



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

SILLA DE RUEDAS ELEVABLE PARA NIÑOS

Autor: Alfonso González Chacón

Director: Carlos Sanz Jimeno

Madrid
Junio 2024

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Silla de ruedas elevable para niños
en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2023/24 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos. El Proyecto no es
plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido tomada
de otros documentos está debidamente referenciada.



Fdo.: Alfonso González Chacón

Fecha: 01/07/ 2024

Autorizada la entrega del proyecto

EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Carlos Sanz Jimeno

Fecha: 01/07/2024

SILLA DE RUEDAS ELEVABLE PARA NIÑOS

Autor: González Chacón, Alfonso.

Director: Sanz Jimeno, Carlos.

Entidad Colaboradora: Pontificia de Comillas.

I. RESUMEN DEL PROYECTO

El objetivo de este proyecto es la correcta concepción y diseño de un mecanismo de elevación para la silla de ruedas de Daniela, una niña de 6 años con alto nivel de dependencia. Este mecanismo estará hecho a medida de la silla, de tal forma que se ajuste a la perfección al caso concreto de Daniela y su familia. Palabras Claves: tornillo sin fin, corona, elevación, silla.

- **Introducción:** El proyecto surge a raíz de Carlos, el padre de Daniela, quien se lo propone a la fundación social de ICAI. La idea de Carlos era añadir a la silla de ruedas de su hija alguna función que facilitara el uso diario de la silla mejorando la calidad de vida de Daniela. Así pues, el proyecto consiste en el desarrollo de ese mecanismo desde su concepción teórica hasta su diseño final. En todas las etapas del proceso se mantuvo comunicación tanto con la familia de Daniela como con la fundación para que todas las partes aportaran su opinión y fueran partícipes del proceso. Tras un primer periodo de creación y análisis de distintas ideas todos los partidos se ponen de acuerdo en la que es objeto de este trabajo, una carcasa elevable por un mecanismo de tornillo sin fin.
- **Definición del proyecto:** En cuanto al diseño había dos grandes problemas a tener en cuenta a la hora del diseño. En primer lugar, el peso; las sillas de ruedas se usan mucho en el día a día y requieren de levantar, bajar, mover, empujar por tanto que sean ligeras facilita mucho la tareas diaria de Daniela y su familia. En segundo lugar, cualquier mecanismo añadido a la silla no podía afectar a las funciones que esta ya tenía. En concreto la basculación era de extrema importancia pues la familia de Daniela. Este último se tuvo en cuenta a la hora de proponer la idea, y en si la carcasa iría en la parte del asiento, por tanto, no afectaría a la basculación. En cuanto al peso, reducirlo lo máximo posible será uno de los objetivos de diseño. Además, obtener un producto con una larga vida y de fácil arreglo serán otros de los principios a seguir del proceso de diseño. Cabe destacar que la familia de Daniela puso 10kg como límite de peso para la carcasa.
- **Descripción del proceso:** Primeramente, se comenzó por definir un peso máximo sobre el que dimensionar todo. Hablando con la familia y una fisioterapeuta colaboradora de la fundación se decidió en 75kg. La idea es que el producto final fuera utilizable hasta los 16 años de edad de Daniela. Una vez el peso quedó establecido el foco se colocó en calcular los grosores mínimos de las distintas partes del mecanismo para minimizar el peso. Tras la obtención de los diámetros se definieron los parámetros más concretos del tornillo sin fin y

la corona. Posteriormente, se realizó un diseño 3D en solid edge y una análisis de elementos finitos para comprobar si efectivamente todo lo diseñado era capaz de soportar el peso de Daniela, el análisis se puede ver en la figura 1. Por último, se diseñaron los planos y una propuesta de instalación y mantenimiento del producto final.

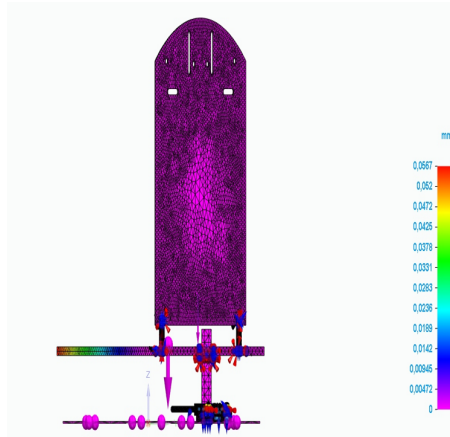


Figura 1. Análisis de elementos finitos del modelo final - Desplazamiento

- Resultados: El resultado fue el modelo que se puede observar en la Figura 2. Este modelo consiste en una caja de aluminio en la cual reside el mecanismo y en un husillo y en la carcasa también de aluminio que es la que realiza la acción de subir y bajar a Daniela. El peso final total del mecanismo es de 8,38kg, cumpliendo así con los objetivos establecidos al principio del proyecto.

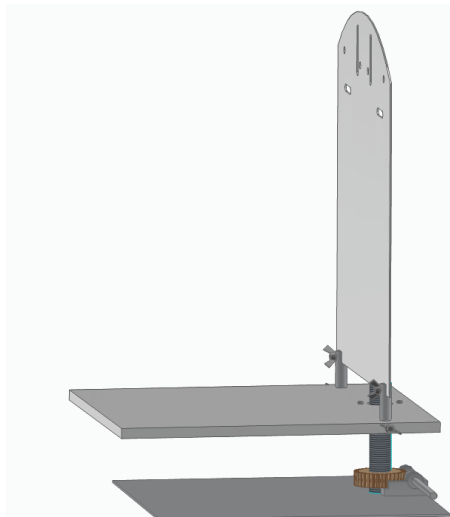


Figura 2. Modelo final del mecanismo de elevación

- Conclusiones: El resultado final fue satisfactorio. La familia de Daniela le dio el visto bueno al mecanismo. Se consiguieron alcanzar los dos objetivos principales de la familia: el peso y no afectar a ninguna de las funciones ya en funcionamiento de la silla.

ELEVATION WHEELCHAIR FOR KIDS

Author: González Chacón, Alfonso.

Director: Sanz Jimeno, Carlos.

Collaborating entity: Pontificia de Comillas.

II. ABSTRACT

The objective of this project is the creation and design of a kid's wheelchair elevation mechanism for Daniela a 6 year old girl with a high level of dependency. This mechanism will be tailored for Daniela and her family specific situation. Key words: jackscrew, gear, elevation, chair.

- Introduction: Carlos, Daniela's father, originally proposed this project to ICAI's non profit organization. Carlos's idea was to implement a series of features in the chair as to improved Daniela's quality of life and day to day use of the chair. Thus the project is focused on the process of designing such chair from deciding on the initial idea to the creation of drawings. During all phases of development there was back and forth communication with the non-profit and Daniela's family in such a way that everyone had some say in the final design. After a period of coming up with ideas and analysing which one could fit best everyone involved agreed on the mechanism designed in this paper.
- Project definition: When it came to design there were two issues to take into account. Firstly, the weight, wheelchairs are used for everyday mundane task and often require to push, lift, move them thus having or in this case adding as little weight as possible was key in making the solution viable. Secondly, any additions added to the chair could not affect the already functioning features the wheelchair had in place. Special care was taken to not affect the tilting of the chair as it is something the family uses plenty of times. This is one of the reason why in the final idea there is an aluminum cover because by adding this it was possible to leave intact the chair. As for weight, reducing it as much as possible was one of the design objectives. In addition, ensuring a long life and high reparability was also of high priority. It must be noted that Daniela's family set a maximum weight of 10kg for the cover.
- Project Description: The very first step was to set a maximum weight to which build for. After discussion with the family and experts, it was decided to choose 75kg as the maximum possible weight Daniela could reach. The idea is to create a product that could potentially be used until 16 years of age. Once the weight was established the focus was on minimizing the material use as much as possible and thus reduce the total mechanism weight. After obtaining the different diameters needed for each part, more technical parameters of the jackscrew were calculated. After all was calculated an independent 3D model was created for each part and the overall mechanism was checked in finite element analysis, which can be seen in Figure 3. The last thing done was to prepare an installation procedure.

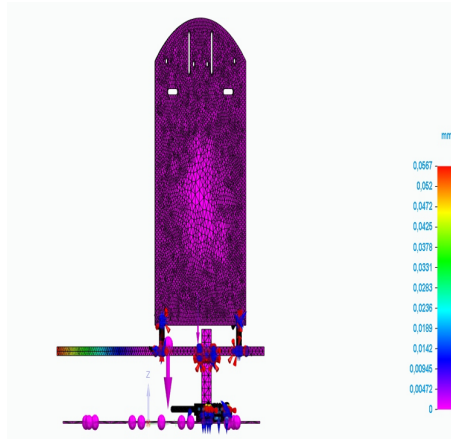


Figura 3. Finite Element Analysis of the final model - Displacement

- Results: The final model can be observed in Figure 4. Which consist of an aluminium box, inside of which the mechanism resides, and the aluminium cover, which is the part moving Daniela up and down. The final total weight was 8.38kg so the limit was not reached.

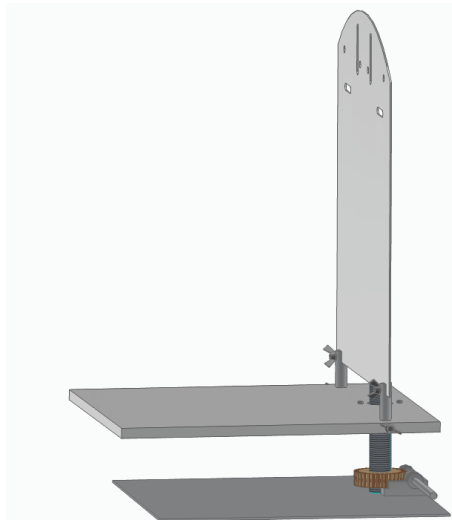


Figura 4. Final model of the elevation mechanism

- Conclusion: The final result was deemed a success by all parties involved. All the objectives where met: not affecting the already in place features and the weight limit.



GRADO EN INGENIERÍA EN TECNOLOGÍAS
INDUSTRIALES

TRABAJO FIN DE GRADO

SILLA DE RUEDAS ELEVABLE PARA NIÑOS

Autor: Alfonso González Chacón

Director: Carlos Sanz Jimeno

Madrid
Junio 2024

Índice

| | |
|---|------------|
| I. RESUMEN DEL PROYECTO | i |
| II. ABSTRACT | iii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS | 3 |
| 3. ESTADO DE LA CUESTIÓN | 4 |
| 4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO | 5 |
| 4.1. JUSTIFICACIÓN | 5 |
| 4.2. OBJETIVOS | 5 |
| 4.3. METODOLOGÍA | 6 |
| 4.4. PLANIFICACIÓN | 6 |
| 5. DESARROLLO | 8 |
| 5.1. OBTENCIÓN DE IDEAS | 8 |
| 5.2. DIMENSIONAMIENTO | 8 |
| 5.3. DISEÑO 3D Y CREACIÓN DE PLANOS | 18 |
| 5.4. MODULARIDAD | 27 |
| 5.5. SOSTENIBILIDAD | 30 |
| 5.5.1. ECO-INDICADORES | 30 |
| 5.5.2. AGENDA 2030 | 31 |
| 5.6. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO | 32 |
| 6. ANALISIS DE RESULTADOS | 39 |
| 7. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS | 41 |
| 8. BIBLIOGRAFÍA | 43 |
| 9. ANEXOS | 45 |
| 9.1. CUMPLIMIENTO ODS | 45 |
| 9.2. TABLAS DE INTENSIDAD DE CONEXIÓN | 46 |
| 9.3. LUBRICACIÓN | 48 |
| 9.4. PLANOS | 49 |

Índice de figuras

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Análisis de elementos finitos del modelo final - Desplazamiento . . . | II |
| 2. | Modelo final del mecanismo de elevación | II |
| 3. | Finite Element Analysis of the final model - Displacement | IV |
| 4. | Final model of the elevation mechanism | IV |
| 5. | Silla R82 [Orto24] | 1 |
| 6. | Plan de trabajo | 7 |
| 7. | Ideas y ratios | 8 |
| 8. | Modelo husillo - carcasa | 10 |
| 9. | Minimización del diámetro primitivo. | 12 |
| 10. | Flecha según grosor y material | 17 |
| 11. | Caja de instalación parte superior | 19 |
| 12. | Caja de instalación parte inferior | 19 |
| 13. | Placa unión caja de instalación | 20 |
| 14. | Involuta de la corona | 20 |
| 15. | Corona | 21 |
| 16. | Tornillo sin fin | 21 |
| 17. | Asiento | 22 |
| 18. | Respaldo | 23 |
| 19. | SopORTE | 23 |
| 20. | Husillo | 24 |
| 21. | Cabeza | 24 |
| 22. | Desplazamiento caso más desfavorable | 25 |
| 23. | Desplazamiento caso realista | 26 |
| 24. | Module definition | 28 |
| 25. | Ciclo de vida de un producto según <i>The Design For Environmental Compliance Workbench Tool</i> [Roch05] | 30 |
| 26. | Paso 1 | 32 |
| 27. | Paso 2 | 32 |
| 28. | Paso 3 | 33 |
| 29. | Paso 4 | 33 |
| 30. | Paso 5 | 34 |
| 31. | Paso 6 | 34 |
| 32. | Paso 7 | 34 |
| 33. | Paso 8 - cerca | 35 |
| 34. | Paso 8 - visión completa | 35 |
| 35. | Paso 9 | 35 |
| 36. | Paso 10 - cerca | 36 |
| 37. | Paso 10 - visión completa | 36 |
| 38. | Paso 11 - cerca | 37 |
| 39. | Paso 11 - visión completa | 37 |
| 40. | Paso 13 | 38 |

Índice de cuadros

| | | |
|-----|---|----|
| 1. | Diámetros críticos según factor de seguridad - Unidades en mm . . . | 11 |
| 2. | Parámetros de la transmisión del sinfín segun <i>Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín - corona</i> [Lond12] | 11 |
| 3. | Medidas relevantes tornillo sin fin | 14 |
| 4. | Medidas relevantes corona | 14 |
| 5. | Medidas relevantes a ambas partes | 15 |
| 6. | Módulo de Young según material en <i>GPa</i> | 16 |
| 7. | Densidad según material en kg/m^3 | 16 |
| 8. | Parámetros minimización asiento | 16 |
| 9. | Pesos ambas placas en <i>kg</i> | 17 |
| 10. | Dimensionamiento tornillos cabeza-asiento | 17 |
| 11. | Lista de piezas | 18 |
| 12. | Lista de piezas con pesos | 27 |
| 13. | Puntuación de las conexiones | 29 |
| 14. | Percentage of total Liaison Intensity by module | 29 |
| 15. | Eco-indicator analysis | 31 |
| 16. | Intensity of contact type according to <i>Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering</i> [Tsen08] | 46 |
| 17. | Intensity of combination type according to <i>Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering</i> [Tsen08] | 46 |
| 18. | Intensity of tool type according to <i>Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering</i> [Tsen08] | 47 |
| 19. | Intensity of accessed direction type according to <i>Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering</i> [Tsen08] | 47 |
| 20. | Viscosidad recomendada ISO | 48 |
| 21. | Nivel recomendado de aceite | 48 |

1. INTRODUCCIÓN

Daniela es una niña de 6 años con un alto nivel de dependencia. La silla de ruedas es un aparato fundamental de como Daniela y su familia viven sus vidas diarias. Ir al colegio, salir a pasear, socializar son solo algunas de las facetas de las vidas de Daniela y sus familiares. Esto solo recalca la increíble importancia que tiene la comodidad de la silla en la rutina de toda persona neurodivergente y su círculo más cercano. Los fabricantes de sillas de ruedas especializadas hacen un excelente trabajo en crear el mejor producto posible para estas familias. Sin embargo, cada niño es un mundo y como de verdad se puede sacar el máximo potencial y la máxima comodidad es customizando cada silla a la situación concreta de cada persona. Esta es una de las razones por las cuales existe múltiples especialistas que se encargan de adaptar una silla buena en la silla perfecta para cada caso.

El proyecto nace de una idea de Carlos, el padre de Daniela, que viendo como los compañeros de clase de Daniela van creciendo quiere que Daniela pueda hacer contacto visual con ellos. La capacidad de hacer contacto visual con tus compañeros y amigos es algo que muchas veces las personas no neurodivergentes dan por hecho, sin embargo, al estar siempre sentado se puede hacer complicado. Es así como Carlos le propone a la fundación social de ICAI el proyecto de diseñar un mecanismo de silla de ruedas elevable. La idea es que Daniela use su actual silla, Figura 5 durante toda su niñez hasta aproximados unos 16 años, dependiendo de como se vaya dando su desarrollo. Este tipo de material especializado tiene un coste alto por tanto es fundamental asegurar una larga vida de producto y cualquier mecanismo a diseñar tendría que ser algo que se pudiera incorporar a la silla existente.



Figura 5. Silla R82 [Orto24]

Con una meta final en mente, añadir elevación a la silla de ruedas, el proyecto se centró en buscar la mejor solución posible para este caso y diseñarla. Debido a la naturaleza del proyecto, todos los partidos estaban altamente implicados en diseñar una solución factible. Esto provocó que todos los involucrados mantuvieran los canales de comunicación siempre abiertos para obtener todo el input y críticas

posibles a lo largo del proyecto. Esta colaboración ha ayudado a que el proyecto fuera en todo momento transparente y la familia de Daniela conociera todo el desarrollo según iba ocurriendo.

Los principales objetivos a cumplir son. Por un lado, el mantener un peso de la carcasa menor a 10kg, un peso mayor tendría demasiado impacto en la movilidad de la silla y la comodidad con la que la usa la familia. Por otro lado, el mantener intactas todas las funciones de la silla que ya vienen implementadas de fábrica, en concreto la basculación pues es de las que más uso tiene. La idea que se decidió desarrollar y se explicará durante este trabajo es la de un mecanismo sinfin-corona que elevará una carcasa de aluminio donde irá sentada Daniela. El tornillo sin fin sería girado lo que provocaría el giro de la corona que girará a su vez el husillo provocando un movimiento lineal en la carcasa de arriba a abajo.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS TECNOLOGÍAS

El mecanismo principal a entender es el tornillo sin fin corona. Es una combinación relativamente simple donde el tornillo gira sobre su diámetro, y al contactar sus dientes con la corona esta gira. En este caso la corona tiene un diámetro interno roscado que va conectado a una barra o husillo también roscado. El giro de la corona provoca el giro del husillo que trasladará el movimiento circular a lineal en la carcasa, unida al husillo por una parte circular roscada que se ha denominado cabeza. Esta cabeza tiene un diámetro roscado en su interior y es la encargada de hacer subir y bajar la carcasa según el giro del husillo.

Además del mecanismo principal, se utilizarán varios softwares para facilitar el diseño y los cálculos. Los softwares que se han utilizado:

- MatLab: minimizar las dimensiones de las distintas partes y estimar pesos previo al diseño 3D.
- SolidEdge: diseño 3D y creación de planos.

3. ESTADO DE LA CUESTIÓN

Para entender el estudio de mercado primero se tiene que recalcar que existe una gran diferencia entre las sillas de ruedas enfocadas para adultos y para niños. Y dentro de estas también existe una gran variedad según el grado de dependencia del usuario. Durante el análisis del estado de la cuestión se realizó una lluvia de ideas y se seleccionaron aquellas donde el nivel de mejora del usuario era mayor, y siendo factible y sostenible la implementación de la misma. Finalmente se decidió añadir una carcasa que pudiera subir y bajar mediante un mecanismo de tornillo sin fin corona.

Los mecanismos de elevación en silla de ruedas no son nada nuevo. Si bien este tipo de mecanismos ya existen en el mercado, no es común verlos incorporados en sillas de ruedas para niños. Además, los que existen suelen ser mayoritariamente eléctricos. El único otro caso que se ha encontrado parecido, en el sentido de usar métodos mecánicos, fue el de la empresa J58, que usan pistones para erguir a personas en la silla de ruedas. En las fases primeras del diseño se contactó con Gabriel Costa, el CEO de J58, para preguntar que opinaban de la solución propuesta en este trabajo. Gabriel indicó que ellos se plantearon incorporar este tipo de mecanismo y que para este caso serían una buena opción.

Como se ha mencionado anteriormente, cada familia y cada niño son un mundo, por tanto, como se puede sacar el mayor potencial y comodidad de este tipo de productos es adaptandolos caso a caso. La familia de Daniela ya contaba con la silla R82, Figura 5. Debido a los altos precios de este tipo de material tan especializado es mucho más rentable añadir un mecanismo que cambiar la silla completa mientras se pueda. Otra ventaja de este tipo de añadidos es que al trabajar la familia con el diseñador codo con codo se puede llegar a soluciones muy específicas para el caso concreto. Si bien en la mayoría de los casos estas soluciones no se pueden escalar, tampoco es el objetivo. El diálogo constante con la familia ha permitido tomar ciertas decisiones de diseño que simplemente no se podrían haber tenido en cuenta en casos generalistas. Un ejemplo de ello es que Daniela necesita de un termoplástico en la zona de la cadera que le ayude a mantenerse erguida y le corrija la postura. Al tener 6 años y estar todavía en etapa de crecimiento este tipo de material requiere de cambios constantes. Teniendo esto en cuenta, el permitir una fácil instalación del termoplástico se volvió un punto importante en la etapa de diseñado.

