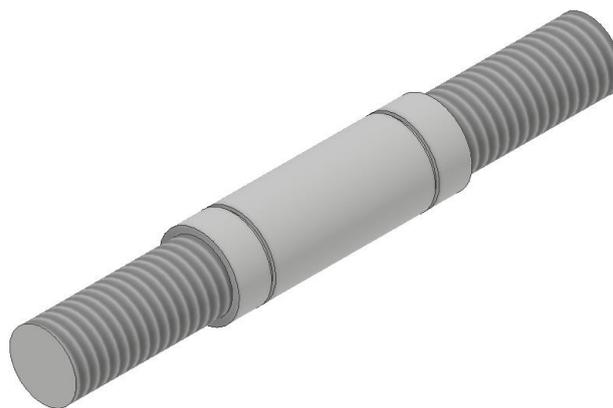


*Figura 33. Resultado final del modelado de la rueda delantera*

### 5.3.2. EJE RUEDA DELANTERA

De la misma manera que los ejes de las ruedas traseras este eje también tiene una geometría bastante sencilla.

En primer lugar, se realiza un boceto en uno de los planos principales donde se dibuja la mitad de la geometría del eje, incluidas las muescas para las arandelas, y a continuación se escoge un eje para poder aplicar la operación de revolución. De esta manera con una sola operación tenemos la pieza prácticamente terminada. Por último, se aplica un roscado en cada uno de los extremos y el resultado final es el siguiente:



*Figura 34. Resultado final del modelado del eje de la rueda delantera*

### 5.3.3. MANILLAR

La pieza que a continuación se explica es una de las más complejas a la hora de modelar debido a la falta de conocimiento de algunas de las herramientas del programa como la realización de bocetos en 3D. Sin embargo, con los conocimientos adquiridos, y aunque de manera algo más compleja, el modelado se puede llevar a cabo.

Primero, se modela la zona cilíndrica empleando como eje una línea dibujada a 45° del eje vertical de origen y se dibuja el boceto que dará forma a la revolución a rededor de dicho eje.

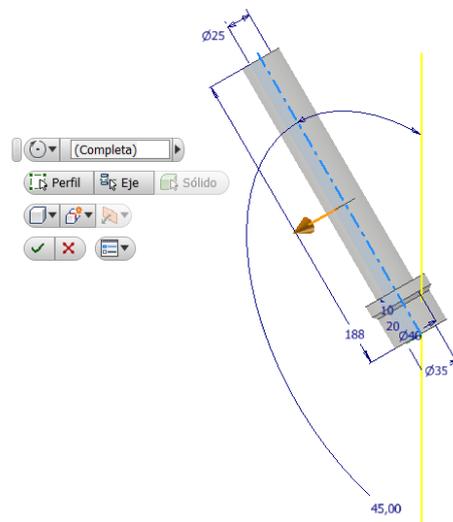


Figura 35. Modelado de la zona cilíndrica del manillar

A continuación, se busca utilizar la operación de barrido a lo largo de dos planos distintos. Debido a que únicamente se realizan bocetos en 2D tendremos que partir la operación en dos partes. En primer lugar, tenemos que crear los planos de trabajo necesarios para poder dibujar los bocetos en la zona espacial deseada.

Primero, necesitamos un plano que corte transversalmente al cilindro ya modelado, de manera que este inclinado unos 45° del plano de origen. Después, otro plano desfasado a la distancia donde dibujaremos los bocetos necesarios:

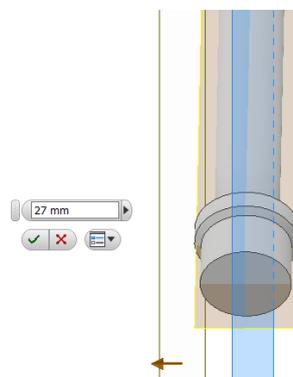


Figura 36. Plano de trabajo base para posteriores bocetos

Se dibuja un boceto en forma de curva que actuará como ruta de la zona de unión entre las rutas de los distintos bocetos:

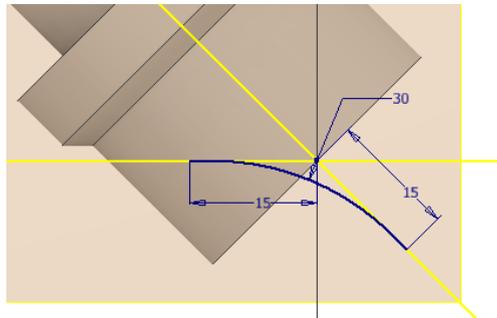


Figura 37. Boceto de la parte final de la ruta

A continuación, se traza un boceto en el plano de origen horizontal teniendo en cuenta que el final de dicho boceto y el principio del anterior tienen que coincidir necesariamente.

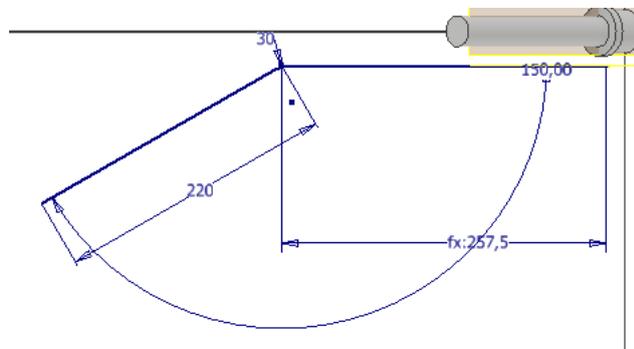


Figura 38. Boceto de la ruta total del barrido del manillar

Una vez realizados ambos bocetos se dibuja un tercero con el perfil de la circunferencia del barrido y seleccionando este perfil junto a los dos últimos bocetos como ruta obtenemos finalmente el barrido completo.

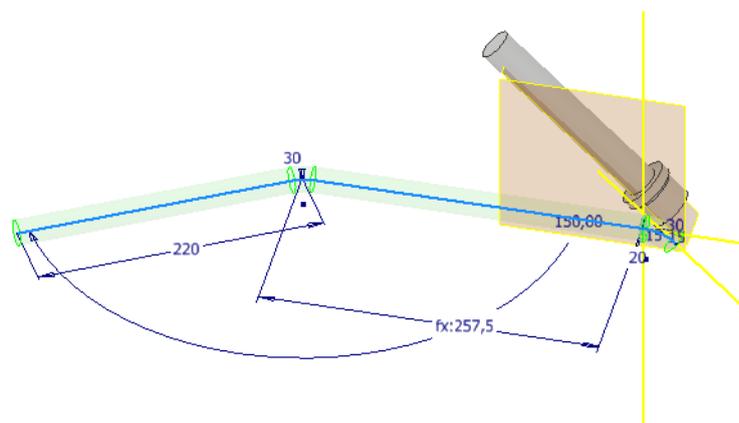
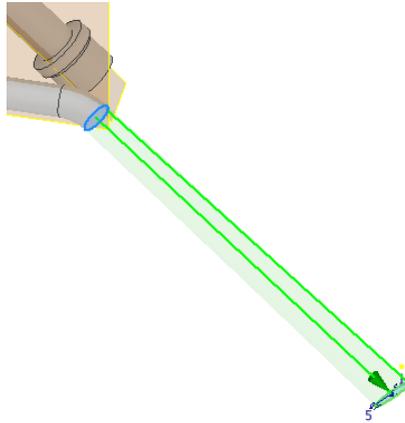


Figura 39. Operación de barrido en el manillar

Para completar este lado del manillar, se realiza un último boceto que actuara de nuevo como ruta desde el final del anterior empleando el plano de trabajo que corta transversalmente a la

pieza cilíndrica inicial. Sin embargo, en este caso se emplea la operación de elevación y por lo tanto necesitamos al final de la ruta el boceto del perfil final deseado.

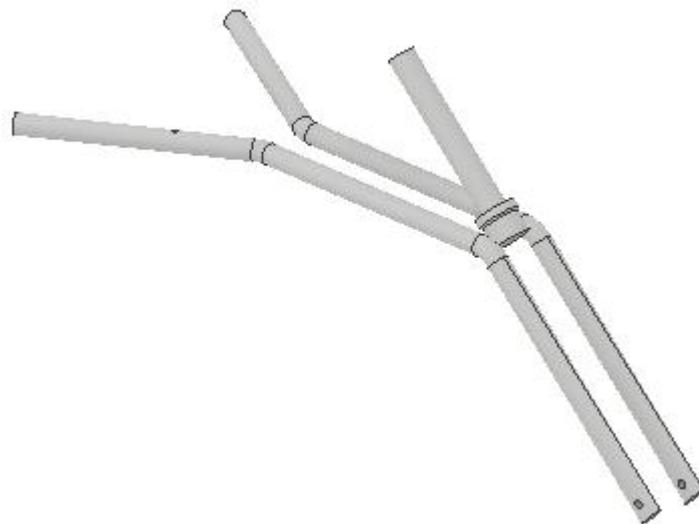


*Figura 40. Operación de elevación del manillar*

Una vez terminada completamente la barra de uno de los lados se emplea la operación de simetría respecto al plano de origen que corta transversalmente el cilindro inicialmente modelado.

Por último, se procede a realizar algunos agujeros roscados en zonas que podrán entenderse mejor cuando se explique el ensamblado de dicha pieza en apartados siguientes.

El resultado final de la pieza es el siguiente:



*Figura 41. Resultado final del modelado del manillar*

#### 5.3.4. AMORTIGUADOR

El amortiguador es un conjunto de pequeñas piezas sencillas que juntas simulan el amortiguador de esta silla de ruedas. El proceso de modelado de cada una de las piezas es muy sencillo. Las piezas modeladas para este subconjunto son las siguientes:

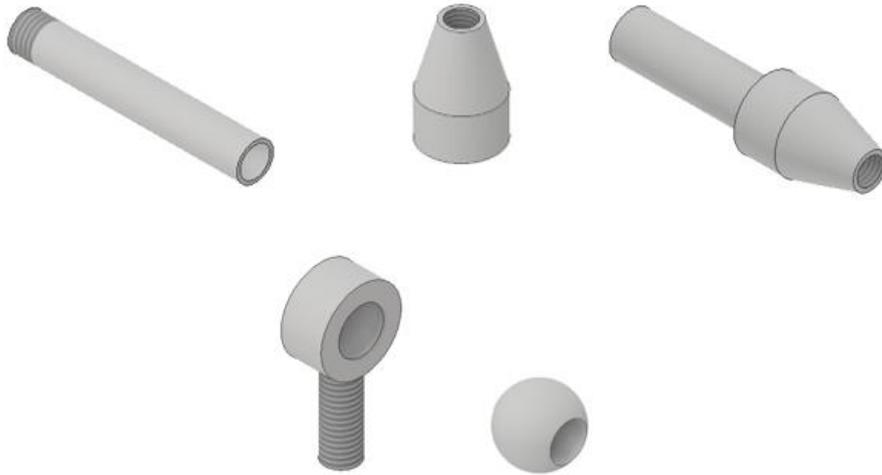


Figura 42. Conjunto de piezas que forman el amortiguador

Como podemos observar en las figuras superiores, la geometría de todas las piezas es muy simple. Básicamente, se ha modelado un cilindro que simula principalmente el amortiguador. En este caso no es necesario el modelado literal de un amortiguador ya que no influye en el objetivo del trabajo. Por otro lado, tenemos las tapas, una fija y otra móvil que da la posibilidad de aumentar o disminuir la longitud total del amortiguador. Y por último tenemos las rótulas, se utilizan dos de las dos últimas piezas, una roscada a cada una de las tapas.

#### 5.3.5. PIEZA DE DIRECCIÓN

A continuación, se explica el modelado de la pieza que controla la dirección de la silla de ruedas mediante un mecanismo que se explicará más adelante en el apartado de ensamblaje.

Esta pieza la trabajaremos con simetría como se ha hecho con otras anteriormente. Por lo tanto, en primer lugar, se ejecuta la operación de barrido trazando la ruta de la barra deseada en un boceto así como el perfil.

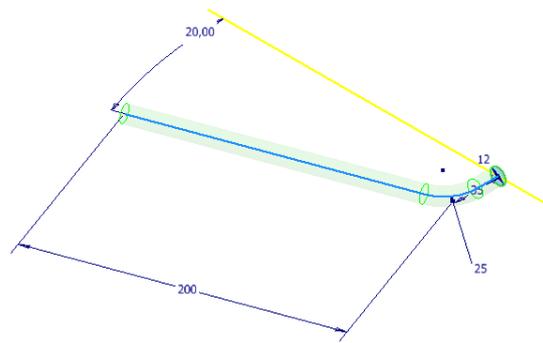


Figura 43. Barrido de la pieza dirección

Una vez creada esta primera barra, se aplica simetría respecto al plano principal coplanario con el boceto del perfil utilizado para el barrido.

A continuación, necesitamos crear un plano de trabajo tangente a la barra modelada ya que hay que añadir una parte de la pieza que está soldada a la barra. En dicho plano de trabajo, justo en el centro se dibuja un boceto circular para luego utilizar la operación de extrusión.

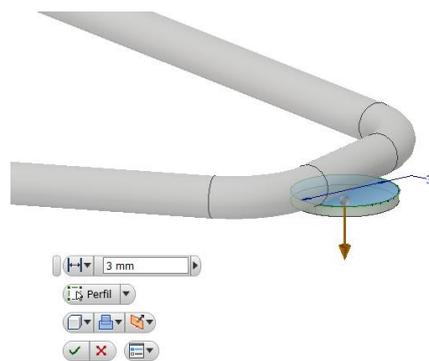


Figura 44. Modelado del elemento que une la pieza dirección con el chasis

Por último, solo queda realizar algunos agujeros roscados en algunas zonas, los cuales se entenderán mejor cuando se explique el proceso de ensamblado. El resultado final de la pieza completa es el siguiente:



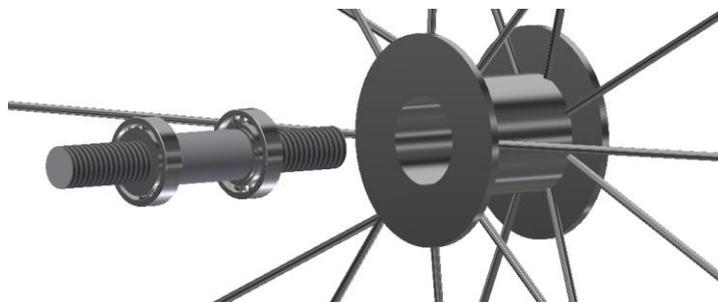
Figura 45. Resultado final del modelado de la pieza dirección

## CAPÍTULO 6. ENSAMBLAJE DEL MODELO

En este capítulo se trata el ensamblaje de todas las piezas modeladas comentadas en el apartado anterior y también de las piezas escogidas en el centro de contenido del programa.

En primer lugar, insertamos la rueda delantera y añadimos una restricción provisional en la que el plano horizontal global sea coplanario con uno de los planos de la rueda a una distancia del eje de la rueda de manera que la rueda quede tangente al plano horizontal global.

Una vez tenemos la rueda restringida como nos interesa, se inserta el eje de a rueda delantera junto a dos rodamientos de bolas, dos arandelas exteriores y dos collares del centro de contenido. La distribución de estas piezas es collar-rodamiento-arandela visto de izquierda a derecha tal y como se observa en la imagen:



*Figura 46. Vista del montaje del eje con la rueda delantera y los rodamientos*

A continuación, se inserta la pieza del manillar. Se añaden las restricciones pertinentes para que la rueda quede encajada coincidiendo el eje de la rueda con los ejes de los agujeros de la parte baja del manillar. Para ensamblar de manera que la rueda esté centrada con el manillar, se hacen coincidentes los planos de ambas piezas.

Además, se añaden del centro de contenido dos tuercas más grandes para el exterior y dos más pequeñas para el interior.



*Figura 47. Montaje del manillar y la rueda delantera*

Se inserta la pieza del chasis junto a los rodamientos de aguja y sus collares del centro de contenido. También, se inserta una tapa que sujete el montaje de los rodamientos junto a un tornillo. El montaje es tal y como se puede observar en la siguiente imagen:



*Figura 48. Montaje de los rodamientos con el manillar y el chasis*

Seguidamente, se inserta el eje trasero principal, el cual se une al chasis de la silla mediante las abrazaderas explicadas en el apartado anterior. Se utilizan las dos piezas de las abrazaderas dos veces, una en cada extremo de la barra.



*Figura 49. Montaje de la barra principal trasera y las abrazaderas*

En el interior de dicho eje, en cada uno de los extremos debemos insertar las piezas que proporcionan el ángulo a las ruedas traseras, pero teniendo en cuenta la orientación de ambas piezas ya que son simétricas, pero no iguales. Además, con el fin de que las piezas no puedan rotar y así descuadrar el ángulo de las ruedas traseras se debe añadir una restricción con uno de los planos principales de la barra.



*Figura 50. Montaje del eje de la rueda trasera con rodamientos*

De nuevo, se montan los rodamientos de bolas como en el caso del eje de la rueda delantera junto a arandelas exteriores insertadas justo en la muesca modelada en el eje.

Como podemos observar en la imagen anterior, gracias a la inclinación de la rosca de la pieza que nos proporciona el ángulo obtenemos la inclinación necesaria para las ruedas traseras sin necesitar piezas especiales dentro de las propias ruedas o sus ejes.