En resumen, las medidas de mejora ya propuestas en este trabajo se basan en mecanismos ya existentes en otros ámbitos del sector. Sin embargo, van un paso más allá al crear un producto adaptado exclusivamente a Daniela y su familia, algo que es fundamental para mejorar su calidad de vida y sacarle todo el potencial posible a su silla.

4. DEFINICIÓN DEL TRABAJO

4.1. JUSTIFICACIÓN

Como se ha ido viendo a lo largo de los apartados anteriores, este proyecto tiene una importante carga personal, pues el objetivo final es mejorar la calidad de vida de Daniela. Esto último se puede considerar la razón social del proyecto. Sin embargo, un producto no es útil solo por tener una causa social. Como se ha ido introduciendo, en el sector de las sillas de ruedas existe un gran interés por la customización de cada producto. Esto ocurre debido a que los fabricantes crean un producto que se pueda aplicar en el mayor número de situaciones posibles. Luego, al ser cada persona única en la manera en la que viven sus vidas y en los requisitos específicos de salud, en múltiples ocasiones se requiere de arreglos concretos para hacer que una silla buena sea la silla perfecta. Del mismo modo, a nivel de recursos no deja de ser más práctico añadir una mejora a una silla ya existente en comparación con comprar una silla nueva que incluya lo que se desea. Por último, a nivel mercado se ha observado que las sillas de ruedas enfocadas a niños no suelen incluir mecanismos de elevación. Esto significa que la única oportunidad que la familia de Daniela tiene de obtener esta función es mediante la correcta modificación de la silla actual.

En definitiva, las razones por la que se lleva a cabo este proyecto se pueden reducir a tres. Una primera razón social, cuyo objetivo no es otro que mejorar la calidad de vida de Daniela. Una razón económica, es menos costoso añadir sobre una silla ya existente que adquirir una nueva. Finalmente una razón práctica, actualmente en el mercado la oferta de sillas enfocadas a menores de edad no disponen de mecanismos de elevación.

4.2. OBJETIVOS

Una vez definidas las razones es importante marcar objetivos para tomarlos como base a la hora de tomar decisiones durante la etapa de diseño. A la hora de definir objetivos la comunicación entre los distintos partidos involucrados fue clave pues hay distintos factores a tener en cuenta. Daniela pasa muchas horas con sus abuelos lo cual indica que el peso no se puede incrementar en exceso. Además, el coche de la familia no dispone de rampa ni ningún tipo de ayuda a la hora de levantar la silla, lo que vuelve a recalcar la importancia del peso. Debido a razones médicas Daniela necesita del uso de un termoplástico como apoyo para su postura, asimismo al estar en etapa de desarrollo este termoplástico cambia frecuentemente, por consiguiente el tamaño debe ser adecuado además de permitir una fácil instalación. Los cinturones y distintos mecanismos de seguridad se enganchan en el respaldo, por tanto, esa zona ha de ser de fácil acceso. Finalmente, la consideración quizá más importante es que cualquier mejora no podía afectar a las medidas que ya estaban en la silla.

Por tanto los tres objetivos principales del diseño son los siguientes:

1. Diseño de una solución que no afecte a las funciones ya existentes en la silla como la basculación.

2. El peso de la carcasa ha de ser menor de 10kg.
3. La solución tiene que tener un alto nivel de modularidad, es decir distintas partes bien distinguidas entre si, ya que esto conlleva fácil arreglo e implica un fácil acceso a la parte trasera del respaldo pues es de fácil quita y pon.

4.3. METODOLOGÍA

Una gran parte de la dificultad de este proyecto yacía en su extensión. Al comienzo solo había una idea, mejorar la silla de Daniela, pero el cómo era un folio en blanco. La primera tarea fue compilar una serie de ideas que pudieran aplicarse para mejorar la silla y evaluarlas. Esta fase constó de la definición de los canales de comunicación tanto con la familia de Daniela, para definir objetivos y limitaciones técnicas, como con distintos expertos en distintas áreas relevantes, con el objetivo de alejarnos todo lo posible de aquellas ideas que ya se han probado pero no han funcionado en la industria. La lista de expertos consultados en algún punto es la siguiente. Primero la empresa R82 fabricantes de la silla buscando una colaboración para facilitar la obtención de datos y medidas que en última instancia no se dio. Posteriormente, se hablaría también con Gabriel Costa, CEO de J58 una startup enfocada en sillas para adultos. En las discusiones con Gabriel se confirmaron distintas ideas que podrían llegar a ser útiles aunque muchas fueron descartadas por limitaciones físicas o técnicas de la silla, el mecanismo final estudiado en este proyecto tenía el visto bueno de Gabriel. Además de expertos técnicos, se habló con Almudena Cerezo, una fisioterapeuta proporcionada por la fundación para todas las dudas de carácter médico. Por supuesto, la palabra final siempre fue de la familia de Daniela que fue participó en todas las etapas.

Una vez realizada la primera etapa de adquisición y decisión de ideas se continuó con el dimensionamiento. Lo primero que hay que hacer para el dimensionamiento es obtener una serie de datos estimados para usarlos como base: vida útil de la silla, altura de Daniela al final de la vida útil, peso de Daniela al final de la vida útil. Es importante que estos datos sean todo lo realistas posible dando también un cierto margen de error. En base a los datos anteriores el foco se pondrá en obtener las dimensiones mínimas de cada parte del mecanismo que sean capaces de realizar el trabajo sin riesgo. En un primer lugar, partiendo de un apartado teórico y posteriormente revisando lo obtenido en el análisis de elementos finitos. Tras el correcto dimensionamiento se realizarán los planos, y un proceso de instalación. En paralelo a esto último se revisará la modularidad del sistema.

4.4. PLANIFICACIÓN

El plan de trabajo a seguir durante este proyecto es el que se puede observar en la figura 6.

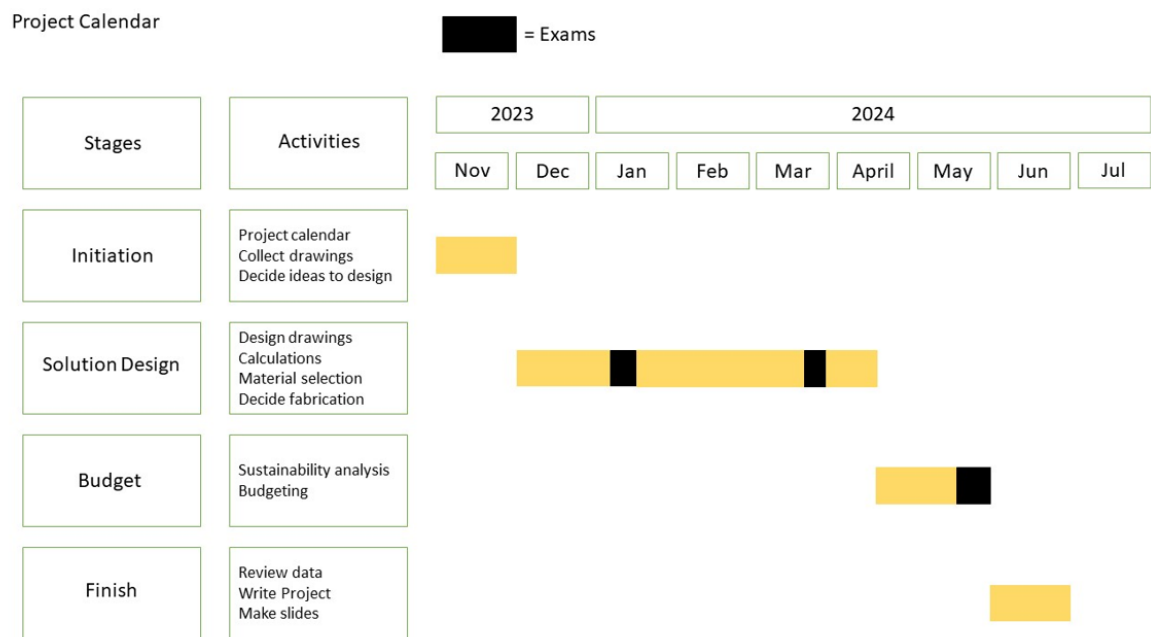


Figura 6. Plan de trabajo

5. DESARROLLO

Durante esta sección se van a explicar todos los elementos y decisiones del diseño desde su concepción hasta su versión final.

5.1. OBTENCIÓN DE IDEAS

Como ya se ha mencionado anteriormente, al inicio del proyecto no existía una idea concreta a aplicar. Por tanto, se dividieron todas las posibles mejoras en 2 categorías. Adapatabilidad, aquellas que mejoran o añaden alguna función a la silla y transporte, todas aquellas relacionadas con la movilidad. Posteriormente, se realizó una lluvia de ideas donde se compilaron unas 40. A todas esas ideas se les asignaron 2 puntuaciones. Una primera nota de complejidad indicando cómo de fácil es (10) a cómo de difícil (1). Otra nota de beneficio, mucho (10) y poco (1). Tras ello se ordenaron por ratio, el múltiplo de ambas notas. Finalmente esta lista le fue presentada a Carlos, el padre de Daniela, que tomo la última decisión de cual quería que se hiciera. La lista de ideas propuestas se puede apreciar en la figura 7.

| Complejidad: 10-fácil 5-intermedio 1-difícil | | | | |
|--|---------------|-------------|-----------|-------|
| Beneficio 10-mucho 5-medio 1-poco | | | | |
| Ideas /Adaptabilidad | Ideas | Complejidad | Beneficio | Ratio |
| Variación altura ruedas | Adaptabilidad | 10 | 10 | 100 |
| Ensachar ejes ruedas delanteras/traseras | Adaptabilidad | 10 | 10 | 100 |
| Elevación por tornillo | Adaptabilidad | 5 | 10 | 50 |
| Elevación por bolsa de aire | Adaptabilidad | 5 | 10 | 50 |
| Ruedas mayor diametro | Transporte | 10 | 5 | 50 |
| Barra extensible | Transporte | 10 | 5 | 50 |
| Piernas reclinables | Adaptabilidad | 5 | 5 | 25 |
| Profundidad silla | Adaptabilidad | 5 | 5 | 25 |
| Amortiguación ruedas | Transporte | 5 | 5 | 25 |
| Loopwheels | Transporte | 5 | 5 | 25 |
| Variación del patrón de la rueda | Transporte | 5 | 5 | 25 |
| Materiales ruedas | Transporte | 5 | 5 | 25 |
| Elevación oficina del asiento | Adaptabilidad | 1 | 10 | 10 |
| Bloques lego para elevación | Adaptabilidad | 1 | 10 | 10 |
| Ruedas silla baloncesto | Transporte | 1 | 10 | 10 |
| Ruedas más gordas | Transporte | 10 | 1 | 10 |
| Fundas ruedas | Transporte | 10 | 1 | 10 |
| Colocar asiento en vertical | Adaptabilidad | 1 | 5 | 5 |
| Amortiguadores regulables | Transporte | 1 | 5 | 5 |
| Separación asiento y marco | Transporte | 1 | 5 | 5 |
| Cambiar Pesos de la silla | Transporte | 5 | 1 | 5 |

Figura 7. Ideas y ratios

Cabe destacar que esta lista de ideas se realizó antes de considerar restricciones técnicas. Es por ello que ideas que no serían posibles debido a la propia estructura de la silla tienen puestos altos: variación altura ruedas y ensachar ejes. Esto es así porque el objetivo principal de la lluvia de ideas era obtener el mayor número de ideas posibles. Debido al tiempo disponible y complejidad finalmente solo fue posible llevar a cabo una de las ideas iniciales. La decisión de Carlos fue la de avanzar con la idea de elevación por tornillo. Con el objetivo de hacer que influyera lo menos posible con el resto de la silla se tomó la decisión de incluir la carcasa.

5.2. DIMENSIONAMIENTO

En primer lugar lo más importantes era tener estimaciones. La familia de Daniela indicó que idealmente les gustaría usar la silla hasta los 16 años de edad. En base a esto se estimó que Daniela podría rondar unos 75kg de peso y unos 175cm de

altura. Estas estimaciones fueron aprobadas por Almudena Cerezo fisioterapeuta proporcionada por la fundación. Almudena indicó que lo más probable es que acabase por debajo de estas estimaciones ya que las personas dependientes de la silla de ruedas suelen tener un desarrollo más lento. Sin embargo, se decidió seguir usando estas estimaciones para incluir un cierto elemento de seguridad.

$$Peso = 75kg, Altura = 175cm \quad (1)$$

Tras definir estos parámetros se continuó con el dimensionamiento, concretamente se intentó minimizar la cantidad de material a utilizar, reduciendo así el peso posible. Al principio se empezó por los diámetros de las partes: husillo, tornillo sin fin y corona. A pesar de que posteriormente se intentaría minimizar el peso de la carcasa todo lo posible para la realización de estos cálculos se usó el caso más desfavorable, es decir el peso máximo de la carcasa.

$$PesoCarcasa = 10kg \quad (2)$$

El último parámetro que se definió fue la altura a elevar de Daniela, que se acabó colocandado en una elevación máxima de 150mm.

$$h = 150mm \quad (3)$$

En primer lugar, se dimensionará el husillo para que no se comprima ni sufriera pandeo. Para ello se utilizó el esquema visible en la figura 8. En este modelo se asume que el husillo es completamente cilíndrico ignorando las pequeñas entradas del roscado. La carcasa se asume como una única placa en la cuál todo el peso del propio material, 10kg; y de Daniela, 75kg, esta aplicado sobre el centro. La realidad es que este peso estaría más cerca del husillo pues el respaldo vertical y el cuerpo de Daniela estarían en la parte trasera de la silla. Se decidió utilizar este modelo porque es más sencillo a la hora de realizar los cálculos y además las estimaciones dan margen de seguridad pues la situación planteada es ligeramente más desfavorable que la realidad. La fuerza que aparece no es más que la fuerza de la gravedad de todos los pesos. Cabe destacar que el material usado para el husillo será el acero con $E = 210GPa$ y $\sigma = 260MPa$.

$$F = mg = 850N \quad (4)$$

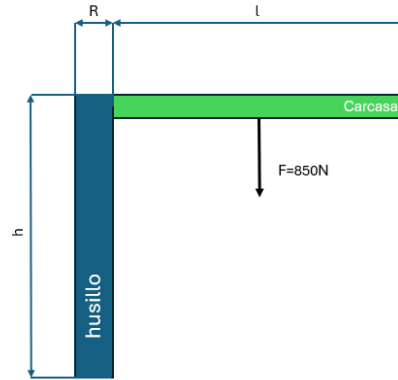


Figura 8. Modelo husillo - carcasa

En base a este modelo se realizarán dos comprobaciones. En primer lugar, se observará el pandeo. Para ello se igualará el peso crítico a la fuerza obtenida. Incluyendo un factor de seguridad, n .

$$P_c/n = F \quad (5)$$

$$P_c = \pi^2 * E * I_z/h^2 \quad (6)$$

Asumiendo el husillo como un cilindro el momento de inercia es igual a:

$$I_z = \frac{\pi R^4}{4} \quad (7)$$

Tras despejar de tal modo que sea dependiente del radio:

$$R > \sqrt[4]{\frac{4nFh}{\pi^3 E}} \quad (8)$$

Tras el pandeo se procede al análisis de la compresión. Donde de nuevo incluiremos un factor de seguridad.

$$\sigma = \frac{F}{A} + \frac{M}{I_z} y_m < \frac{\sigma_u}{n} \quad (9)$$

Donde el área y el momento son los de un cilindro, siguiendo la aproximación hecha anteriormente. Para el momento de inercia se estudiaron 2 casos. Uno completo, y otro simplificado donde se asumió que la palanca realizada por el radio del husillo era despreciable.

$$\text{Completo : } M = F(0,5l + R) \quad (10)$$

$$\text{Simple : } M = 0,5Fl \quad (11)$$

Tras esto se puede introducir todo en la misma ecuación 9. El análisis de los radios tanto para compresión, ambos casos, y pandeo; se realizó en matlab. Los resultados fueron los siguientes. El análisis asume distintos valores de el factor de seguridad.

Cuadro 1. Diámetros críticos según factor de seguridad - Unidades en mm

| Factor Seguridad | Pandeo | Compresión (simple) | Compresión (completos) |
|------------------|---------|---------------------|------------------------|
| 1 | 5.9498 | 19.5663 | 19.8509 |
| 3 | 7.8304 | 28.2648 | 28.8568 |
| 5 | 8.8971 | 33.5442 | 34.3763 |
| 10 | 10.5805 | 42.3312 | 43.6518 |
| 20 | 12.5824 | 53.4422 | 55.5378 |

Como se puede apreciar en el cuadro 1 la aproximación simple da resultados muy similares. Finalmente se opta por un diámetro del husillo de 30mm, pues tiene el suficiente factor de seguridad sin comprometer en exceso el peso del mecanismo. Cabe destacar que el husillo es un cilindro roscado luego la rosca será M30 y la parte maciza tendrá un diámetro ligeramente menor, aun así como se puede observar en el cuadro 1 el factor de seguridad estará entre 3 y 5. Un valor lo suficientemente grande como para que no falle en circunstancias más desfavorables a las de diseño. Si durante el análisis de elementos finitos fuera un problema este número podría cambiar en el futuro.

A continuación, se procederá con el diseño del tornillo sin fin corona. Para poder avanzar en el diseño es necesario determinar el número de entradas del tornillo o dientes de la corona. Se elige el que el tornillo tenga entradas $e_1 = 2$ por ser el valor más común. En base a *Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sin fin - corona* [Lond12], obtenemos las relaciones de transmisión recomendadas para este tipo de mecanismos. Estas relaciones recomendadas se pueden observar en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de la transmisión del sinfin según *Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sin fin - corona* [Lond12]

| i | e_1 | Z_2 | q |
|-----|-------|-------|-----|
| 16 | 2 | 32 | 15 |
| 20 | | 40 | |
| 25 | | 50 | |

Se decide escoger $Z_2 = 32$ pues es aquel unido a una menor relación de transmisión. La razón por la cual es preferible obtener una relación de transmisión es porque la velocidad angular es dependiente de esta relación de transmisión, i . A su vez es beneficioso obtener una velocidad baja puesto que los movimientos bruscos podrían ser perjudiciales para Daniela.

Ya seleccionados el número de dientes de cada uno de las piezas del mecanismo se procederá a obtener el resto de medidas. Estos cálculos se realizarán acorde a *Machine Elements in Mechanical Design* [Mott18]. Para un módulo de $m = 2mm$ se y con el número de dientes Z_2 de la corona, ecuación 12, se puede obtener el diámetro primitivo de la corona. Una vez obtenidos se utilizarán las fórmulas de

distancias ideales de centros, C , para obtener el diámetro primitivo del tornillo sin fin más bajo posible de tal modo que el mecanismo funcione y el peso sea el menor posible. Estas fórmulas se pueden observar en las ecuaciones, 14 y 15.

$$D_p = mZ_2 = 64mm \quad (12)$$

$$C = \frac{D_p + d_p}{2} \quad (13)$$

$$1,07 < \frac{C^{0,875}}{d_p} < 2,0 \quad (14)$$

$$d_p = \frac{C^{0,875}}{1,54} \quad (15)$$

Utilizando las capacidades gráficas de Matlab se creó un gráfico, figura 9. Donde, el eje x muestra el diámetro primitivo, el eje y el error respecto al ideal y el área azul es aquello que cumple con las desigualdades de la ecuación 14.

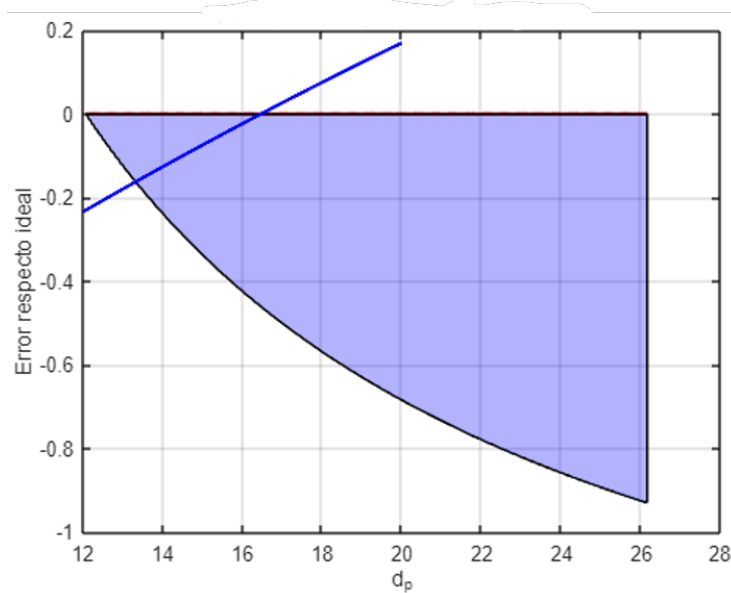


Figura 9. Minimización del diámetro primitivo.

Finalmente se elige el valor $d_p = 16mm$ este valor da un error del 0.02. A partir de los diámetros primitivos y el módulo se pueden obtener el resto de parámetros del tornillo. En primer lugar con los factores comunes a ambas partes.

$$Paso : P = m\pi = 6,2832mm \quad (16)$$

$$Adendo : a = m \quad (17)$$

$$Profundidaddeldiente : h = 0,6866P = 4,314mm \quad (18)$$

$$Profundidadfuncional : h_k = 2a = 4mm \quad (19)$$

$$\text{Grosordeldiente} : t = 0,5P = 3,14mm \quad (20)$$

$$\text{Dedendo} : b = h - a = 2,31mm \quad (21)$$

A continuación los parámetros del tornillo sin fin.

$$\text{Diametroexterior} : d_e = d_p + 2a = 20mm \quad (22)$$

$$\text{Diametrointerior} : d_i = d_p - 2b = 11,4mm \quad (23)$$

$$\text{Angulodeavance} : \alpha = \text{atan}\left(\frac{Pe_1}{d_p}\right) = 14,04 \quad (24)$$

$$\text{Redondeodeldiente} : r = 0,05P = 0,314mm \quad (25)$$

$$\text{Distanciaminimahelice} : L = \sqrt[2]{D_e^2 - D_p^2} \quad (26)$$

Por último los de la corona:

$$\text{Diametroexterior} : D_e = D_p + 0,3183(3P) = 70mm \quad (27)$$

$$\text{Diametrointerior} : D_i = D_p - 2b = 59,4mm \quad (28)$$

$$\text{Diametrogarganta} : D_t = D_p + 2a = 68mm \quad (29)$$

$$\text{Radiogarganta} : R_t = \frac{d_p}{2} - 2a = 6mm \quad (30)$$

$$\text{Angulodehelice} : \beta_2 = 90 - \beta_1 = 75,96 \quad (31)$$

$$\text{Redondeodelborde} : r = 0,25P = 1,57mm \quad (32)$$

La fórmula del grosor da el valor en inches por tanto hay que pasarlo a mm.

$$\text{Grosor} : T = 2P + 0,25 = 18,9mm \quad (33)$$

A continuación se mostrará un resumen de las medidas más relevantes de cada una de las partes a modo de tabla para facilitar su comprensión.

Cuadro 3. Medidas relevantes tornillo sin fin

| | |
|-------------------------|---------|
| entradas | 2 |
| Diámetro primitivo | 16mm |
| Diámetro exterior | 20mm |
| Diámetro interior | 11.4mm |
| Ángulo de hélice | 14.04° |
| Ángulo de avance | 14.04° |
| Radio de redondeo | 0.314mm |
| Distancia mínima hélice | 28mm |

Cuadro 4. Medidas relevantes corona

| | |
|--------------------|--------|
| dientes | 32 |
| Diámetro primitivo | 64mm |
| Diámetro exterior | 70mm |
| Diámetro interior | 59.4mm |
| Diámetro garganta | 68mm |
| Grosor | 18.9mm |
| Ángulo de hélice | 75.96° |
| Radio de redondeo | 1.57mm |
| Radio gargante | 6mm |

Cuadro 5. Medidas relevantes a ambas partes

| | |
|-------------------------|--------|
| relación de transmisión | 16 |
| Distancia entre centros | 40mm |
| Módulo | 2mm |
| Paso | 6.28mm |
| Adendo | 2mm |
| Dedendo | 2.31mm |
| Profundidad | 4.31 |
| Profundidad efectiva | 4mm |
| Grosor del diente | 3.14mm |

Una vez diseñados los elementos del mecanismo. Se continuará con la carcasa. Para determinar las dimensiones se le pidieron a la familia de Daniela una serie de medidas, que serán las mismas que se utilizaran en la carcasa final. Existen otro tipo de consideraciones a tener en cuenta. En primer lugar, Daniela utiliza un reposa cabeza que debe ir atado y subir con el respaldo. Además, el respaldo ha de poder acomodar todos los elementos de seguridad como cinturones y termoplástico entre otros. Finalmente, no es necesario añadir ningún tipo de elevación al reposapiés pues este ya viene con la capacidad de cambiar su altura. Se decide dividir la carcasa en 4 piezas. Dos placas metálicas que harán de respaldo y asiento, será la parte más pesada de la carcasa y el objetivo será reducirla. Dos soportes cilíndricos que uniran ambas placas. Estos deben ser de fáciles de quitar y poner pues la familia de Daniela necesita acceder regularmente a la parte trasera del respaldo. Al no poder cambiarse el ancho y el largo para reducir el peso todo lo posible habrá que minimizar los grosores.

Se empezó con la placa vertical. El parámetro de diseño más importante es que permita el uso de los mismos elementos de seguridad que antes, para ello simplemente se copiará el sistemas que ya tiene el respaldo de la silla original. En cuánto al grosor, el respaldo no estará sometido a grandes esfuerzos ni tendrá que soportar peso, por tanto es posible seleccionar un grosor fino. Se eligió 2mm que es el grosor del respaldo de la silla en uso.

Posteriormente, se realizaron los cálculos de la placa horizontal, que será aquella sobre la que se sienta Daniela. El factor de mayor importancia en cuanto al diseño yace en que la placa no se puede deformar cuando Daniela se sienta. Esto genera una contradicción pues cuanto más grosor menor será la deformación pero mayor el peso y viceversa. Para hallar la mejor solución se realiza un estudio teórico de la deformación o flecha según el grosor. Del mismo modo, se analizaron distintos materiales con el objetivo de encontrar una combinación más óptima. La metodología es la siguiente, se crea una función del desplazamiento en función del grosor y se

crean gráficos para los distintos materiales. Por último, se comprobarán que el peso de la supuesta carcasa con cada material no superé el objetivo.

Cuadro 6. Módulo de Young según material en GPa

| | |
|----------|-----|
| Acero | 210 |
| Aluminio | 73 |
| Titanio | 120 |

Cuadro 7. Densidad según material en kg/m^3

| | |
|----------|------|
| Acero | 7850 |
| Aluminio | 2780 |
| Titanio | 4500 |

Cuadro 8. Parámetros minimización asiento

| | |
|-------------------------|----------|
| Fuerza [P] | 750N |
| Largo [L] | 440mm |
| Ancho [w] | 400mm |
| Grosor [t] | variable |
| Modulo de Young [E] | cuadro 6 |
| Densidad [ρ] | cuadro 7 |

Las ecuaciones relevantes son la inercia (I) y la flecha (δL)

$$I = \frac{1}{12}wt^3 \quad (34)$$

$$\delta L = \frac{1}{3EI}PL^3 \quad (35)$$

Partiendo de la ecuación 35 y de los parámetros en los cuadros 6, 7, 8. Con la utilización de las capacidades gráficas de matlab se obtiene el siguiente gráfico.

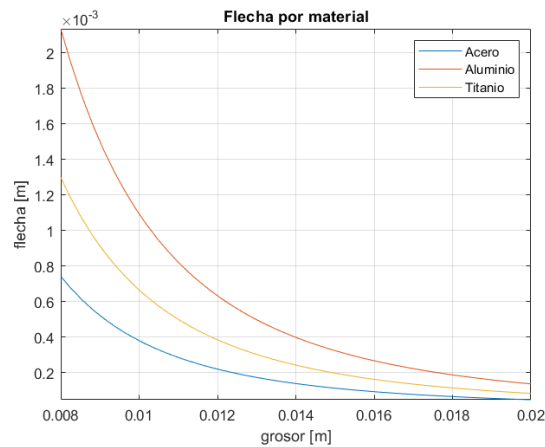


Figura 10. Flecha según grosor y material

Utilizando las densidades se obtiene que el peso de ambas placas por material sería el observado en el cuadro 9. Por tanto, quedan descartados todos menos el aluminio, el grosor elegido es de $t=14\text{mm}$. Este grosor está sujeto a cambios si durante el análisis de elementos finitos se observa que se puede minimizar más.

Cuadro 9. Pesos ambas placas en kg

| | |
|----------|-------|
| Acero | 15,12 |
| Aluminio | 7,85 |
| Titanio | 11,12 |

La última parte restante del desarrollo de la carcasa son los soportes. Para ello se van con dos cilindros de aceros que unen ambas placas mediante tornillos de mariposa. Los tornillos de mariposa son aquellos que permiten apretar y desapretar manualmente y por consiguiente permiten a los familiares de Daniela instalar y desinstalar fácilmente los elementos de seguridad según lo necesiten.

A continuación, con el objetivo de minimizar los esfuerzos a los que se ve sometida la silla y reducir las vibraciones fruto de la elevación. Se decide que se diseñara una parte cilíndrica con un diámetro roscado hueco que sea aquella que realice el movimiento de subida y bajada por el husillo. Para ello se fijó el objetivo de 4 tornillos. Y siguiendo los cálculos para el correcto dimensionamiento de los tornillos del *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner - Del 1-8: Dimensionering av knutpunkter och förband* [Swed08] Se realizó para 4 tornillos M4.5 de clase 4.8. Primero se calculó cuánta fuerza pueden soportar con respecto a la carcasa y luego se calcula el grosor mínimo de la cabeza.

Cuadro 10. Dimensionamiento tornillos cabeza-asiento

| Asiento | | Cabeza | |
|---------|-------|--------|------|
| Fuerza | 40687 | Fuerza | 1700 |
| Grosor | 14mm | Grosor | 6mm |

Con el cuadro 10 comprobamos dos cosas. Primero, que estos tornillos son capaces de soportar una gran cantidad de esfuerzos con respecto al asiento. Segundo, para que la cabeza sea capaz de aguantar necesitamos un grosor de 6mm en la parte de los tornillos.

Por último, en la parte del diseño, se realizó una caja de instalación básica que será donde irán el mecanismo del tornillo sin fin y corona. Para la correcta instalación de esta caja se usarán unos pequeños tornillos y plaquitas metálicas de unión. Además de recopilar una serie de elementos normalizados del portal *Traceparts*

1. Rodamientos: para reducir la fricción del giro del tornillo. [Trac24a]
2. Tornillos mariposa: dos de 50mm y dos de 15mm. [Shen24]
3. Tornillos cabeza hexagonal: cuatro para unir la cabeza al asiento. [Trac24b]
4. Tuercas hexagonales: cuatro para cubrir la el saliente de los tornillos hexagonales. [nore24]

Con esto la lista de piezas final es la que se puede observar en el cuadro 11.

Cuadro 11. Lista de piezas

| Pieza | | Material |
|------------------------------------|----|----------|
| Tornillo sin fin | 1 | Acero |
| Husillo | 1 | Acero |
| Corona | 1 | Bronce |
| Cabeza | 1 | Acero |
| 07170-04x25 (tornillo hexagonal) | 4 | Acero |
| 07210-04 (tuerca hexagonal) | 4 | Acero |
| din625_-61900 (rodamiento) | 2 | Acero |
| Placa Asiento | 1 | Aluminio |
| Placa Respaldo | 1 | Aluminio |
| ebcbs8-50 (tornillo mariposa 50mm) | 2 | Acero |
| ebcbs8-15 (tornillo mariposa 15mm) | 2 | Acero |
| tornillo_iso_7380-m3x8-12_9 | 11 | Acero |
| Panel Union | 5 | Acero |
| Caja inferior | 1 | Aluminio |
| Caja superior | 1 | Aluminio |
| Soporte | 2 | Acero |

5.3. DISEÑO 3D Y CREACIÓN DE PLANOS

En esta sección se analizarán el resultado del estudio del análisis por elementos finitos. Además, se comentarán los puntos relevantes del diseño 3D que merezcan una mención. Los planos obtenidos al finalizar esta parte se pueden observar en la sección de anexos.

La primera parte que se realizó fue la caja de instalación. Aunque se pueda observar en el cuadro 11 el criterio seguido para su diseño es uno de espacio, todas las

piezas tenían que encajar adecuadamente. Se divide en 2 partes denominadas inferior (figura 12) y superior (figura 11). Estas cajas van unidas mediante unas plaquitas de acero pequeñas, de diseño propio (figura 13), y los tornillos normalizados tornillo_iso.7380-m3x8-12_9.

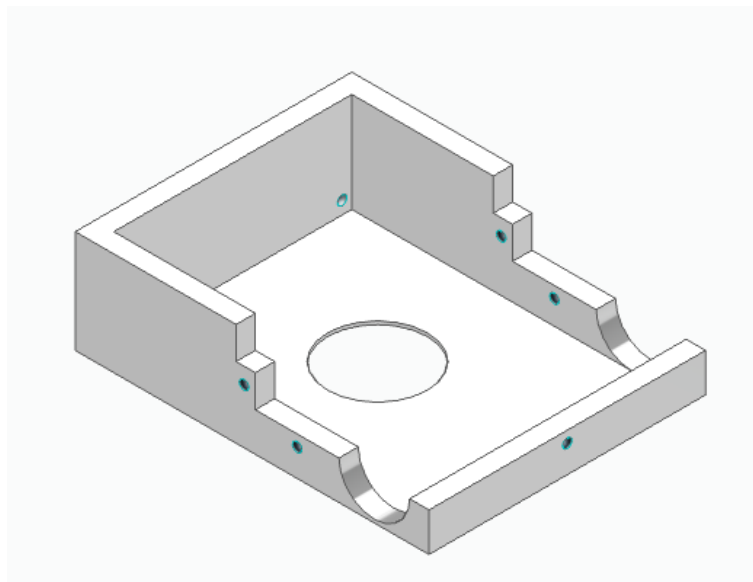


Figura 11. Caja de instalación parte superior

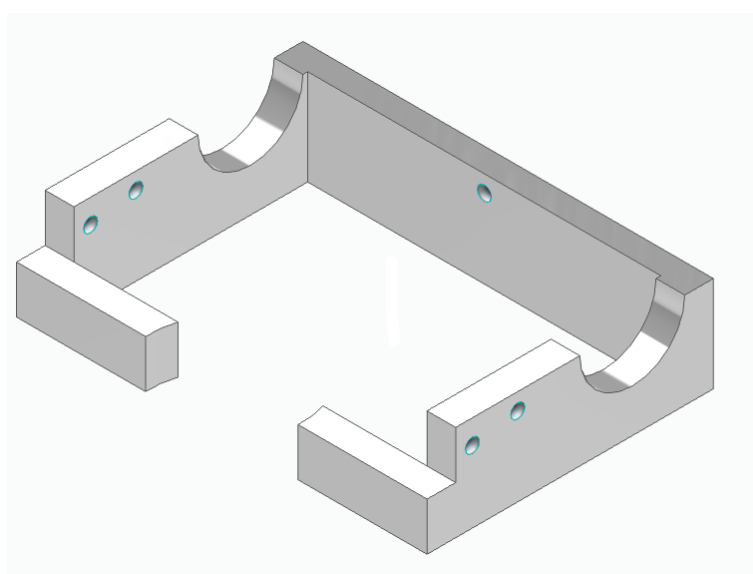


Figura 12. Caja de instalación parte inferior

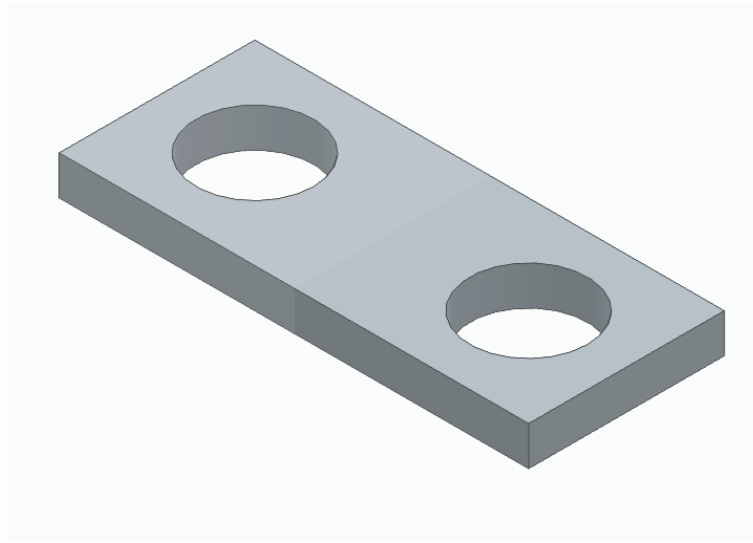


Figura 13. Placa unión caja de instalación

Posteriormente, se realizó la corona. Este tipo de engranajes necesita de una curva conocida como la involuta. El objetivo de la involuta es optimizar el contacto entre engranajes. Esta curva se obtuvo usando la potencia gráfica de solid edge, que la obtiene automáticamente, y siguiendo los principios establecidos en *Gears* [Vull20]. Con esta base se obtuvieron la involuta (figura 14) y la corona (figura 15).

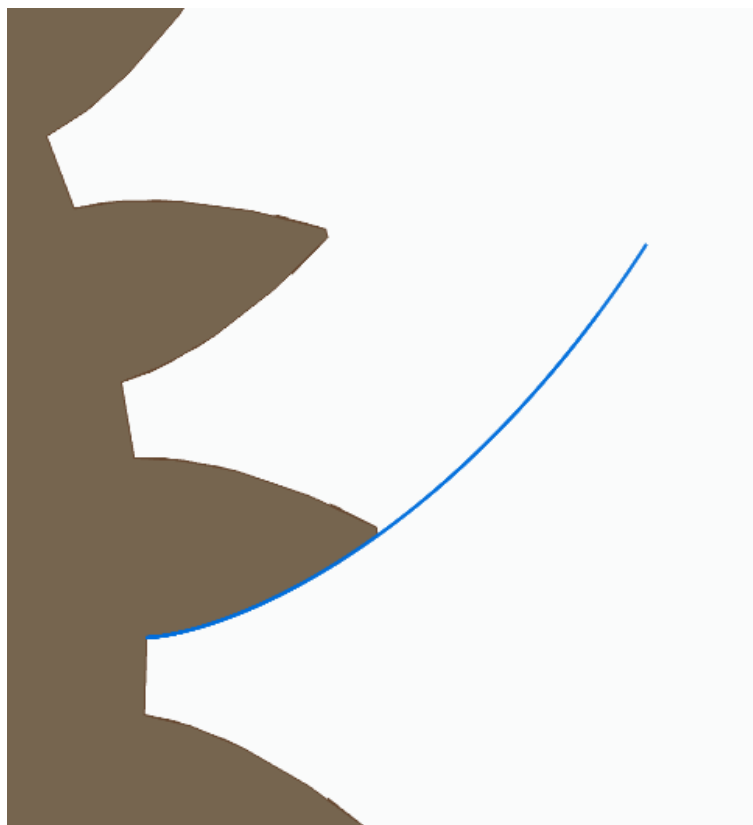


Figura 14. Involuta de la corona

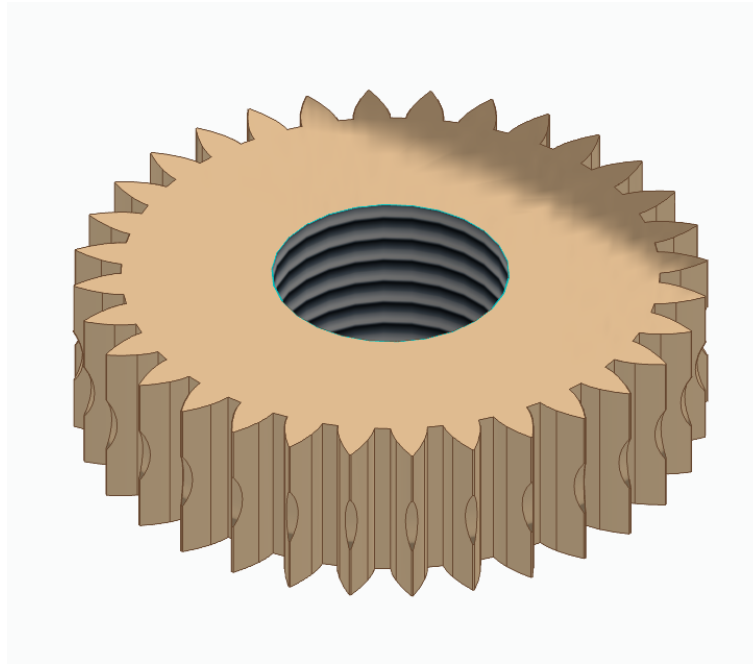


Figura 15. Corona

El tornillo sin fin no sufrió cambios respecto a sus medidas iniciales. Sin embargo, se realizaron una serie de decisiones con el objetivo de facilitar su uso e instalación. La longitud de la parte roscada se mantuvo por encima del margen de seguridad. Uno de los lados se diseñó más largo que el otro para que sobresaliese de tal forma que en ese lugar iría la palanca por la cual se giraría. Además, el diámetro de 11,4mm se reduce a 9,8mm esto es para que ese pequeño desnivel actué como tope a la hora de introducir los el eje del tornillo en los rodamientos. Esto se puede apreciar en la figura 16.