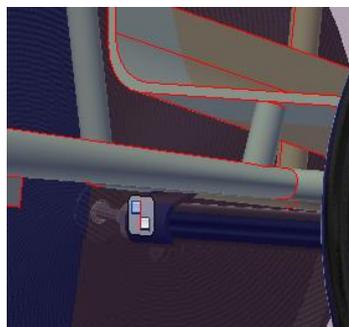
A continuación, se añaden las ruedas traseras colocadas en cada uno de sus respectivos ejes.

En este punto, recordamos que ninguna de las piezas comentadas anteriormente está fijada en el origen y solo tiene restricción la rueda delantera en una de las tres direcciones. Es el momento de restringir otra de las direcciones creando un plano de trabajo con una inclinación igual a la de las ruedas traseras ( $7,5^\circ$ ) y aplicando una restricción coplanaria.



*Figura 51. Vista de la restricción de la rueda trasera con el plano inclinado*

La última dirección que falta por ser restringida para que el conjunto se quede fijo se restringe a partir de una de las caras planas de la pieza del ángulo siendo coincidente con el plano global del ensamblaje.



*Figura 52. Vista de la restricción de una de las caras de la pieza ángulo con el plano global*

Continuamos el ensamblaje por la parte del manillar y se inserta la pieza de la dirección y también todo el subconjunto que forma el amortiguador.

Por otro lado, en los agujeros restantes de la pieza de dirección se insertan unos tornillos con unas tuercas que hacen la función de tope contra el saliente del chasis que dan lugar a la función propia de la pieza de dirección de la silla de ruedas.

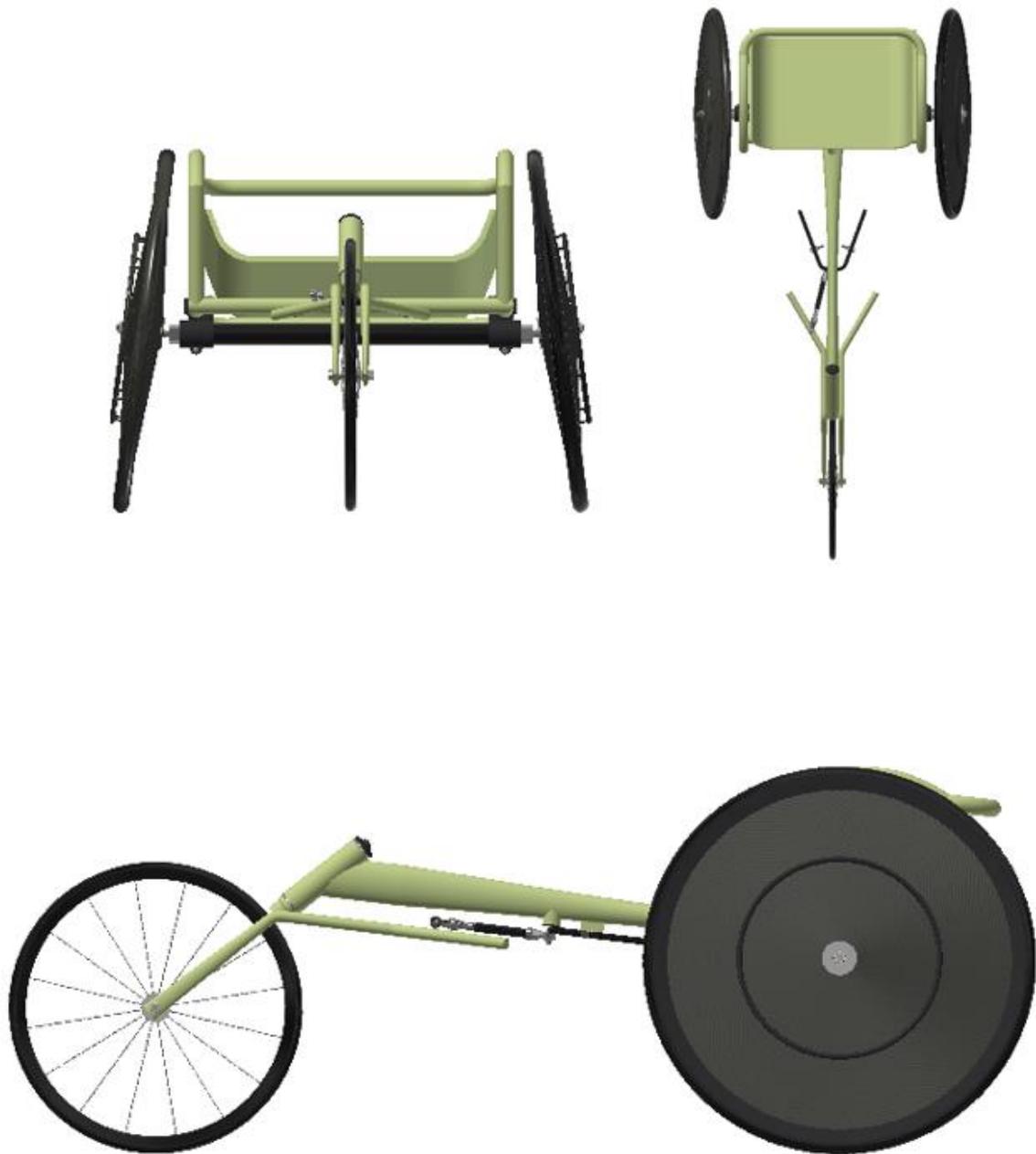
El resultado del montaje de esta parte es:



*Figura 53. Ensamblaje del conjunto de piezas que forman el amortiguador*

Como podemos observar el amortiguador tiene una tuerca móvil que puede modificar su longitud según nos interese más. Para conseguir la longitud adecuada se tienen que restringir las piezas de la dirección, el manillar y la rueda de manera que estén completamente centradas. La longitud que sea necesaria en el amortiguador para cumplir esta restricción será la que nos interese y por lo tanto añadiremos esta distancia a las restricciones y eliminaremos la restricción anterior.

Por último, se añaden todos los tornillos y tuercas restantes del centro de contenido y el resultado final del ensamblaje es el siguiente:



*Figura 54. Vistas del alzado, planta y perfil del resultado final del ensamblaje de la silla de ruedas completa*

Finalmente, con el ensamblaje ya completo se añaden las restricciones necesarias para el movimiento restringido de la rueda delantera. Para ello, necesitamos aplicar una restricción de ángulo en la pieza dirección.

Para esta restricción necesitamos 3 elementos: un plano fijo, un plano móvil respecto al fijo y un eje de rotación. Para el plano fijo podemos utilizar el plano que corta transversalmente a la pieza del chasis. Sin embargo, debido a que la pieza dirección tiene una cierta inclinación no es posible utilizar sus planos locales para esta restricción, por lo tanto, es necesario crear un plano y un eje de trabajo.

El plano de trabajo se crea considerando un plano perpendicular al plano de origen del ensamblaje que actúa como 'suelo' y que pasa por el eje de una de las barras de la pieza dirección. Por otro lado, para el eje de trabajo se considera el plano transversal de la pieza dirección y el eje del agujero roscado del centro para crear primero un punto. Con este punto se crea un eje perpendicular al plano del 'suelo' y que pase por él.

De esta manera ya tenemos los elementos necesarios para poder crear la restricción. En este caso se restringe para que haya una abertura de 20º por cada lado. Siendo -20º la posición céntrica.

Por último, cabe comentar que para poder realizar el movimiento comentado anteriormente es necesario eliminar la primera restricción que se añade en la rueda delantera y crear un plano de trabajo perpendicular al eje de giro y tangente a la rueda para poder dar la posibilidad de dicho movimiento.

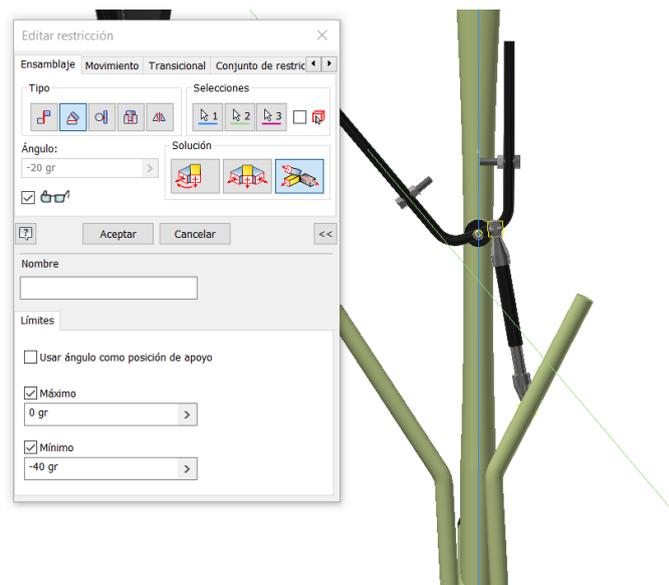


Figura 55. Restricción del movimiento de la pieza dirección

## CAPÍTULO 7. PARAMETRIZACIÓN DEL MODELO

Debido a la falta de información de la fabricación de este producto la parametrización del modelo se basa en la posición de los atletas a partir de videos o imágenes de competiciones oficiales de la modalidad.

La parametrización se realiza a partir de la vinculación de una hoja Excel donde podemos encontrar los datos de entrada que actuarán como variables en las cotas que se consideren apropiadas. Estos datos podemos integrarlos en el programa Inventor en el apartado 'funciones' de manera que la medida de una cota es una ecuación que contiene dichas variables de entrada. En el modelo las cotas parametrizadas se representan como fx: "resultado de la ecuación".

Como datos de entrada en el programa se usan las medidas biométricas del atleta. En este caso solo serán necesarias las medidas de la longitud de los brazos y la anchura de la cadera. Siendo el nombre de estas variables 'largo\_brazo' y 'ancho\_tronco' respectivamente. Cabe comentar que, en el caso de la longitud del brazo, se toma como referencia la longitud – 150 mm que se supone de la zona de mano/muñeca no funcional en este caso.

En este apartado cabe destacar la importancia de un buen modelado de las piezas de manera que variando ciertas cotas las operaciones aplicadas no se pierdan, aunque dependan de dicha cota. Se trata de un modelado con coherencia de manera que una vez ensambladas las piezas no se pierda su diseño y funcionalidad.

A continuación, se explica el procedimiento de parametrización de cada una de las piezas del ensamblaje.

### 7.1. PARAMETRIZACIÓN DEL CHASIS

El chasis es la pieza más parametrizada de todo el conjunto y por lo tanto la más compleja.

En primer lugar, se ajusta a la medida del atleta la anchura del asiento a partir del parámetro 'ancho\_tronco'.

En las siguientes imágenes podemos ver las cotas d0 y d27 cuyo valor viene representado detrás del símbolo 'fx'. Las ecuaciones empleadas para hallar estos valores son:

$$d0 = ancho\_tronco + 170 \text{ mm}$$

$$d27 = ancho\_tronco + 50 \text{ mm}$$

En el caso de la cota d27 añadimos 50 mm a la medida del ancho de la cadera del cliente de manera que pueda tener algo de holgura en el asiento. Esta ecuación condiciona a la siguiente que se encuentra en la cota d0 ya que la distancia entre los elementos debe mantenerse y cuando la silla se estrecha debe estrecharse también el chasis a su alrededor. La distancia que se establece para que los dos elementos de la pieza no se solapen es de 120 mm.

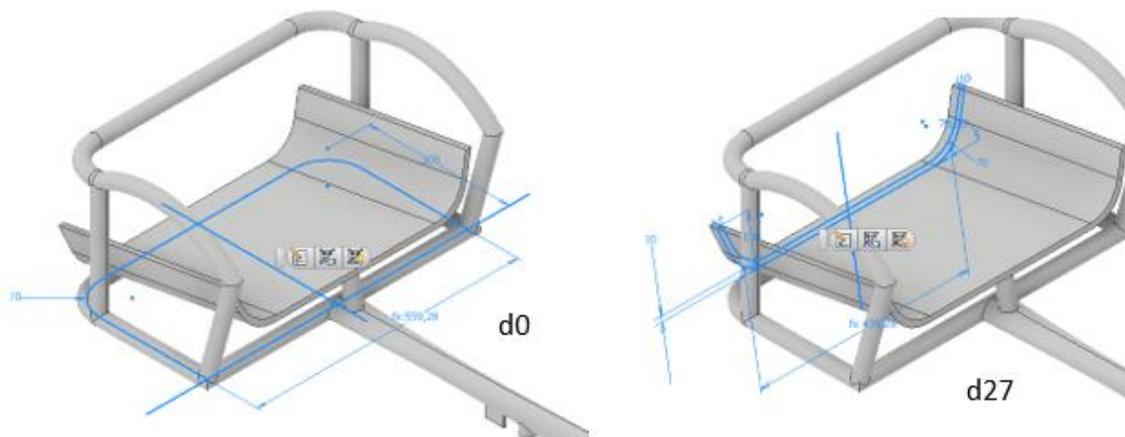


Figura 56. Boceto de las cotas parametrizadas d0 y d27

Por otro lado, también para esta zona de la pieza se tiene en cuenta la variable 'largo\_brazo' con la que podemos modificar la altura de la zona del chasis que separa el cuerpo de la persona de la rueda. La cota que nos facilita esta variación es la d10 y su ecuación es:

$$d10 = \text{largo\_brazo} / 2 \text{ su}$$

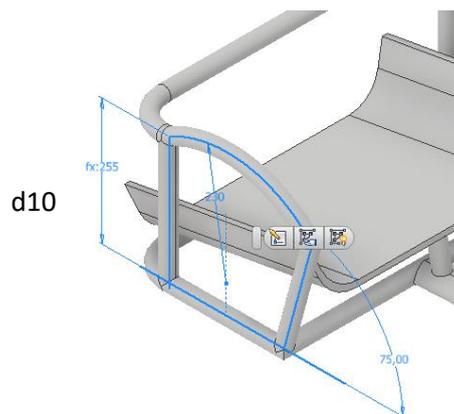


Figura 57. Boceto de la cota parametrizada d10

Para la cota d10 se divide entre dos la longitud de los brazos ya que aproximadamente esta es la longitud necesaria para que proteja el cuerpo del roce de las ruedas traseras, pero sin impedir un movimiento cómodo de los brazos al impulsar sobre el aro.

También en relación con el parámetro 'largo\_brazo' se parametriza la distancia desde el agujero donde se aloja la pieza de la dirección y el punto de ensamblaje con el asiento.

Esta relación es algo más compleja ya que es necesario que el conjunto de las piezas dirección-amortiguador-manillar deben desplazarse en función de dicha variable de manera solidaria.

En la pieza del chasis solo debemos preocuparnos por el desplazamiento solidario de la pestaña que actúa de tope de la dirección y del agujero donde se aloja la pieza dirección. Para ello, en el modelado debemos posicionar un elemento a una distancia fija del otro, de manera

que esa distancia siempre se mantendrá entre ellos. De esta forma solo es necesario parametrizar uno de ellos para que ambos se desplacen de manera solidaria.

En este caso para la cota de la longitud que se necesita se ha empleado la ecuación:

$$d61 = \text{largo\_brazo} - 100 \text{ mm}$$

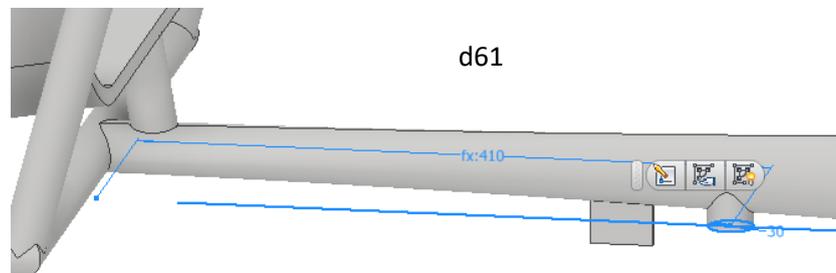


Figura 58. Boceto de la cota parametrizada d61

A la longitud del brazo en esta medida se le restan 100 mm porque es el margen considerado para que el atleta pueda llegar fácilmente al manillar que se encuentra a una distancia mayor.

Finalmente, para completar la parametrización de esta pieza se añade una quinta función en la que se tiene en cuenta la excepción de que el cliente pueda ser un niño o una persona de dimensiones pequeñas.

Como se ha comentado en el CAPITULO 3 existe una medida de diámetro máximo en las ruedas traseras. Esta medida es la empleada prácticamente por todos los deportistas adultos. Sin embargo, en el caso de los niños es muy posible que esta medida sea excesiva y deje de ser funcional a pesar de la posibilidad de adaptar el tamaño del aro impulsor. En este caso, se disminuiría el diámetro de las ruedas traseras.

Por contra, la disminución de dicho parámetro afecta a la inclinación del asiento respecto al suelo y puede resultar poco funcional. Para solucionar este problema se parametriza la inclinación del asiento en función del tamaño de las ruedas traseras como variable excepcional solo para estos casos.

En esta ocasión los cálculos con las variables se han realizado en la hoja de cálculo vinculada del Excel de manera que al resultado se le ha llamado 'tipo'.

Como vemos en la imagen, en este caso la variable es la cota d21 en grados y es la que determina la inclinación del plano de trabajo al que pertenece el boceto del propio asiento.