Figura 16. Tornillo sin fin

La última parte que presentó dificultades técnicas fue el respaldo del asiento. Originalmente se realizó con un grosor de $t=14\text{mm}$. Una vez añadidos los pesos de las distintas piezas el peso final obtenido para todo el mecanismo en su conjunto fue de $9,8\text{kg}$. Si bien este peso cumplía con el objetivo preestablecido, peso de la carcasa menor a 10kg , estaba demasiado cerca como para considerarlo un éxito total. Esto unido a que el análisis de elementos finitos para $t=14\text{mm}$ de grosor tenía un gran margen de fallo provocó una reducción del grosor a $t=11\text{mm}$. Este es el que se puede observar en los planos ya que no solo redujo el peso a los $8,38\text{kg}$ finales sino que tampoco presentaba fallos de desplazamiento.

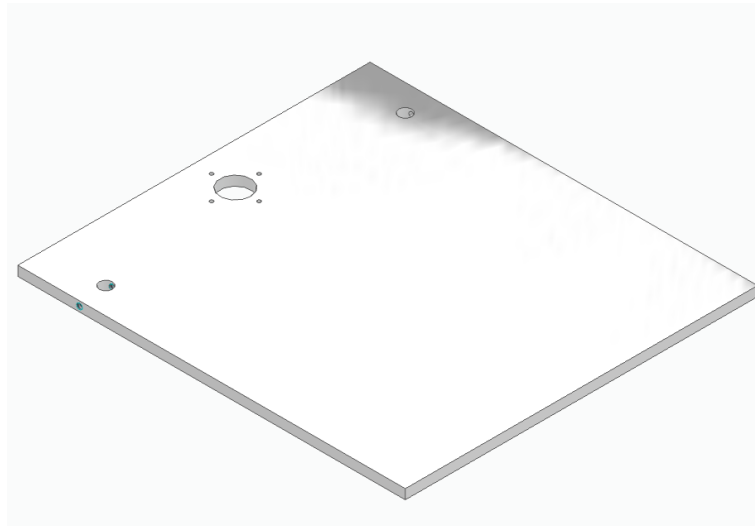


Figura 17. Asiento

A continuación se presentarán el resto de partes que no sufrieron cambios respecto a las ideas originales de diseño establecidas en el apartado anterior. Estas son: el respaldo (figura 18), los soportes (figura 19), el husillo (figura 20) y la cabeza (figura 21).

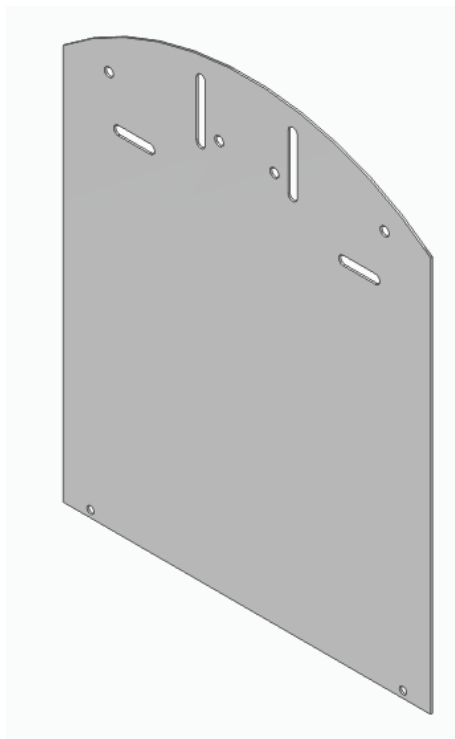


Figura 18. Respaldo



Figura 19. Soporte



Figura 20. Husillo

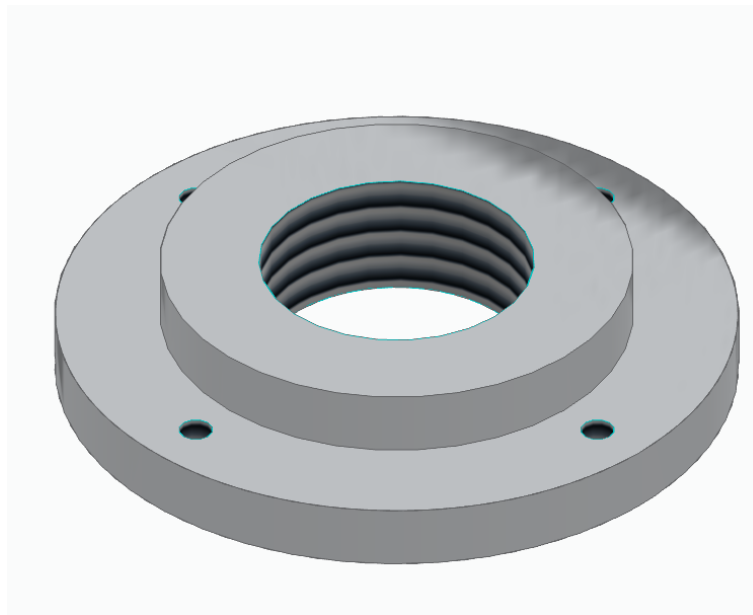


Figura 21. Cabeza

Una vez obtenidos los modelos 3D de cada una de las piezas se procedió a realizar un simple análisis de elementos finitos. El objetivo de este análisis era comprobar que ninguna de las piezas estaba sometida a esfuerzos superiores a los que pudiera

soportar durante el uso. Para ello se realizaron dos casos. El primero denominado, caso realista, coloca el peso máximo para el que esta diseñada, es decir 75kg, en una posición cercana al respaldo simulando dónde se sentaría Daniela normalmente. El segundo caso denominado, caso desfavorable, asume que por algún motivo todo el peso de Daniela está en el borde más lejano del respaldo. La idea es que aunque la silla no va a ser usada de esta manera, si la estructura es capaz de soportar este caso será capaz de aguantar el resto aunque sean ligeramente más desfavorables que el ideal. El caso más desvaforable se puede observar en la figura 22 se puede apreciar que el mayor desplazamiento en el borde más alejado del respaldo es de aproximadamente 0,1mm, lo suficientemente bajo como para considerarlo aceptable. Como es de esperar si se estudia el caso más desfavorable, el caso realista nos da un desplazamiento aun menor de unos 0,06mm de desplazamiento, virtualmente inapreciable. Por tanto se puede considerar que el diseño es un éxito.

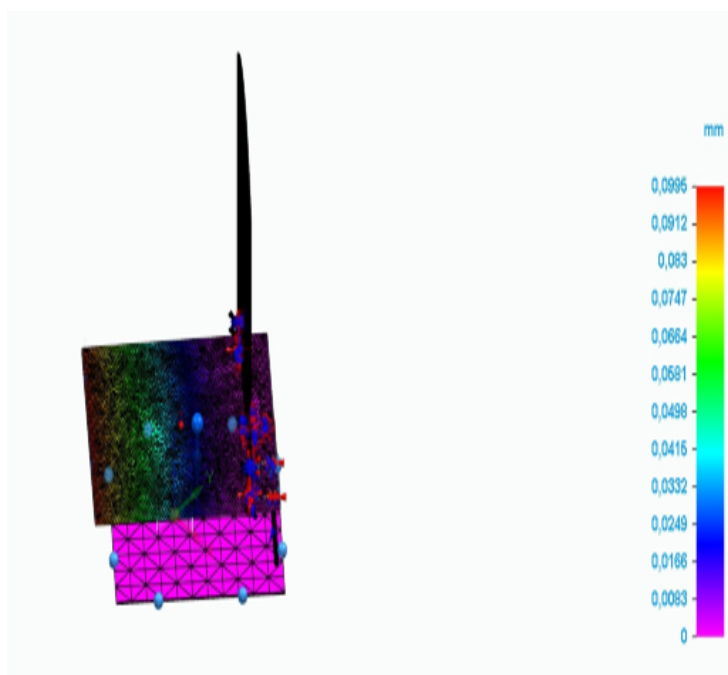


Figura 22. Desplazamiento caso más desfavorable

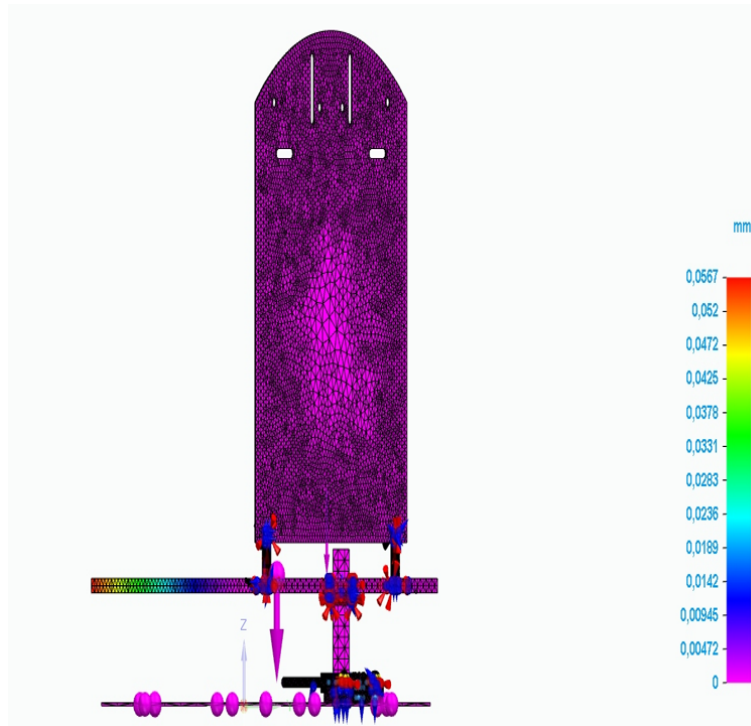


Figura 23. Desplazamiento caso realista

Tras el análisis de elementos finitos se obtuvo la que es la lista final de partes añadiendo ya sí los pesos, dicha lista se puede apreciar en el cuadro 12

Cuadro 12. Lista de piezas con pesos

| Pieza | | Material | Pesos en <i>kg</i> |
|------------------------------------|----|-----------|--------------------|
| Tornillo sin fin | 1 | Acero | 0,181 |
| Husillo | 1 | Acero | 0,831 |
| Corona | 1 | Bronce | 0,445 |
| Cabeza | 1 | Acero | 0,183 |
| 07170-04x25 (tornillo hexagonal) | 4 | Acero | 0,012 |
| 07210-04 (tuerca hexagonal) | 4 | Acero | 0,004 |
| din625_-61900 (rodamiento) | 2 | Acero | 0,028 |
| Placa Asiento | 1 | Aluminio | 5,204 |
| Placa Respaldo | 1 | Aluminio | 1,022 |
| ebcbs8-50 (tornillo mariposa 50mm) | 2 | Acero | 0,06 |
| ebcbs8-15 (tornillo mariposa 15mm) | 2 | Acero | 0,032 |
| tornillo_iso_7380-m3x8-12_9 | 11 | Acero | 0,011 |
| Panel Union | 5 | Acero | 0,005 |
| Caja inferior | 1 | Aluminio | 0,058 |
| Caja superior | 1 | Aluminio | 0,152 |
| Soporte | 2 | Acero | 0,152 |
| | | Carcasa | 6,318 |
| | | Mecanismo | 2,062 |
| | | Total | 8,380 |

5.4. MODULARIDAD

Como se ha mencionado a lo largo de este texto uno de los objetivos principales de diseño era el de crear un producto fácilmente reparable y desmontable. Este principio ha guiado algunas de las decisiones que han sido tomadas como por ejemplo el uso de tornillos mariposa, que son de ajuste manual para un rápido montaje y desmontaje de las placas de aluminio. En esta sección vamos a realizar un análisis de la modularidad del producto siguiendo los principios del texto *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08].

Para comenzar se ha de entender que es la modularidad. La modularidad es dividir un producto en distintos grupos o módulos que cumplen diferentes funciones pero siempre trabajando juntos contribuyendo al todo del producto. Las ventajas de una alta modularidad es que permiten un montaje y desmontaje efectivo además de alargar la vida útil facilitando la reparación pues se vuelve posible cambiar piezas individuales en lugar de todo el mecanismo. Cuando se habla de modularidad se distingue entre dos tipos.

1. Intramodularidad: es el índice de modularidad entre piezas de un mismo grupo.
2. Intermodularidad: es el índice de modularidad entre grupos. En casos simples como este mecanismo se reduce al índice de modularidad entre las piezas que unen un grupo con otro.

Otro concepto clave es la intensidad de conexión que no es más que una nota sin unidad. Cuanto más alto es el número mayor será la intensidad de conexión y por tanto menos modular será la misma. Está dividido en:

1. Contacto: dependiente del área de contacto entre piezas.(Cuadro 16)
2. Combinación: depende de cómo se posicionen las piezas.(Cuadro 17)
3. Herramienta: depende de la herramienta utilizada.(Cuadro 18)
4. Acceso: depende del número de ángulos por los que se puede acceder a la pieza. (Cuadro 19)

Partiendo de esta base se procedió a dividir el sistema en partes. El diagrama simplificado de esta división se puede apreciar en la figura 24. Para simplificar el cálculo se han considerado algunas partes como la caja una única pieza. Finalmente el sistema queda dividido en los siguientes módulos:

1. Módulo engranaje: es el mecanismo aquel del que parten los movimientos y contiene la conexión tornillo sin fin y corona.
2. Módulo lineal: el que realiza la subida y bajada de la carcasa.
3. Módulo asiento: donde se sentará Daniela.

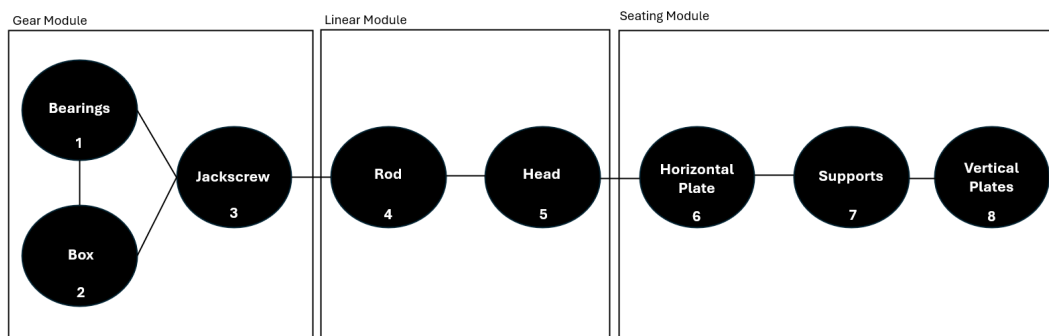


Figura 24. Module definition

Así pues aplicando las tablas de conexión nos queda lo visible en el cuadro 13. Posteriormente se dividen las conexiones por módulo como se puede apreciar en el cuadro 14.

Cuadro 13. Puntuación de las conexiones

| Liaison | Contact | Combination | Tool | Angles | Intensity |
|---------|---------|-----------------|---------|----------|-----------|
| 1-2 | FC | Not Disassemble | Special | 1 angle | 81 |
| 1-3 | FC | Turn In | Special | 1 angle | 73 |
| 2-3 | MFC | Not Disassemble | Small | 1 angle | 86 |
| 3-4 | FC | Not Disassemble | Hand | 1 angle | 60 |
| 4-5 | MPC | Insert | Small | 4 angles | 59 |
| 5-6 | MPC | Turn In | Small | 4 angle | 63 |
| 6-7 | FC | Insert | Hand | 1 angle | 48 |
| 7-8 | FC | Insert | Hand | 1 angle | 48 |

Cuadro 14. Percentage of total Liaison Intensity by module

| Module | Intra | Inter |
|---------|--------|--------|
| Gear | 46.3 % | 11.6 % |
| Linear | 11.4 % | 23.7 % |
| Seating | 18.5 % | 12.2 % |

Partiendo del cuadro 14 se puede obtener la siguiente información. En primer lugar el bajo valor del puntaje de la inter conexión entre el módulo engranaje y asiento nos da a entender que son fácilmente accesibles e independientes. Es interesante ver como el módulo lineal tiene una mayor interconexión debido a estar conectado a más de un módulo siendo una especie de módulo "puente". En cuanto a la intra conexión, como es de esperar el módulo engranaje tiene la mayor puntuación debido a su complejidad y a las partes en movimiento (corona y tornillo sin fin). Como se mencionó al principio la baja puntuación del módulo asiento es una decisión concienzada de diseño para permitir el fácil acceso y adaptación conforme Daniela crezca. En resumen, el diseño no solo consigue alta modularidad donde pretendía sino que ha resultado en un producto altamente modular lo que podría alargar considerablemente su vida ya que facilita el mantenimiento y reparación.

El artículo seguido para realizar el análisis de la modularidad propone la ecuación 36 como comprobación de que el número de modulos definido es el adecuado. Cabe destacar que hay que redondear al número entero más cercano. Como se puede apreciar para este caso serían 3 lo cual indica como el estudio realizado anteriormente es correcto.

$$Modulos = \sqrt{(Componentes)} \quad (36)$$

$$Modulos = 3 \quad (37)$$

5.5. SOSTENIBILIDAD

5.5.1. ECO-INDICADORES

En esta sección se realizará un análisis sobre el impacto medioambiental ocasionado por el ciclo de vida de este producto. Cada fase del ciclo de vida será analizada individualmente partiendo de la base del *Eco-indicator 99 Manual for designers* [Pre-00]. La puntuación final obtenida será un número, sin unidad, que representará el impacto sobre el medio ambiente de este producto. Este número representa 1/1000 de la polución anual generada por un ciudadano promedio en Europa. Como referencia podemos tomar la puntuación de las ruedas de un coche según *Life cycle assessment of the car tire with Eco Indicator 99 methodology* [Cvet19] que es de 2500. Las fases se pueden ver resumidas en la figura 25.

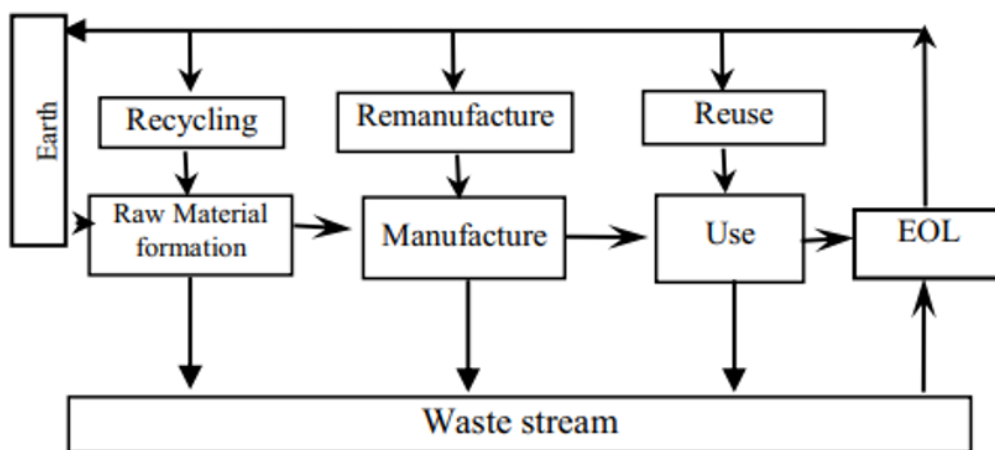


Figura 25. Ciclo de vida de un producto según *The Design For Environmental Compliance Workbench Tool* [Roch05]

El número de materiales utilizados se puede apreciar en el cuadro 12, que tan solo 3 materiales distintos se utilizan para todo el producto. Usar cuantos menos materiales posibles es importante a la hora de reducir el impacto medioambiental por eso tener solo tres ayuda a la puntuación final. Los procesos de fabricación son la fase más extensa a analizar. Por tanto la dividiremos en procesamiento de materiales y transporte. En cuanto al procesamiento de materiales se observarán producción de placas, usadas en la carcasa, y maquinado de piezas. En cuanto al transporte se ha considerado que se moverá exclusivamente dentro de España y no más de 500km. Durante la fase de uso del producto no se realizará análisis pues no contamina. En cuanto al fin de vida, se presentan múltiples casos. Si el producto se re-usa no habrá ningún tipo de eco-indicador. Además, se podría dar el caso en el que se re-fabrica una parte para alargar la vida por tanto solo la contaminación de esa parte se añadiría lo cual es imposible de predecir. Por tanto se analizará solo la parte de reciclado que también incluye un porcentaje no re-utilizable. La puntuación final se puede observar en el cuadro 15.

Cuadro 15. Eco-indicator analysis

| Material | Unidad | Eco-Indicator | Puntuación |
|--------------------------|---------------------|---------------|------------|
| Bronce | 0,445kg | 1400 | 623 |
| Acero | 1,499kg | 86 | 128,9 |
| Aluminio reciclado | 3,218kg | 60 | 193,1 |
| Aluminio puro | 3,218kgkg | 780 | 2510 |
| Total fase | | | 3455 |
| Fabricación | Unidad | Eco-Indicator | Puntuación |
| Maquinación | 0,17dm ³ | 800 | 135,4 |
| Fabricación placas | 6,226kg | 30 | 186,8 |
| Transporte | 0,5tkm | 34 | 17 |
| Total fase | | | 339,2 |
| Final de vida | Unida | Eco-Indicator | Puntuación |
| Bronce vertedero [0.5] | 0,2225kg | 1,4 | 0,31 |
| Bronze reciclaje[0.5] | 0,2225kg | -1200 | -267 |
| Acero vertedero [0.1] | 0,150kg | 1,4 | 0,21 |
| Acero reciclaje [0.9] | 1,349kg | -70 | -94,44 |
| Aluminio vertedro [0.3] | 1,931kg | 1,4 | 2,70 |
| Aluminio reciclaje [0.7] | 4,505kg | -720 | -3244 |
| Phase Total | | | -3602 |
| Total | | | 192,3 |

En resumen, la puntuación obtenida es razonable y bastante buena especialmente si se considera que el producto podría ser usado por más familias después de Daniela dividiendo la contaminación en más tiempo.

5.5.2. AGENDA 2030

Tras este análisis también es revelador observar los distintos objetivos de la agenda 2030 que casan con este proyecto:

- Salud y Bienestar: una función adicional de elevación en una silla ocasiona un efecto positivo sobre la salud mental del usuario, cuando antes estaba siempre por debajo de la línea visual de sus compañeros ahora puede ponerse a la misma altura.
- Educación de Calidad: la función de elevación ayuda a la integración dentro del aula.
- Reducción de la Desigualdad: en la misma línea que las explicaciones anteriores este tipo de funciones ayudan a reducir las desigualdades entre personas no neurotípicas y su entorno.

- Producción y Consumo Responsable: como se ha observado hay cierto foco en un proceso de producción lo menos contaminante posible además de incluir una alta modularidad y otras decisiones de diseño que desembocan en una alta vida, llegando incluso a poder permitir que este mecanismo sea reutilizado por otras familias una vez deje de ser útil para Daniela.

5.6. INSTALACIÓN Y MANTENIMIENTO

En esta sección se puede obtener el orden montaje y recomendaciones para el mantenimiento.

Pasos del montaje:

1. Se suelda la caja inferior(Plano:11 Pieza:1) a la parte de abajo del asiento de la silla (mostrada como una placa única).

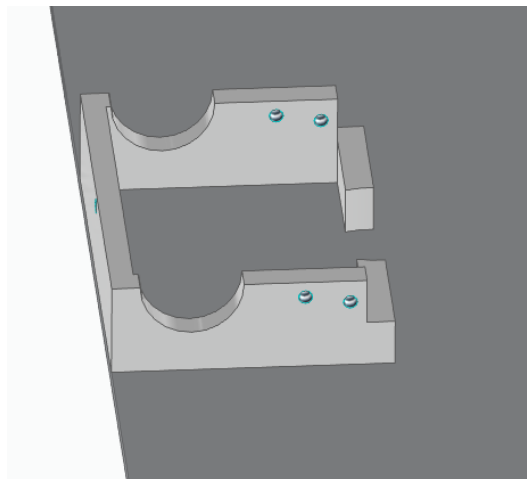


Figura 26. Paso 1

2. Se insertan los 2 rodamientos (Plano: 11 Pieza: 4) en el tornillo sin fin (Plano: 11 Pieza: 2). Sabrá donde parar por que hay un pequeño cambio de elevación en el tornillo que no permite avanzar más.

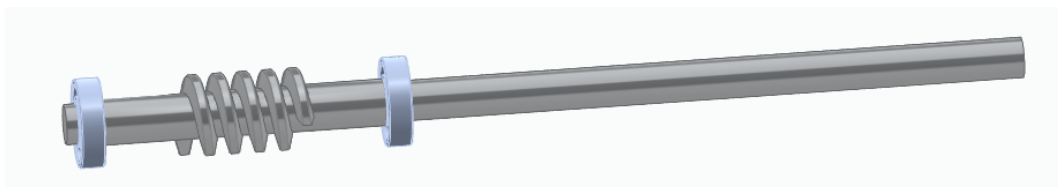


Figura 27. Paso 2

3. La mezcla tornillo sin fin + rodamientos (Paso: 2) se coloca sobre los semicírculos de la caja inferior(Plano: 11 Pieza: 1).

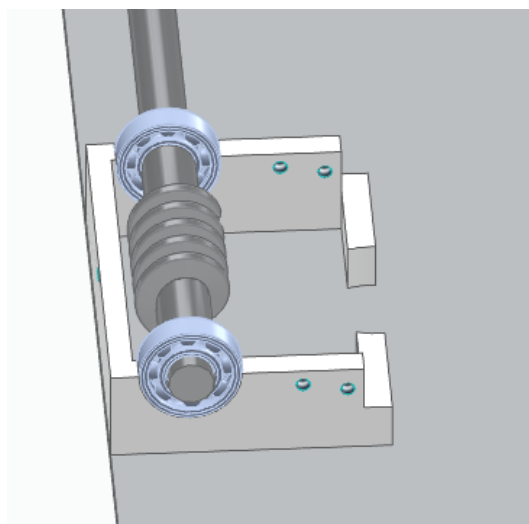


Figura 28. Paso 3

4. A continuación, se coloca la corona (Plano:11 Pieza:3) en el husillo(Plano:12 Pieza:2). De tal forma que la corona este elevada a 10 cm desde la base del husillo, hay un borde en la caja inferior donde va apoyada la corona. Y se coloca en el centro de los arcos de la caja.

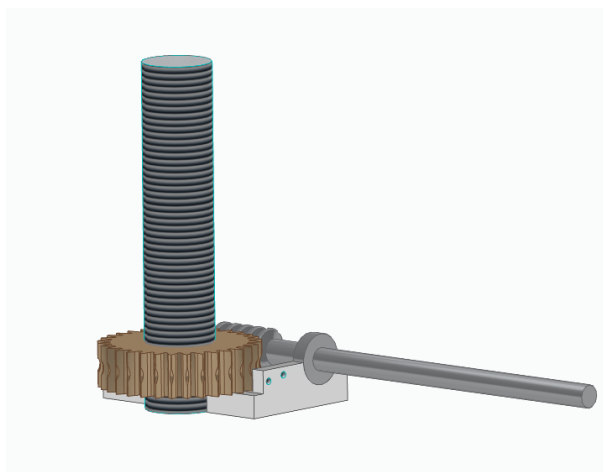


Figura 29. Paso 4

5. Añadir sellador de silicona en los bordes de la caja inferior (Plano:11 Pieza:1) y colocar la parte superior de la caja (Plano:11 Pieza:5).

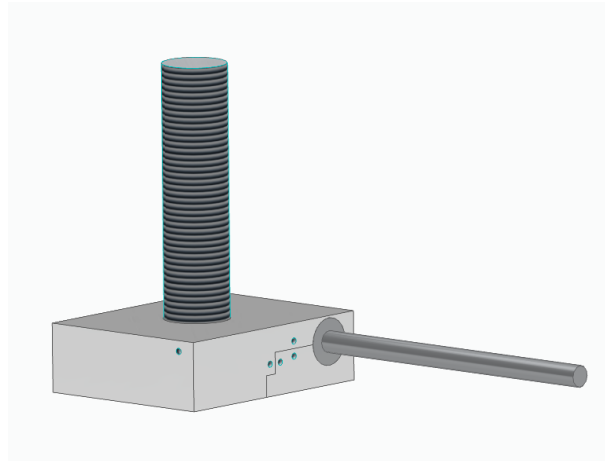


Figura 30. Paso 5

6. Colocar las placas de unión (Plano:11 Pieza:6) apretando los tornillos(Plano:11 Pieza:7). Se deja el tornillo delantero sin apretar.

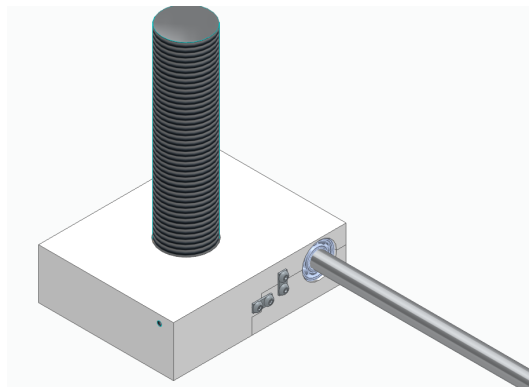


Figura 31. Paso 6

7. Ahora se introduce la cabeza(Plano:10 Pieza:6) en el husillo.

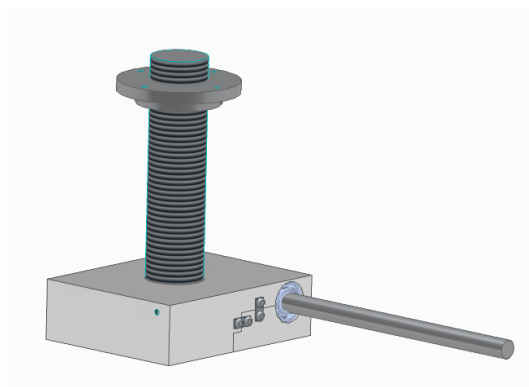


Figura 32. Paso 7

8. Encima de la cabeza se coloca el asiento horizontal(Plano:10 Pieza:1), será la placa de aluminio de mayor grosor. Y se atornillan los tornillos de cabeza hexagonal(Plano:10 Pieza:7) de tal forma que la cabeza esté en la zona de la placa de aluminio.

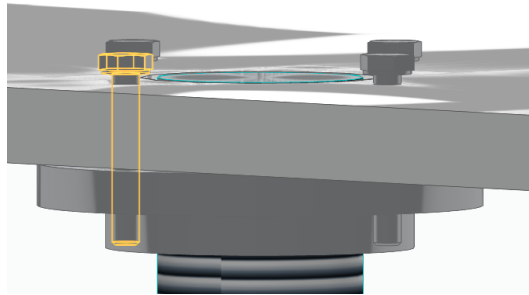


Figura 33. Paso 8 - cerca

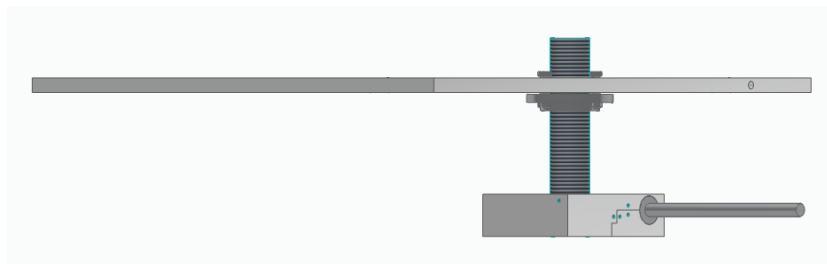


Figura 34. Paso 8 - visión completa

9. Si los tornillos hexagonales sobresaliesen apretar las tuercas(Plano:10 Pieza:8) en la parte inferior para protegerlos y evitar bordes.



Figura 35. Paso 9

10. Colocar un soporte(Plano:10 Pieza:2) y apretarlo manualmente con el tornillo de cabeza de mariposa largo(Plano:10 Pieza:4). Y repetir en el otro lado.

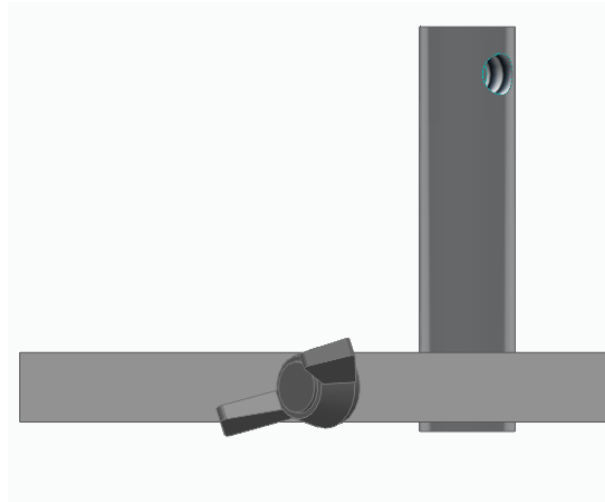


Figura 36. Paso 10 - cerca

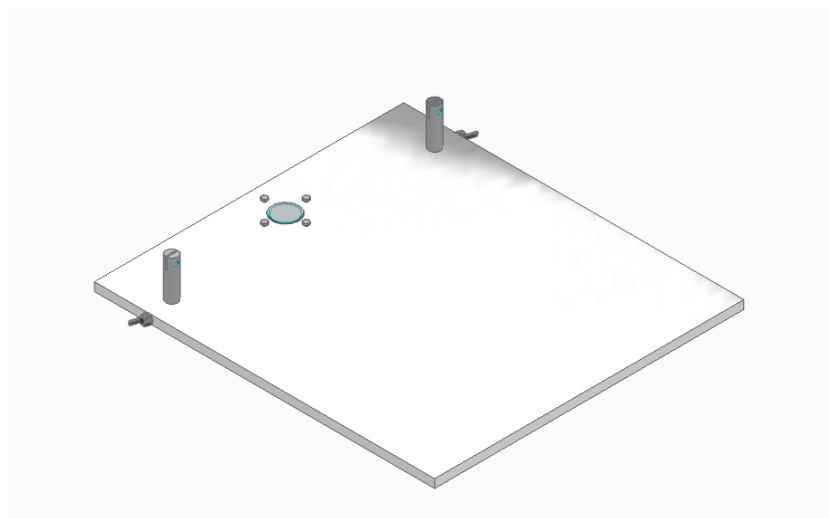


Figura 37. Paso 10 - visión completa

11. Colocar el respaldo(Plano:10 Pieza:3), placa de aluminio más fina y apretar con los tornillos de mariposa cortos(Plano:10 Pieza:5) de manera manual.

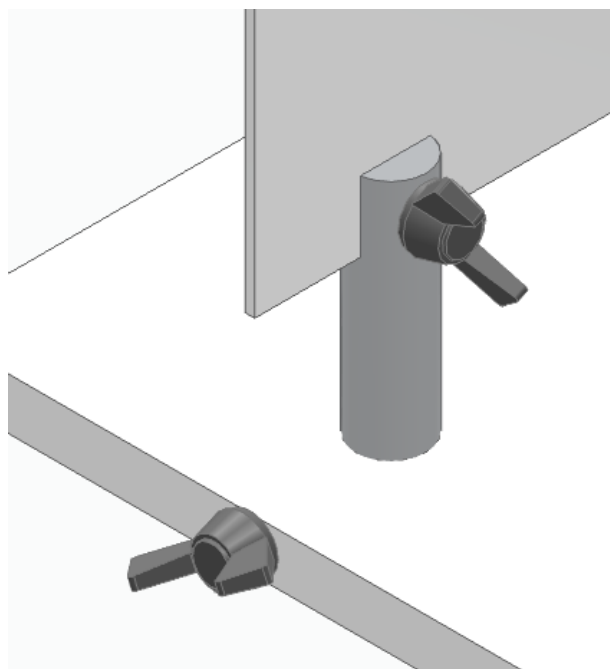


Figura 38. Paso 11 - cerca

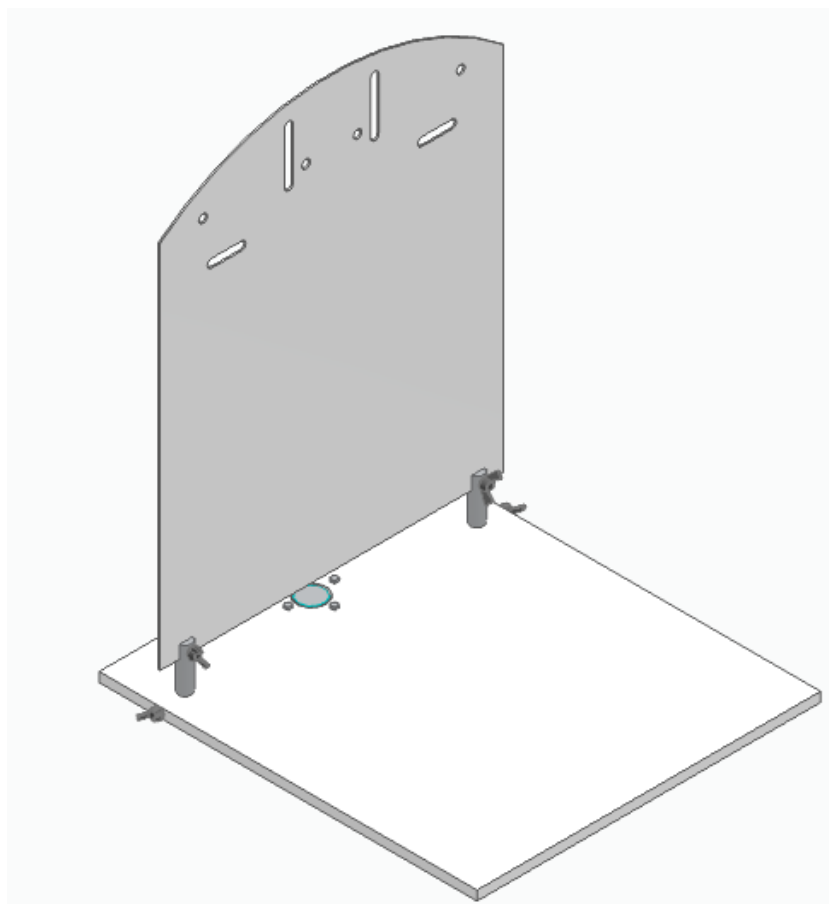


Figura 39. Paso 11 - visión completa

12. Añadir aproximadamente 80 centímetros cúbicos de lubricante y colocar el tornillo restante(Plano:11 Pieza:7) en la parte posterior del montaje del mecanismo.

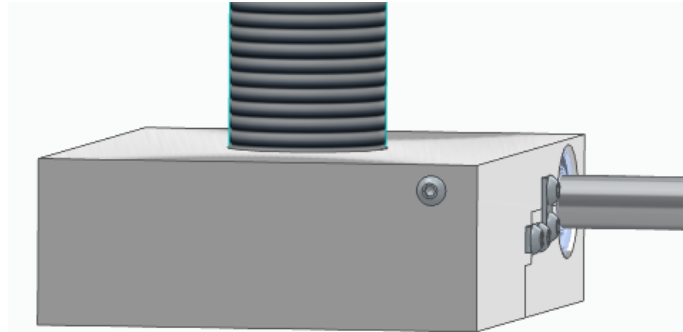


Figura 40. Paso 13

Cada 6 meses si el usuario nota que hay una resistencia excesiva a la hora de girar el tornillo sin fin deberá cambiar el lubricante. Las siguientes recomendaciones se han realizado según los cuadros del anexo 9.2. En nuestro caso el mecanismo es vertical y la temperatura ambiente estará entre 10 a 55°C. Luego, la viscosidad deseada es de 680. Mientras la viscosidad sea de ese valor o superior no nos importa mucho la marca o la efectividad pues el eje no va a estar en constante movimiento. Algunas opciones disponibles al público general son: Omicron 690 ISO VG 680 Super EP o Mobil SHC Gear 680. Si estos no estuvieran disponibles coger cualquiera que vaya acompañado de un número ISO entre 670-700. También es recomendable añadir una fina capa de agua 1mm o menos para que todo el polvo u otros sólidos que puedan introducirse no se mezclen con el aceite y vayan al fondo.

Si en algún caso se comprobase una fuga de aceite de lubricaciónabría que sellar la zona con silicona de nuevo. En casos de rotura extrema donde sellar no fuera posible habría que cambiar la pieza.

6. ANALISIS DE RESULTADOS

En esta sección se revisarán los objetivos establecidos y si han sido o no alcanzados de manera satisfactoria. A modo de resumen se volverán a comentar brevemente los objetivos definidos:

1. Diseño de una solución que no afecte a las funciones ya existentes en la silla como la basculación.
2. El peso de la carcasa ha de ser menor de 10kg.
3. La solución tiene que tener un alto nivel de modularidad, es decir distintas partes bien distinguidas entre sí, ya que esto conlleva fácil arreglo e implica un fácil acceso a la parte trasera del respaldo pues es de fácil quita y pon.