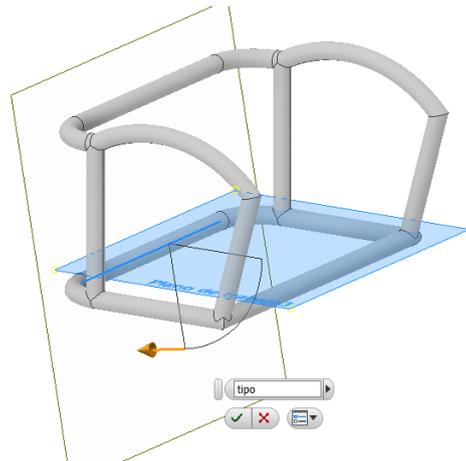


Figura 59. Boceto de la cota parametrizada d21

Teniendo en cuenta que las variables 'ángulo' y 'z' son auxiliares y se emplean exclusivamente para cálculos, las operaciones realizadas para llegar a la solución de los grados necesarios son las siguientes:

$$d21 = \text{tipo}$$

$$\text{tipo} = 80 + (\text{ángulo} - 10)$$

$$\text{ángulo} = \text{ATAN} ( z / 425 ) * ( 180 / \text{PI} )$$

$$z = 75 + ( 320 - \text{Rruedatrasera} )$$

Para la realización de estas ecuaciones se ha trazado un triángulo rectángulo con las medidas obtenidas a partir de la medida de radio estándar de la rueda trasera de 320 mm de la siguiente manera:

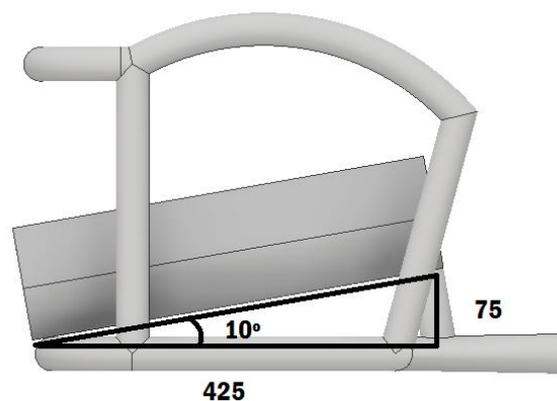


Figura 60. Triángulo empleado para las operaciones

De esta manera a partir de la diferencia de altura que se crea al disminuir el diámetro de la rueda trasera ( z ) se obtiene un nuevo ángulo ( ángulo ) en grados, que teniendo en cuenta

que ángulo de inclinación necesario para el plano de trabajo es el complementario al calculado obtenemos finalmente la variable 'tipo'.

## 7.2. PARAMETRIZACIÓN DEL MANILLAR

La parametrización del manillar está relacionada a la parametrización anteriormente comentada del agujero donde se aloja la pieza dirección. Como se ha comentado anteriormente se trata de un movimiento solidario del conjunto dirección – amortiguador – manillar. Las ecuaciones empleadas en este caso son:

$$\text{manillar} = 550 \text{ mm} - \text{largo\_brazo}$$

$$\text{d53} = \text{manillar} + 150 \text{ mm}$$

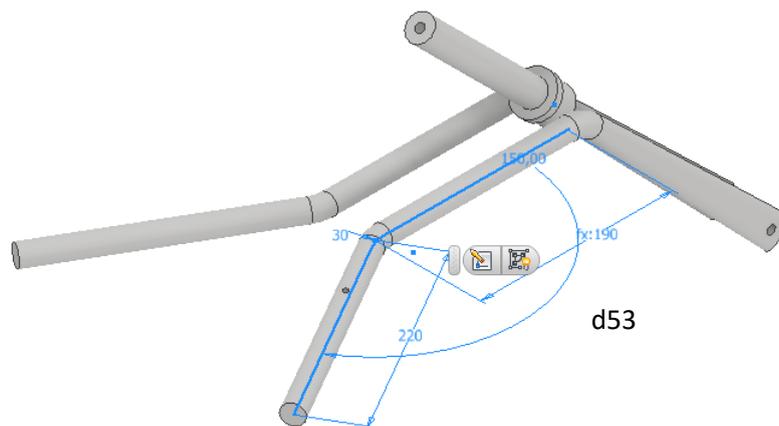


Figura 61. Boceto de la cota parametrizada d53

De nuevo, se emplean variables auxiliares en la función, en este caso la variable auxiliar es 'manillar' que es el resultado de calcular la diferencia entre la longitud máxima entre el manillar y el asiento y la longitud de la variable 'largo\_brazo'. De esta manera se puede calcular el incremento de la cota d53 añadiendo a su longitud base la medida 'manillar'.

## 7.3. PARAMETRIZACIÓN RUEDA TRASERA

Por último, la rueda tiene dos parametrizaciones. Por un lado, el radio total de la rueda y por otro el radio del aro impulsor.

En primer lugar, la parametrización del radio total de la rueda solo se considera en casos excepcionales en los que el cliente se por ejemplo un niño. La parametrización simplemente ofrece la posibilidad de que desde la hoja de Excel se puede cambiar esta cota y tenerla en

cuenta para la inclinación del asiento como se ha comentado en apartados anteriores. Por lo que la ecuación que se utiliza es:

$$d5 = Rruedatrasera$$



Figura 62. Boceto de la cota parametrizada d5

Por otro lado, la parametrización del aro impulsor es algo más compleja. La estimación de la medida que se necesita según la longitud del brazo del cliente se considera a partir de varios videos en los cuales explican la técnica de impulsión de los atletas. Para emplear esta técnica es necesario que el deportista sea capaz de llegar con facilidad a cualquier punto de todo el perímetro del aro. Debido a ello no se puede considerar únicamente la longitud del brazo ya que es necesaria cierta movilidad. En este caso la ecuación empleada es la siguiente:

$$d18 = \text{largo\_brazo} - (1/3 * \text{largo\_brazo})$$



Figura 63. Boceto de la cota parametrizada d18

Aproximadamente se consideran dos tercios de la longitud del brazo para el diámetro del aro impulsor ya que de esta manera hay un margen de un tercio de la longitud además de los 150 mm considerados en la variable de la medida de la mano.

#### 7.4. CREACION DE PERFILES TIPO

Para probar y comprobar que la parametrización del modelo funciona se necesitan una serie de perfiles tipo que simulen las medidas de un atleta real. Como no hemos tenido a nuestra disposición las medidas reales de ningún atleta de este tipo se han creado los perfiles tipo a partir de una serie de normas de manera que se pueda asemejar lo máximo posible a unas medidas reales.

En primer lugar, en la Biblioteca Nacional de Medicina de los EE. UU. Encontramos una aproximación del tamaño de la estructura corporal a partir de la medida de la muñeca y de la estatura, de manera que se puede determinar si la estructura ósea es grande, mediana o pequeña. La aproximación es la que sigue:

Tabla 2. Relación de la estatura con la medida de la muñeca respecto a hombres y mujeres

	MUJERES			HOMBRES
ESTATURA	<1,58 m	1,58 a 1,67 m	>1,67 m	>1,67 m
Pequeña	<13,9 cm	<15,2 cm	<15,8 cm	13,9 a 16,5 cm
Mediana	13,9 a 14,6 cm	15,2 a 15,8 cm	15,8 a 16,5 cm	16,5 a 19 cm
Grande	>14,6 cm	>15,8 cm	>16,5 cm	>19 cm

De este cálculo tomaremos la medida media de cada intervalo junto con su respectiva altura. En el caso de los hombres tomaremos 1,76 m de altura para que pueda tener más representación, ya que es la media española. De manera que nuestros datos serán:

Tabla 3. Medidas medias aproximadas de cada perfil

	Perfil 1	Perfil 2	Perfil 3	Perfil 4
Estatura (m)	1,58	1,625	1,67	1,76
Muñeca (mm)	142,5	155	161,5	177,5

Para calcular la medida de ancho de tronco que necesitamos para la parametrización del modelo utilizaremos el método de cálculo de medidas corporales ideales de John Mc. Callum, el más utilizado hoy en día. Esta fórmula parte del tamaño de la muñeca para determinar las dimensiones de otras partes del cuerpo. El proceso es el siguiente:

- pecho = muñeca\*6,5
- brazo = pecho\*0,36
- antebrazo = pecho\*0,29
- pierna = pecho\*0,53

- pantorrilla = pecho\*0,34
- cintura = pecho\*0,7
- cuello = pecho\*0,37
- cadera = pecho\*0,85

En nuestro caso sólo utilizaremos el cálculo de pecho y el cálculo de la pierna para cada perfil.

Primero buscamos la medida del ancho de caderas y para ello aproximamos la medida de la pierna al perímetro de un círculo y calculamos su diámetro de manera que la suma de dos diámetros será lo que tomaremos como anchura de cadera. Los cálculos para los distintos perfiles son los siguientes:

*Tabla 4. Resumen de la variable 'ancho\_tronco' asignada a cada perfil*

Perfil 1 (mm)	
Muñeca	142,5
Pecho	926,25
Pierna	490,9
Anchura de cadera	312,51

Perfil 2 (mm)	
Muñeca	155
Pecho	1007,5
Pierna	533,975
Anchura de cadera	339,94

Perfil 3 (mm)	
Muñeca	161,5
Pecho	1049,75
Pierna	556,367
Anchura de cadera	354,194

Perfil 4 (mm)	
Muñeca	177,5
Pecho	1153,75
Pierna	611,487
Anchura de cadera	389,28

La otra medida necesaria para la parametrización es la del largo de los brazos. Para calcular aproximadamente esta medida en nuestros perfiles nos basamos en las proporciones del Hombre Vitruvio de Leonardo da Vinci. Las proporciones que usaremos en este caso son:

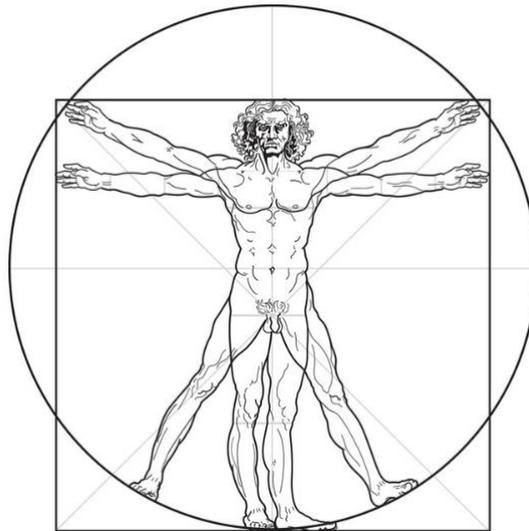


Figura 64. Hombre Vitruvio de Leonardo da Vinci

- La anchura mayor de los hombros contiene en sí misma la cuarta parte de un hombre.
- La longitud de los brazos extendidos de un hombre es igual a su altura.

Sabiendo estas condiciones podemos calcular el largo de los brazos ya que tenemos definida una altura para cada uno de los perfiles. Con la altura menos la longitud entre hombros y entre dos obtenemos la longitud de un brazo. Los resultados son los siguientes:

Tabla 5. Resumen de la variable 'largo\_brazo' asignada a cada perfil

Perfil 1 (mm)	
Estatura	1580
Hombro-hombro	395
Longitud brazo	592,5

Perfil 2 (mm)	
Estatura	1625
Hombro-hombro	406,25
Longitud brazo	609,375

Perfil 3 (mm)	
Estatura	1670
Hombro-hombro	417,5
Longitud brazo	626,25

Perfil 4 (mm)	
Estatura	1760
Hombro-hombro	440
Longitud brazo	660

## CAPITULO 8. VALIDACIÓN DEL DISEÑO MEDIANTE FEM

En este capítulo comentaremos el estudio estático realizado en algunas de las piezas más críticas del ensamblaje de la silla de ruedas. Las piezas seleccionadas para realizar un estudio estático son los ejes de las ruedas traseras y el eje principal trasero que une las dos ruedas traseras.

Como no se ha hecho un estudio dinámico del movimiento del ensamblaje, se realizará el FEM seleccionando las piezas a estudiar individualmente. Las cargas que se añaden en cada pieza para el estudio serán las cargas trasladadas aproximadamente del conjunto.

En los siguientes estudios, para ser completamente representativo de la mayor parte de la población posible se han realizado para una carga de una persona de unos 90 kg. La carga, de manera aproximada, se tiene en cuenta como una carga puntual aplicada sobre la parte del asiento. Tal y como indica la siguiente imagen:



*Figura 65. Representación de la carga puntual aplicada*

Además del peso del atleta debemos tener en cuenta una sobrecarga de uso en caso de desnivel en la pista o impacto. Para ello se hace uso de la ecuación de caída libre. Para esta

ecuación tomaremos  $h = 0,02$  m ya que según la ley de accesibilidad de personas con movilidad reducida ésta es la máxima altura permitida en un desnivel entre el rebaje de cordón y la calzada.

La ecuación queda de la siguiente manera:

$$F = m \times g \times h = 90 \times 9,81 \times 0,02 = 17,65 \text{ N}$$

Esta es la fuerza de sobrecarga en caso de impacto o caída que hay que añadir a la carga del peso del deportista ( $90\text{kg} = 882,6 \text{ N}$ ). Por lo tanto, nuestra carga puntual final en N será:

$$F_{total} = 882,6 + 17,65 = 900,25 \text{ N}$$

### 8.1. FEM DEL EJE DE LA RUEDA TRASERA

Para el caso del eje de la rueda trasera se trasladará la carga aplicada a uno de los extremos teniendo en cuenta la inclinación de  $7,5^\circ$  de manera que en uno de los extremos tendremos un cortante, un momento, y un axil. Por otro lado, también se tiene en cuenta la carga transmitida por los rodamientos al eje. La rueda apoyada en el suelo recibe una fuerza de reacción equivalente al peso aplicado, dicha fuerza también se transmite al eje a través de los rodamientos.

Los rodamientos al ser de bolas transmiten carga axial y radial. La carga de la rueda debida a la reacción con el suelo se transmite dividida por los dos rodamientos. La mitad de la carga en cada uno de ellos.

A la hora de calcular las cargas aplicadas en el cada uno de los dos ejes de las ruedas traseras se ha considerado que la mitad de la carga se transmite a un eje y la otra mitad al otro. Se ha despreciado la posible carga residual transmitida por el chasis a la rueda delantera ya que prácticamente todo el peso recae sobre las ruedas traseras.

Las cargas aplicadas sobre el eje finalmente son las siguientes:

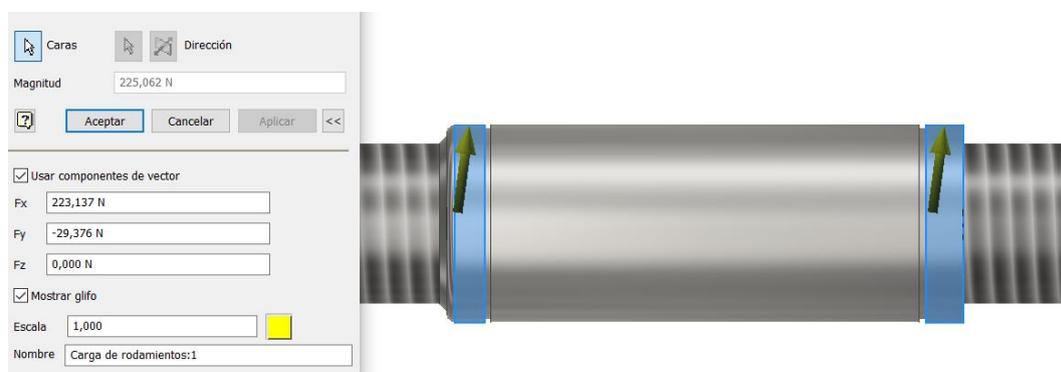


Figura 66. Fuerzas transmitidas por los rodamientos al eje de la rueda trasera

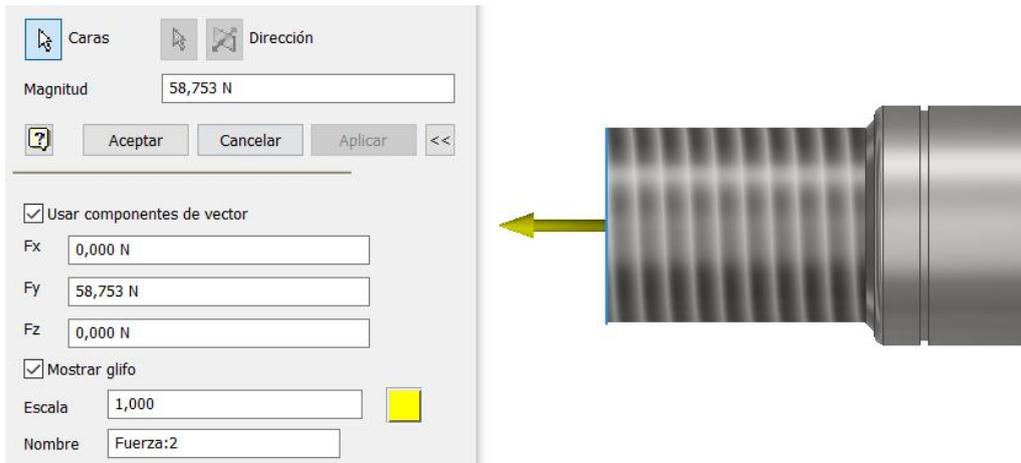


Figura 67. Fuerza axial aplicada en el eje de la rueda trasera



Figura 68. Momento aplicado en el eje de la rueda trasera

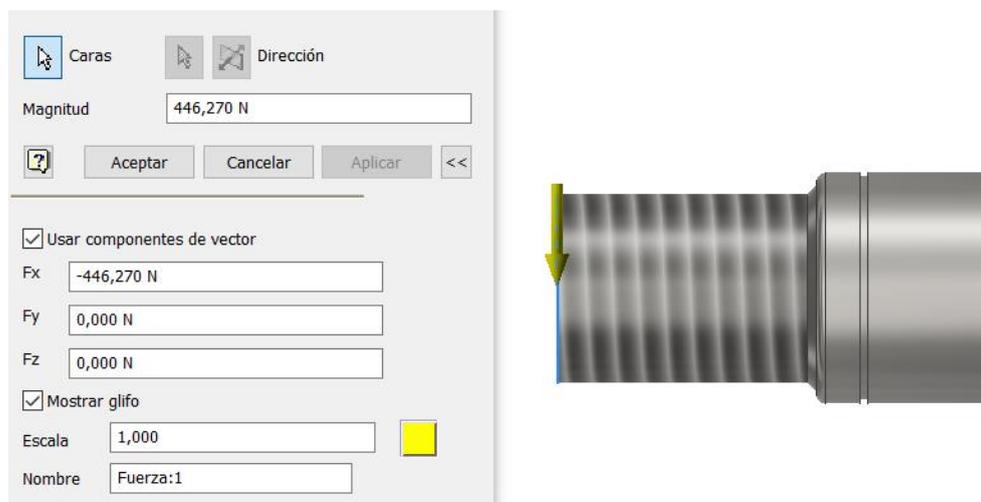


Figura 69. Cortante aplicado en el eje de la rueda trasera

Una vez aplicadas cada una de las cargas necesarias para el estudio, se aplican las restricciones de movimiento de la pieza. En este caso se aplican restricciones fijas en las caras donde da comienzo cada una de las roscas. Esto es debido a que ese fragmento de eje está contenido en rodamientos y en el interior de la rueda y por lo tanto en el ensamblaje no permite movimiento.