El primer objetivo es que la solución añadida no afecte a ninguna de las funciones de la silla. Durante la fase de creación y selección de ideas se le dio una gran importancia, pues con una idea inteligente se podía conseguir. Es así como de todas las ideas se seleccionó aquella que cumplía las directrices de la familia de Daniela a la vez que no afectaba a ninguno de los mecanismo ya existentes. La selección final es la que ha sido objeto de estudio en este proyecto, el mecanismo de elevación por tornillo sin fin con carcasa. Por consiguiente, el primer objetivo se cumplió satisfactoriamente desde la concepción del mecanismo final.

Para el correcto cumplimiento del segundo objetivo sí se requirió de una alta labor técnica. Tanto es así que como se ha visto a lo largo del apartado de Desarrollo el punto de partida distintas piezas fue la minimización del peso. Además, una vez se tuvo el modelo final se realizó una segunda labor de optimización a raíz de los resultados del análisis de elementos finitos. La suma de todo este trabajo resultó en un peso final del mecanismo entero de 8,4kg que cumple con margen el objetivo de 10kg o menos. Por tanto, el segundo objetivo fue cumplido satisfactoriamente durante la fase de diseño.

Por último, se tenía la modularidad. Esto era importante porque al estar Daniela en fase de crecimiento algunos mecanismos médicos se cambian con regularidad, y sobretodo por los elementos de seguridad como el cinturón que son de uso diario. Además, un efecto secundario a valorar de la modularidad es la facilidad de cambiar piezas individualmente, lo cual facilita el uso y arreglo alargando la vida útil de la silla. Durante el diseño se tomaron varias decisiones para incrementar esta modularidad: uso de tornillos manuales, soportes separables, etc. El problema surge a la hora de medir este grado de modularidad, para ello se utilizó el sistema propuesto en el artículo *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08]. Esto mostró qué partes o módulos tenían un mayor índice de modularidad dentro del mecanismo. El par sin fin - corona es lo que tiene una menor modularidad como cabe esperar. Sin embargo, el resto de parte tienen un rango de modularidad aceptable especialmente el módulo carcasa donde la modularidad es de extrema importancia debido a las razones anteriormente mencionadas.

En conclusión, durante la definición del proyecto el equipo se plantea una serie de objetivos que marcarían la etapa de diseño y desarrollo. Durante las distintas

etapas del proceso estos objetivos guiaron la toma de decisiones en todo momento. Tras la finalización y revisión de los datos obtenidos se puede afirmar que todos los objetivos han sido cumplidos satisfactoriamente.

7. CONCLUSIÓN Y TRABAJOS FUTUROS

Para finalizar el trabajo se va a realizar una breve conclusión y se van a comentar posibles vías de mejora para el producto además de comentar las que no se deben de seguir por haber quedado descartadas. En primer lugar, decir que en base al análisis de resultados realizado en la sección anterior el mecanismo cumple todos los objetivos que se proponen durante la fase de definición del proyecto, por esto se puede considerar un éxito.

Como en todo producto existen distintos posibles mecanismos que se podrían añadir para continuar mejorando la silla y la calidad de vida de Daniela y otras que por algún motivo quedaron descartadas en alguna fase del proceso. Estas se comentarán aquí para que futuros trabajos sobre la silla se alejen de las descartadas y construyan sobre las positivas. Ideas descartadas:

- Rueda: una manera que se planteó de mejorar la comodidad de Daniela es incrementar el tamaño de las ruedas o su eje. Esta idea aunque fuera funcional sobre el papel era imposible de llevar a cabo en la realidad pues requería de un cambio completo del chasis inferior de la silla. Esto afecta a casi todas las ideas de mejora de las ruedas, haciéndolo muy complicado para la cantidad de mejora obtenida.
- Pistones: durante una parte se planteó una elevación por pistones, el movimiento sería similar al de una silla de oficina. Este método, es el que usan J58, empresa de Gabriel Costa, para sus sillas que permiten a adultos erguirse. Sin embargo, existían dos problemas. En primer lugar, no había el suficiente espacio debajo de la silla para incluir los pistones sin afectar a la basculación, choque directo con el objetivo primero. En segundo lugar, requieren de un ajuste preciso al peso lo cuál supone un problema para su uso en niños aún en fase de desarrollo. Esta función sería más viable en casos para adultos con un mayor espacio en la parte inferior de la silla.
- Elevación por bolsa de aire: fue descartada debido a que requería que los colchones se llenaran por completo a presión y por tanto que Daniela no estuviera sentada mientras esto ocurre. Además, para variar la altura habría que poner y quitar colchones lo cuál da un rango fijo al contrario de otros mecanismos.
- Amortiguadores: la silla ya consta de amortiguadores traseros y añadir delanteros requiere un cambio completo del chasis inferior para algo que no supone una gran mejora con respecto a los amortiguadores traseros ya existentes.

Posibles mejoras no exploradas en este trabajo:

- Eficienciar el peso: a pesar de ser 8,4kg el uso de mecanismo más potentes de elementos finitos con más tiempo podrían llevar a un peso menor.

- Ruedas: existen un tipo de ruedas conocidas como loopwheels que utilizan un reductor en la llanta para reducir vibraciones. Sin embargo, no existen en tamaño adecuado para sillas de ruedas de niños.
- Barra extensible: una barra extensible en la parte inferior de la silla sobre la que poder hacer palanca con el pie podría ayudar a la familia de Daniela a levantar el peso con más facilidad en casos como escalones y pequeños obstáculos.

8. BIBLIOGRAFÍA

Referencias

- [Cvet19] A. M. Cvetanovic et al. “Life cycle assessment of the car tire with Eco Indicator 99 methodology”. En: *Journal of Cleaner Production* 239 (2019), pág. 118086. DOI: 10.24874/mvm.2019.45.03.02.
- [Lond12] Juan F. A. Londoño, Carlos A. R. Piedrahita y Camilo A. M. Montaña. “Ingeniería inversa de un reductor de tornillo sinfín - corona”. En: *Scientia et Technica* XVII.52 (2012), págs. 204-210. URL: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84925149023>.
- [Mott18] Robert L. Mott, Edward M. Vavrek y Jyhwen Wang. *Machine Elements in Mechanical Design*. Pearson, 2018.
- [nore24] norelem. *norelem - Archivos CAD gratuitos - 07210 Hexagon nuts DIN 934/DIN EN ISO 4032/DIN EN 240 - TraceParts*. Retrieved from the URL on May 11, 2024. 2024. URL: <https://www.traceparts.com/es/product/norelem-hexagon-nut-m04-steel-8-din934-sw7?Product=30-06122017-099348&PartNumber=07210-04>.
- [Nori24] Noria LatinAmerican. *La Forma Correcta de Lubricar Engranajes Sinfín*. Retrieved June 19, 2024. 2024. URL: <https://noria.mx/lube-learn/lubricacion-maquinaria-lube-learn/certificacion-mlti/la-forma-correcta-de-lubricar-engranajes-sinfin/>.
- [Orto24] Ortopedia Mimas. *Silla de Paseo Stingray*. Retrieved July 1, 2024. 2024. URL: https://www.ortopediamimas.com/ortopedia-infantil/sillas-de-paseo/3043-silla-de-paseo-stingray.html#.
- [Pre-00] Pre-Sustainability. *Eco-indicator 99 Manual for Designers: A Damage Oriented Method for Life Cycle Impact Assessment*. Retrieved from <https://www.pre-sustainability.com>. 2000.
- [Roch05] T. Roche. “The Design for Environmental Compliance Workbench Tool”. En: *Product Engineering Eco-design, Technologies, and Green Energy*. Springer, 2005, págs. 389-401.
- [Shen24] Shenzhen Shiruida Automation Equipment Co.,Ltd. *Shenzhen Shiruida Automation Equipment Co.,Ltd. - Archivos CAD gratuitos - Butterfly Bolt EBCOB/EBCBS - TraceParts*. Retrieved May 11, 2024. 2024. URL: <https://www.traceparts.com/es/product/shenzhen-shiruida-automation-equipment-coltd-butterfly-bolt-ebcbs812?Product=50-17042020-085675&PartNumber=EBCBS8-12>.
- [Swed08] Swedish Standards Institute. *Eurokod 3: Dimensionering av stålkonstruktioner Del 1-8: Dimensionering av knutpunkter och förband*. Fastställd/Approved: 2005-06-03. Publicerad/Published: 2008-08-26. Utgåva/Edition: 1. Språk/Language: engelska/English. ICS: 91.010.30; 91.070.03; 91.070.50; 91.070.60; 91.080.10. SS-EN 1993-1-8:2005. 2008.
- [Trac24a] TraceParts. *DIN 625 Deep groove ball bearing - Basic type, Bore: d 10, Outer diameter: D 22, Width: B 6, Radial bearing clearance: CN*. Retrieved June 6, 2024. 2024. URL: <https://www.traceparts.com/es/product/din-din625-deep-groove-ball-bearing-basic-type->

- bore-d-10-outer-diameter-d-22-width-b-6-radial-bearing-clearance-cn?CatalogPath=TRACEPARTS%3ATP01002001001002&Product=34-03062013-073678&PartNumber=DIN625%20-%2061900.
- [Trac24b] TraceParts. *norelem - Archivos CAD gratuitos - 07170 Hexagon head bolts DIN 931/DIN EN ISO 4014/DIN - TraceParts*. Retrieved from the URL on May 11, 2024. 2024. URL: <https://www.traceparts.com/es/product/norelem-07170-hexagon-head-bolts-din-931din-en-iso-4014din?CatalogPath=TRACEPARTS%3ATP01001013001006&Product=30-06122017-097993>.
- [Tsen08] H.-E. Tseng, C.-C. Chang y J.-D. Li. "Modular design to support green life-cycle engineering". En: *Expert Systems with Applications* 34.4 (2008), págs. 2524-2537. DOI: 10.1016/S0007-8506(07)60778-1.
- [Vull20] Vincenzo Vullo. *Gears*. Springer Nature, 2020.

9. ANEXOS

9.1. CUMPLIMIENTO ODS

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible son la manera de abordar los desafíos a los que se enfrentan todos los países. Estos objetivos abarcan áreas de todo tipo como lo pueden ser las sociales, las climáticas o las médicas. Desde el punto de vista de la ingeniería es más importante que nunca tener en mente la filosofía de ingeniería con propósito y aplicar toda la razón técnica para contribuir de manera significativa a la sociedad en relación a los ODS. Aunque son 17 los ODS reconocidos por la ONU los relevantes en este trabajo son los siguientes:

- Salud y Bienestar (ODS 3): La elevación en la silla no solo supone un aumento en la calidad de su movilidad física. Además, esta función adicional de elevación en una silla ocasiona un efecto positivo sobre la salud mental del usuario, cuando antes estaba siempre por debajo de la línea visual de sus compañeros ahora puede ponerse a la misma altura. Algunos efectos que pueden llegar a observarse son una mejora de autoestima y bienestar emocional.
- Educación de Calidad (ODS 4): la función de elevación ayuda a la integración dentro del aula. Esto provoca una mejoría en la calidad de aprendizaje pues permite una participación más activa además de facilitar la interacción con amigos y profesores.
- Reducción de la Desigualdad (ODS 10): en la misma línea que las explicaciones anteriores este tipo de funciones ayudan a reducir las desigualdades entre personas no neurotípicas y su entorno. Un claro ejemplo es la mejoría que supone sobre su vida diaria facilitando que Daniela experimente una mayor adaptación a su entorno.
- Producción y Consumo Responsable (ODS 12): como se ha observado hay cierto foco en un crear proceso de producción lo menos contaminante posible además de incluir una alta modularidad y otras decisiones de diseño que desembocan en una alta vida, llegando incluso a poder permitir que este mecanismo sea reutilizado por otras familias una vez deje de ser útil para Daniela. Por tanto, desde el punto de vista técnico se ha intentado crear un producto con una larga vida y alta reparabilidad lo que reduce el desperdicio alineándose con el consumo responsable.

9.2. TABLAS DE INTENSIDAD DE CONEXIÓN

Las siguientes tablas de intensidad de conexión son las utilizadas en el análisis de modularidad. Sacadas de *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08]

Cuadro 16. Intensity of contact type according to *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08]

| Attribute | Liaison intensity | Description |
|---------------------|-------------------|-------------------------------|
| Point contact | 6 | The contact part is a point |
| Line contact | 12 | The contact part is a line |
| Single face contact | 18 | The contact part is a face |
| Multi-point contact | 24 | Many points will be contacted |
| Multi-face contact | 30 | Many faces will be contacted |

Cuadro 17. Intensity of combination type according to *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08]

| Attribute | Liaison intensity | Description |
|-----------------|-------------------|--|
| Put on | 4 | Two components can be combined only by putting one on the other; precise operation is not necessary |
| Insert | 8 | Precise insertion is needed to combine two components |
| Turn in | 12 | Two components should be combined with tools and precise turning forces |
| Deep combine | 16 | Two components should be combined with tools and a forceful precise operation |
| Not disassemble | 20 | Two components should be combined with tools and once combined, they will be disassembled only by tearing them down. |

Cuadro 18. Intensity of tool type according to *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08]

| Attribute | Liaison intensity | Description |
|-------------------|-------------------|--|
| Hand | 7 | Two components can be combined by hand |
| Screwdriver | 14 | A screwdriver is needed to combine two components |
| Small tool type | 21 | A small tool is needed to combine two components |
| Special tool type | 28 | A special tool is needed to combine two components |
| Large tool type | 35 | A large tool is needed to combine two components |

Cuadro 19. Intensity of accessed direction type according to *Modular design to Support Green Life-Cycle Engineering* [Tsen08]

| Attribute | Liaison intensity | Description |
|-----------|-------------------|--|
| 5 angles | 3 | Two components can be combined from 5 angles |
| 4 angles | 6 | Two components can be combined from 4 angles |
| 3 angles | 9 | Two components can be combined from 3 angles |
| 2 angles | 12 | Two components can be combined from 2 angles |
| 1 angle | 15 | Two components can be combined from 1 angle |

9.3. LUBRICACIÓN

Partiendo de la base de *La Forma Correcta de Lubricar Engranajes Sinfín* [Nori24] se obtuvieron las siguientes tablas utilizadas para elegir el aceite correcto.

Cuadro 20. Viscosidad recomendada ISO

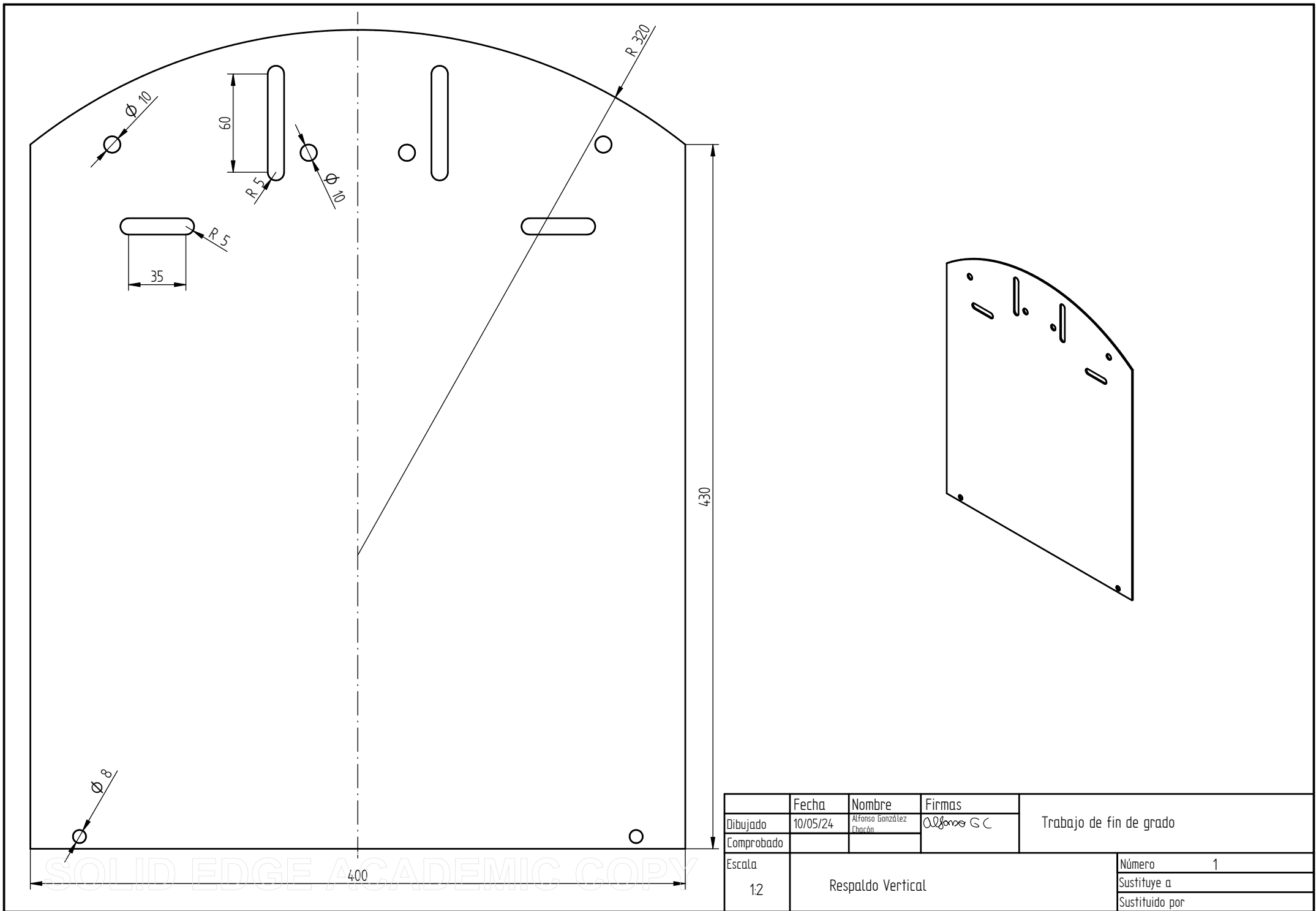
| Velocidad en línea de paso de la etapa final de reducción | Grados de viscosidad ISO | | |
|---|---------------------------|----------|---------|
| | Temperatura ambiente (°C) | | |
| | -40 a -10 | -10 a 10 | 10 a 55 |
| Menos de 2.25 m/s | 220 | 460 | 680 |
| Más de 2.25 m/2 | 220 | 460 | 460 |

Cuadro 21. Nivel recomendado de aceite

| Posición | Sinfín abajo (sinfín debajo de la corona) | Sinfín arriba (sinfín arriba de la corona) | Vertical (sinfín en un costado) |
|-----------------|--|---|---|
| Nivel de aceite | El sinfín se sumerge entre la mitad y una tercera parte de su diámetro | Entre centro del eje de la corona y cubriendo el diente más bajo de la corona | La mitad de la corona sumergida al menos hasta la altura del sinfín |

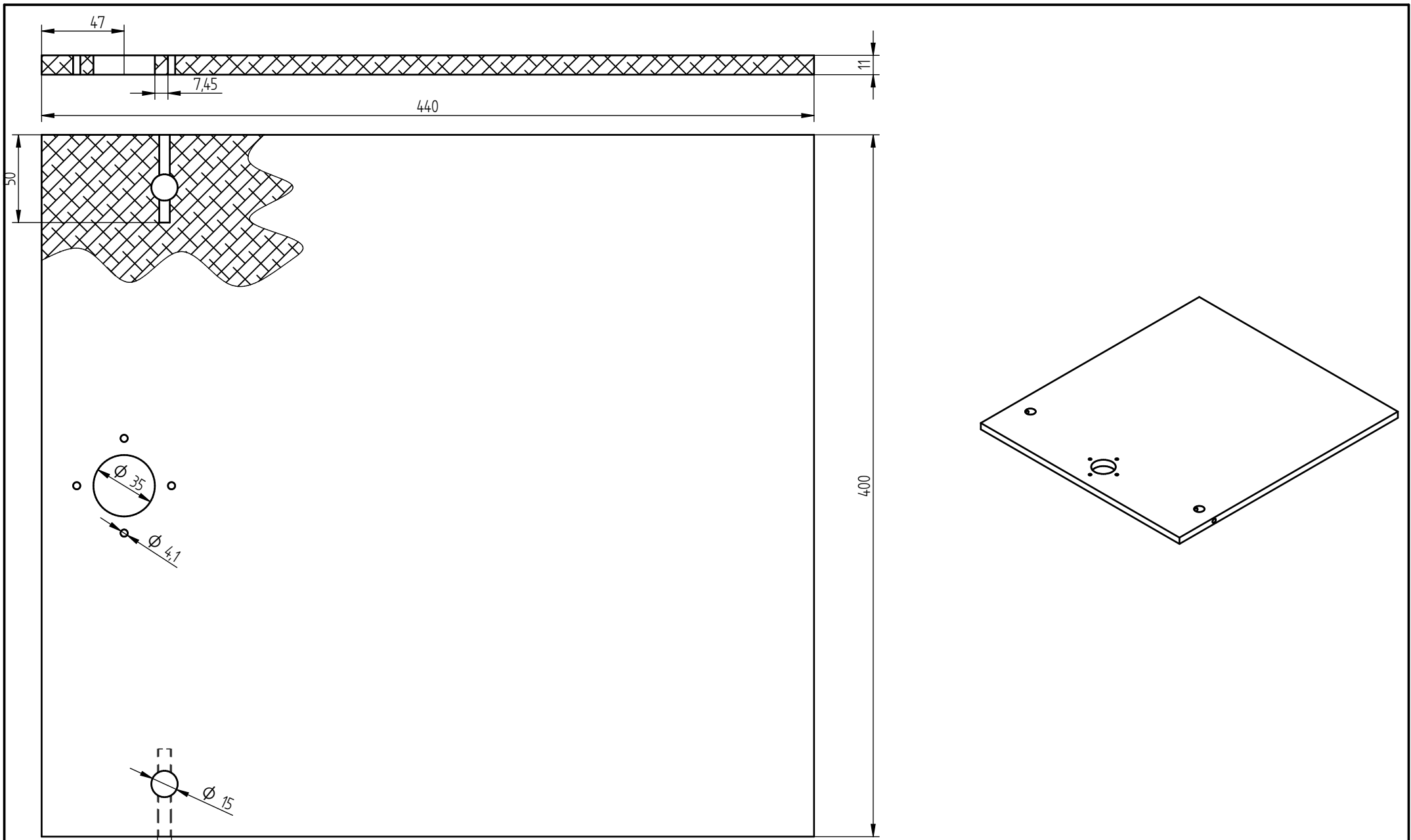
9.4. PLANOS

A continuación se pueden ver todos los planos de las partes.



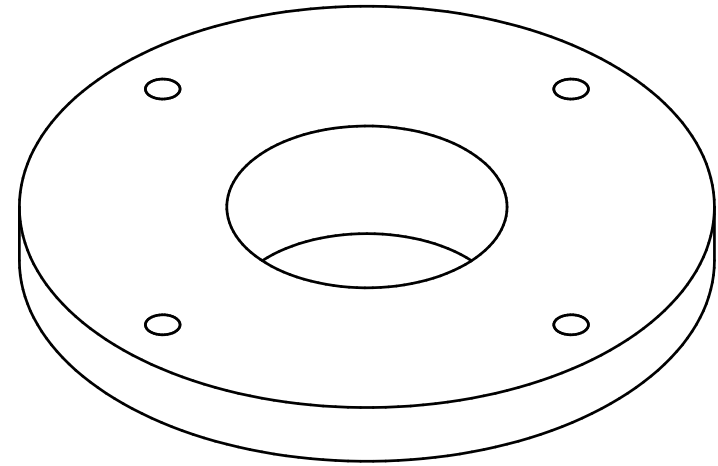
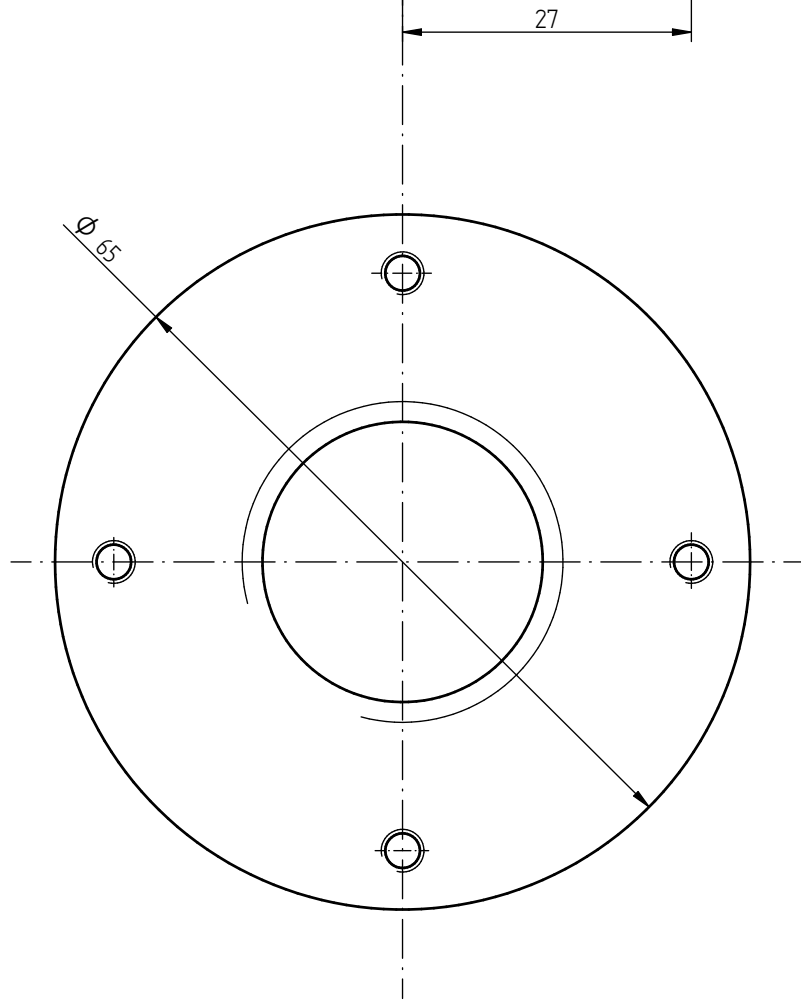
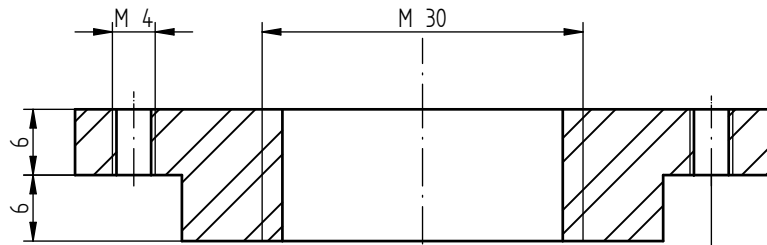
| | | | | |
|------------|-------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charín | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Respaldo Vertical | | | Número 1 |
| 1:2 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



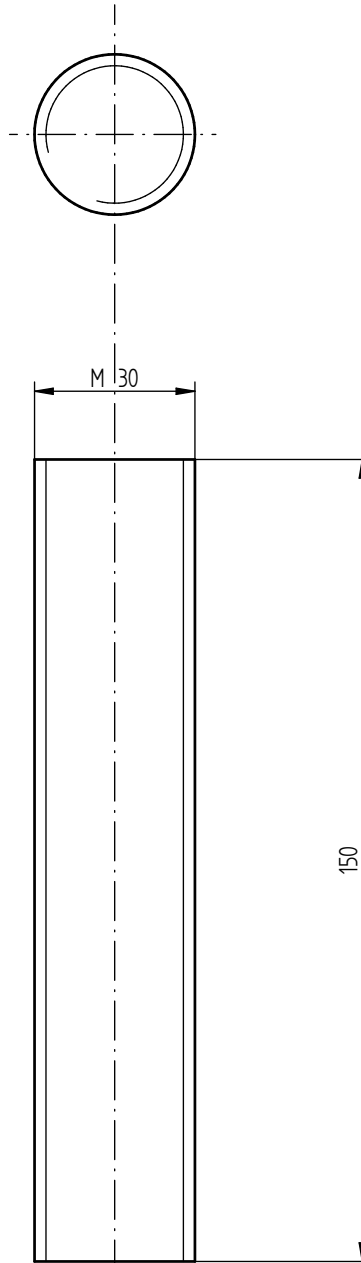
| | | | | |
|------------|--------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charán | Alfonso G.C. | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Asiento Horizontal | | | Número 2 |
| 1:2 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



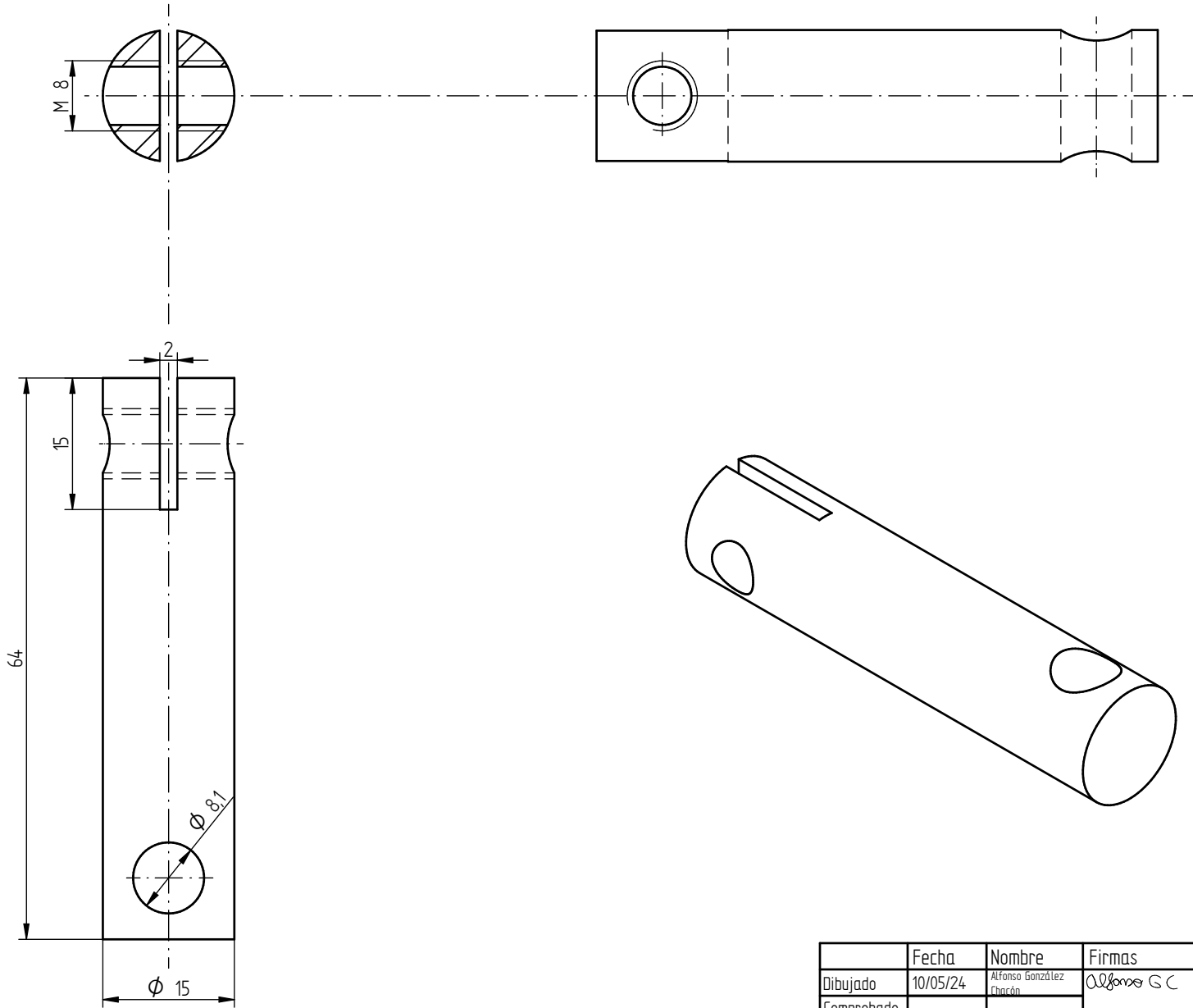
| | | | | |
|------------|----------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charín | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Cabeza | | | Número 3 |
| 2:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



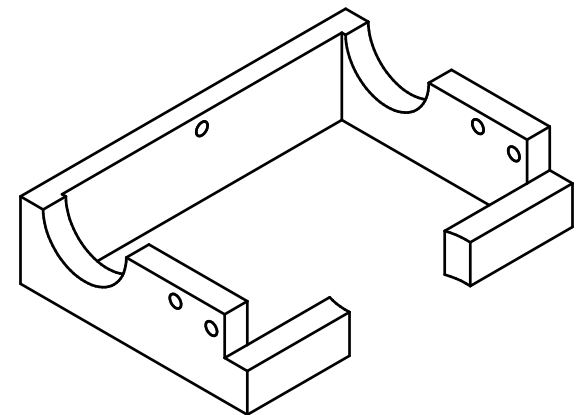
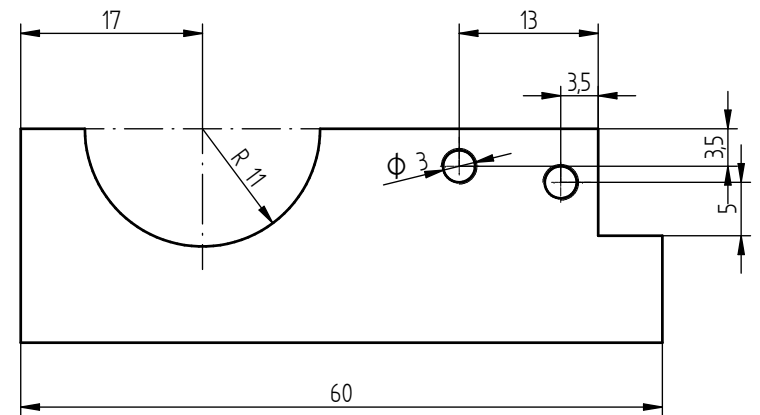
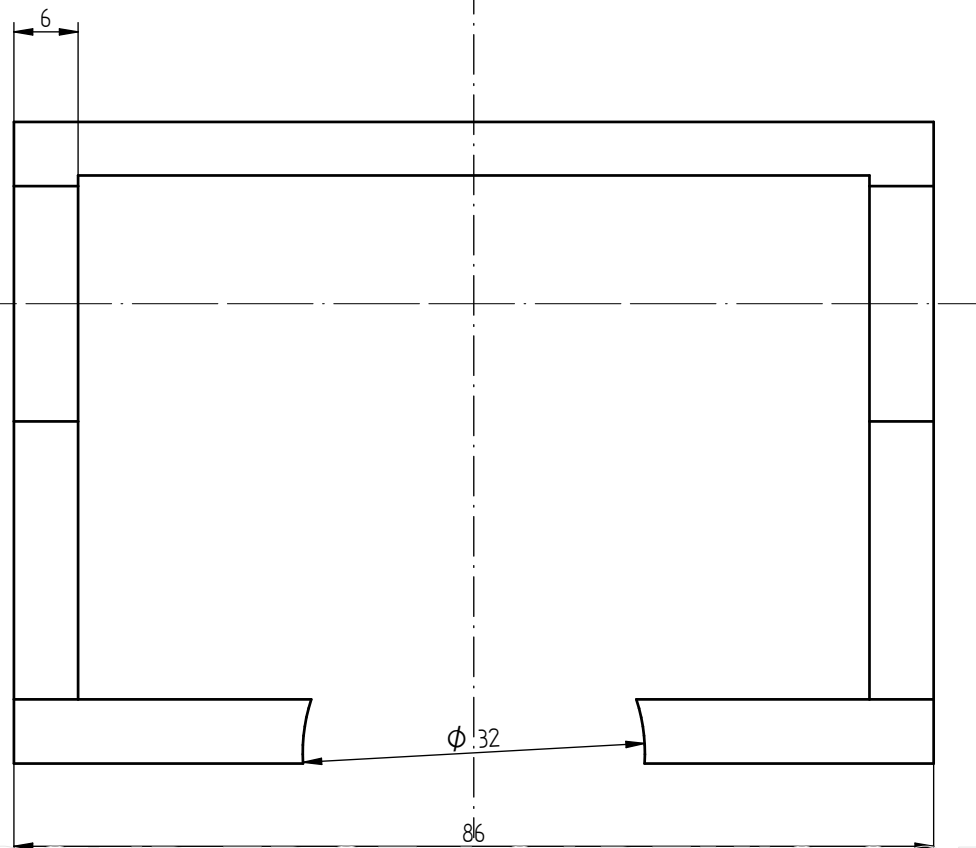
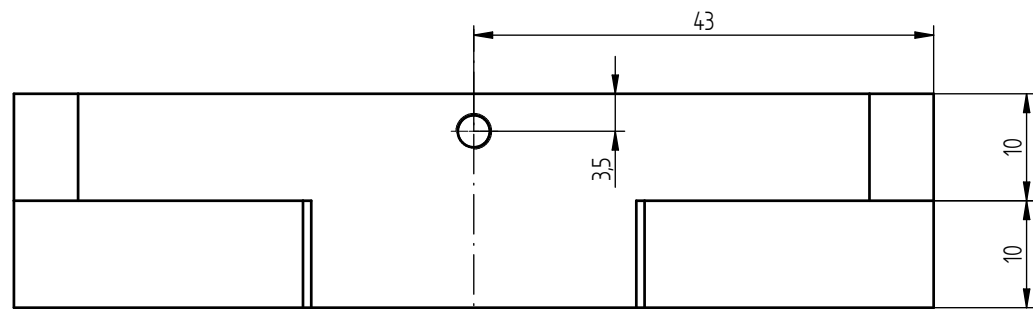
| | | | | |
|------------|----------|-------------------------|------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charán | Alfonso GC | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Husillo | | | Número 4 |
| 1:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



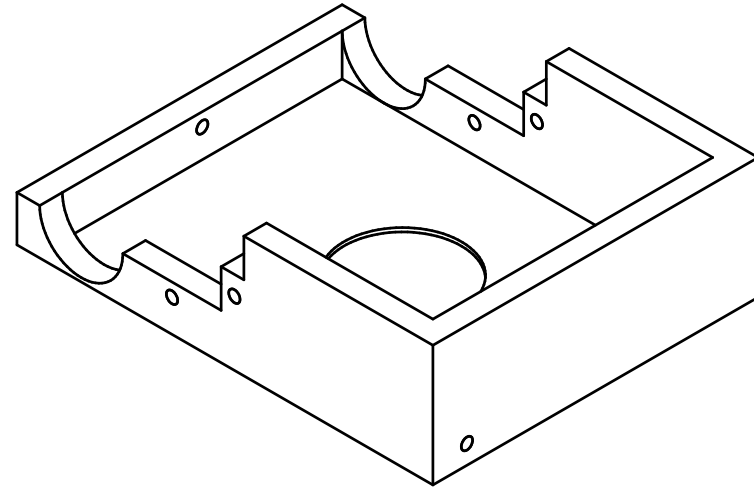
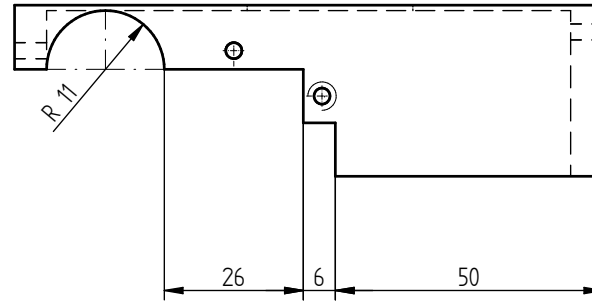
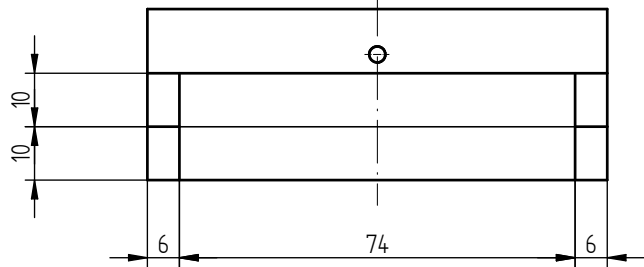
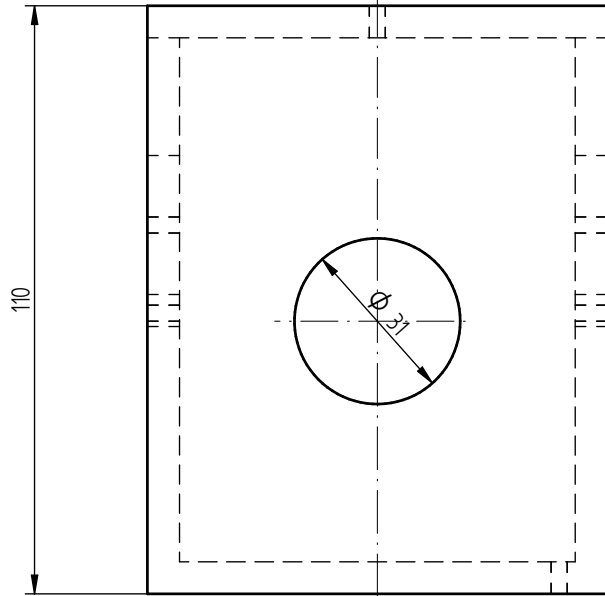
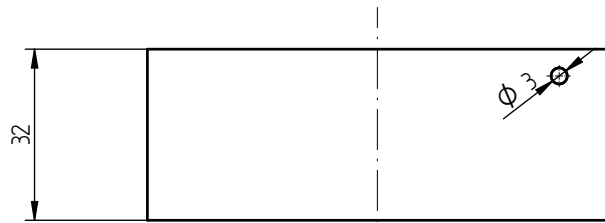
| | | | | |
|------------|----------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charán | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Soporte | | | Número 5 |
| 2:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