Por otro lado, seleccionamos el material adecuado. En este caso, como la pieza analizada es de pequeñas dimensiones no será tan importante la ligereza del material. Además, como podemos observar en la Figura 70 la pieza soporta una deformación considerable con lo que en este caso prima la resistencia del material. Por tanto, se selecciona Acero inoxidable 440C, un material con una alta resistencia.

Tras algunas comprobaciones observamos que la pieza no resiste la carga asignada tal y como está diseñada por lo que debemos aumentar diámetro y minimizar zonas de alta tensión.

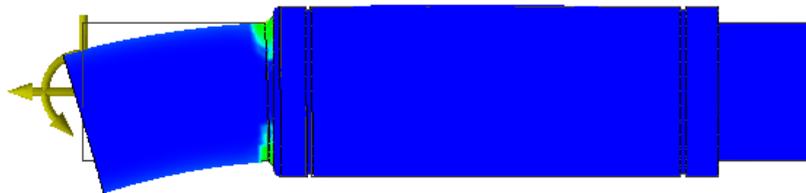


Figura 70. Representación de la deformación con aumento del eje de la rueda trasera

En primer lugar, aplicamos un chaflán y varios redondeos en la zona más afectada con el fin de minimizar la concentración de tensiones. Además, resulta necesario aumentar el diámetro de la pieza hasta los 30 mm.

Finalmente, obtenemos una alternativa de diseño en la cual el coeficiente de seguridad es de 1,47 y por lo tanto resiste a la carga aplicada.

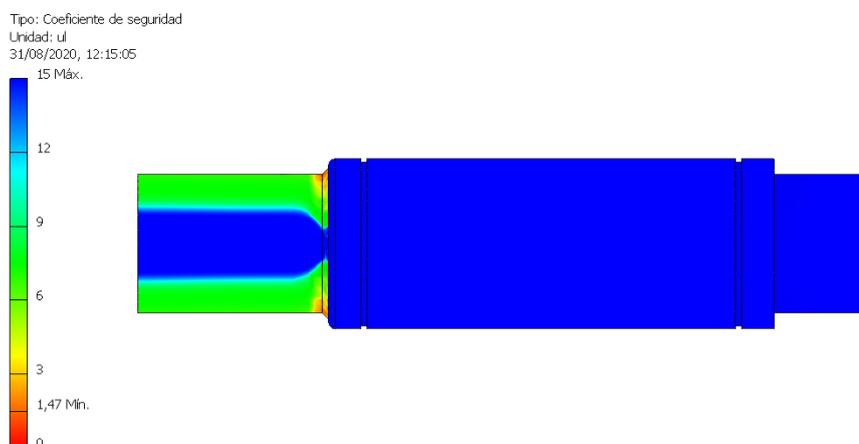


Figura 71. Estudio con MEF. Representación del coeficiente de seguridad

## 8.2. FEM DEL EJE PRINCIPAL TRASERO

En este caso, las fuerzas aplicadas a la pieza son transmitidas a través de las abrazaderas en cada uno de los laterales de la barra. Es por ello por lo que en cada uno de los laterales se aplican en el estudio un cortante y un momento fruto de desplazar la fuerza hasta los extremos. Los valores de cada una de estas fuerzas son:

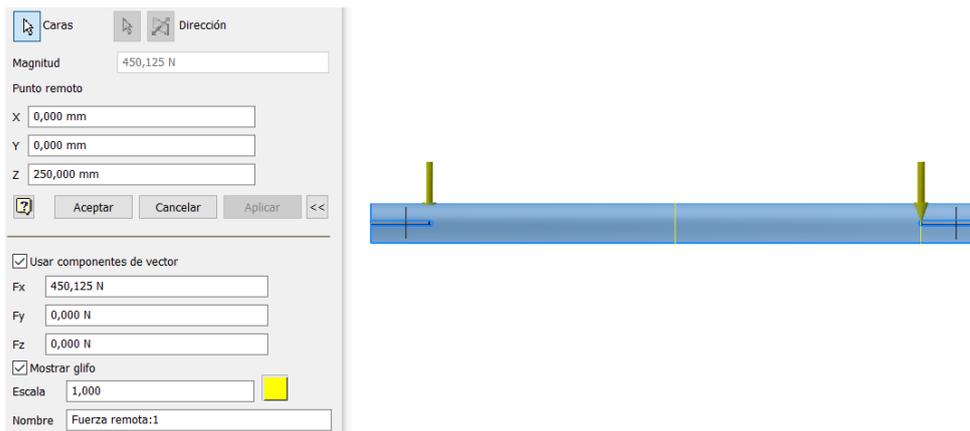


Figura 72. Fuerzas cortantes aplicadas al eje principal trasero

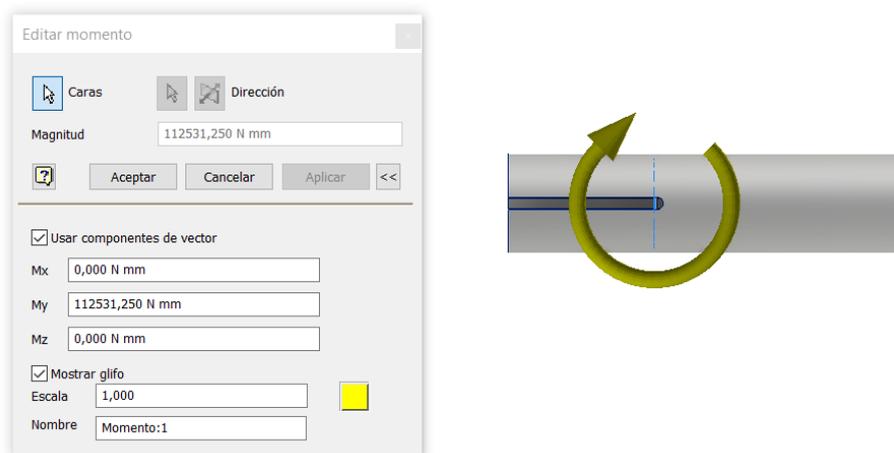


Figura 73. Momentos aplicados al eje principal trasero

Las restricciones que utilizamos para esta pieza es fijar el interior de la barra donde se aloja la pieza que da el ángulo a las ruedas ya que en ambos extremos el agujero interior no se puede deformar. El resultado de la deformación (con ampliación) de la barra una vez aplicadas las barras es el siguiente:

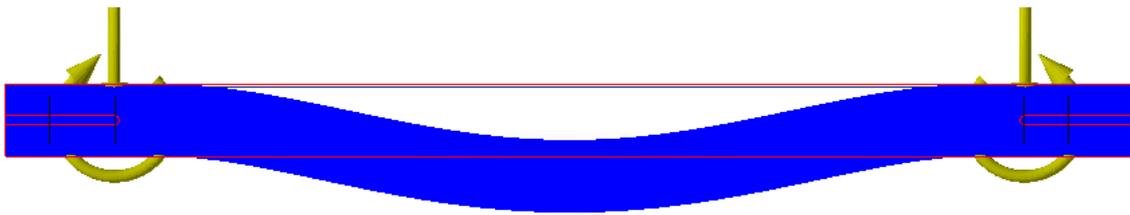


Figura 74. Representación de la deformación con aumento del eje con MEF

Como esta no es una pieza tan crítica como la anterior podemos permitirnos seleccionar un material que no sea tan resistente pero que aumente la ligereza. Seleccionamos el Aluminio 6061. Además, podemos optimizar el gasto de material vaciando el tubo y modelándolo hueco ya que con todas estas características al aplicar la carga el coeficiente de seguridad mínimo sigue siendo de 5,97.

Como podemos ver en la figura inferior en el cambio de superficie interior obtenemos un concentrador de tensiones. Sin embargo, no es crítico y por eso no cambiaremos el diseño.

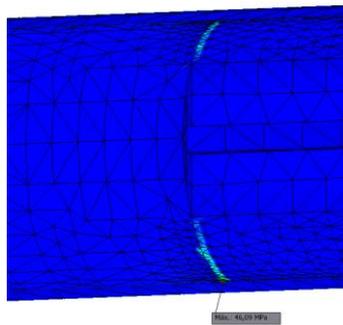


Figura 75. Vista de detalle de la concentración de tensión del eje principal trasero



Figura 76. Estudio con MEF. Representación del coeficiente de seguridad

### 8.3. CONCLUSIONES

Una vez realizado el estudio del método de elementos finitos concluimos que con las alternativas de diseño expuestas en los apartados anteriores conseguimos optimizar la pieza en cuanto a gasto de material y además verificamos que ante un posible impacto de sobrecarga debido a un desnivel en terreno ambas piezas cumplen ya que el coeficiente de seguridad es mayor que 1.

## BIBLIOGRAFÍA

*Atletismo / Paralímpicos*. (s. f.). Página Oficial del Comité Paralímpico Español. Recuperado

20 de febrero de 2020, de <https://www.paralimpicos.es/deportes-paralimpicos/atletismo>

Comité Paralímpico Español. (2012). *Normativa y Reglamento de Atletismo*.

<https://www.paralimpicos.es/archived/web/2012LONPV/deportes/atletismo/Reglamento%20Atletismo%20IPC%202011-2012.pdf>

*Oracing - OITA, la silla de carreras para los atletas m.* (s. f.). ORACING. Recuperado 10 de

mayo de 2020, de <http://www.oracing.es/oracing-oita-racing-wheelchair-track>

*Draft Mistral racing wheelchair fauteuil roulant de course rollstuhl*. (s. f.). Draft. Recuperado

7 de julio de 2020, de <https://www.draftwheelchairs.com/shop/products/racing-wheelchairs/racing-chairs/draft-mistral.html#prettyPhoto>

*Top End wheelchair*. (s. f.). TOP END. Recuperado 11 de mayo de 2020, de

<https://topendwheelchair.invacare.com/eliminator-osr-racing-wheelchair-ucage/product/eliminatorosrucage>

MedilinePlus. (s. f.). *Cálculo del tamaño de la estructura corporal*. Cálculo del tamaño de la

estructura corporal. Recuperado 5 de julio de 2020, de

[https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp\\_imagepages/17182.htm](https://medlineplus.gov/spanish/ency/esp_imagepages/17182.htm)

Staff, I. (2015, 4 diciembre). *Cálculo de las medidas corporales ideales*. IAFdaily.

<https://blog.iafstore.com/es/calculo-de-las-medidas-corporales-ideales-a238>

Imaginario, A. (2019, 12 marzo). *El Hombre de Vitruvio de Leonardo da Vinci: análisis y significado del canon de las proporciones humanas*. Cultura Genial.

<https://www.culturagenial.com/es/hombre-de-vitruvio-leonardo-da-vinci/>

*Estatura media de hombres y mujeres en todo el mundo*. (s. f.). DatosMundial.com.

Recuperado 6 de julio de 2020, de <https://www.datosmundial.com/estatura-promedio.php>

*ACCESIBILIDAD DE PERSONAS CON MOVILIDAD REDUCIDA. MODIFICACIÓN DE LA LEY N° 22.431. (1994). LEY N° 24.314.*

[http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/ley\\_24314\\_acc\\_movilidad\\_reducida.pdf](http://www.exactas.unlp.edu.ar/uploads/docs/ley_24314_acc_movilidad_reducida.pdf)

# II Presupuesto

Este proyecto no es de tipo constructivo si no que es un proyecto de diseño y simulación por lo tanto en el presupuesto se tendrá en cuenta las horas empleadas en cada uno de los apartados considerados, así como los costes del material de equipo y licencias de los programas utilizados.

## PARTIDA 1. MANO DE OBRA

El presupuesto de mano de obra muestra las estimaciones hechas con respecto al esfuerzo humano y sus conocimientos necesarios para la realización del proyecto. La realización del proyecto ha tenido una duración de unas 310 horas de trabajo aproximadamente. Estas horas podemos dividir las en varios bloques:

- **Estudio, análisis de la información, diseño y parametrización del modelo.** Esta parte es la más compleja del trabajo. Comprende una fase previa de documentación y búsqueda de información que posteriormente debe de ser evaluada y cribada. Con esta información se realiza un dimensionado y modelado de todos los componentes y finalmente un ensamblado.

Debido a que se trata de un proceso de diseño de un sector muy específico y con pocos referentes además de ser un proyecto puntual su precio se fija en 45€/hora.

- **Análisis mediante MEF y evaluación de resultados.** Una vez se obtiene el modelo se realiza un análisis de ciertas piezas críticas con el Método de Elementos Finitos (MEF). Esta parte se separa de la primera ya que se trata de un estudio más orientado al área mecánica y por lo tanto es muy probable que fuera realizado por otro tipo de especialista. En este caso la tarifa se ha estimado en 40€/hora.
- **Elaboración de planos.** Con el programa empleado para las otras fases del proyecto se pueden crear vistas de todas las piezas. Esto puede ser realizado por un ingeniero técnico o un delineante, pero siempre revisado para que cumple la normativa estipulada. El precio estimado es de 30€/hora.
- **Realización de documentos e informes.** Esta es la parte que requiere menos conocimientos técnicos. Sin embargo, se necesita de un mínimo de conocimiento para entender y expresar los problemas y soluciones presentados en el proyecto. Por ello, como no requiere tantos conocimientos como el resto de las fases, aunque si una cierta dedicación el precio estimado en este caso será de unos 20€/hora.

Tabla 6. Gastos mano de obra

PARTIDA 1: MANO DE OBRA				
Concepto	Unidad Básica	Cantidad	Precio unitario (€/Ud.)	TOTAL (€)
Estudio, análisis de la información, diseño y parametrización del modelo	h	180	45,00 €	8.100,00 €
Análisis mediante MEF y evaluación de resultados	h	40	40,00 €	1.600,00 €
Elaboración de planos	h	20	30,00 €	600,00 €
Realización de documentos e informes	h	70	20,00 €	1.400,00 €
<b>Costes directos:</b>				<b>11.700,00 €</b>
Costes indirectos (2 %)	-	0,02	11.700,00 €	234,00 €
Costes directos complementarios (3 %)	-	0,03	11.700,00 €	351,00 €
<b>Subtotal (1):</b>				<b>12.285,00 €</b>

El coste de la mano de obra es de DOCE MIL DOSCIENTOS OCHENTA Y CINCO EUROS.

## PARTIDA 2: MATERIAL Y HERRAMIENTAS

En esta partida se tienen en cuenta todas las herramientas empleadas, principalmente los costes de equipo así como de las licencias de los programas empleados.

- **Ordenador portátil ASUS i7.** Se estima que el ordenador ha sido utilizado en todas las fases del proyecto por lo tanto se considera un uso de la herramienta de 310 horas. Su precio asciende a 1200 € y se considera que su periodo de amortización es de 6 años.

$$\text{Precio unitario}_{\text{ordenador}} = \frac{1200 \text{ €}}{6 \text{ años} \times 220 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}} = 0,1136 \text{ €/hora}$$

- **Coste de amortización del software Autodesk Inventor 2019.** En este caso la UPV nos proporciona una licencia gratuita para el uso de estudiantes. Sin embargo, el coste de una licencia real del programa es de unos 7418€ y se considera amortizado a los 3 años de uso. Se considera que el programa se ha usado en todas las fases excepto en la de realización de documentos e informes.

$$\text{Precio unitario}_{\text{Inventor}} = \frac{7418 \text{ €}}{3 \text{ años} \times 220 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}} = 1,405 \text{ €/hora}$$

- **Coste de amortización del software Microsoft Office.** La utilización de este programa ha sido principalmente en la fase de realización de documentos e informes además de la fase de parametrización (uso del programa Excel). La licencia anual de dicho programa es de 80€ / año. Tiempo en el que se considera amortizado. Se estima un uso del software únicamente en la fase de realización de documentos e informes.

$$\text{Precio unitario}_{\text{Office}} = \frac{80 \text{ €}}{1 \text{ año} \times 220 \frac{\text{días}}{\text{año}} \times 8 \frac{\text{horas}}{\text{día}}} = 0,045 \text{ €/hora}$$

- **Gastos de material de oficina.** En este caso, se tienen en cuenta gasto de herramientas como un medidor de ángulos y la impresión de algunos documentos para facilitar el trabajo. En este caso el coste se estima en unos 30 €.

Tabla 7. Gastos material y herramientas

Concepto	PARTIDA 2: Unidad Básica	MATERIAL Y Cantidad	HERRAMIENTAS Precio Unitario (€/Ud.)	TOTAL (€)
Ordenador portátil ASUS i7	h	310	0,1136 €	35,22 €
Coste de amortización del software Autodesk Inventor 2019	h	240	1,405 €	337,20 €
Coste de amortización del software Microsoft Office	h	100	0,045 €	4,50 €
Gastos de material de oficina	Ud.	1	30,00 €	30,00 €
<b>Costes directos:</b>				<b>406,92 €</b>
Costes indirectos (2%)	-	0,02	406,92 €	8,14 €
Costes directos complementarios (3%)	-	0,03	406,92 €	12,21 €
<b>Subtotal (2):</b>				<b>427,27 €</b>

El presupuesto de los materiales y herramientas es de CUATROCIENTOS VEINTISIETE EUROS CON VEINTISIETE CÉNTIMOS.

## PRESUPUESTO DE EJECUCIÓN MATERIAL

El PEM es el importe del coste de ambas partidas y se calcula sumando subtotales:

Tabla 8. Presupuesto de ejecución material

CONCEPTO	IMPORTE (€)
Presupuesto de mano de obra	12.285,00 €
Presupuesto de material y herramientas	427,27 €
<b>PEM:</b>	<b>12.712,27€</b>

El presupuesto de ejecución material es de DOCE MIL SETECIENTOS DOCE EUROS Y VEINTISIETE CÉNTIMOS.

## PRESUPUESTO BASE DE LICITACIÓN

Tabla 9. Presupuesto base de licitación

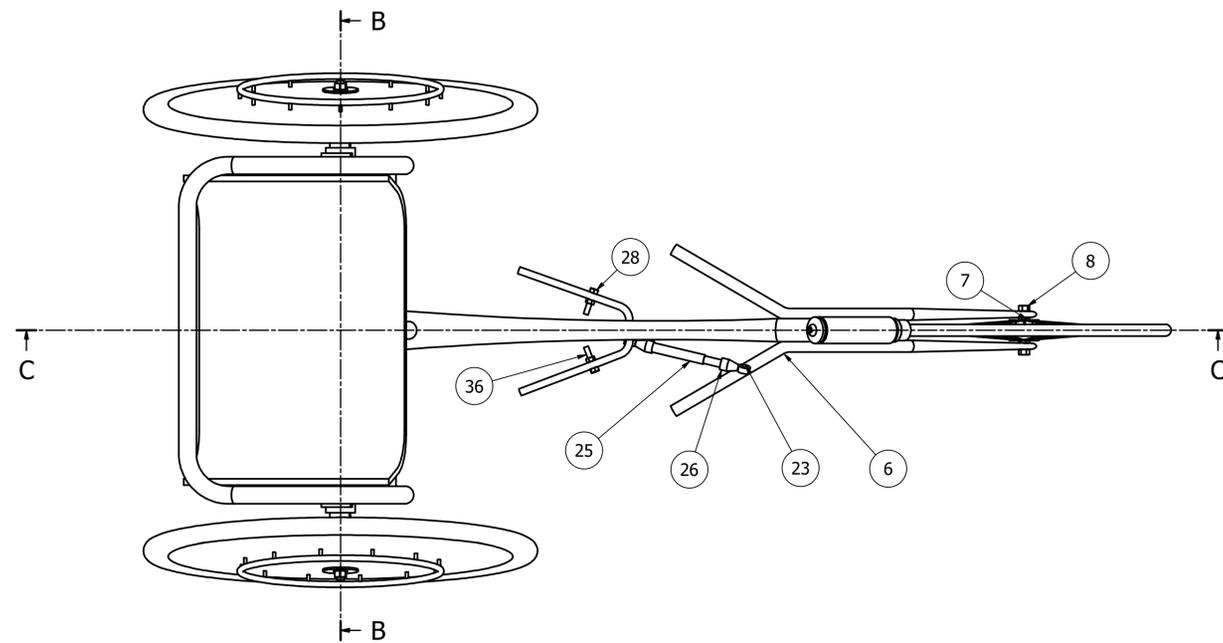
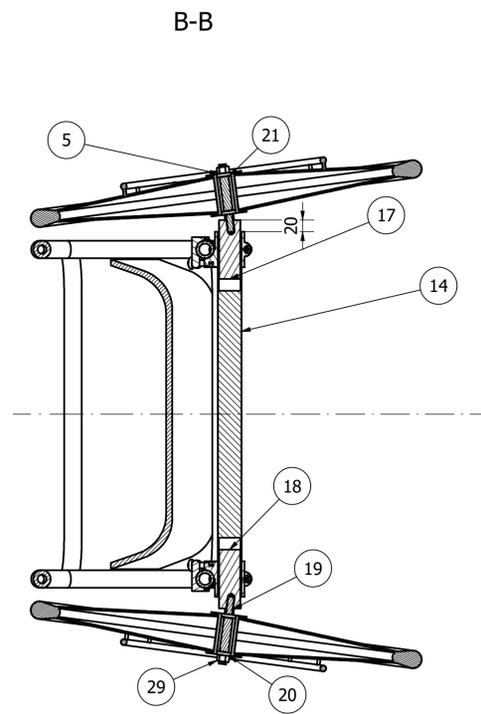
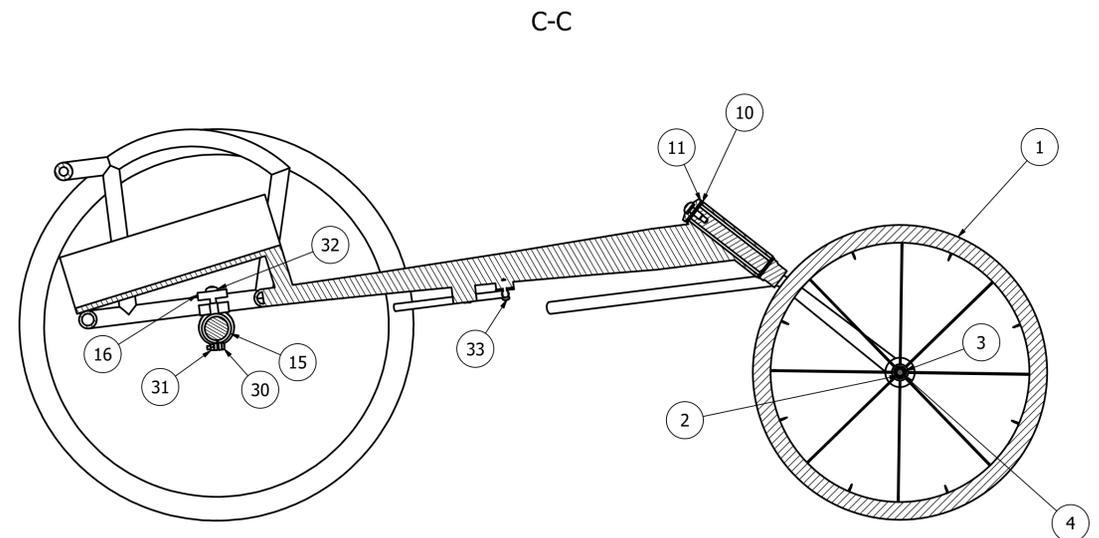
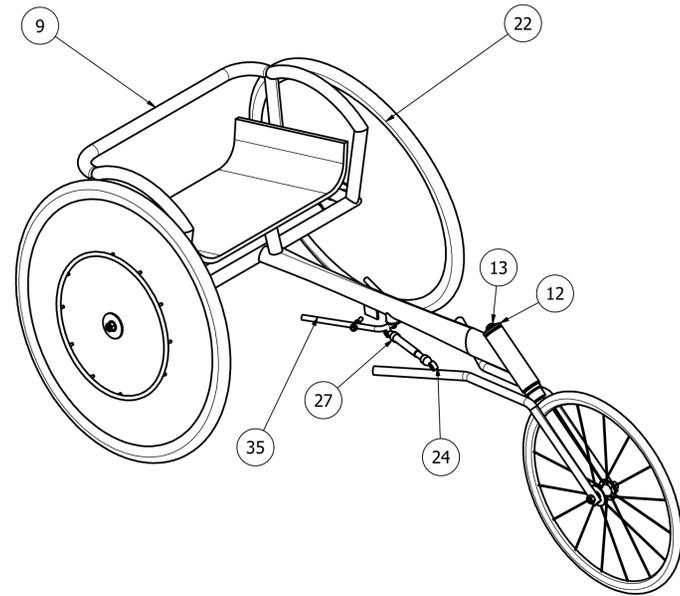
CONCEPTO	IMPORTE (€)
PEM	12.712,27 €
Gastos Generales (13%)	1.652,59 €
Beneficio Industrial (6%)	762,73 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata:	15.127,59 €
IVA (21%)	3.176,79 €
<b>Presupuesto de Ejecución Material:</b>	<b>18.304,38 €</b>

El presupuesto de base de licitación asciende a una cantidad de DIECIOCHO MIL TRESCIENTOS CUATRO EUROS Y TREINTA Y OCHO CÉNTIMOS.

## **III Planos**

LISTA DE PIEZAS

ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	ruedadelantera	
2	1	ejeruedadelantera	
3	2	STN 024640 SKF (E) - SKF 61801-RZ	Rodamientos de bolas con acanalado profundo de una hilera, con junta de baja fricción SKF
4	2	ANSI B 27.7M - 3AMI-11	Anillos de retención cónicos de la norma American National Standard: serie externa básica - 3AMI
5	6	DIN 988 - 10 x 16 x 0,1	Anilla de separación
6	1	manillar	
7	2	ISO 4035 - M10	Tuercas hexagonales estrechas (achaflanadas) - Productos de clases A y B
8	2	ANSI B18.2.4.2M - M10x1,5	Estilos de tuercas hexagonales métricas 2
9	1	chasis19	
10	2	DIN 5405 T2 - AXK2542 - 25 x 42 x 2	Empuje de rodillo en aguja y ensamblaje de jaula
11	4	DIN 5405 T3 - AS2542 - 25 x 42 x 1	Arandela de carga axial
12	1	tapamanillar	
13	1	ISO 7045 - M10 x 25 - 4.8 - Z	Tornillo de cabeza cilíndrica redondeada con hueco cruciforme de tipo Z - producto de clase A
14	1	ejeruedas	
15	2	abrazadera1	
16	2	abrazadera2	
17	1	anguloruedasimetri ca	
18	1	piezaangulorueda	
19	2	ejeruedatrasera	
20	4	STN 024640 SKF (E) - SKF 61802-RZ	Rodamientos de bolas con acanalado profundo de una hilera, con junta de baja fricción SKF
21	4	ANSI B 27.7M - 3AMI-14	Anillos de retención cónicos de la norma American National Standard: serie externa básica - 3AMI
22	2	ruedatraseraizq	
23	2	bolaarticulacion	
24	2	articulaciónamort	
25	1	amortiguador	
26	1	tuercamovil	
27	1	tuercaamort	
28	4	ISO 4032 - M8	Tuerca hexagonal, tipo 1 - Productos de clases A y B
29	2	ISO 4032 - M12	Tuerca hexagonal, tipo 1 - Productos de clases A y B
30	2	ANSI B18.6.7M - M6x1 x 25	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA - Métrico
31	2	ANSI B18.2.4.2M - M6x1	Estilos de tuercas hexagonales métricas 2
32	2	ANSI B18.6.7M - M10x1,5 x 30	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA - Métrico
33	1	ANSI B18.6.7M - M6x1 x 30	Tornillo para maquinaria de cabeza cilíndrica redondeada con ranura y hueco cruciforme - Tipo IA - Métrico
34	2	DIN 976-1 - M6 x 28 - A	Pernos prisioneros - Parte 1: rosca métrica
35	1	direccion	
36	2	DIN 976-1 - M8 x 45 - A	Pernos prisioneros - Parte 1: rosca métrica

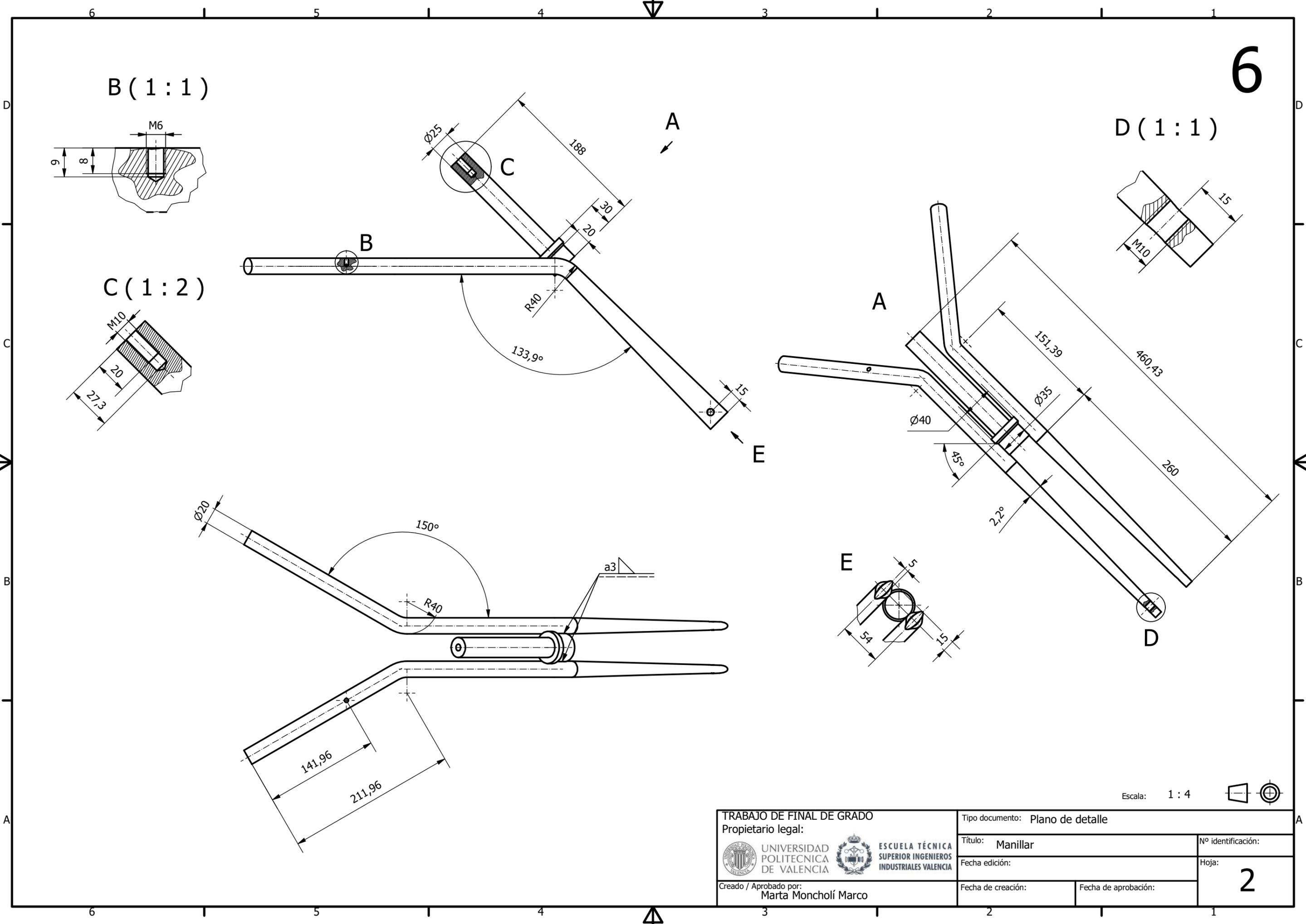


Escala: 1 : 6

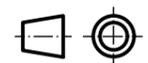
TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Tipo documento: Plano de conjunto Título: Silla de ruedas de atletismo Fecha edición: Fecha de creación: Fecha de aprobación:	Nº identificación: Hoja: 0
---	---	----------------------------------