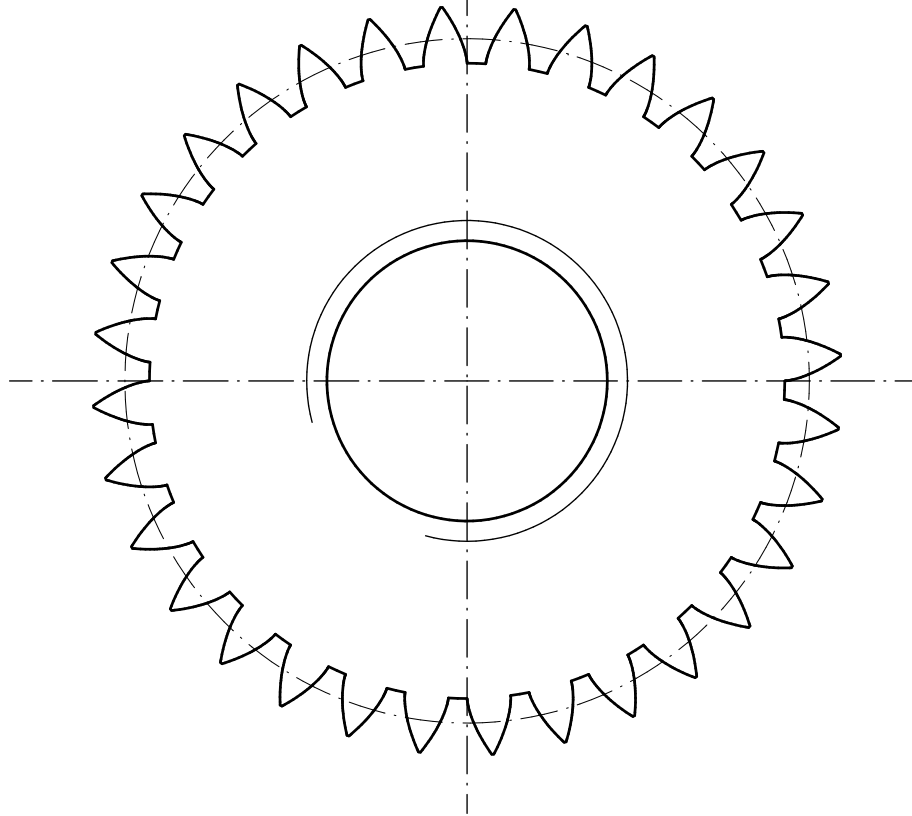
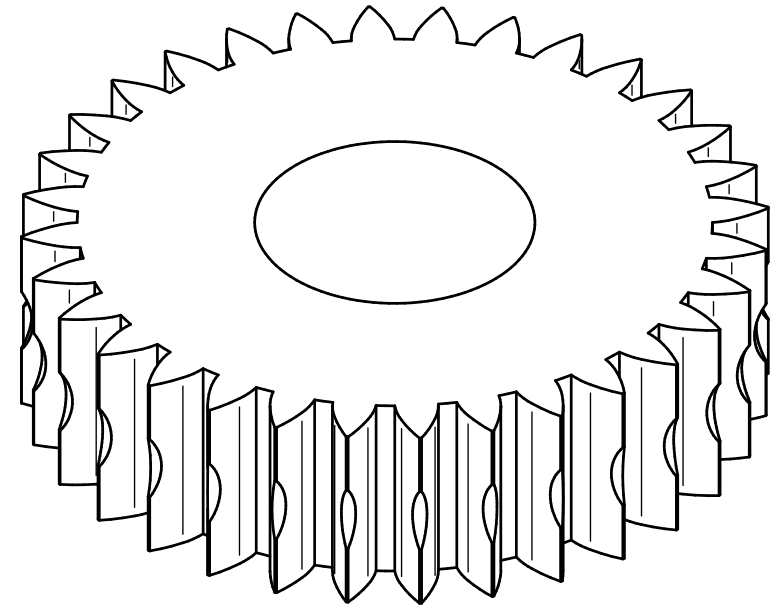
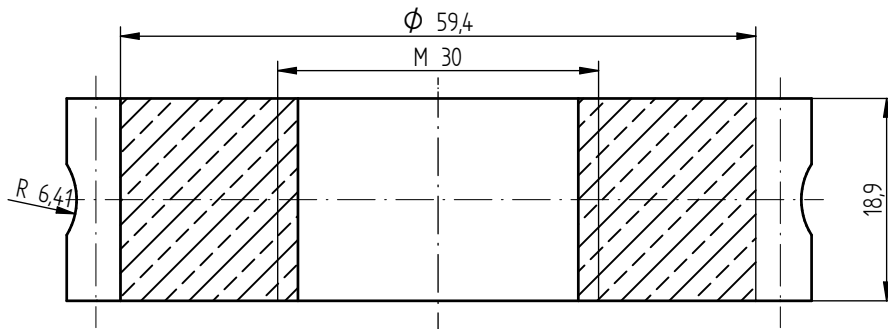
| | | | | |
|------------|---------------|-------------------------|------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charán | Alfonso GC | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Caja Inferior | | | Número 6 |
| 2:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| | | | | |
|------------|---------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charín | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Caja Superior | | | Número 7 |
| 1:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

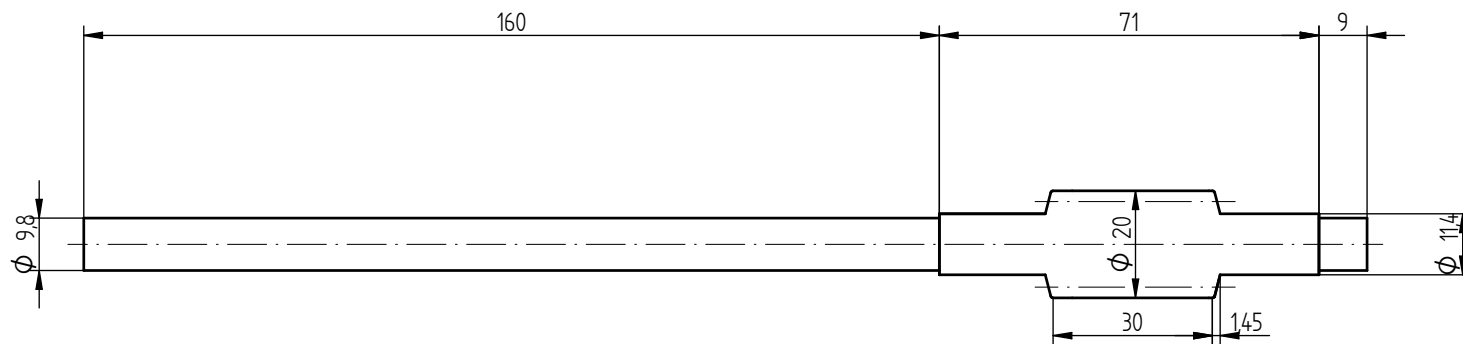
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| DATOS DE LA CORONA | | | |
|----------------------|-------------|------------|---|
| Modulo normal | mn | 2 | |
| Nº de dientes | Z2 | 32 | |
| Diametro primitivo | dp | 64 | |
| Distancia entre ejes | C | 40 | |
| Angulo de la helice | β | 14,04º | |
| Sentido de la hélice | | → Derechas | |
| Rueda conjugada | Nº de hilos | Z1 | 2 |
| | Plano nº | | 9 |

| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
|---------------|----------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charán | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala 2:1 | Corona | | | Número 8 |
| | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

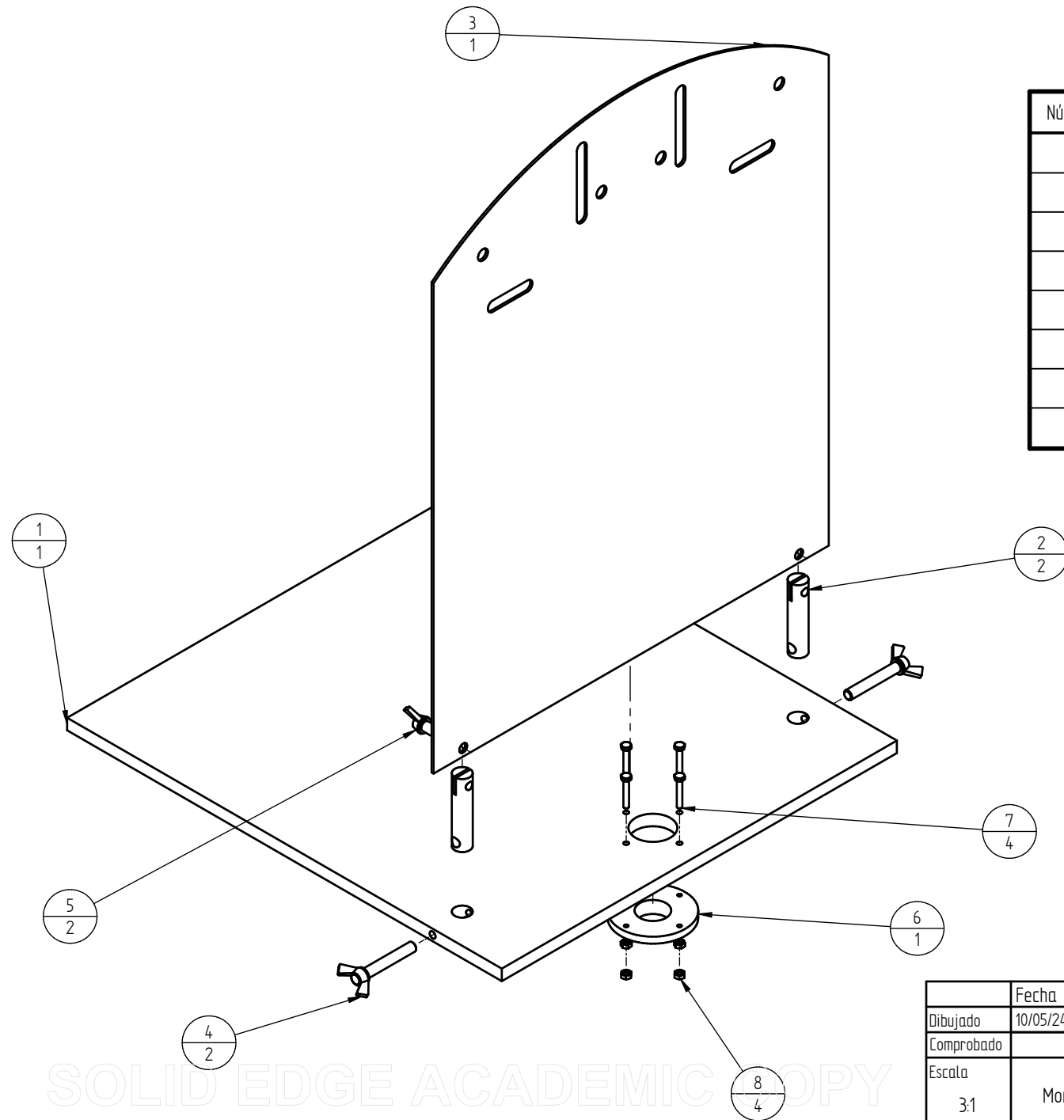
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| DATOS DEL TORNILLO | | | |
|----------------------|-------------|----|----------|
| Modulo normal | mn | | 2 |
| Nº de dientes | Z1 | | 2 |
| Diametro primitivo | dp | | 16 |
| Distancia entre ejes | C | | 40 |
| Angulo de la helice | β | | 75,96º |
| Sentido de la hélice | | → | Derechas |
| Rueda conjugada | Nº de hilos | Z1 | 32 |
| | Plano nº | | 8 |

| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
|------------|------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charín | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Tornillo sin fin | | | Número 9 |
| 1:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

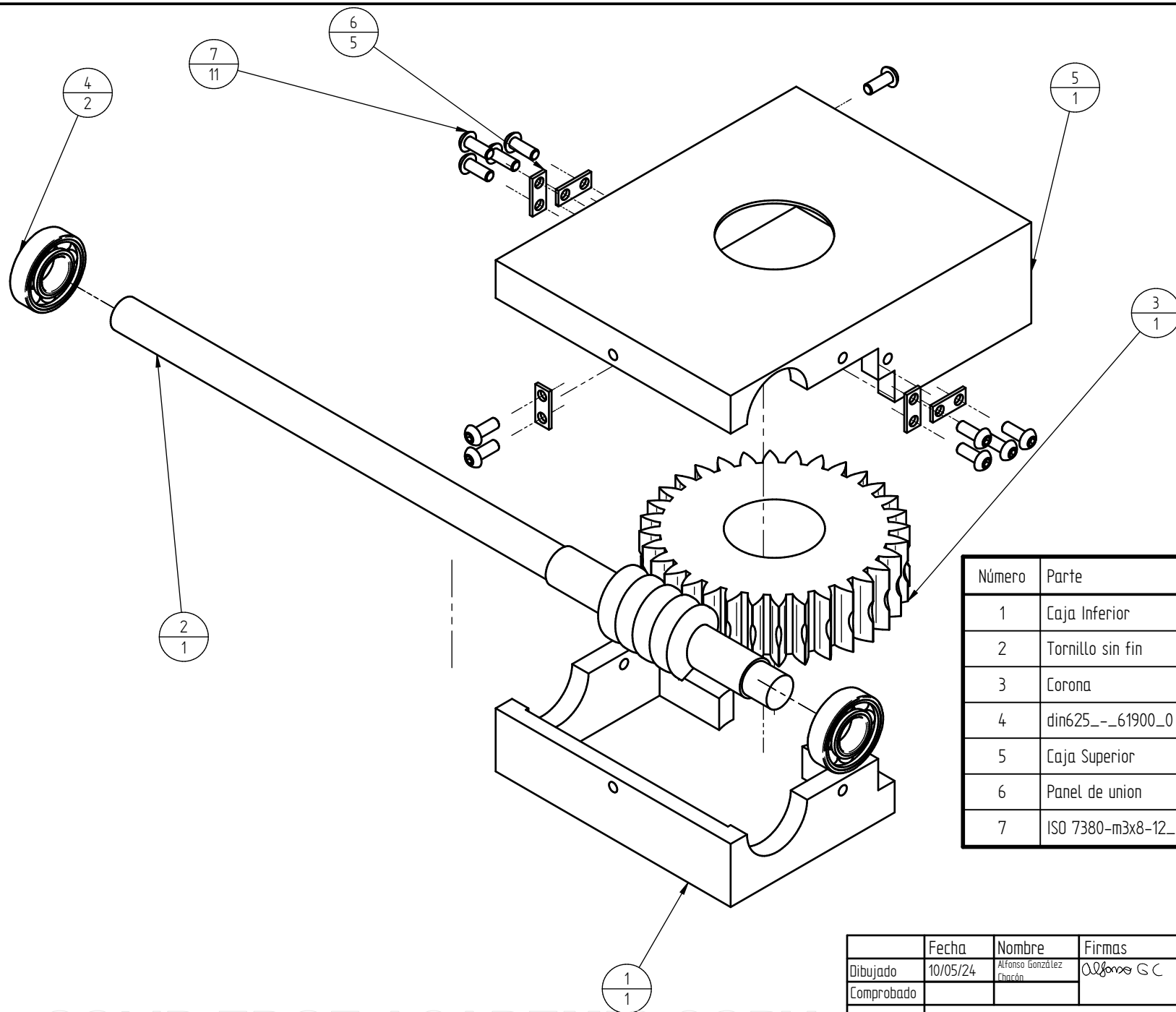
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| Número | Parte | Autor | Cantidad |
|--------|-------------|-------------|----------|
| 1 | Asiento | Alfonso | 1 |
| 2 | Soporte | Alfonso | 2 |
| 3 | Respaldo | Alfonso | 1 |
| 4 | ebcbs8-50 | Normalizado | 2 |
| 5 | ebcbs8-15 | Normalizado | 2 |
| 6 | Cabeza | Alfonso | 1 |
| 7 | 07170-04x25 | Normalizado | 4 |
| 8 | 07210-04 | Normalizado | 4 |

| | | | | |
|------------|-----------------|-------------------------|--------------|-------------------------|
| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charán | Alfonso G.C. | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Montaje Carcasa | | | Número 10 |
| 3:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

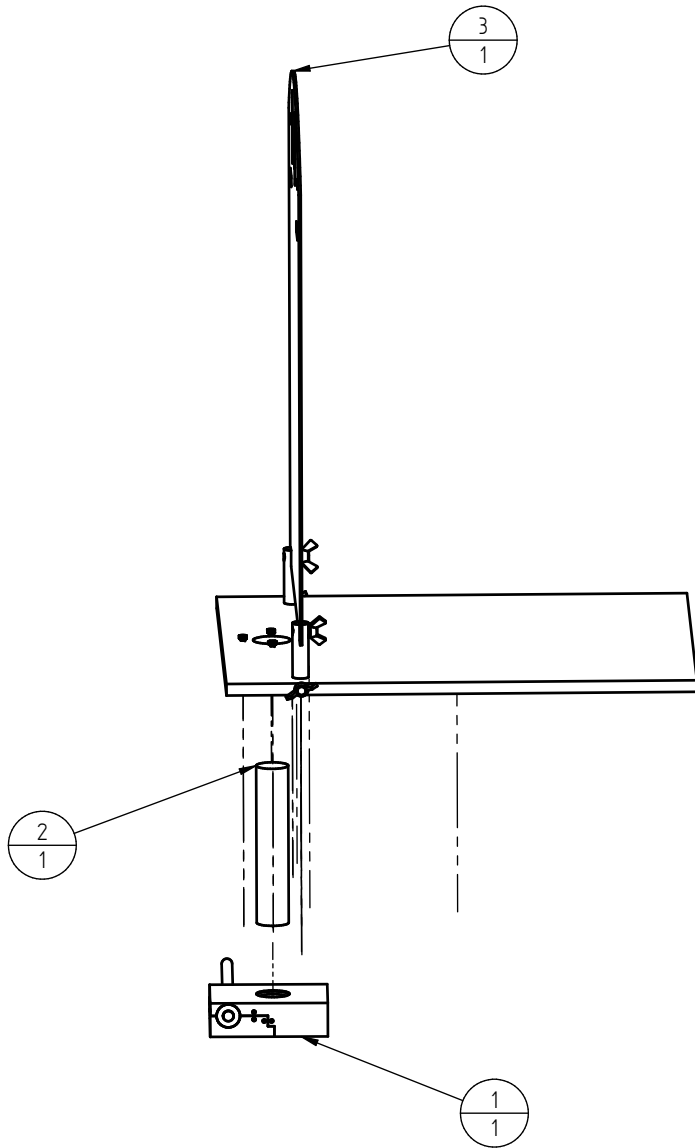
SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| Número | Parte | Autor | Cantidad |
|--------|--------------------|-------------|----------|
| 1 | Caja Inferior | Alfonso | 1 |
| 2 | Tornillo sin fin | Alfonso | 1 |
| 3 | Corona | Alfonso | 1 |
| 4 | din625_-_61900_0 | Normalizado | 2 |
| 5 | Caja Superior | Alfonso | 1 |
| 6 | Panel de union | Alfonso | 5 |
| 7 | ISO 7380-m3x8-12_9 | Normalizado | 11 |

| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
|------------|-------------------|-------------------------|--------------------|-------------------------|
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charín | <i>Alfonso G C</i> | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Montaje Mecanismo | | | Número 11 |
| 1:1 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY



| Número | Parte | Autor | Cantidad |
|--------|-------------------|---------|----------|
| 1 | Montaje Mecanismo | Alfonso | 1 |
| 2 | Husillo | Alfonso | 1 |
| 3 | Montaje Carcasa | Alfonso | 1 |

| | Fecha | Nombre | Firmas | Trabajo de fin de grado |
|------------|------------------|-------------------------|-------------|-------------------------|
| Dibujado | 10/05/24 | Alfonso González Charín | Alfonso G C | |
| Comprobado | | | | |
| Escala | Montaje Completo | | | Número 12 |
| 15 | | | | Sustituye a |
| | | | | Sustituido por |

SOLID EDGE ACADEMIC COPY