Creado / Aprobado por:  
Marta Monchofí Marco

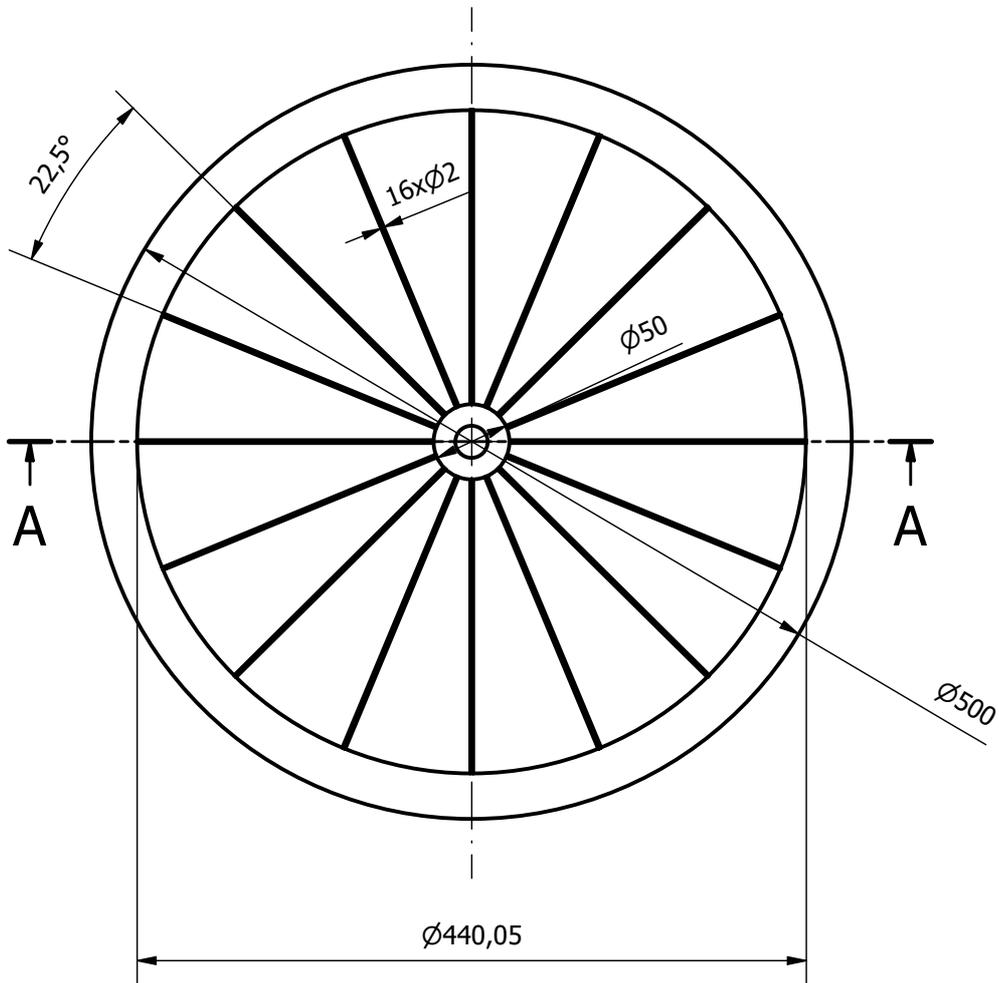
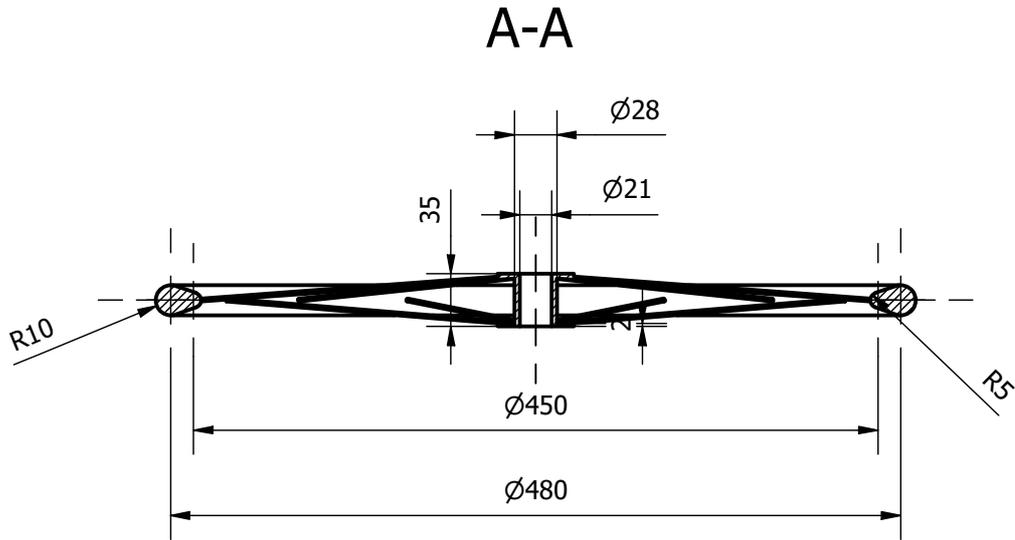




Escala: 1 : 4



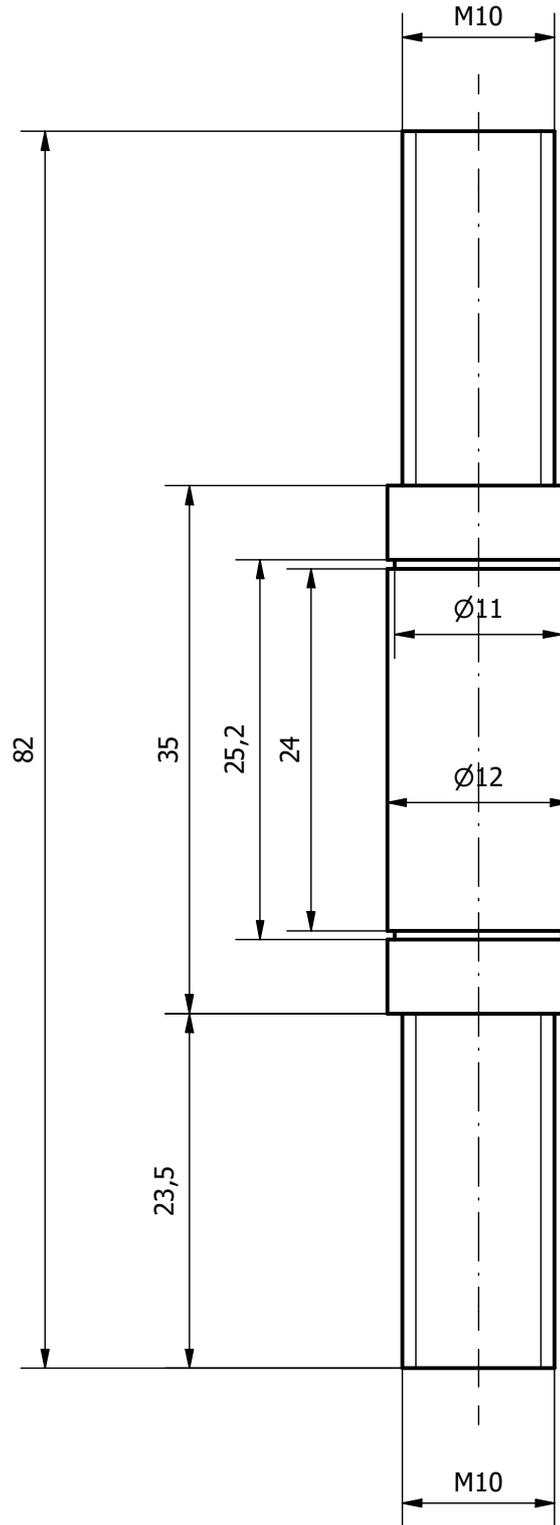
TRABAJO DE FINAL DE GRADO		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Manillar	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha edición: Fecha de creación: Fecha de aprobación:	
		Nº identificación: Hoja: <b>2</b>	



Escala: 1 : 5



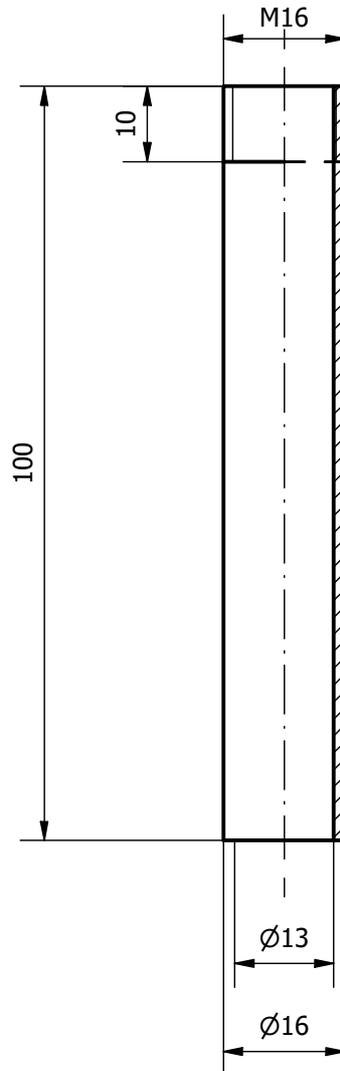
<b>TRABAJO DE FINAL DE GRADO</b> Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Título: Rueda delantera	Nº identificación:
		Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco	Fecha edición:
		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:



Escala: 2 : 1



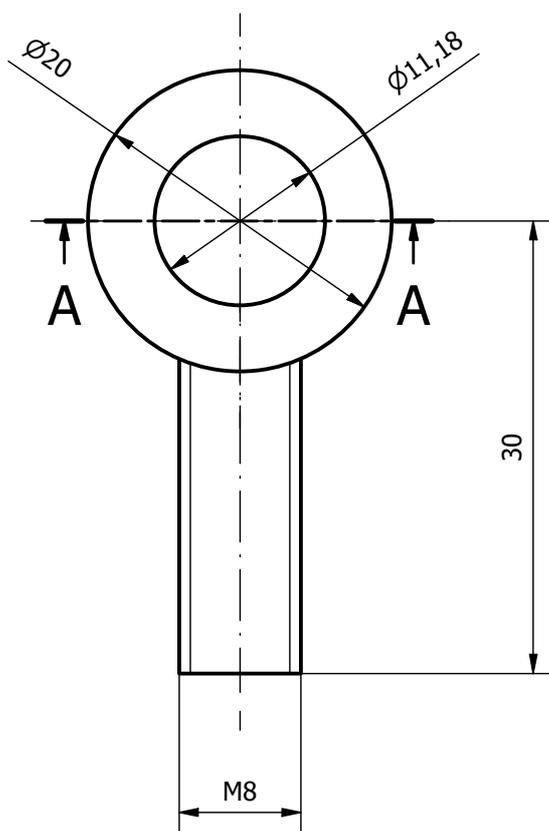
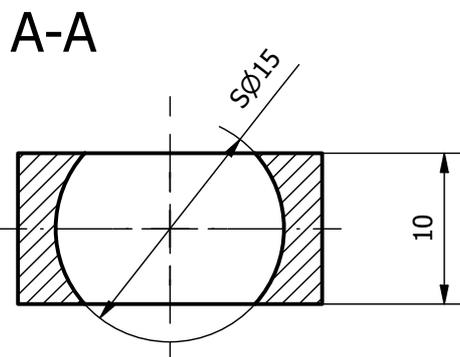
<b>TRABAJO DE FINAL DE GRADO</b> Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
	Título: Eje rueda delantera		Nº identificación:
	Fecha edición:		Hoja:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			4



Escala: 1 : 1



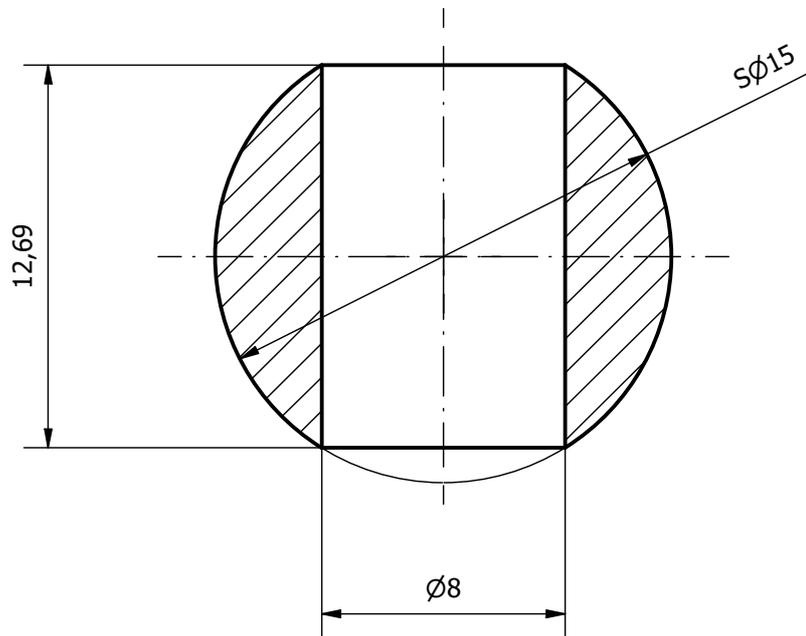
TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
		Título: Amortiguador	Nº identificación:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha edición:	Hoja: <b>5</b>
		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:



Escala: 2 : 1



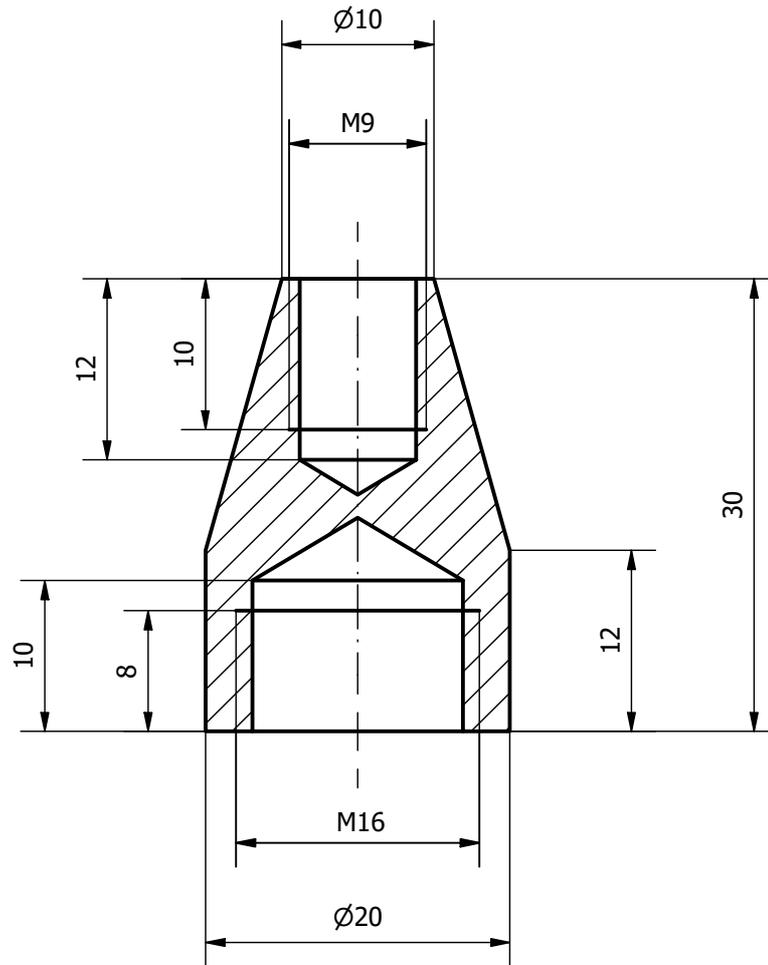
TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
	Título: Articulación amortiguación		Nº identificación:
	Fecha edición:		Hoja:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>6</b>



Escala: 4 : 1



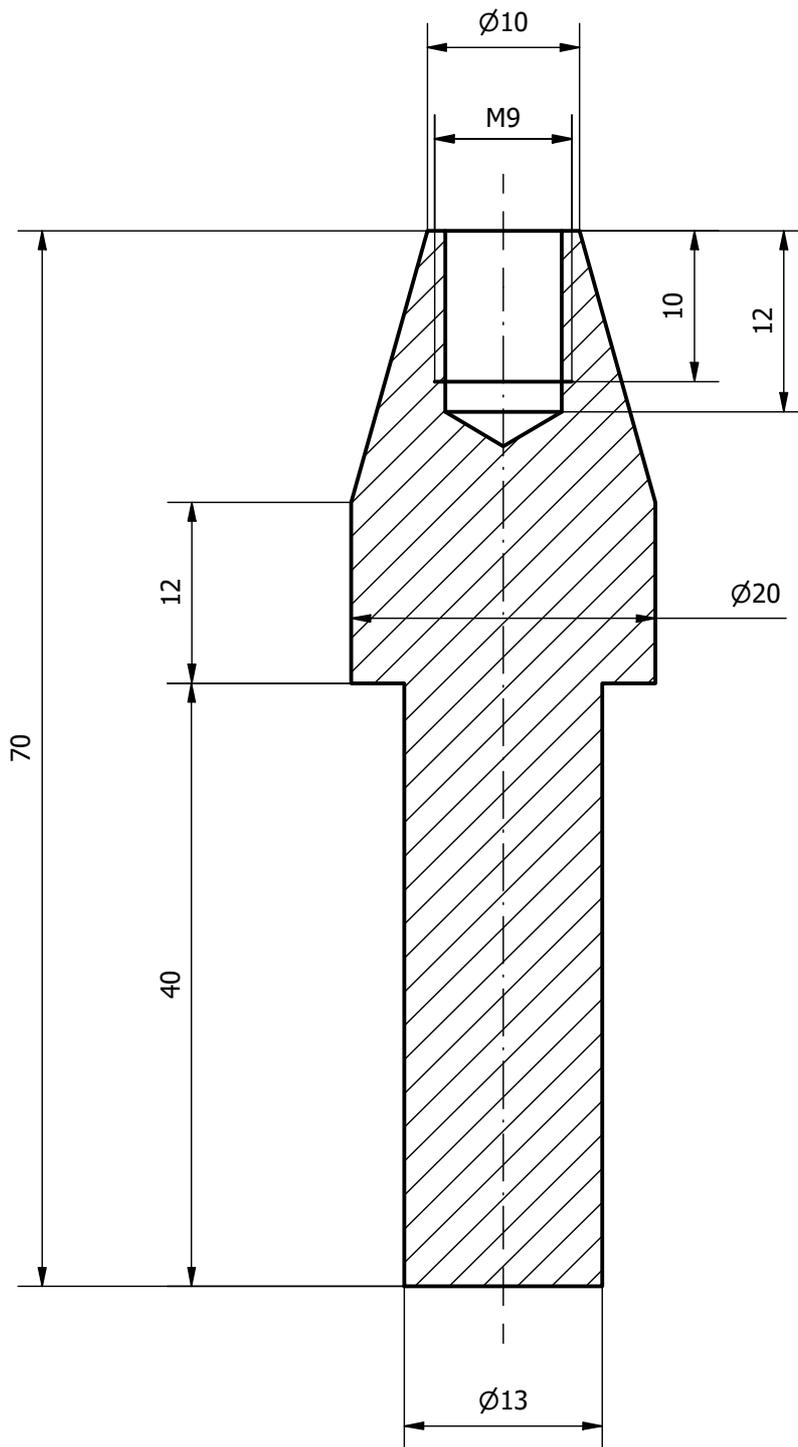
TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Título: <b>Bola articulación</b>	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>7</b>



Escala: 2 : 1



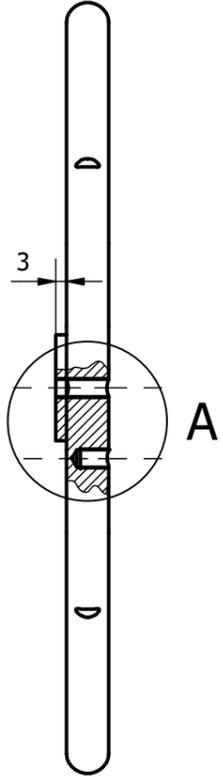
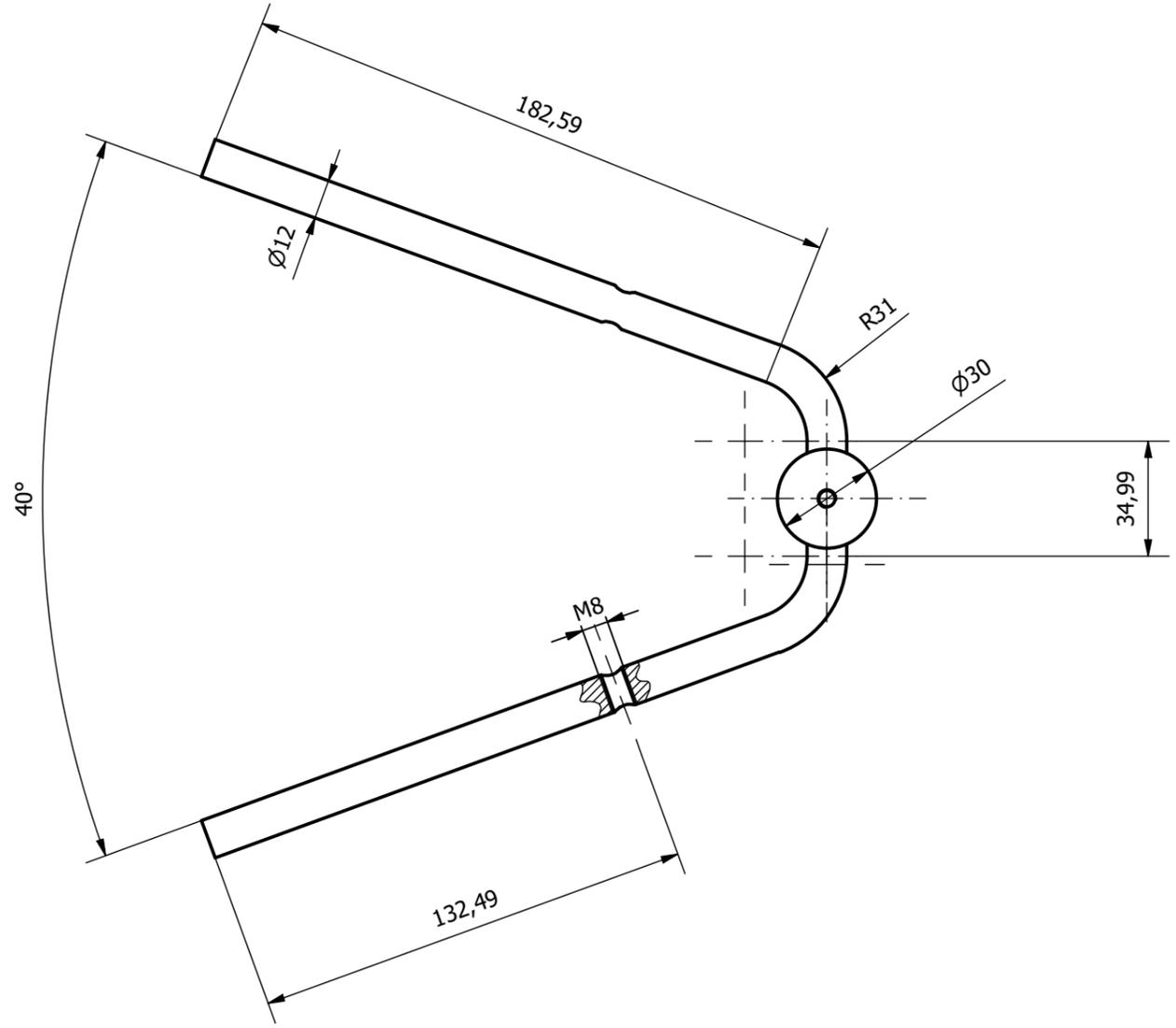
<b>TRABAJO DE FINAL DE GRADO</b> Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
	Título: Tuerca amortiguador fija		Nº identificación:
	Fecha edición:		Hoja:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			8



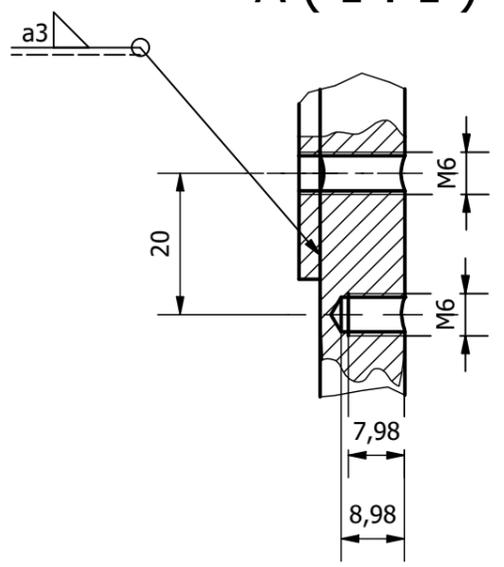
Escala: 2 : 1



<b>TRABAJO DE FINAL DE GRADO</b> Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
	Título: Tuerca amortiguador móvil		Nº identificación:
	Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Hoja:
Fecha de edición:		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			9



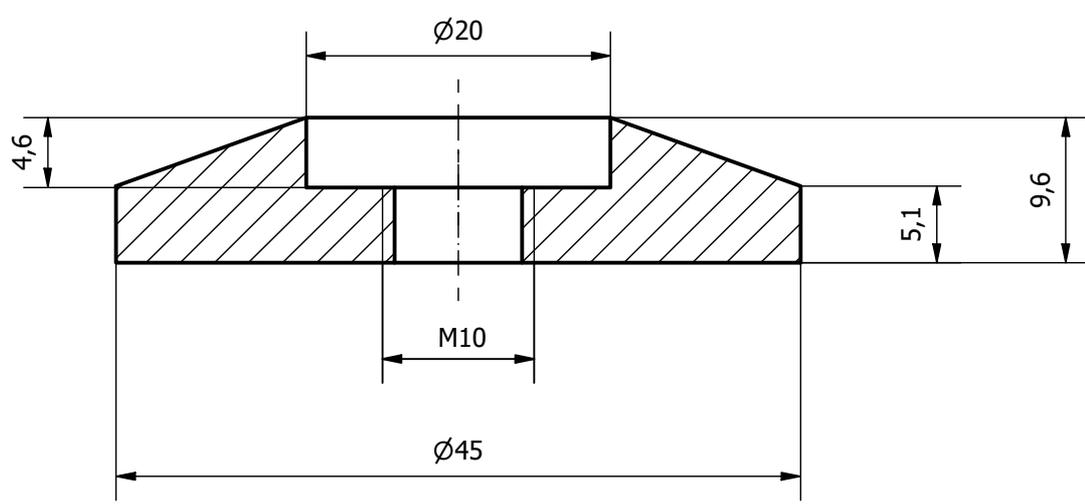
A (1:1)



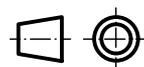
Escala: 1 : 2



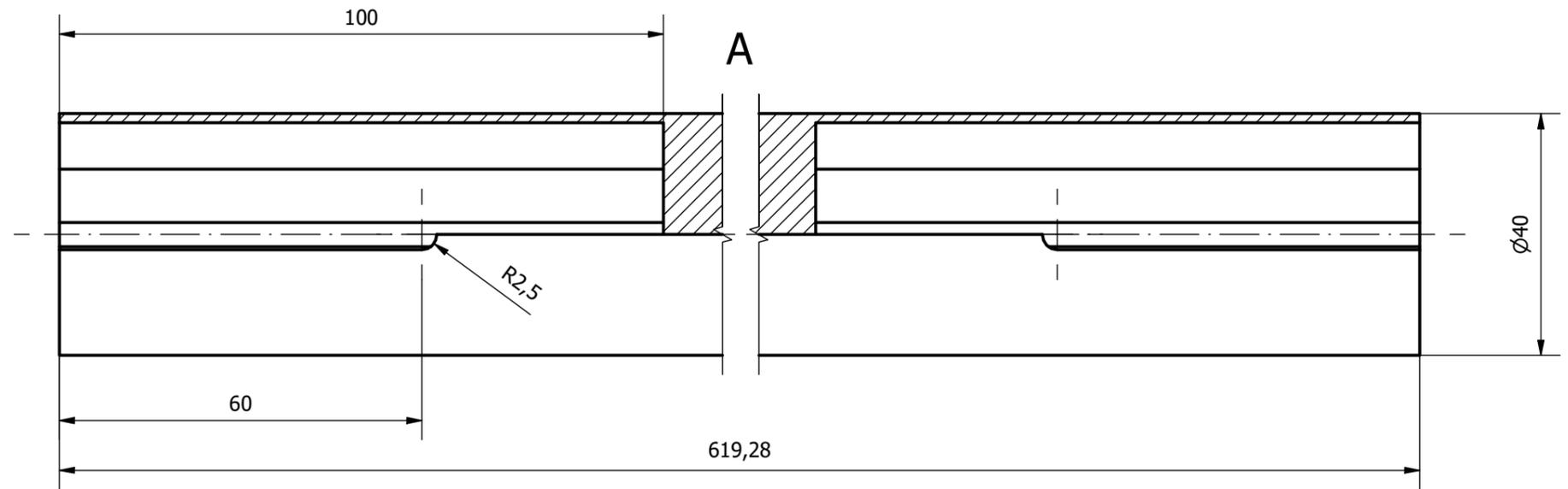
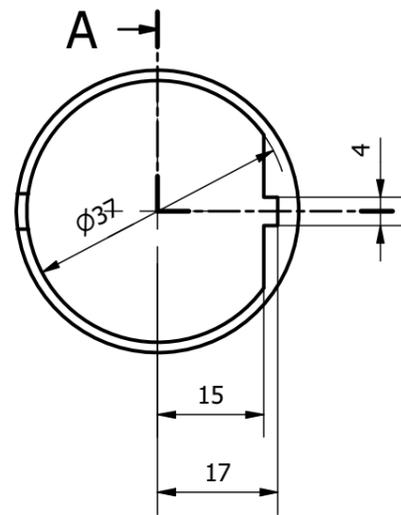
TRABAJO DE FINAL DE GRADO		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Pieza dirección	
		Nº identificación:	
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Hoja: 10	
Fecha de creación:		Fecha de aprobación:	



Escala: 1 : 2



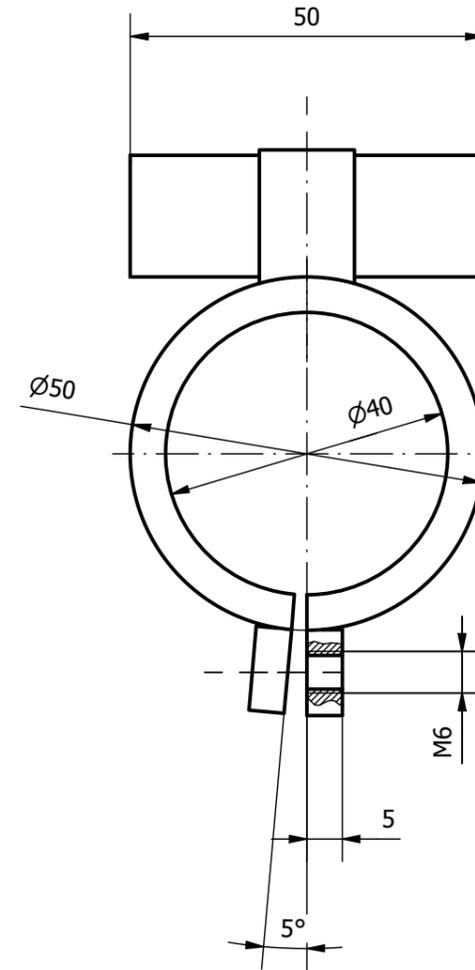
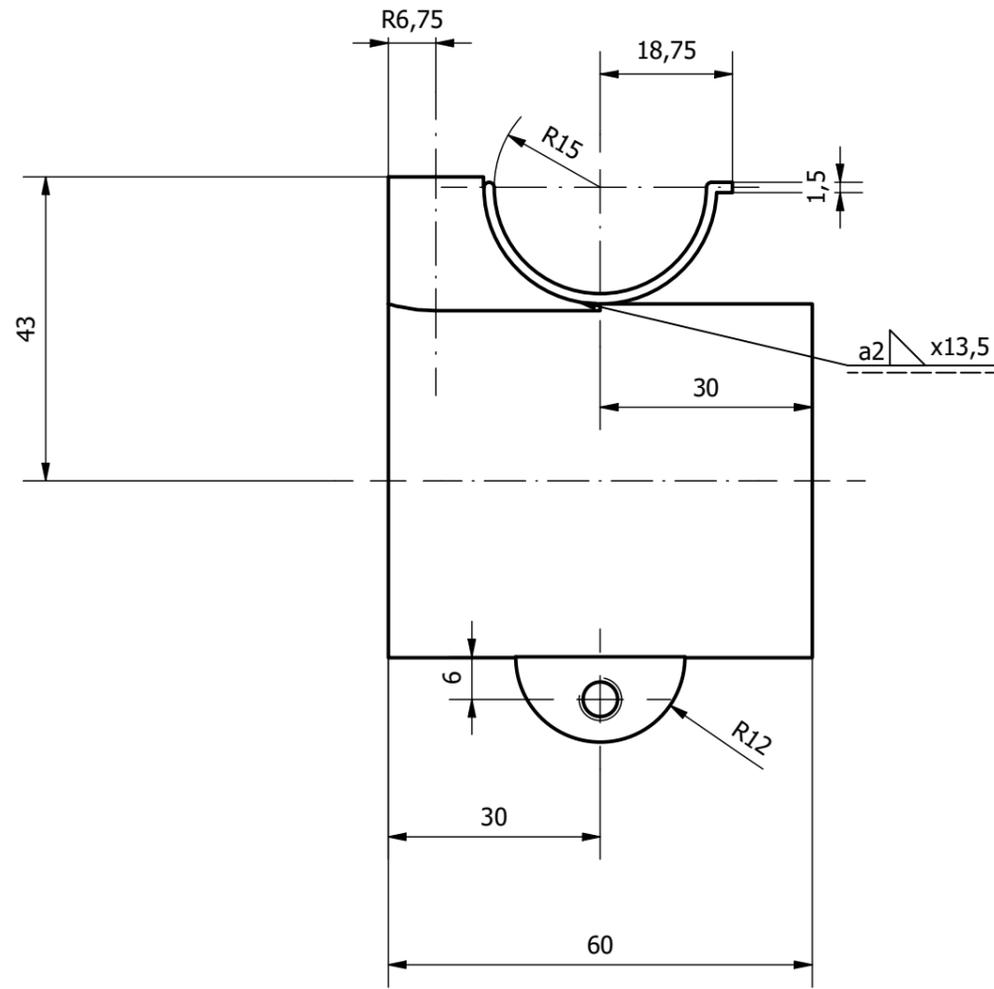
TRABAJO DE FINAL DE GRADO		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Tapa manillar	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>11</b>



Escala: 1 : 1



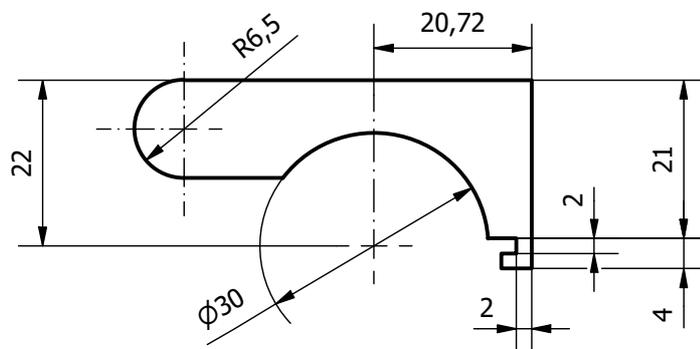
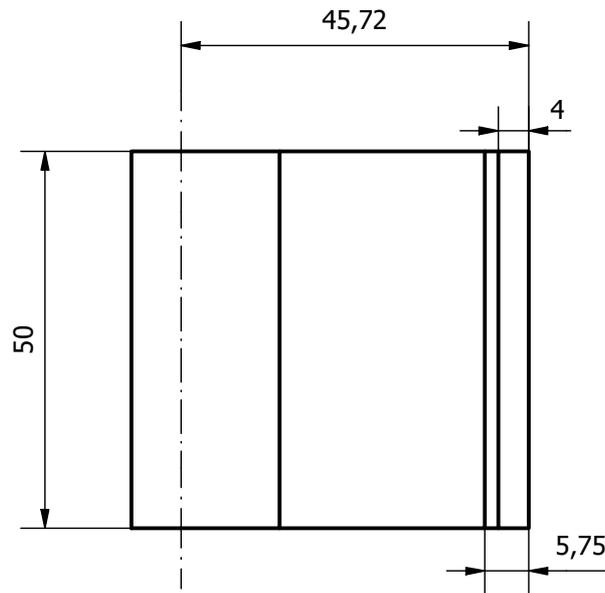
TRABAJO DE FINAL DE GRADO		Tipo documento: Plano de detalle	
Propietario legal:		Título: Eje ruedas	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		<b>12</b>	



Escala: 1 : 1



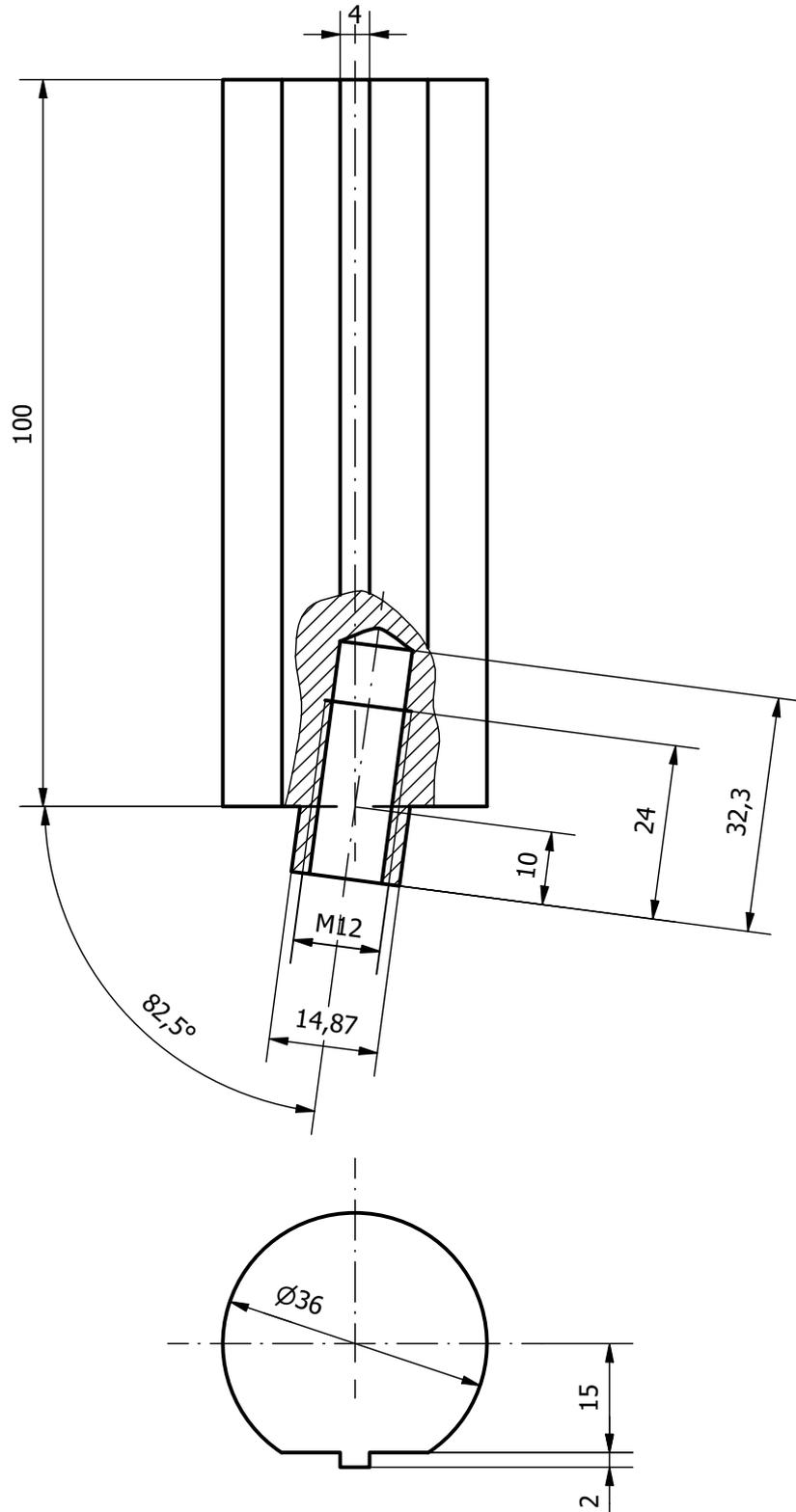
<b>TRABAJO DE FINAL DE GRADO</b> Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		<b>Título: Abrazadera 1</b>	Nº identificación:
 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: <b>Marta Moncholí Marco</b>		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>13</b>



Escala: 1 : 1



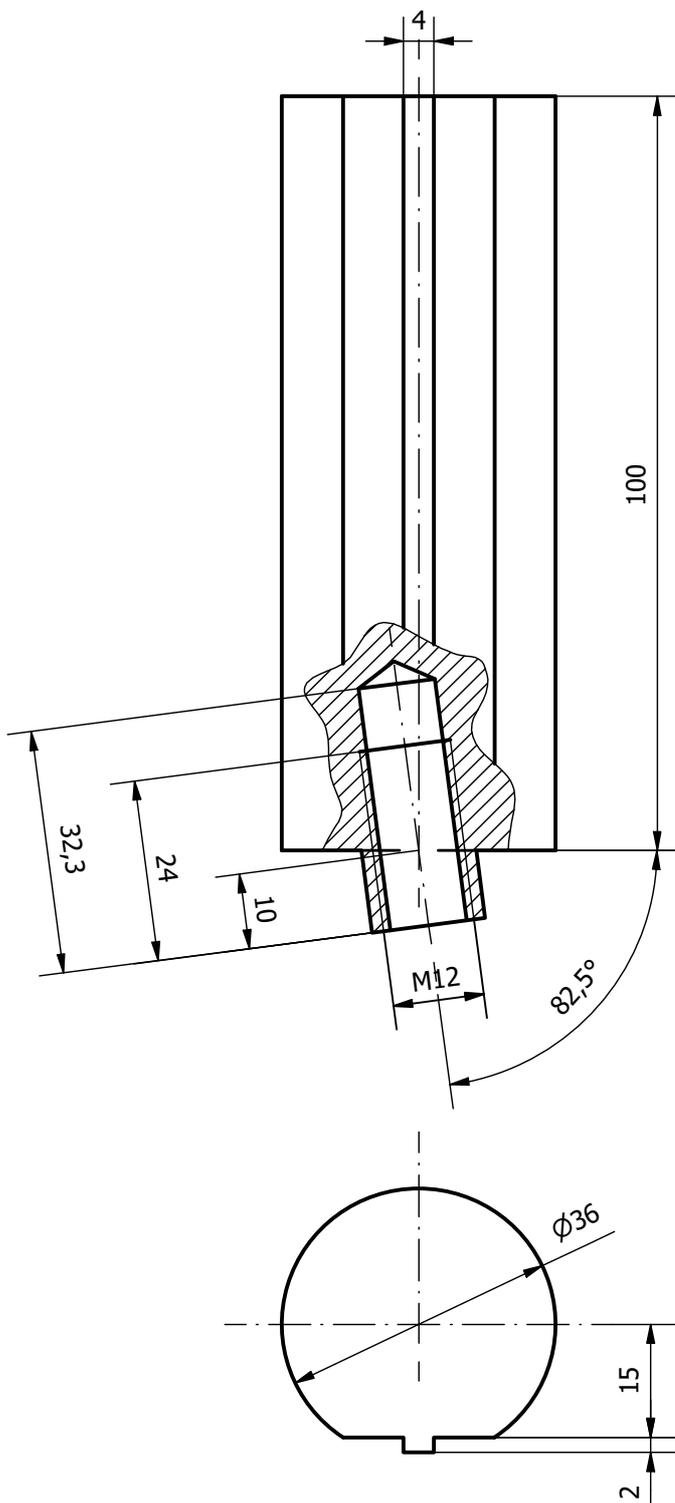
TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
		Título: Abrazadera 2	Nº identificación:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha edición:	Hoja:
		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>14</b>



Escala: 1 : 1



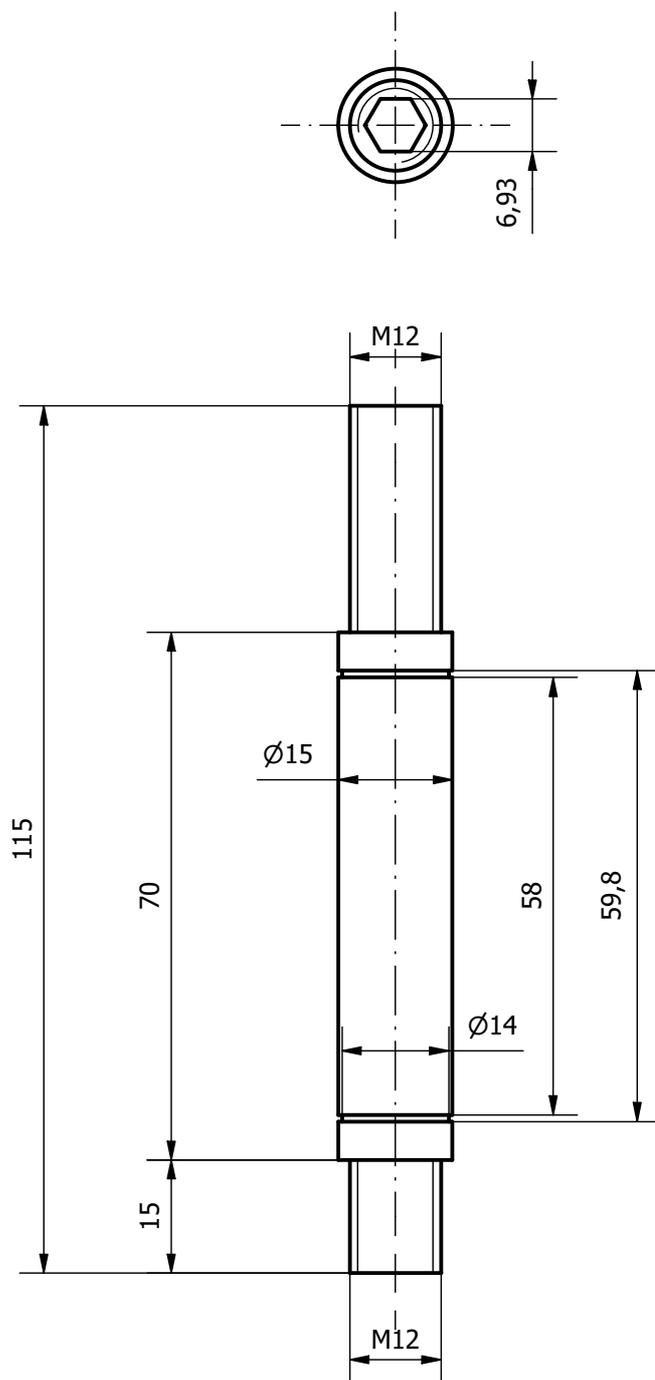
TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA	 ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Título: Pieza de ángulo	Nº identificación:
		Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco	Fecha edición:
		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>15</b>



Escala: 1 : 1



<b>TRABAJO DE FINAL DE GRADO</b> Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 <b>UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA</b>	 <b>ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA</b>	Título: <b>Pieza ángulo simétrica</b>	Nº identificación:
		Fecha edición:	Hoja:
Creado / Aprobado por: <b>Marta Moncholí Marco</b>		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			<b>16</b>

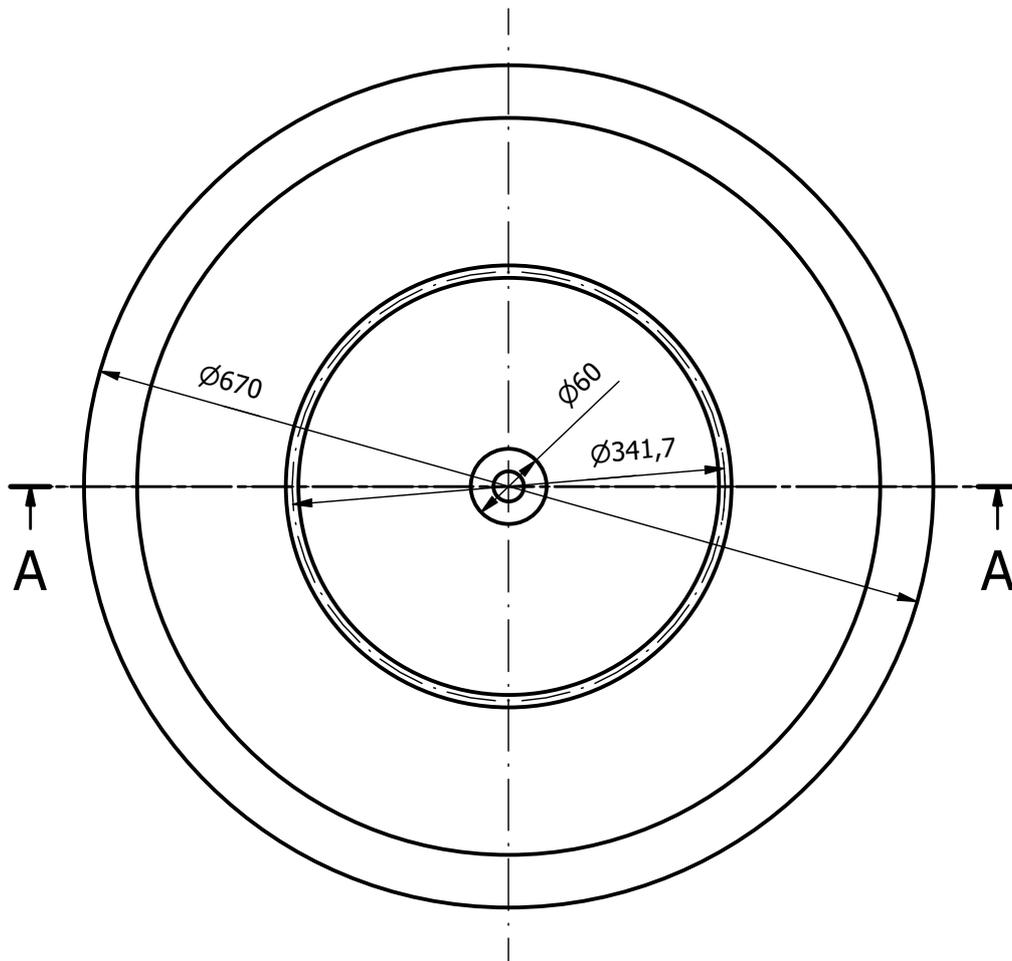
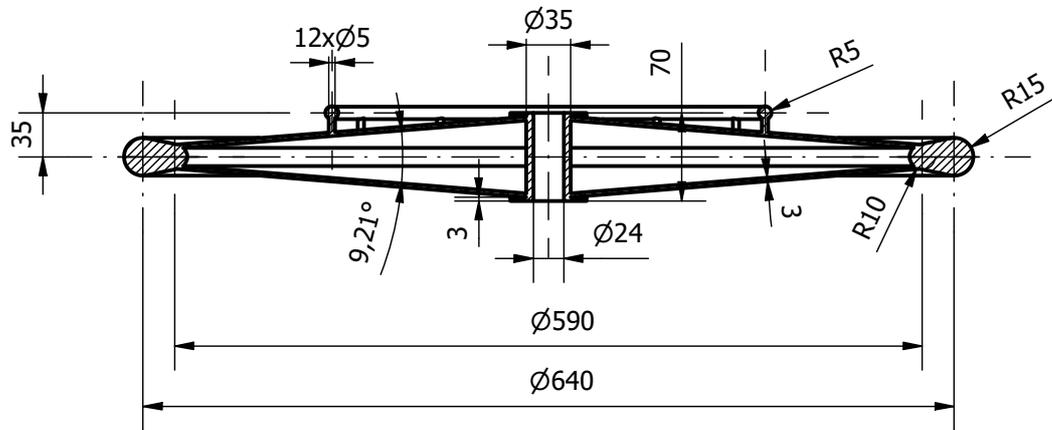


Escala: 1 : 1



TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
	Título: Eje rueda trasera		Nº identificación:
	Fecha edición:		Hoja:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			17

## A-A



Escala: 1 : 6



TRABAJO DE FINAL DE GRADO Propietario legal:		Tipo documento: Plano de detalle	
 UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA		ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR INGENIEROS INDUSTRIALES VALENCIA	Nº identificación:
Creado / Aprobado por: Marta Moncholí Marco		Título: Rueda trasera	Fecha edición: Hoja:
		Fecha de creación:	Fecha de aprobación:
			18